ГЛАВА I

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1. Внутренняя энергия. Количество теплоты и виды теплопередачи

1. Внутренняя энергия

В курсе физики 7-го класса вы познакомились с понятием механической *энергии*. Напомним, что механическая энергия является суммой *кинетической* энергии, обусловленной движением тел, и *потенциальной* энергии, обусловленной взаимодействием тел.

Вспомним теперь, что все тела состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул, которые находятся в непрерывном *хаотическом движении*. Следовательно, они обладают *кинетической* энергией.

Кроме того, вы знаете, что частицы, из которых состоят тела, *взаимодействуют* друг с другом: этим объясняется, например, существование жидкостей и твёрдых тел. Следовательно, они обладают *потенциальной* энергией.

Сумму кинетической энергии хаотического движения частиц тела и потенциальной энергии их взаимодействия между собой называют *внутренней энергией* тела.

1. В одной банке находится 1 кг холодной воды, а в другой — 1 кг горячей воды. В какой банке внутренняя энергия воды больше?
2. В одной банке находится 1 л воды, а в другой — 3 л воды при той же температуре. Равны ли значения внутренней энергии воды в банках? Если нет, то в какой банке внутренняя энергия воды больше и во сколько раз?
3. Одна банка с водой стоит на столе, а другая *такая же* банка стоит на полу. Температура воды в банках одинакова. Равны ли значения внутренней энергии воды в банках? Если нет, то в какой банке внутренняя энергия воды больше?
4. Одна банка с водой стоит на столе, а другая такая же банка стоит в багажнике едущего автомобиля. Температура воды в банках одинакова. Равны ли значения внутренней энергии воды в банках? Если нет, то в какой банке внутренняя энергия воды больше?

2. Способы изменения внутренней энергии

Совершение работы

Поставим опыты

Если потереть энергично ладони, они *нагреются*. При этом механическая энергия ладоней перешла в их внутреннюю энергию вследствие совершённой вами *работы*.

При накачивании велосипедной камеры (рис. 1.1, *а*) насос нагревается: это означает, что внутренняя энергия воздуха в насосе при *сжатии* увеличивается. И в этом случае увеличение внутренней энергии обусловлено *работой*: вы совершаете её, толкая поршень насоса и сжимая газ.

На рисунке 1.1, *б* показан опыт, иллюстрирующий, что нагревание газа при быстром сжатии может быть настолько большим, что воспламеняется находящаяся в цилиндре под поршнем ватка.[1)]

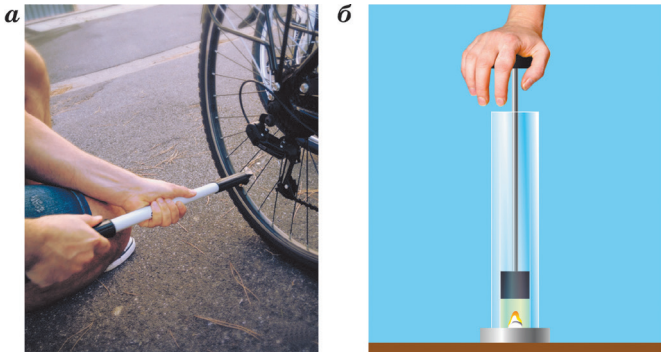

Рис. 1.1

Если работу совершает само тело, то его внутренняя энергия *уменьшается*. Этим объясняется, в частности, появление облаков: при подъёме воздух вследствие уменьшения давления расширяется и при этом *охлаждается*. В результате находящийся в воздухе водяной пар превращается в капельки воды.

Таким образом,

внутреннюю энергию тела можно изменить посредством *совершения работы*.

1) Этот опыт получается лучше, если ватка слегка смочена бензином или спиртом.

Теплопередача. Количество теплоты

Можно ли изменить внутреннюю энергию тела без совершения работы? Можно: например, стоящий на столе стакан горячего чая постепенно остывает — при этом внутренняя энергия чая уменьшается, но работа не совершается.

Изменение внутренней энергии тела без совершения работы называют *теплопередачей*.
Энергию, которую тело получает или отдаёт в процессе теплопередачи, называют *количеством теплоты*.

Количество теплоты обозначают Q. Поскольку количество теплоты характеризует изменение внутренней энергии, единица количества теплоты совпадает с единицей энергии. Поэтому в СИ единицей количества теплоты является *джоуль* (Дж).

3. Температура

При теплопередаче внутренняя энергия всегда переходит от *горячего* (более нагретого) тела к *холодному* (менее нагретому). Степень нагретости тела характеризует *температура*. Таким образом,

при теплопередаче внутренняя энергия всегда переходит от тела с *большей* температурой к телу с *меньшей* температурой.

Теплопередача между телами с разной температурой продолжается до тех пор, пока их температуры не станут *равными*, то есть пока тела не придут в состояние *теплового равновесия*.

Температуру измеряют *термометрами*[1]. На рисунке 1.2 изображены *жидкостные* термометры.

Рис. 1.2

5. На каком свойстве жидкости основано действие жидкостных термометров?

6. Почему для измерения температуры тела необходимо, чтобы термометр некоторое время *соприкасался* с этим телом?

Температуру измеряют в градусах. В широко распространённой *шкале Цельсия* нулю градусов соответствует температура

[1] От греческих слов «терме» — жар и «метрео» — измеряю.

таяния льда (обозначают 0 °С), а ста градусам — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении (100 °С).

А может ли внутренняя энергия тела изменяться при *постоянной* температуре? Может: например, при таянии льда его температура остаётся равной 0 °С, пока весь лёд не растает, хотя внутренняя энергия воды со льдом при этом *увеличивается*. Этот наглядный пример показывает, что внутренняя энергия зависит не только от температуры, но и от *состояния вещества* (твёрдое, жидкое или газообразное). Эти состояния вещества называют *агрегатными* состояниями.

4. Виды теплопередачи

Теплопроводность

Обнимите ладонью стакан горячего чая: ваша рука начнёт нагреваться, а чай будет остывать быстрее. Этот опыт показывает, что

при *контакте* двух тел разной температуры между ними происходит теплопередача. Этот вид теплопередачи называют *теплопроводностью*.

Теплопроводность обусловлена тем, что молекулы более горячего тела, взаимодействуя с молекулами более холодного тела, передают им кинетическую энергию.

Поставим опыт

На рисунке 1.3 изображён опыт, иллюстрирующий теплопередачу внутри тела. При нагревании стального и медного стержней прикреплённые к ним воском монеты отпадают вследствие нагревания. От медного стержня монеты отпадают раньше, чем от стального — это означает, что медь лучше проводит тепло, чем сталь.

Рис. 1.3

В некоторых случаях теплопередачу посредством теплопроводности стараются увеличить, а в других — уменьшить.

7. Увеличивают или уменьшают теплопередачу посредством теплопроводности, увеличивая толщину стен дома?

8. Почему шубу называют тёплой, хотя в ней нет источников тепла?

9. Скорее ли нагреется холодная вода в банке, если закутать её в «тёплый» шерстяной платок?

Важной особенностью теплопроводности является то, что

при теплопроводности происходит передача энергии, но не происходит переноса вещества.

Очень мала теплопередача посредством теплопроводности через *газы*, в том числе через *воздух*. Объясняется это тем, что молекулы газов взаимодействуют друг с другом только при сравнительно редких столкновениях.

10. Почему «тёплые» пуховые или шерстяные платки такие лёгкие?

11. С какой целью делают двойные оконные рамы?

12. Почему ручки кастрюль и сковородок делают обычно из дерева или пластмассы?

13. Земледельцы радуются, когда снег выпадает до морозов: они говорят, что снег «согревает» землю. Но разве снег может «греть»?

Конвекция

Подержите руку над горячей батареей отопления — вы почувствуете, что от неё поднимается более лёгкий тёплый воздух, который нагревает вашу руку.

Вид теплопередачи, обусловленный потоками газа или жидкости, называют *конвекцией*[1)].

14. Объясните, почему конвекция не может происходить в твёрдых телах.

---

1) От латинского слова «конвекцио» — перенесение.

15. С помощью рисунка 1.4, на котором стрелками показано движение воздуха, объясните, почему батареи отопления ставят под окнами. Что обозначает изменение цвета стрелок на рисунке?

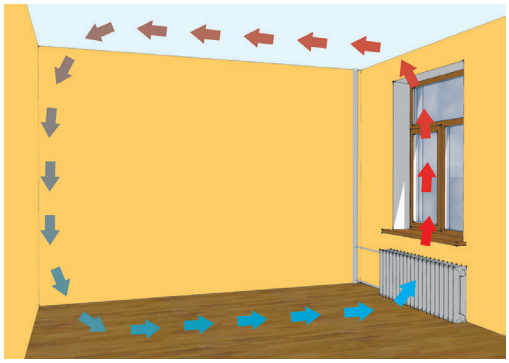

Рис. 1.4

В этом примере конвекция обусловлена тем, что тёплый воздух легче холодного. Такую конвекцию называют *естественной*.

Но конвекцию можно осуществить и иначе: например, когда вы сушите волосы феном, тёплый воздух движется благодаря встроенному в фен вентилятору. Такую конвекцию называют *вынужденной*.

16. В стакан с холодной водой налили сверху горячую воду. Будет ли в стакане происходить естественная конвекция? Если нет, то что надо сделать, чтобы осуществить вынужденную конвекцию?

17. Как надо подогревать воду в сосуде для того, чтобы в нём происходила естественная конвекция, — сверху или снизу? А как надо охлаждать?

Излучение

Поставим опыт

Осторожно поднесите руку *сбоку* к нижней части горячего чайника, в котором недавно закипела вода. Вы почувствуете, что от чайника «идёт тепло». Значит, происходит теплопередача от чайника к руке.

18. Происходит ли эта теплопередача посредством теплопроводности?

19. Может ли происходить эта теплопередача посредством конвекции?

Рис. 1.5

Итак, в этом случае мы встретились с новым для нас видом теплопередачи — посредством *излучения*. Нагретое тело излучает *электромагнитные волны*, с которыми мы познакомимся во втором полугодии.

Теплопередача посредством излучения — *единственный* вид теплопередачи в вакууме (пустоте). Источником почти всех видов энергии на Земле является Солнце. Энергия от него передаётся на Землю посредством *излучения*.

20. Каким видом теплопередачи наслаждаетесь вы, греясь на солнышке (рис. 1.5)? Какой ещё вид теплопередачи иллюстрирует эта фотография?

Тёмные предметы поглощают излучение лучше, чем светлые.

21. Почему летом надевают светлую одежду?

22. Почему самолёты часто белые или серебристые?

ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

5. Почему утром море спокойное?

Когда вы окажетесь на морском берегу, обратите внимание: *днём* ветер дует обычно *с моря на сушу*. Обусловлено это различным нагреванием воды и суши.

23. Что нагревается днём сильнее — вода или почва?

От нагретой солнцем почвы нагревается воздух. Поскольку тёплый воздух легче холодного, он поднимается вверх, а на его место с моря приходит более холодный воздух. Это движение

воздуха и есть тот *ветер с моря*, который освежает нас на берегу в жаркий день. Он называется *дневной бриз* (рис. 1.6, *а*).

24. Является ли дневной бриз примером естественной конвекции?

25. Объясните с помощью рисунка 1.6, *б*, чем обусловлен *ночной бриз*.

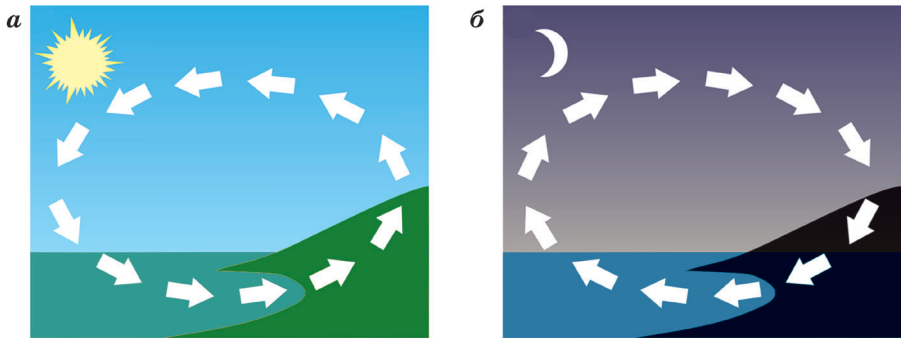

Рис. 1.6

26. Почему утром море наиболее спокойное?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- *Внутренней энергией* тела называют сумму кинетической энергии хаотического движения и потенциальной энергии взаимодействия частиц, из которых состоит тело.
- Внутреннюю энергию тела можно изменить *двумя* способами: совершив *работу* или посредством *теплопередачи*.
- *Теплопередачей* называют изменение внутренней энергии тела без совершения работы. Энергию, получаемую или отдаваемую телом при теплопередаче, называют *количеством теплоты*.
- При теплопередаче внутренняя энергия всегда переходит от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.
- Температуру измеряют *термометрами*. В *шкале Цельсия* за 0 °С принимают температуру таяния льда, а за 100 °С — температуру кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

- *Теплопроводностью* называют вид теплопередачи, обусловленный передачей энергии от одного тела к другому или от одних частей тела к другим в результате теплового движения и взаимодействия частиц. В процессе теплопроводности не происходит переноса вещества.
- *Конвекцией* называют вид теплопередачи, обусловленный переносом вещества. Конвекция происходит только в жидкостях и газах.
- *Излучением* называют вид теплопередачи, обусловленный электромагнитным излучением. Это — единственный вид теплопередачи в вакууме.

? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Базовый уровень

27. Приведите примеры тепловых явлений, происходящих в вашей квартире.

28. Шарик скатывается по наклонному жёлобу и, двигаясь далее по горизонтальному столу, через некоторое время останавливается. Какие превращения энергии происходят при этом?

29. Расскажите о внутренней энергии тела. По каким признакам можно судить о её изменении?

30. Саша налил две одинаковые чашки чая при одной и той же температуре. Одну он выпил сразу же, а другую выпила мама через 5 минут. Одинакова ли была внутренняя энергия чая в чашках сразу же после того, как их наполнили чаем? А одинаковой ли была внутренняя энергия чая, который пили Саша и мама?

31. В пустой стакан положили несколько кубиков льда. Через некоторое время *половина* льда растаяла. Внутренняя энергия чего больше в этот момент: воды или льда?

32. Вазу переставили со стола на полку над столом. Изменилась ли механическая энергия вазы? Изменилась ли её внутренняя энергия? Если изменились, то как: увеличились или уменьшились?

33. Объясните, почему при откачивании воздуха из сосуда внутренняя энергия оставшейся части воздуха в нём уменьшается.

34. Расскажите о способах изменения внутренней энергии. Приведите примеры, иллюстрирующие ваш ответ.

35. Опишите способы изменения внутренней энергии в следующих случаях:
а) первобытный человек добывает огонь трением;
б) в котелке на костре нагревают воду;
в) головка спички при трении о коробок воспламеняется;
г) искусственный спутник Земли при вхождении в нижние слои атмосферы нагревается;
д) крыша дома нагревается под действием солнечных лучей.

36. Почему единицы количества теплоты и работы одинаковы?

37. Опишите жидкостный термометр. Расскажите о шкале Цельсия.

38. Перечислите виды теплопередачи. Приведите примеры каждого из них.

39. Объясните, почему раньше отпадают монеты, расположенные ближе к пламени горелки (рис. 1.7).

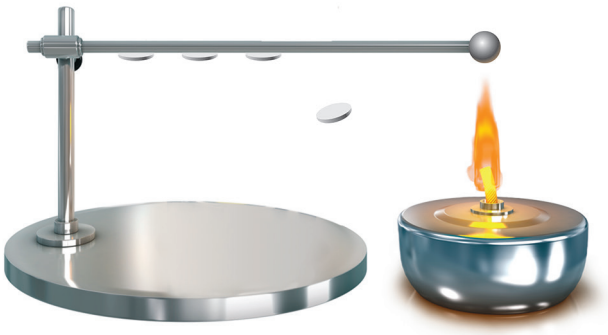

Рис. 1.7

40. Почему в тесной обуви ноги мёрзнут быстрее, чем в просторной, изготовленной из тех же материалов?

41. В странах Средней Азии местные жители в сильную жару надевают ватные халаты и шапки-папахи. Зачем они так поступают?

42. Почему батареи отопления располагают ближе к полу, а форточки — в верхней части окна?

43. Почему пламя свечи устремляется вертикально вверх?

44. Почему грязный снег на обочинах дорог тает быстрее, чем белый снег в полях?

Повышенный уровень

45. Одну колбу с воздухом, соединённую с манометром, опустили в сосуд с холодной водой, а другую такую же колбу с воздухом — в сосуд с горячей водой (рис. 1.8). В каком из сосудов (*A* или *B*) находится горячая вода? Обоснуйте ваш ответ.

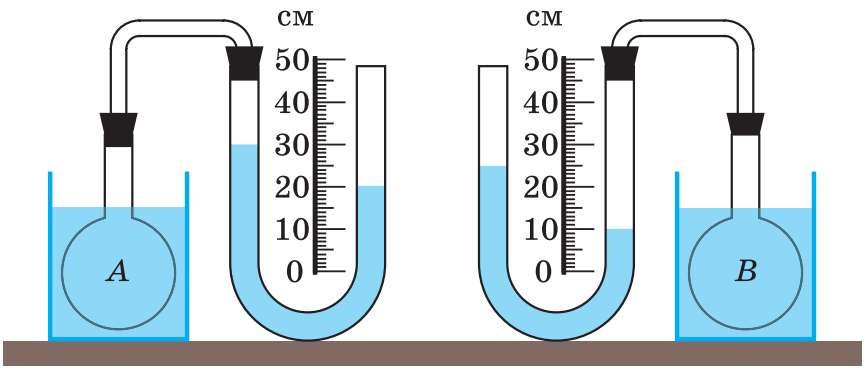

Рис. 1.8

46. Приведите свои примеры изменения внутренней энергии тела в процессе совершения работы: а) при трении; б) при ударе; в) при сжатии. Опишите превращения энергии, происходящие при этом.

47. Сравните теплопроводность, конвекцию и излучение: что у них общего и чем они различаются?

48. Почему воздушный оренбургский платок намного теплее, чем более плотный шерстяной платок?

49. Куда надо хозяйке поместить лёд: сверху крышки кастрюли или под её дно, чтобы быстрее остудить компот в кастрюле? Объясните свой ответ.

50. Турист, сидя у костра, кипятит воду в котелке, висящем высоко над огнём. Какой вид теплопередачи наиболее существенен в передаче тепла:

а) от пламени костра к котелку;
б) от котелка воде;
в) от костра к человеку;
г) при нагревании воды в котелке?

Высокий уровень

51. Сравните внутреннюю энергию содержимого стаканов, изображённых на рисунках 1.9, *а*, *б*, если масса содержимого стаканов одинакова. Обоснуйте ваш ответ.

а *б*

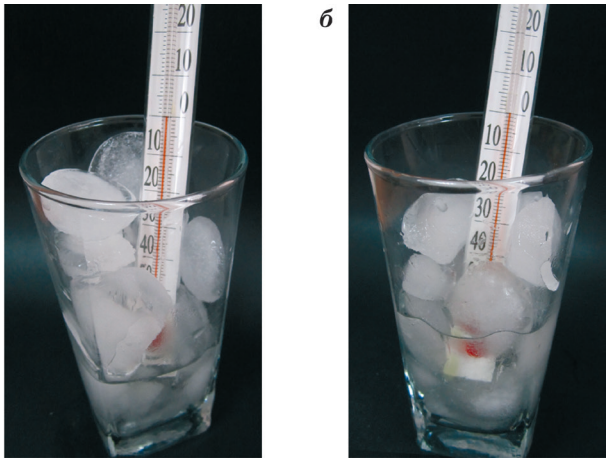

Рис. 1.9

52. Три тела — A, B и C, при разной начальной температуре ($t_A > t_B > t_C$) привели в соприкосновение (рис. 1.10). Может ли теплопередача происходить по кругу: от A к B, от B к C и от C снова к A? До каких пор будет осуществляться процесс теплопередачи? Объясните свой ответ.

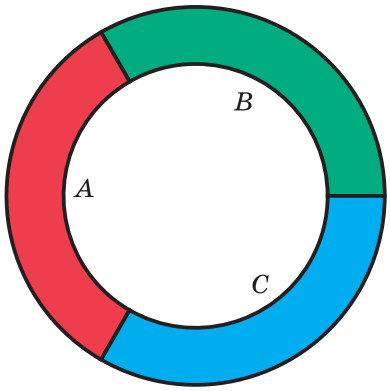

Рис. 1.10

53. Действие жидкостных термометров обусловлено расширением жидкости при нагревании. Расширяется ли при нагревании стекло, из которого сделаны колбочка и трубка термометра? Если да, то одинаково ли расширение стеклянной трубки и жидкости внутри термометра? Обоснуйте свой ответ.

54. Почему кирпичная труба обеспечивает лучшую тягу, чем металлическая, при одинаковой высоте труб?

55. Куда отклонится пламя спички, если поднести её к щели под входной дверью дачного дома: а) летом; б) зимой? Обоснуйте ваш ответ, сделав к нему пояснительные рисунки.

56. Термос представляет собой две колбы, из пространства между которыми откачан воздух. Объясните, почему откачивают воздух. Будет ли термос сохранять холод так же хорошо, как и тепло?

57. Составьте две задачи по теме параграфа. Ответ к первой задаче должен быть: «Вверх», а ко второй — «Только в жидкостях и газах».

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

58. Поставьте и опишите опыты по изменению внутренней энергии тела посредством совершения работы и посредством теплопередачи.

59. Охладите воду в двух пластиковых бутылках (например, в холодильнике). Затем выньте бутылки, одну из них поставьте на стол, а другую заверните в тёплое одеяло. Проверьте через некоторое время: согрело ли «тёплое» одеяло воду в бутылке? Сделайте вывод из своего опыта.

§ 2. Удельная теплоёмкость

1. Опыт Джоуля

В первой половине 19-го века английский учёный Дж. Джоуль смог *измерить* изменение внутренней энергии воды при её нагревании. Повторим этот ставший знаменитым опыт.

Поставим опыт

Возьмём ведёрко с перегородками внутри и вращающимися лопастями, которые проходят сквозь эти перегородки с небольшим зазором (рис. 2.1).

Если налить в ведёрко воду и вращать лопасти, то вращению воды в ведёрке будут препятствовать перегородки. Поэтому

вследствие трения слоёв воды, а также трения воды о лопасти и перегородки, вода в ведёрке будет *нагреваться*, то есть её внутренняя энергия будет *увеличиваться*.

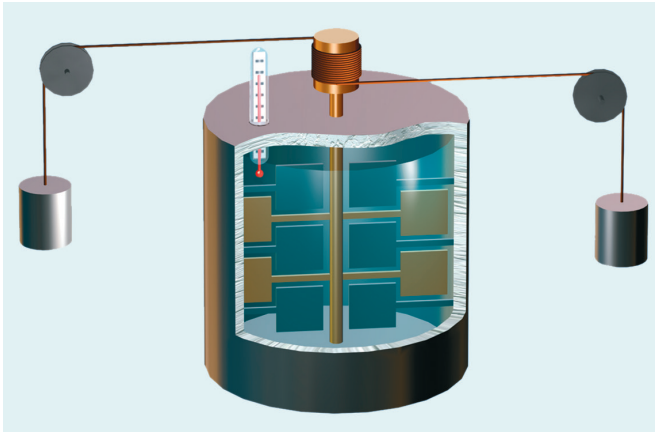

Рис. 2.1

1. Какой при этом используется способ изменения внутренней энергии воды — посредством совершения работы или посредством теплопередачи?

Чтобы измерить совершаемую при этом работу, сделаем так, чтобы лопасти вращались под действием постепенно опускающихся грузов. Тогда совершённая работа равна разности начальной и конечной потенциальной энергии грузов.

Зная массу грузов и измерив их перемещение, можно вычислить совершённую работу. А изменение температуры воды можно измерить термометром.

Измерения показали, что для нагревания 1 кг воды на 1 °С надо совершить работу, равную 4,2 кДж.

Джоуль предположил, что *сумма механической энергии грузов и внутренней энергии воды сохраняется*, и поэтому *внутренняя энергия воды увеличилась настолько же, насколько уменьшилась механическая энергия грузов*.

Это означает, что *при нагревании 1 кг воды на 1 °С её внутренняя энергия увеличивается на 4,2 кДж*.

Увеличить внутреннюю энергию воды можно также посредством *теплопередачи* — например, подогрев сосуд с водой на огне. При этом воде надо сообщить количество теплоты, численно рав-

ное работе, которую надо совершить для *такого же* нагревания воды.

Следовательно, *чтобы увеличить температуру 1 кг воды на 1 °С, надо сообщить воде количество теплоты, равное 4,2 кДж.*

2. Удельная теплоёмкость

Опыты показывают, что

количество теплоты Q, которое надо передать телу, чтобы нагреть его от начальной температуры $t_н$ до конечной температуры $t_к$, прямо пропорционально массе тела m и разности конечной и начальной температур:

$$Q = cm(t_к - t_н).$$

Величину c называют *удельной теплоёмкостью вещества*, из которого состоит данное тело.

Физический смысл удельной теплоёмкости вещества состоит в том, что она численно равна количеству теплоты, которое надо сообщить телу массой 1 кг, состоящему из этого вещества, чтобы повысить температуру тела на 1 °С.

2. Докажите, что *единицей удельной теплоёмкости* является $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$.

3. Используя результат описанного выше опыта Джоуля, определите, чему равна *удельная теплоёмкость воды*.

В справочных данных на форзаце учебника (под обложкой) приведены значения удельной теплоёмкости некоторых веществ.

Удельную теплоёмкость различных веществ обычно измеряют, сравнивая её с теплоёмкостью воды. Как это делают, мы расскажем в следующем параграфе.

Изменение температуры воды на один градус трудно почувствовать на ощупь, поэтому количество теплоты, требуемое для такого нагревания, например, одного литра воды можно счесть очень малым. Но давайте найдём его «механический эквивалент».

4. На какую высоту можно поднять взрослого человека массой 70 кг, совершив работу, равную 4,2 кДж?

Этот пример наглядно показывает «масштабы» внутренней энергии: чтобы нагреть 1 л воды всего на 1 °С, надо затратить

столько же энергии, сколько для подъёма взрослого человека на третий этаж!

5. На какой этаж можно было бы поднять слона массой 4,5 т, совершив работу, численно равную количеству теплоты, которое надо сообщить 2 л воды, взятой при 20 °С, чтобы нагреть её до кипения? Считайте, что первый этаж находится на уровне земли, а высота одного этажа равна 3 м.

Научимся пользоваться справочными данными при решении простых задач.

6. Используя справочные данные, найдите количество теплоты, которое надо сообщить медному кубу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 °С.

7. Имеются свинцовый и медный бруски одинаковой массы. Какому из них надо передать большее количество теплоты для нагревания на 1 °С? Во сколько раз большее?

Если тело в процессе теплопередачи *охлаждается*, его конечная температура $t_к$ *ниже* начальной $t_н$. При этом тело *отдаёт* количество теплоты $Q = cm(t_н - t_к)$.

8. Алюминиевый брусок массой 2 кг, нагретый до 300 °С, остывает до 20 °С. Чему равно отданное бруском количество теплоты?

ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

3. Постановка и решение более трудных задач

В формулу $Q = cm(t_к - t_н)$ входит *пять* физических величин. Используя эту формулу, можно найти *любую* из входящих в неё величин, если известны все остальные. Это позволяет ставить и решать много различных задач.

9. Выразите удельную теплоёмкость через другие величины, входящие в написанную выше формулу для количества теплоты.

10. Чтобы нагреть металлическое кольцо массой 5 г на 30 °С, надо сообщить ему количество теплоты, равное 19,5 Дж. Из какого металла может быть изготовлено это кольцо?

11. Выразите массу тела через другие величины, входящие в формулу для количества теплоты.

12. Выразите *изменение* температуры тела $t_к - t_н$ через другие величины, входящие в формулу для количества теплоты.

13. Насколько нагрелся медный цилиндр массой 200 г, когда ему сообщили количество теплоты, равное 780 Дж?

14. Выразите конечную температуру тела $t_к$ через другие величины, входящие в формулу для количества теплоты.

15. До какой температуры нагреются 3 л воды, взятой при температуре 10 °С, если сообщить ей количество теплоты, равное 252 кДж?

16. Выразите начальную температуру тела $t_н$ через другие величины, входящие в формулу для количества теплоты.

17. После того, как ледяному бруску массой 2 кг сообщили количество теплоты, равное 21 кДж, его температура стала равной –10 °С. Какой была начальная температура бруска?

18. На какую высоту можно поднять груз массой 100 кг, совершив работу, численно равную количеству теплоты, которое отдают 200 г кипятка при охлаждении до 20 °С?

4. Почему морской климат мягкий?

Из курса географии вы знаете, что морской климат *мягкий*, — это означает, что вблизи моря нет резких перепадов температуры ни в течение суток, ни в течение года.

Эта особенность морского климата обусловлена *большой теплоёмкостью воды*. Колоссальная масса морской воды не успевает днём (а также летом) сильно нагреться, а ночью (и также зимой) — сильно охладиться.

Поэтому летом море «впитывает» излишек тепла, не слишком сильно нагреваясь, благодаря чему от моря даже летом «веет прохладой». Но зато зимой море отдаёт накопленное за лето тепло.

А в местностях, удалённых от ближайшего моря на тысячи километров, климат *континентальный*. Он характеризуется большими перепадами температуры — как между зимой и летом, так и между днём и ночью. Таков климат, например, в пустынях, где летом днём очень жарко, а ночи холодные, а также в Сибири, где зимой очень холодно, а летом может быть очень жарко. Может быть, эта постоянная закалка и дарит сибирякам знаменитое «сибирское здоровье»?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Количество теплоты, которое надо передать телу, чтобы нагреть его от начальной температуры $t_н$ до конечной температуры $t_к$, находят по формуле $Q = cm(t_к - t_н)$, где m — масса тела, c — удельная теплоёмкость вещества, из которого состоит тело.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ[1)]

Базовый уровень

19. Запишите формулу для расчёта количества теплоты, которое необходимо сообщить телу для нагревания от начальной температуры до конечной. Назовите все физические величины, входящие в эту формулу, и их единицы.

20. Что характеризует удельная теплоёмкость: тело или вещество? Каков физический смысл этой величины?

21. Какое количество теплоты надо передать металлическому цилиндру массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 °С, если цилиндр: а) алюминиевый; б) свинцовый?

22. 200 мл воды нагрели от 20 до 50 °С. Какое количество теплоты сообщили воде?

23. Для нагревания тела массой 2 кг на 10 °С ему сообщили количество теплоты, равное 7,8 кДж. Из какого вещества может быть изготовлено это тело?

24. Стальной брусок массой 20 кг передаёт окружающей среде количество теплоты, равное 690 кДж. Насколько при этом понижается температура бруска?

25. 5 л воды, взятой при некоторой температуре, довели до температуры кипения, сообщив количество теплоты, равное 840 кДж. Чему была равна начальная температура воды?

26. Чему равна начальная температура медного бруска массой 200 г, если при его охлаждении до 20 °С выделилось количество теплоты, равное 31,2 кДж?

---

1) В задачах этого параграфа предполагается, что теплообменом с окружающей средой можно пренебречь (если иное не оговорено в условии).

27. Свинцовому шару и медному цилиндру *одинаковой* массы сообщили *одинаковое* количество теплоты. При этом медный цилиндр нагрелся на 20 °С. Насколько нагрелся свинцовый шар?

28. На какую высоту можно поднять груз массой 50 кг, совершив работу, численно равную количеству теплоты, которое отдаёт 500 г кипятка при охлаждении до 25 °С?

29. Как большая удельная теплоёмкость воды объясняет особенности морского климата? Приведите примеры регионов России с морским и континентальным климатом.

Повышенный уровень

30. Свинцовый, оловянный и стальной цилиндры массой 1 кг каждый вынули из кипящей воды и поставили на кусок льда. Цилиндры охладились, и часть льда под ними растаяла (рис. 2.2). Какая из лунок образовалась под свинцовым цилиндром, какая под оловянным и какая — под стальным?

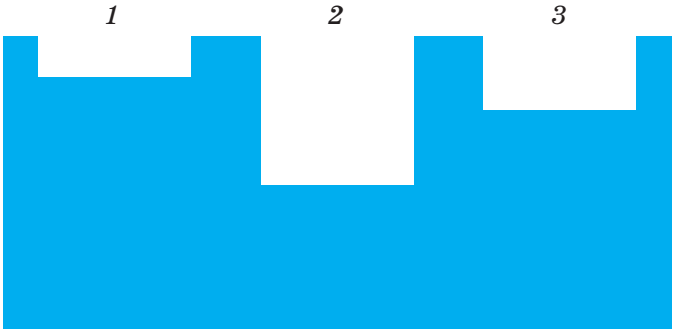

Рис. 2.2

31. В алюминиевый чайник налили воду массой, равной массе чайника, и поставили на огонь. На рисунке 2.3 представлены графики зависимости количества теплоты, полученного чайником и водой, от времени. Какой из графиков соответствует воде, а какой — чайнику?

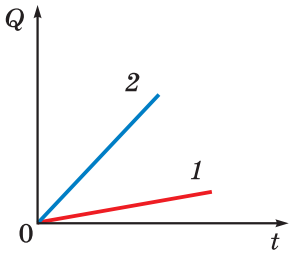

Рис. 2.3

32. На *одинаковых* горелках нагревали чугунный и свинцовый шары *одинаковой*

массы. На рисунке 2.4 изображён график зависимости температуры шаров от времени. Какой из графиков построен для чугунного шара, а какой — для свинцового?

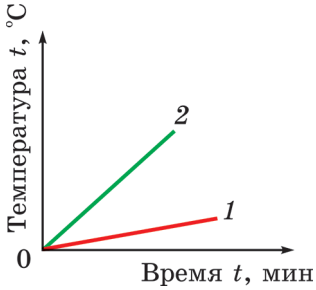

Рис. 2.4

33. Свинцовый и алюминиевый шары нагрели на 10 °C. Для этого им потребовалось сообщить *одинаковое* количество теплоты. Масса какого шара больше и во сколько раз?

34. Воздуху в комнате размерами $5 \times 4 \times 3$ м с начальной температурой 18 °C сообщили некоторое количество теплоты, вследствие чего он нагрелся до 22 °C. Какое количество теплоты сообщили воздуху? Плотность и удельная теплоёмкость воздуха приведены в справочных данных.

35. Чему равна удельная теплоёмкость кирпича, если для нагревания кирпича массой 4 кг на 63 °C пошло такое же количество теплоты, как и на нагревание воды той же массы на 13,2 °C? Есть ли в задаче лишние данные?

36. Колбу со ртутью подняли с первого на одиннадцатый этаж. Высота одного этажа 3,5 м. На сколько градусов можно нагреть эту ртуть, если сообщить ей количество теплоты, численно равное работе, совершённой при её подъёме на эту высоту?

37. Половина механической энергии свинцового шара, падающего на бетонную плиту с высоты 13 м, переходит при ударе в его внутреннюю энергию. Насколько при этом возрастает температура шара?

38. С какой высоты должна падать вода, чтобы при ударе о землю она закипала, если бы можно было пренебречь сопротивлением воздуха? Примите, что начальная температура воды равна 20 °C и половина механической энергии воды переходит в её внутреннюю энергию.

Высокий уровень

39. Радиусы алюминиевого и свинцового шаров одинаковы. Для нагревания на 1 °C какого из шаров необходимо большее количество теплоты? Во сколько раз большее?

40. Алюминиевый и медный шары нагрели в кипящей воде и положили в одинаковые кастрюли с одинаковой массой воды. После установления теплового равновесия температура содер-

жимого кастрюль оказалась одинаковой. Объём какого шара больше? Во сколько раз больше?

41. Насколько повысится температура 2 л воды в калориметре, если её перемешивать мотором мощностью 50 Вт в течение 10 минут? Примите, что потерями энергии можно пренебречь.

42. Человек массой 70 кг каждую секунду передаёт окружающей среде количество теплоты, равное 40 Дж. Насколько поднялась бы температура человеческого тела за сутки, если бы вся эта энергия переходила во внутреннюю энергию тела? Удельную теплоёмкость человеческого тела примите равной удельной теплоёмкости воды.

43. Кирпич размером $25 \times 12 \times 6$ см, нагретый до температуры кипения воды, положили в палатку объёмом 3 м^3, температура воздуха в которой была равна 10 °С. После установления теплового равновесия температура воздуха в палатке стала равной 20 °С. Какая часть отданного кирпичом количества теплоты передана воздуху в палатке? Удельная теплоёмкость кирпича 880 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$.

§ 3. Измерение удельной теплоёмкости. Уравнение теплового баланса

1. Измерение удельной теплоёмкости вещества

Расскажем, как измерить на опыте удельную теплоёмкость вещества. Для этого нам понадобится специальный прибор — *калориметр*[1)].

Лабораторный школьный калориметр состоит из двух стаканов, вставленных один в другой с небольшим зазором и накрытых крышкой (рис. 3.1).

Рис. 3.1

1. Зачем нужны воздушная прослойка между стаканами калориметра и крышка?

1) От латинского «калор» — тепло.

Ставим и решаем задачи

2. В калориметре находится 100 г воды при температуре 20 °С. В воду погружают только что вынутый из кипятка металлический цилиндр массой 200 г. После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра равна 44 °С. Теплопередачей между содержимым внутреннего стакана и окружающим воздухом можно пренебречь.

Обозначим начальную температуру воды $t_в$, начальную температуру металлического цилиндра $t_м$, а конечную температуру содержимого калориметра после установления теплового равновесия обозначим t.

а) Насколько *увеличилась* внутренняя энергия воды?

б) Насколько *уменьшилась* внутренняя энергия металлического цилиндра?

в) Чему равна удельная теплоёмкость металла, из которого изготовлен цилиндр?

г) Какой это может быть металл?

Похожая задача

3. В калориметр, содержащий 100 г воды при температуре 20 °С, опустили вынутый из кипятка медный цилиндр массой 200 г. Чему будет равна температура содержимого калориметра, когда в нём установится тепловое равновесие?

2. Уравнение теплового баланса

При измерении удельной теплоёмкости вещества мы воспользовались тем, что

если теплопередача происходит только между двумя телами, то количество теплоты Q_1, которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2, которое получает менее нагретое тело:

$$Q_1 = Q_2.$$

Это соотношение называют *уравнением теплового баланса*. Оно представляет собой запись *закона сохранения энергии в тепловых явлениях*.

Уравнение теплового баланса позволяет ставить и решать много различных задач.

Ставим и решаем задачи

4. В калориметр, содержащий 100 г воды при температуре 50 °С, долили 50 г воды при температуре 20 °С.

Обозначим t_1 начальную температуру воды в калориметре, а t_2 — температуру доливаемой воды. Конечную температуру в калориметре (когда в нём установится тепловое равновесие) обозначим t. Начальную массу воды в калориметре обозначим m_1, а массу доливаемой воды — m_2.

а) Используя уравнение теплового баланса, запишите уравнение с одним неизвестным t.
б) Запишите формулу, выражающую конечную температуру t через величины, заданные в условии.
в) Чему равна конечная температура воды в калориметре?

Похожая задача

5. Когда 10 л холодной воды при температуре 10 °С смешали с 25 л горячей воды, получили воду при температуре 50 °С. Чему равна температура горячей воды? Теплопередачей с другими телами можно пренебречь.

ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

3. Постановка и решение более трудных задач

Уравнение теплового баланса для процесса теплопередачи между двумя телами при установлении теплового равновесия между ними имеет вид

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

Здесь t_1 — начальная температура более нагретого тела, t_2 — начальная температура менее нагретого тела, t — их общая температура после установления теплового равновесия.

В написанную формулу входит *семь* физических величин. Это позволяет ставить и решать очень много задач.

6. Запишите уравнения, выражающие каждую из величин, входящих в написанную выше формулу, через остальные величины. Эти уравнения понадобятся вам при решении следующих задач.

7. Медный брусок приводят в контакт со свинцовым бруском. Через некоторое время между брусками устанавливается тепловое равновесие. Теплообменом с другими телами можно пренебречь. Поставьте по описанной ситуации несколько задач и решите их.

8. Медный брусок массой 2 кг с начальной температурой 30 °С привели в контакт с другим металлическим бруском, массой 0,65 кг при температуре 100 °С. После установления теплового равновесия общая температура брусков стала равной 60 °С. Из какого металла мог быть изготовлен другой брусок?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Если теплопередача происходит только между двумя телами, то количество теплоты Q_1, которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2, которое получает менее нагретое тело: $Q_1 = Q_2$. Это соотношение называют *уравнением теплового баланса*.

? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Базовый уровень

9. Почему явления, происходящие в калориметре, можно считать протекающими в теплоизолированной системе?

10. Кусок металла массой 200 г, взятый при температуре 20 °С, погрузили в кипяток массой 100 г. Какой это может быть металл, если в сосуде установилась температура 76 °С?

11. Какой объём кипятка надо долить в сосуд, содержащий 0,5 л воды при температуре 20 °С, чтобы температура воды в сосуде стала равной 80 °С? Теплообменом с окружающей средой можно пренебречь.

12. В калориметр налили одинаковые массы кипятка и воды, взятой при температуре 20 °С. Какова конечная температура воды?

13. После того, как в бак умывальника, содержащего некоторую массу воды при температуре 15 °С, долили 3 л кипятка, температура воды в баке стала равной 30 °С. Какой объём воды находился первоначально в баке умывальника? Теплообменом с окружающей средой можно пренебречь.

14. Алюминиевую деталь массой 0,2 кг поместили в калориметр, содержащий 80 г воды при 0 °С. После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра стала равной 100 °С. Какова была начальная температура детали?

Повышенный уровень

15. Объясните, почему уравнение теплового баланса является следствием закона сохранения энергии.

16. В калориметре смешали 1 л воды, взятой при температуре 10 °С, и 800 г кипятка. Чему равна конечная температура воды?

17. В детскую ванночку налили 20 л воды при температуре 20 °С. Какой объём кипятка надо долить в ванночку, чтобы температура воды стала равной 36 °С? Теплообменом с окружающим воздухом можно пренебречь.

18. Металлический шар массой 920 г вынули из кипятка и погрузили в воду массой 300 г при температуре 10 °С. В результате установления теплового равновесия температура воды поднялась на 20 °С. Из какого материала мог быть изготовлен шар?

19. В сосуд, содержащий некоторую массу воды при температуре 20 °С, поместили цилиндр такой же массы, вынутый из кипятка. После установления теплового равновесия температура содержимого сосуда стала равной 29,1 °С. Из какого материала мог быть изготовлен цилиндр? Примите, что тепловыми потерями можно пренебречь.

Высокий уровень

20. В чайник массой 0,88 кг, содержащий 1,9 л воды при температуре 20 °С, опустили нагретый до 100 °С алюминиевый брусок массой 650 г. После установления теплового равновесия температура содержимого чайника оказалась равной 25 °С. Из какого материала может быть изготовлен чайник? Теплообменом с окружающим воздухом можно пренебречь.

21. Сколько холодной и сколько горячей воды надо смешать, чтобы получить 100 л воды при температуре 36 °С? Темпе-

ратура холодной воды равна 10 °С, а температура горячей воды равна 60 °С. Теплообменом с другими телами можно пренебречь.

22. Какая температура установится в алюминиевом калориметре массой 100 г, содержащем воду массой 200 г при температуре 10 °С, после погружения в неё медного бруска массой 150 г при температуре 100 °С и установления теплового равновесия? Теплопобменом с другими телами можно пренебречь.

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

23. Налейте в кастрюлю 1 л холодной воды из-под крана. Измерьте её температуру. Осторожно налейте в эту кастрюлю из электрического чайника 0,5 л кипятка (воспользуйтесь шкалой на стенке чайника). Перемешайте воду в кастрюле и затем измерьте её температуру. Используя уравнение теплового баланса, определите, какая должна была бы быть температура воды в кастрюле, если бы можно было пренебречь теплопередачей между этой водой, кастрюлей и окружающим воздухом. Сделайте вывод из вашего опыта.

§ 4. Энергия топлива. Плавление и кристаллизация

1. Удельная теплота сгорания

При сгорании топлива выделяется количество теплоты Q, пропорциональное массе топлива m:

$$Q = qm.$$

Коэффициент пропорциональности q называют *удельной теплотой сгорания топлива*. Она численно равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании 1 кг топлива.

1. Докажите, что *единица удельной теплоты сгорания* — Дж/кг.

В справочных данных на форзаце учебника (под обложкой) приведены измеренные на опыте значения удельной теплоты сго-

рания для некоторых видов топлива. Обратите внимание на то, что эти значения выражаются в *миллионах* джоулей на килограмм (МДж/кг).

Чтобы наглядно представить «таящуюся» в топливе энергию, решим несколько простых задач.

2. Какое количество теплоты выделяется при сгорании 1 кг бензина? На какую высоту можно было бы поднять легковой автомобиль массой $m = 1$ т, совершив работу, численно равную этому количеству теплоты?

В некоторых задачах задают не массу жидкого топлива, а его *объём*.

3. Какое количество теплоты выделяется при сгорании 10 л бензина?

4. Какой объём бензина надо сжечь, чтобы выделилось количество теплоты, равное 1 МДж?

Обычно далеко не всё количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива, поглощается тем телом, которое требуется нагреть. Часть выделившегося количества теплоты «уходит» в окружающую среду, а также расходуется на нагревание других тел.

Отношение количества теплоты, затраченного на «полезное» нагревание, к количеству теплоты, выделившемуся при сгорании топлива (выраженное в процентах), называют *коэффициентом полезного действия* (*КПД*) *нагревателя*.

Ставим и решаем задачи

5. Чтобы довести на бензиновом примусе до кипения воду в полном трёхлитровом котелке, туристы сожгли 100 г бензина. Начальная температура воды 20 °С.

а) Какое количество теплоты сообщили воде в котелке, чтобы довести её до кипения?

б) Какое количество теплоты выделилось при сгорании 100 г бензина?

в) Какую часть количества теплоты выделившегося при сгорании бензина составляет количество теплоты, переданное воде в котелке (в процентах)?

Похожая задача

6. Какую массу сухих дров надо сжечь, чтобы нагреть на костре 5 л воды от 10 до 50 °С в алюминиевом котелке массой 0,5 кг? КПД костра как нагревателя примите равным 5 %.

2. Плавление

Все хорошо знают, что при температуре 0 °С лёд *тает*. Опыты показывают, что *любое* кристаллическое тело (в частности, любой металл) превращается в жидкость при нагревании до определённой температуры.

Переход вещества из кристаллического состояния в жидкое называют *плавлением*.

Температуру, при которой происходит плавление данного вещества, называют *температурой плавления* этого вещества.

Плавление льда часто называют *таянием*.

Значения температуры плавления для некоторых веществ приведены в справочных данных на форзаце. Обратите внимание на то, что среди этих температур есть и *отрицательные*!

7. Существует ли металл, температура плавления которого — отрицательная?

Если нагревать сосуд со льдом, измеряя при этом зависимость температуры t содержимого сосуда от переданного количества теплоты Q, мы получим график, приведённый на рисунке 4.1.

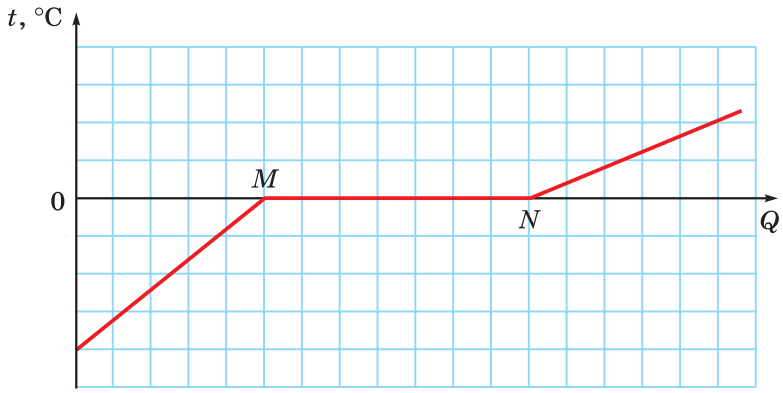

Рис. 4.1

8. Что обозначают на графике точки M и N?

9. Перенесите график в тетрадь, начертив *разными* цветами участки графика, которым соответствуют: а) только лёд; б) вода со льдом; в) только вода.

Как видно из графика, температура *воды со льдом* остаётся *неизменной*, пока весь лёд не растает.

Это постоянство температуры может показаться удивительным: ведь, сообщая воде со льдом некоторое количество теплоты, мы *увеличиваем* их суммарную внутреннюю энергию!

Чтобы понять это явление, вспомним, что внутренняя энергия — это сумма *кинетической* энергии хаотического движения частиц и *потенциальной* энергии их взаимодействия. При этом температура тела определяется средней *кинетической* энергией хаотического движения частиц.

До тех пор, пока весь лёд не растает, *вся* поступающая энергия «расходуется» только на увеличение *потенциальной* энергии взаимодействия молекул воды, обусловленное превращением льда в воду. Средняя же *кинетическая* энергия движения молекул остаётся при этом *постоянной* — вот почему температура смеси воды со льдом не изменяется до тех пор, пока *весь* лёд не растает.

Аморфные тела (например, стекло и смола), в отличие от кристаллических, *не имеют определённой температуры плавления*: при нагревании они размягчаются *постепенно*.

3. Удельная теплота плавления

Количество теплоты Q, которое надо сообщить взятому *при температуре плавления* кристаллическому телу, чтобы полностью расплавить его, пропорционально массе тела m:

$$Q = \lambda m.$$

Коэффициент пропорциональности λ называют *удельной теплотой плавления*.

10. Докажите, что *единицей удельной теплоты плавления* является Дж/кг. Мы видим, что она совпадает с единицей удельной теплоты сгорания топлива.

В справочных данных на форзаце учебника (под обложкой) приведены измеренные на опыте значения удельной теплоты плавления для некоторых веществ. Обратите внимание: эти значения выражаются в *тысячах* джоулей на килограмм (кДж/кг).

11. Какое количество теплоты надо сообщить свинцовому бруску массой 2 кг, взятому при температуре плавления свинца, чтобы полностью расплавить его?

12. Какое количество теплоты надо сообщить ледяному бруску массой 10 кг, взятому при –10 °С, чтобы растопить его полностью?

4. Кристаллизация

Хорошо известно, что вода при 0 °С начинает замерзать, то есть превращаться в лёд — *кристаллическое* состояние.

Переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое называют *кристаллизацией*. Кристаллизация вещества происходит при той же температуре, что и плавление этого вещества.

В процессе кристаллизации тепло не поглощается, а *выделяется*. При кристаллизации некоторой массы вещества *выделяется* количество теплоты, равное тому количеству теплоты, которое *поглощается* при плавлении такой же массы этого вещества.

13. Следствием какого закона природы является то, что при кристаллизации воды выделяется *такое же* количество теплоты, которое было поглощено при таянии льда той же массы?

14. В сосуд налили некоторую массу воды. На рисунке 4.2 приведён график зависимости температуры t содержимого сосуда от *отведённого* количества теплоты Q. Что обозначают на графике точки M и N? Перенесите график в тетрадь, но начертив *разными* цветами участки графика, которым соответствуют: а) только вода; б) вода со льдом; в) только лёд.

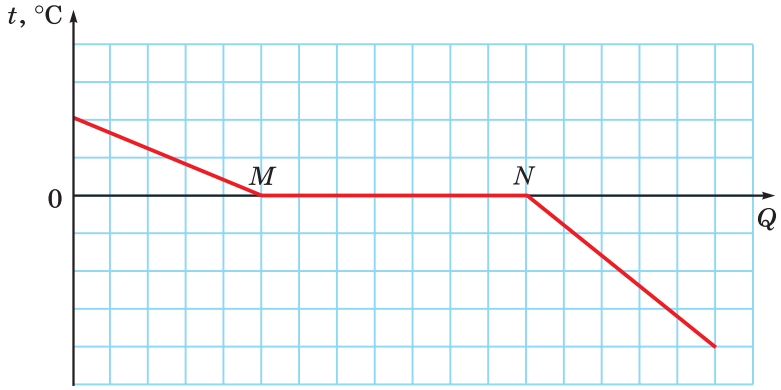

Рис. 4.2

Трудно представить себе: как при *замерзании* воды может *выделяться* тепло?

Дело в том, что количество теплоты, *выделяющееся* при замерзании воды, поглощают *более холодные* снег и воздух, находящиеся при температуре *ниже* 0 °С. Это в значительной степени *смягчает* морозы при наступлении зимы.

15. Какое свойство льда препятствует возникновению особенно больших наводнений весной, когда температура воздуха становится выше 0 °С?

16. Какую массу воды при температуре 0 °С надо добавить в калориметр, содержащий 200 г льда при температуре –16 °С, чтобы после установления теплового равновесия в калориметре находился только лёд при температуре 0 °С?

Обратите внимание: лёд, находившийся первоначально в калориметре, *нагрелся* от –16 °С до 0 °С, получив количество теплоты, *выделившейся* при кристаллизации долитой в калориметр воды!

ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

5. Кипяток из снега

Рассмотрим случай, когда надо найти объём топлива, вследствие сгорания которого происходит нагревание льда (в виде снега), его таяние и нагревание образовавшейся воды.

Ставим и решаем задачи

17. Туристы зимой хотят вскипятить 3 л воды в котелке при температуре 10 градусов мороза. В их распоряжении — снег и бензиновый примус. Примите, что на нагревание содержимого котелка пошло 40 % количества теплоты, выделившейся при сгорании бензина.

а) Какое количество теплоты надо сообщить 3 кг снега, чтобы нагреть его до 0 °С?

б) Какое количество теплоты надо сообщить 3 кг снега при 0 °С, чтобы полностью растопить его?

в) Какое количество теплоты надо сообщить 3 л воды при 0 °С, чтобы нагреть её до температуры кипения?

г) Какое количество теплоты надо сообщить 3 кг снега, взятого при начальной температуре, чтобы получить 3 л кипятка?

д) Какое количество теплоты должно выделиться при сгорании бензина, если 40 % от этого количества теплоты пошло на нагревание 3 кг снега, его таяние и нагревание образовавшейся воды до 100 °С?

е) Какой объём бензина надо сжечь, чтобы выделилось такое количество теплоты?

Похожая задача

18. Чтобы полностью расплавить алюминиевый брусок, взятый при 60 °С, сожгли 1 кг угля. При этом алюминию было сообщено 60 % количества теплоты, выделившейся при сгорании угля. Чему равна масса бруска?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива, находят по формуле $Q = qm$, где m — масса тела, q — *удельная теплота сгорания* данного топлива.
- *Плавлением* называют переход вещества из кристаллического состояния в жидкое. Температуру, при которой происходит плавление, называют *температурой плавления* данного вещества.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы полностью расплавить кристаллическое тело, взятое при его температуре плавления, находят по формуле $Q = \lambda m$, где m — масса тела, λ — *удельная теплота плавления*.
- *Кристаллизацией* называют переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое. Кристаллизация происходит при той же температуре, что и плавление.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Базовый уровень

19. Что характеризует удельная теплота сгорания топлива: тело или вещество? Используя справочные данные, приведённые на форзаце учебника, определите, какое из указанных там веществ имеет наименьшую удельную теплоту сгорания, а какое — наибольшую.

20. Что больше: количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании сухих дров массой 2 кг или при сгорании такой же массы спирта? Во сколько раз больше?

21. Какую массу бытового газа надо сжечь, чтобы выделилось количество теплоты, равное 18 МДж?

22. Сколько энергии выделится при полном сгорании смеси 0,5 кг спирта и в 5 раз большей массы бензина? На какую высоту можно было бы поднять гружёный вагон массой 70 т, совершив работу, численно равную этой энергии?

23. Какой объём бензина надо сжечь, чтобы получить такое же количество теплоты, как при сгорании 1 кг каменного угля?

24. Что характеризует удельная теплота плавления: тело или вещество? Обоснуйте свой ответ.

25. Если лёд занести с мороза в комнату, то таять он начинает не сразу. Объясните, почему.

26. Расскажите о плавлении кристаллических тел и приведите примеры. Объясните, почему нельзя говорить о *плавлении* аморфных тел.

27. Всегда ли верно утверждение: «Если передать телу некоторое количество теплоты, его температура обязательно повысится»? Ответ обоснуйте.

28. Какое количество теплоты надо сообщить алюминиевому бруску массой 500 г, взятому при температуре плавления, чтобы полностью расплавить его?

29. Какую массу серебра можно расплавить, передав ему количество теплоты, равное 31,5 кДж, если первоначально серебро находилось при температуре плавления?

30. Расскажите о кристаллизации. При какой температуре происходит этот процесс?

31. Постройте в тетради примерный график зависимости температуры t куска олова от переданного ему количества теплоты Q, если в начальном состоянии он находился при температуре ниже температуры плавления олова, а в конечном состоянии всё олово расплавилось.

32. Какое количество теплоты выделится при кристаллизации свинца массой 100 г?

Повышенный уровень

33. Какой объём воды можно нагреть от 14 до 50 °С, если сжечь 10 г спирта? Примите, что потерями тепла можно пренебречь.

34. Какой объём бензина надо сжечь, чтобы нагреть 10 л воды от 20 до 100 °С, если КПД нагревателя 50 %?

35. На рисунке 4.3 изображён график зависимости температуры t некоторого вещества, первоначально находившегося в твёрдом состоянии, от переданного ему количества теплоты Q. Скорость передачи количества теплоты в течение всего процесса *одинакова*. Каким процессам соответствуют участки графика AB, BC и CD? Чему равна начальная температура вещества? При какой температуре данное вещество плавится? Какое

это может быть вещество? Почему участки AB и CD имеют разный наклон?

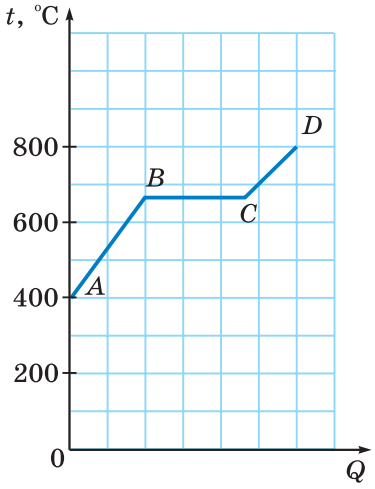

Рис. 4.3

36. Объясните, почему растут сосульки, если температура таяния льда и кристаллизации воды одинакова.

37. Какое количество теплоты надо сообщить льду массой 3 кг, взятому при температуре плавления, чтобы растопить лёд и образовавшуюся из него воду нагреть до 20 °С?

38. В калориметр, содержащий 0,5 кг льда при температуре плавления, налили некоторую массу кипятка. После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра стала равной 10 °С. Чему равна масса кипятка?

39. Медный цилиндр массой 200 г, взятый при температуре 300 °С, положили в калориметр, содержащий мокрый снег. После установления теплового равновесия в калориметре были медный цилиндр и вода при температуре 0 °С. Чему равна масса воды? Примите, что мокрый снег содержал 50 % воды (по массе).

40. Какую массу льда при температуре –10 °С надо положить в калориметр, содержащий 100 г воды при температуре 0 °С, чтобы после установления теплового равновесия в калориметре находился только лёд при температуре 0 °С?

41. Какую массу керосина надо сжечь, чтобы получить 15 л воды при температуре 20 °С из снега, взятого при температуре –40 °С? КПД нагревателя равен 40 %.

Высокий уровень

42. В старом медном чайнике массой 0,5 кг нагревают 2 л воды, сжигая для этого 50 г спирта. До какой температуры нагреется вода, если её начальная температура равна 10 °С? КПД горелки равен 50 %.

43. Чему равна начальная температура 10 л воды в алюминиевом ведре массой 900 г, если для доведения воды до кипения израсходовали 200 г бытового газа, а КПД горелки равен 40 %?

44. Для восстановления льда катка его рекомендуют поливать горячей водой. Почему?

45. В калориметр поместили 1 кг льда и 1 л воды. Какова начальная температура льда, если начальная температура воды 3 °С, а в результате установления теплового равновесия масса льда увеличилась на 50 г?

46. На рисунке 4.4 приведён график зависимости температуры от времени для некоторого тела, которое в начальный момент находилось в твёрдом состоянии. Рассчитайте удельную теплоёмкость вещества в жидком состоянии и удельную теплоту плавления. Удельная теплоёмкость вещества в твёрдом состоянии равна 400 Дж/(кг · °С); каждую секунду тело получало одно и то же количество теплоты.

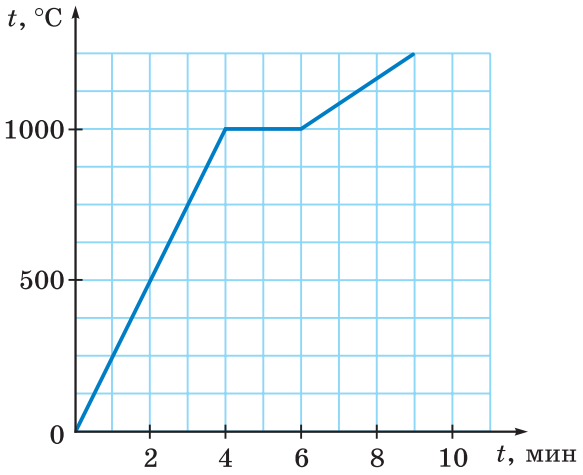

Рис. 4.4

47. Какой объём кипячёной воды смогут получить полярники из льда, взятого при температуре –20 °С, если на нагревание воды в котелке пошло 40 % количества теплоты, выделившейся при сгорании 100 г бензина?

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

48. Исследуйте в домашних условиях: остаётся ли температура воды со льдом постоянной до тех пор, пока весь лёд не растает? Опишите ваш опыт и проиллюстрируйте его фотографиями.

§ 5. Парообразование и конденсация. Испарение и кипение

1. Парообразование и конденсация

Поставим опыт

Из носика кипящего чайника вырывается белёсая струя, которую иногда ошибочно называют паром (рис. 5.1).

Рис. 5.1

На самом деле это не пар, а *туман*, состоящий из крошечных капелек воды. Вода в этих капельках испытала «двойное превращение»: при кипении вода превратилась в *невидимый* пар, а пар, вылетев из чайника, в результате охлаждения *почти* сразу превратился снова в воду.

Мы выделили слово «почти» потому, что, если внимательно присмотреться, можно заметить, что возле самого носика есть «просвет» — именно в этой области и находится водяной пар!

Водяной пар — это газообразное состояние воды. Он так же невидим, как и воздух. Более того, в окружающем нас воздухе всегда содержится водяной пар.

Превращение жидкости в пар называют *парообразованием*, а превращение пара в жидкость — *конденсацией*.

1. Где в рассмотренном примере происходит парообразование — в чайнике или вне его? Где происходит конденсация воды?
2. Когда человек выдыхает на морозе, из рта вылетает небольшое «облачко». Это водяной пар или туман?
3. Расскажите о явлениях парообразования и конденсации в процессе «круговорота воды в природе», знакомого вам из курсов естествознания и географии.

В процессе парообразования может превращаться в пар *любая* жидкость, не только вода.

2. Испарение

Парообразование, происходящее с *поверхности* жидкости, называют *испарением*. Например, вследствие испарения высыхают лужи, образовавшиеся во время дождя.

Что же заставляет молекулы воды вылетать из неё в процессе испарения?

Дело в том, что температура жидкости определяет только *среднюю* скорость молекул: на самом деле скорости различных молекул жидкости при их хаотическом движении *не одинаковы*.

Поэтому вблизи поверхности жидкости в любой момент есть такие молекулы, скорость которых настолько велика, что они могут «вырваться» из жидкости, преодолев притяжение соседних молекул. Чем выше температура жидкости, тем больше таких молекул, поэтому

при повышении температуры скорость испарения жидкости увеличивается.

Достаточно «быстрые» молекулы есть в жидкости при любой температуре, поэтому

испарение жидкости происходит при *любой* температуре.

4. Почему для ускорения высыхания влажной ткани её кладут на горячую батарею отопления или гладят горячим утюгом?

Выйдя после купания из воды, мы ощущаем *прохладу*. Это свидетельствует о том, что

вследствие испарения жидкость *охлаждается*.

Если вы вспомните, что в процессе испарения жидкость покидают наиболее быстрые молекулы, то легко сможете ответить на следующий вопрос.

5. Почему при испарении жидкость охлаждается?

6. Почему вода в открытом стакане высыхает в течение нескольких дней и даже недель, а мокрый пол высыхает за считаные минуты?

7. Почему влажное бельё развешивают для просушки?

8. Почему чай остывает быстрее, если его перелить из чашки в блюдце?

Скорость испарения при одной и той же температуре у разных жидкостей различна. Например, растительное масло испаряется намного медленнее, чем вода, а бензин — намного быстрее, чем вода.

3. Кипение

Поставим опыт

Если поставить кастрюлю с водой на включённую плиту, то через некоторое время у дна кастрюли появятся пузырьки: это в основном воздух, выделившийся из воды при нагревании (в воде всегда есть немного растворённого в ней воздуха).

Оболочка каждого такого пузырька представляет собой поверхность воды. Поэтому внутрь пузырьков будет испаряться вода. Пузырьки наполняются водяным паром и начинают *всплывать* (рис. 5.2; в кружке́ показаны пузырьки у дна в увеличенном размере).

Рис. 5.2

9. Почему пузырьки начинают всплывать?

Всплывая, пузырьки попадают в менее нагретые слои воды — ведь она нагревается от горячего дна кастрюли. Водяной пар в пузырьках сразу конденсируется, превращаясь в воду, и пузырьки схлопываются, не успев достигнуть поверхности жидкости. Схлопывание пузырьков порождает характерный шум, предшествующий кипению.

Рис. 5.3

Когда вода прогревается настолько, что пузырьки с паром достигают поверхности воды, она *закипает*: парообразование теперь происходит *во всём объёме* жидкости, а не только с её верхней поверхности. Это особенно хорошо заметно, если наблюдать за кипением воды в прозрачном чайнике (рис. 5.3).

10. Почему перед закипанием воды чайник перестаёт «шуметь»?

Кипение жидкости происходит при определённой температуре, которую называют *температурой кипения* данной жидкости.

Температура кипения увеличивается при увеличении давления. Например, при нормальном атмосферном давлении температура кипения воды равна 100 °С, а при вдвое большем давлении вода кипит при температуре 120 °С. Кипение воды при повышенном давлении (и поэтому при более высокой температуре) используют для ускорения варки продуктов в скороварке, а также стерилизации медицинских инструментов в специальных аппаратах — автоклавах.

11. Увеличится ли температура воды в кипящей кастрюле, стоящей на газовой плите, если увеличить огонь под ней? Если нет, то к чему приведёт увеличение огня?

12. Изобразите примерный вид графика зависимости температуры содержимого сосуда с водой от переданного ему количества теплоты. Примите, что начальная температура воды 20 °С, вода нагревается до температуры кипения, и, когда она вся выкипает, подвод тепла прекращается.

4. Удельная теплота парообразования

Мы уже знаем, что при испарении жидкость охлаждается, потому что её покидают наиболее быстрые молекулы. Чтобы температура жидкости при испарении оставалась *постоянной*, к ней надо ежесекундно подводить некоторое количество теплоты.

На что же расходуется подводимая к жидкости энергия, если *температура* жидкости и находящегося над ней пара при этом *не изменяется*, то есть средняя *кинетическая* энергия молекул остаётся *постоянной*?

Она расходуется на *разрыв межмолекулярных связей*: ведь для того, чтобы «оторвать» притягивающиеся молекулы жидкости друг от друга, необходимо совершить работу.

Количество теплоты Q, необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, пропорционально массе жидкости m, поэтому

$$Q = Lm.$$

Коэффициент пропорциональности L называют *удельной теплотой парообразования*.

13. Докажите, что *единицей удельной теплоты парообразования* является Дж/кг.

В справочных данных на форзаце учебника (под обложкой) приведены измеренные на опыте значения теплоты парообразования для некоторых веществ. Обратите внимание на то, что эти значения выражаются в *тысячах* джоулей на килограмм (кДж/кг).

14. Какое количество теплоты необходимо сообщить одному литру воды, взятому при 100 °С, чтобы превратить всю воду в пар?

Ответ этой задачи раскрывает физический смысл удельной теплоты парообразования: она численно равна количеству теплоты, которое надо сообщить 1 кг жидкости, чтобы всю её превратить в пар.

15. Выделяется ли при конденсации пара *такое же* количество теплоты, какое поглощается при испарении такой же массы жидкости? Обоснуйте свой ответ.

5. Насыщенный и ненасыщенный пар

Из *открытой* банки вода постепенно испарится, но если банку плотно *закрыть*, то вода будет сохраняться в ней сколь угодно долго. Как это объяснить? Ведь в закрытой банке тоже идёт процесс испарения, потому что в воде всегда есть «быстрые» молекулы, способные вырваться из «объятий» соседей-молекул.

Дело в том, что молекулы воды не только *вылетают* из воды, но и *влетают* в воду, потому что в воздухе всегда содержится водяной пар. Таким образом, одновременно с *испарением* жидкости всегда происходит и её *конденсация*. Молекулы, вылетевшие из воды в открытой банке, могут удалиться от неё на большое расстояние, а молекулы, вылетевшие из воды в закрытой банке, полетав над водой, через некоторое время неизбежно снова влетят в воду.

16. Идут ли процессы испарения и конденсации в *закрытой* банке с *одинаковой* скоростью?

Когда процессы испарения и конденсации идут с *одинаковой* скоростью, говорят, что над жидкостью находится *насыщенный пар*. Итак, в закрытой банке с водой над поверхностью воды находится насыщенный пар.

Над поверхностью же воды в открытой банке находится *ненасыщенный* пар, поэтому процесс конденсации идёт медленнее,

чем процесс испарения. В результате уровень воды постепенно понижается.

17. Почему, если дуть на горячий чай, он остывает быстрее?

6. Влажность воздуха

Содержание водяного пара в воздухе характеризуют физической величиной, которую называют *относительной влажностью воздуха* и обозначают φ. Она равна выраженному в процентах отношению давления[1)] водяного пара $p_п$ к давлению насыщенного водяного пара $p_н$ *при той же температуре*:

$$\varphi = \frac{p_п}{p_н} \cdot 100\ \%.$$

18. Чему равна относительная влажность воздуха, содержащего насыщенный водяной пар?

19. Будут ли высыхать лужи, если относительная влажность воздуха равна 100 %?

20. Чему равна относительная влажность воздуха, если давление содержащегося в нём водяного пара в 2 раза меньше давления насыщенного водяного пара при той же температуре?

Комфортной для человека является относительная влажность 50—60 %. Если она меньше, воздух кажется нам сухим, а если больше — сырым.

Относительную влажность воздуха измеряют следующими приборами.

Волосяной гигрометр. Его действие основано на том, что длина волоса немного изменяется при изменении влажности воздуха. При изменении длины волос поворачивает на некоторый угол стрелку прибора.

Психрометр (рис. 5.4). При его использовании влажность воздуха определяют по *двум* величинам: по

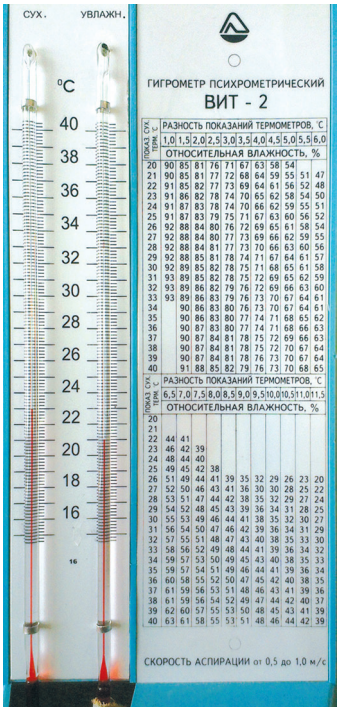

Рис. 5.4

1) Речь идёт о так называемом *парциальном* давлении пара, то есть давлении пара, которое было бы в том случае, если бы других газов не было.

показаниям сухого термометра и по разности показаний сухого и влажного термометров. При этом используют *психрометрическую таблицу*, расположенную обычно на самом приборе.

Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С					
	0	1	2	3	4	5
	Относительная влажность, процент					
15	100	90	80	71	61	52
16	100	90	81	71	62	54
17	100	90	81	72	64	55
18	100	91	82	73	65	56
19	100	91	82	74	65	58
20	100	91	83	74	66	59
21	100	91	83	75	67	60
22	100	92	83	76	68	61
23	100	92	84	76	69	61
24	100	92	84	77	69	62
25	100	92	84	77	70	63
26	100	92	85	78	71	64
27	100	92	85	78	71	65
28	100	93	85	78	72	65
29	100	93	86	79	72	66
30	100	93	86	79	73	67

Чтобы определить относительную влажность с помощью психрометрической таблицы, поступают следующим образом.

- Используя левый столбец, находят строку, в которой указаны показания *сухого* термометра. В приведённой таблице для примера выделена цветом строка, соответствующая 22 °С.

- Используя показания влажного термометра, находят столбец, в котором указана *разность* показаний сухого и влажного термометров в данном помещении. Например, если влажный термометр показывает 17 °С, эта разность равна 5 °С. В приведённой таблице этот столбец тоже выделен цветом.

• В ячейке, находящейся *на пересечении* найденных строки и столбца, прочитывают значение относительной влажности воздуха в помещении. В нашем случае в этой ячейке указана относительная влажность, равная 61 %.

21. Чему равна относительная влажность воздуха в помещении, в котором находится психрометр, изображённый на рисунке 5.4?

22. О чём «говорит» столбец психрометрической таблицы, в котором все числа одинаковы?

23. Что произойдёт при охлаждении воздуха, содержащего насыщенный водяной пар? Останется ли этот пар насыщенным?

При понижении температуры воздуха давление содержащегося в нём водяного пара уменьшается, однако при этом давление насыщенного пара уменьшается намного быстрее. Поэтому из формулы, определяющей относительную влажность воздуха, следует, что *при понижении температуры влажность воздуха увеличивается*.

24. Почему наиболее обильная роса появляется обычно на рассвете?

ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

7. Кипение воды при комнатной температуре

25. Альпинисты знают, что сварить мясо высоко в горах очень трудно. Почему?

Поставим опыт

Поставим под колокол разрежающего насоса стакан с водой. Включим насос и будем наблюдать за водой в стакане.

Через некоторое время мы увидим, что в ней появляются такие же пузырьки, как в закипающем чайнике. А ещё через некоторое время вода *закипит*!

26. В описанном выше опыте вода охлаждается и может даже превратиться в лёд. Как это объяснить?

8. Опреснение морской воды

В морях и океанах очень много морской воды. Но человек не может её пить, потому что она слишком солёная. Самый простой и поэтому самый распространённый способ получить из солёной морской воды *пресную* воду, то есть воду, не содержащую избыточного количества соли, состоит в следующем.

Воду нагревают до кипения и кипятят, пока вся она не превратится в пар. При последующем охлаждении этот пар *конденсируется*, превращаясь уже в *пресную* воду. Содержащаяся же в морской воде соль остаётся в сосуде, в котором кипятили воду. Морскую соль не выбрасывают, а собирают и продают — например, в аптеках. Купив пачку морской соли, можно дома принимать полезные для здоровья ванны из «морской» воды.

Ставим и решаем задачи

27. Для опреснения 1000 л воды, взятой при температуре 20 °С, её нагревают и кипятят, сжигая дизельное топливо. КПД нагревателя равен 40 %.

а) Какое количество теплоты надо сообщить воде, чтобы нагреть её до температуры кипения?

б) Какое количество теплоты надо сообщить воде при температуре кипения, чтобы превратить всю эту воду в пар?

в) Какое количество теплоты надо сообщить воде при начальной температуре, чтобы всю её превратить в пар при 100 °С?

г) Какое количество теплоты должно выделиться при сгорании топлива, чтобы 40 % этого количества теплоты хватило для превращения в пар всей воды, взятой при начальной температуре?

д) Какую массу дизельного топлива надо сжечь, чтобы выделилось такое количество теплоты?

Похожая задача

28. Туристы оказались на берегу моря вдали от источников пресной воды. Но они не растерялись и придумали, как собрать почти весь водяной пар, образующийся при кипении морской воды, чтобы, сконденсировав его, получить пресную воду. У туристов есть примус и 3 л бензина. КПД примуса как нагревателя равен 40 %. Температура морской воды 22 °С. Сколько литров пресной воды смогут получить туристы?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- *Парообразованием* называют превращение жидкости в пар, а *конденсацией* — превращение пара в жидкость.
- При *испарении* парообразование происходит с поверхности жидкости. Испарение происходит при любой температуре. При повышении температуры скорость испарения увеличивается.
- При *кипении* парообразование происходит внутрь пузырьков во всём объёме жидкости. Кипение происходит при определённой температуре, которую называют *температурой кипения* данной жидкости. При увеличении давления температура кипения повышается, а при уменьшении давления — понижается.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, выражается формулой $Q = Lm$, где m — масса жидкости, L — *удельная теплота парообразования*.
- *Влажность воздуха* характеризует содержание водяного пара в воздухе. Если водяной пар является насыщенным, то влажность воздуха равна 100 %. Комфортные условия для человека соответствуют влажности 50—60 %.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ[1)]

Базовый уровень

29. Какой суп, налитый в две одинаковые тарелки, остынет быстрее и почему: постный или жирный?

30. Почему скошенная трава быстрее сохнет в ветреную погоду?

31. Расскажите, в чём состоит отличие процессов испарения и кипения.

32. Расскажите о явлениях, которые можно наблюдать при нагревании воды непосредственно перед тем, как она закипает. Объясните эти явления.

33. Выделяется или поглощается некоторое количество теплоты при конденсации, кипении и испарении? Обоснуйте свой ответ.

1) В задачах к этому параграфу под температурой кипения подразумевается температура кипения при нормальном атмосферном давлении (если иное не оговорено).

34. Расскажите об удельной теплоте парообразования. Что она характеризует: тело или вещество?

35. Какую массу воды, взятой при температуре кипения, можно превратить в пар, сообщив воде количество теплоты, равное 4,6 кДж?

36. Какая масса водяного пара, взятого при температуре кипения воды, превратилась в воду, сконденсировалась, если при этом выделилось количество теплоты, равное 11,5 МДж?

37. По графику зависимости температуры t некоторой жидкости от переданного ей количества теплоты Q (рис. 5.5) определите: а) при какой температуре жидкость кипит; б) какая это может быть жидкость?

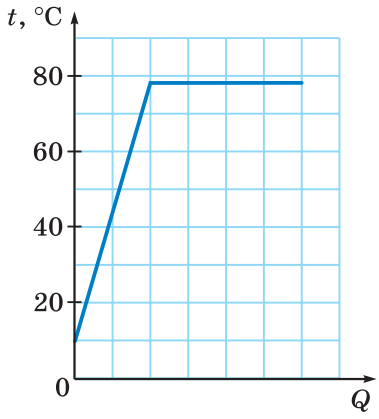

Рис. 5.5

38. Относительная влажность воздуха составляет 80 %. Чему равно отношение давления содержащегося в воздухе водяного пара к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре?

Повышенный уровень

39. Какое количество теплоты надо сообщить 5 кг воды, взятой при температуре 0 °С, чтобы нагреть её до температуры кипения и превратить всю в пар?

40. Лёд, взятый при температуре –20 °С превратили в пар при температуре 100 °С. Какое количество теплоты понадобилось для этого, если масса льда равна 3 кг?

41. В калориметр, содержащий 100 г льда при 0 °С, впустили некоторую массу пара при температуре 100 °С. После установления теплового равновесия в калориметре была вода при температуре 0 °С. Чему равна масса пара?

42. Для опреснения 1 л воды, взятой при температуре 25 °С, её вскипятили, сжигая для этого дизельное топливо. Какую массу дизельного топлива надо сжечь, если КПД нагревателя равен 40 %?

43. Каковы показания сухого термометра психрометра, если влажность воздуха 70 %, а разность показаний сухого и влажного термометра составляет 4 °С?

Высокий уровень

44. На рисунке 5.6 изображены графики зависимости температуры двух равных масс разных жидкостей от переданного им количества теплоты. Самая правая точка каждого графика соответствует моменту, когда соответствующая жидкость полностью превратилась в пар. Определите, у какой жидкости:
а) удельная теплоёмкость больше;
б) температура кипения выше;
в) удельная теплота парообразования больше.

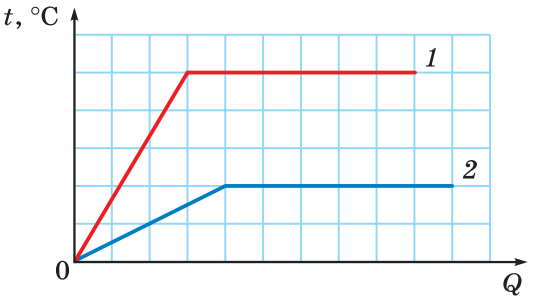

Рис. 5.6

45. В калориметр, содержащий некоторую массу воды, впустили пар, взятый при температуре кипения воды. После установления теплового равновесия в калориметре находится вода при температуре 60 °C. Чему была равна начальная температура воды, если её масса была в 25 раз больше начальной массы пара?

46. В лёгкую кастрюлю налили воду при температуре 10 °C и поставили на горелку. Через 10 мин вода закипела. Через какой промежуток времени после момента закипания вода выкипит полностью? Считайте, что кастрюле с её содержимым ежесекундно передаётся одно и то же количество теплоты.

47. Кусок льда массой 2 кг, взятый при температуре –5 °C, кладут в котелок и вешают над костром. Какую массу сухих дров сожгли к моменту, когда в котелке остался 1 л кипятка? Примите, что содержимому котелка передавалось 20 % количества теплоты, выделившегося при сгорании дров.

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

48. Наполните пластиковую бутылку горячей водой из-под крана, переверните её вверх дном и вылейте воду. *Сразу же* плотно завинтите крышку бутылки (желательно, чтобы крышка была именно от этой бутылки). Опишите и объясните наблюдаемые явления, проиллюстрируйте их фотографиями.

§ 6. Тепловые двигатели

1. Паровая турбина

Как вы знаете из курса истории, промышленная революция произошла благодаря появлению тепловых двигателей. Мощность этих двигателей многократно превосходила мощность человека.

Тепловой двигатель — это устройство, в котором внутренняя энергия топлива частично превращается в механическую энергию.

Познакомимся с принципами действия некоторых тепловых двигателей.

Поставим опыт

Сделаем простейшую модель *паровой турбины* (рис. 6.1). Под колбой с кипящей водой находится горящая спиртовка. Роль паровой турбины играет колесо с лопастями.

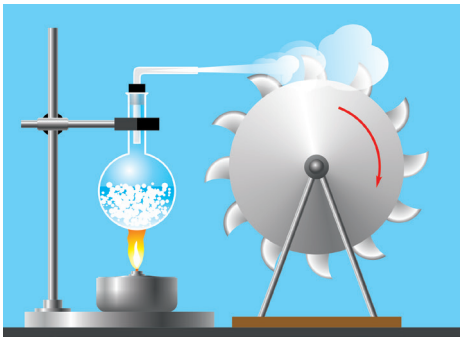

Рис. 6.1

1. Какая сила действует на лопасти колеса?
2. Внутренняя энергия какого тела уменьшается при работе модели турбины?
3. В какую энергию частично превращается внутренняя энергия топлива?
4. Энергия вращающегося колеса — кинетическая или потенциальная?
5. Почему на рисунке выходящая из трубки струя показана видимой, хотя водяной пар невидим?

Огромные паровые турбины (рис. 6.2) используют на тепловых электростанциях. Они вращают генераторы электрического тока. В следующей главе мы расскажем о принципе их действия.

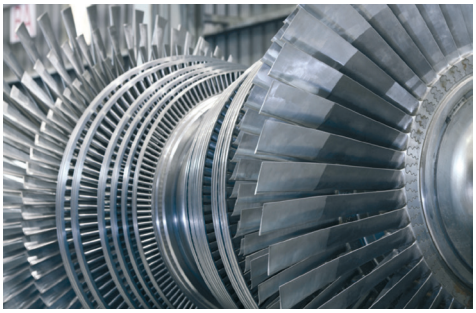

Рис. 6.2

На лопасти паровых турбин направляют мощную струю водяного пара под давлением, которое в сотни раз больше нормального атмосферного давления.

2. Реактивный двигатель

Поставим опыт

На рисунке 6.3 изображена простейшая модель *реактивного двигателя*. Из колбы с кипящей водой выходит струя пара. В результате тележка начинает двигаться со скоростью, направленной *противоположно* струе пара.

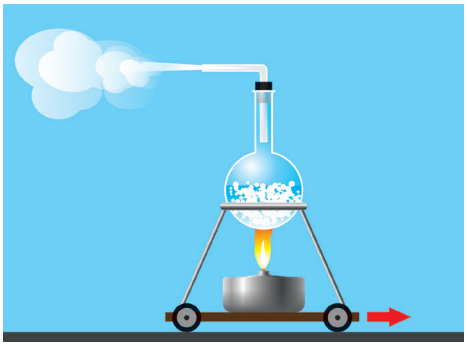

Рис. 6.3

Тележка приобретает скорость вследствие того, что прикреплённая к ней колба *отбрасывает* с некоторой скоростью струю пара.

Движение, возникающее вследствие того, что тело отбрасывает с некоторой скоростью свою часть, называют *реактивным* движением.

6. Внутренняя энергия какого тела уменьшается при работе модели реактивного двигателя?

7. В какую энергию превращается внутренняя энергия топлива?

8. Энергия тележки с колбой — кинетическая или потенциальная?

9. Предложите, как можно увеличить скорость тележки.

Реактивный двигатель может работать даже в космосе, поэтому ракетные двигатели устанавливают на *космических кораблях*. Космический корабль несёт с собой то, от чего он будет отталкиваться в полёте — это его топливо. Вот почему масса космического корабля на старте во много раз превосходит массу полезного груза.

Первым предложил использовать реактивные двигатели для освоения космоса с помощью ракет русский учёный и изобретатель *К. Э. Циолковский*. Запуск первого искусственного спутника Земли и первый полёт человека в космос были осуществлены именно на родине Циолковского. И сегодня в России производят лучшие в мире реактивные двигатели для космических ракет. На рисунке 6.4 — один из современных российских космических кораблей.

К. Э. Циолковский (1857—1935)

Рис. 6.4

Самые быстрые самолёты оснащены именно реактивными двигателями. Благодаря им самолёты могут развивать скорость, в несколько раз превосходящую скорость звука в воздухе.

3. Двигатель внутреннего сгорания

Наиболее распространённый сегодня тепловой двигатель — это *двигатель внутреннего сгорания*. Такие двигатели устанавливают, например, на автомобилях[1]. Название двигателя обусловлено тем, что при его работе топливо сгорает *внутри* двигателя. В качестве топлива используют бензин, дизельное топливо или газ.

На рисунках 6.5, *а—г* подробно показана схема работы одного из типов двигателей внутреннего сгорания.

Топливо сгорает в *цилиндре* с *поршнем*, соединённым посредством передаточных механизмов с ведущими колёсами автомобиля.

Через один клапан в цилиндр поступает горючая смесь, а через другой клапан продукты сгорания топлива выбрасываются в окружающий воздух. Увы, этим загрязнённым воздухом мы дышим: такова «плата» за удобство и скорость, которые даёт автомобиль.

При работе двигателя многократно повторяется один и тот же *цикл*, состоящий из нескольких *тактов*. Мы рассмотрим работу наиболее распространённого *четырёхтактного* двигателя.

Первый такт — *впуск* (рис. 6.5, *а*). В цилиндр через один из клапанов всасывается горючая смесь.

Второй такт — *сжатие* (рис. 6.5, *б*). При обоих закрытых клапанах поршень сжимает горючую смесь, в результате чего она нагревается.

Третий такт — *рабочий ход* (рис. 6.5, *в*). В цилиндре с закрытыми клапанами зажигается искра от электрической системы автомобиля. Она воспламеняет горючую смесь, в результате чего температура резко возрастает и давление в цилиндре во много раз увеличивается. Большая сила давления толкает поршень, а он передаёт это движение ведущим колёсам автомобиля.

Четвёртый такт — *выпуск* (рис. 6.5, *г*). Продукты сгорания выбрасываются в окружающий воздух через открывающийся клапан.

В двигателях современных автомобилей устанавливают несколько цилиндров.

Двигатели внутреннего сгорания способны развивать довольно большую мощность при небольших размерах и массе двигателя.

10. Как надо согласовывать такты цикла в различных цилиндрах в двигателе, который имеет четыре цилиндра?

[1] Кроме электромобилей, которые не получили ещё широкого применения.

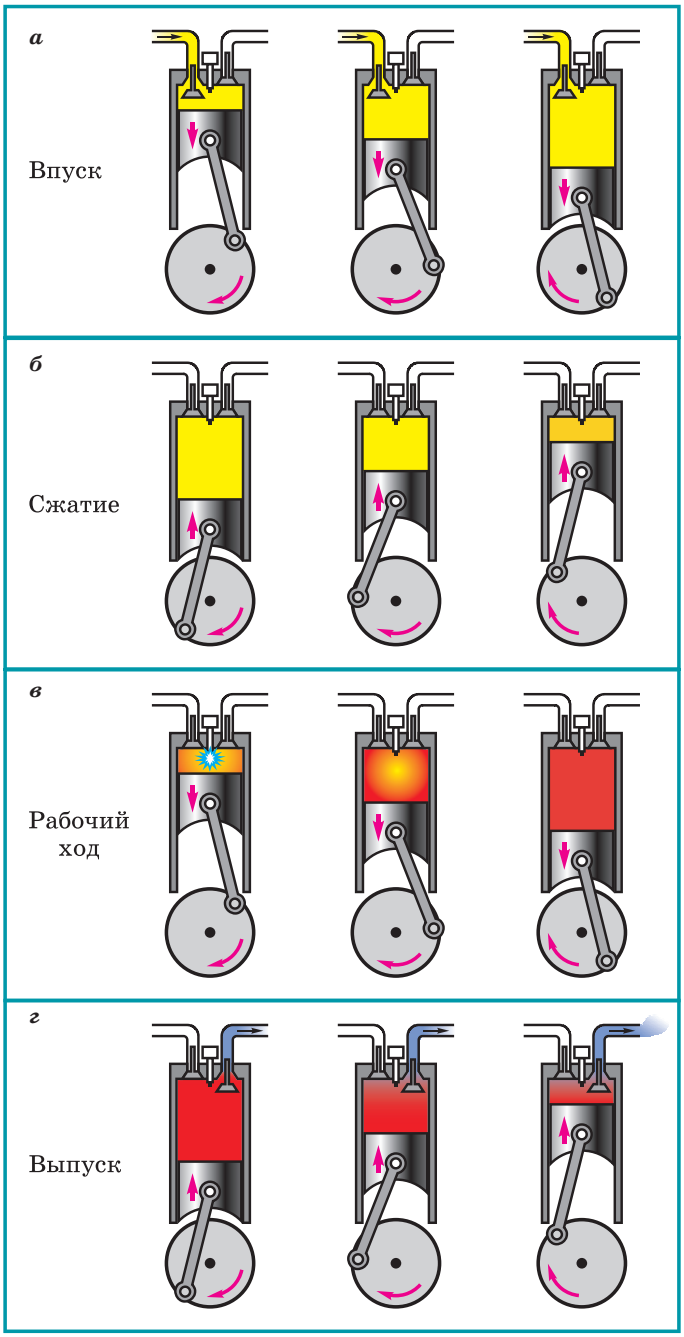

Рис. 6.5

4. КПД теплового двигателя

Даже в лучших современных тепловых двигателях далеко не всё количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива, превращается в механическую энергию. Значительное количество теплоты передаётся окружающей среде.

Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют выраженное в процентах отношение работы A, совершённой двигателем, к количеству теплоты Q, выделившемуся при сгорании топлива:

$$\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\ \%.$$

11. Почему коэффициент полезного действия *любого* теплового двигателя меньше 100 %? Обоснуйте свой ответ.

Коэффициент полезного действия тепловых двигателей со времени их изобретения удалось увеличить в десятки раз. КПД двигателей современных автомобилей составляет от 25 до 40 %. КПД лучших современных паровых турбин доходит до 50 %.

12. Совершённая тепловым двигателем работа в 4 раза меньше, чем количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива при работе двигателя. Чему равен КПД этого двигателя?

13. Чему равен КПД двигателя внутреннего сгорания, если при мощности 20 кВт сжигается 7 л бензина в час?

5. Тепловые двигатели и защита окружающей среды

При работе тепловых двигателей в окружающую среду выделяется большое количество теплоты и выбрасывается значительная масса продуктов сгорания топлива. Борьба с вредными последствиями работы тепловых двигателей ведётся в нескольких направлениях.

Во-первых, *совершенствуют тепловые двигатели*, чтобы получать ту же механическую энергию при сжигании меньшего количества топлива.

Во-вторых, используют *энергосберегающие технологии*, благодаря которым потребление энергии на производство той же продукции (например, автомобиля) можно уменьшить в несколько раз.

В-третьих, используют источники энергии, в которых *не сжигают топливо*. Это гидроэлектростанции, атомные электростанции, солнечные батареи, ветровые электростанции и т. д.

ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

6. Расход бензина на 100 км пробега автомобиля

Ставим и решаем задачи

14. Автомобиль едет со скоростью 72 км/ч. При этом сила тяги двигателя равна 500 Н. КПД двигателя 25 %.

а) Чему равна развиваемая двигателем мощность?
б) Чему равна совершённая двигателем работа за время, в течение которого автомобиль проехал 100 км?
в) Чему равно количество теплоты, выделившееся за это же время при сгорании бензина?
г) Чему равна масса сожжённого при этом бензина?
д) Чему равен расход бензина в литрах на 100 км пробега?

Похожая задача

15. При движении со скоростью 120 км/ч двигатель автомобиля расходует 10 л бензина на 100 км. КПД двигателя 30 %. Чему равна сила сопротивления воздуха (её можно приближённо считать равной по модулю силе тяги двигателя)?

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- *Тепловым двигателем* называют устройство, в котором внутренняя энергия топлива частично превращается в механическую энергию.
- К тепловым двигателям относятся, например, *паровая турбина*, *реактивный двигатель*, *двигатель внутреннего сгорания*.
- Цикл *двигателя внутреннего сгорания* состоит из четырёх тактов: впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск.
- При работе тепловых двигателей в окружающую среду выделяется большое количество теплоты и продукты сгорания топлива.
- Для уменьшения вредных последствий работы тепловых двигателей совершенствуют двигатели, используют энергосберегающие технологии, а также используют источники энергии, в которых не сжигают топливо.

- *Коэффициентом полезного действия* (КПД) теплового двигателя называют выраженное в процентах отношение работы A, совершённой двигателем, к количеству теплоты Q, выделившемуся при сгорании топлива: $\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\ \%$. КПД современных тепловых двигателей достигает 35—50 %.

? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Базовый уровень

16. Приведите примеры известных вам тепловых двигателей. Какие превращения энергии в них происходят? Почему КПД теплового двигателя не может быть равным 100 %?

17. Опишите принцип работы реактивного двигателя и паровой турбины. В чём состоит различие в их работе?

18. Почему для космических полётов используются именно реактивные двигатели?

19. Используя рисунок 6.5, объясните принцип действия двигателя внутреннего сгорания.

20. Какое влияние оказывают тепловые двигатели на окружающую среду?

21. При сгорании топлива в тепловом двигателе выделилось количество теплоты, равное 1,2 МДж. При этом тепловой двигатель совершил полезную работу, равную 240 кДж. Чему равен КПД этого двигателя?

22. В первой паровой турбине полезная работа составляет $\frac{2}{5}$ части энергии поступающего в неё пара, во второй — $\frac{1}{4}$ часть. Чему равны КПД каждой из турбин?

23. Чему равно количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива в двигателе с КПД, равным 25 %, если двигатель совершил работу, равную 1 МДж?

24. Для совершения работы, равной 38,7 МДж, в тепловом двигателе сожгли 3 кг дизельного топлива. Чему равен КПД этого двигателя?

Повышенный уровень

25. Давление какого пара в паровой турбине больше: падающего на лопатки турбины, или отработанного?

26. Когда температура газа в двигателе внутреннего сгорания выше: в начале такта «рабочий ход» или в конце его?

27. В какой момент давление в цилиндре двигателя внутреннего сгорания больше: до сгорания в нём горючей смеси или после?

28. Горючая смесь подаётся в цилиндры двигателя внутреннего сгорания в распылённом виде. С какой целью это делается?

29. За 1 час работы двигатель израсходовал 15 л бензина, развивая мощность 36 кВт. Чему равен КПД двигателя?

30. Чему равна мощность теплового двигателя, если за полчаса при сгорании топлива в нём выделилось количество теплоты, равное 10,8 МДж? КПД двигателя равен 20 %.

31. За 3 часа работы тепловой двигатель мощностью 19 кВт израсходовал 12 кг топлива. На каком топливе работает этот двигатель, если его КПД 40 %?

Высокий уровень

32. С какой целью в автомобильных двигателях устанавливают несколько цилиндров?

33. Зажигание топлива в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания происходит в следующем порядке (указаны номера цилиндров): 1 — 2 — 4 — 3. Определите, какой такт начался во 2-м, 3-м и 4-м цилиндрах в тот момент, когда в 1-м цилиндре начался рабочий ход.

34. Существуют ли ограничения высоты полёта самолёта, двигатель которого работает на смеси горючего и воздуха, и если да, то почему?

35. Двигатель автомобиля израсходовал 14 л бензина на пути 80 км, развивая мощность 40 кВт. КПД двигателя равен 30 %. Сколько времени ехал автомобиль?

36. Шахтный подъёмник приводится в действие двигателем внутреннего сгорания с КПД 30 %. Какой объём бензина надо сжечь для подъёма руды массой 150 т с глубины 40 м?

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

37. Изготовьте из фольги вертушку с четырьмя лопастями и закрепите её на конце деревянной палочки. Осторожно поднесите вертушку к носику кипящего чайника. Что вы наблюдаете? Моделью какого теплового двигателя является ваша вертушка? Опишите преобразования энергии, происходящие при вращении вертушки. Объясните ваш опыт, проиллюстрировав его видеосъёмкой или фотографиями.

ГЛАВНОЕ В ГЛАВЕ I

- Молекулы вещества находятся в непрестанном хаотическом движении. Скорость молекул при нагревании увеличивается, поэтому такое движение молекул называют *тепловым*.
- *Внутренней энергией тела* называют сумму кинетической энергии хаотического движения и потенциальной энергии взаимодействия частиц, из которых состоит тело.
- Внутренняя энергия тела изменяется при его нагревании или охлаждении, изменении агрегатного состояния и при химических реакциях.
- Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами: *совершив работу* или *посредством теплопередачи*.
- *Теплопередачей* называют изменение внутренней энергии тела без совершения работы. Энергию, получаемую или отдаваемую телом при теплопередаче, называют *количеством теплоты*.
- В тепловых процессах энергия сохраняется.
- *Закон сохранения энергии* является общим законом природы. Согласно этому закону энергия не возникает и не исчезает, а только изменяет свою форму.
- При теплопередаче энергия переходит от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой. Тела, имеющие одинаковую температуру, находятся в *тепловом равновесии*.
- Температуру измеряют *термометрами*. В шкале Цельсия за 0 °C принимают температуру таяния льда, а за 100 °C — температуру кипения воды при атмосферном давлении.
- Существуют три вида теплопередачи: *теплопроводность*, *конвекция* и *излучение*.

- Существуют три вида теплопередачи: *теплопроводность*, *конвекция* и *излучение*.
- *Теплопроводностью* называют вид теплопередачи, обусловленный передачей энергии от одного тела к другому или от одних частей тела к другим в результате теплового движения и взаимодействия частиц. В процессе теплопроводности энергия передаётся, но переноса вещества не происходит.
- *Конвекцией* называют вид теплопередачи, обусловленный переносом вещества. Конвекция происходит только в жидкостях и газах. Конвекция бывает вынужденной и естественной.
- *Излучением* называют вид теплопередачи, обусловленный электромагнитным излучением. Это — единственный вид теплопередачи в вакууме.
- Количество теплоты, которое надо передать телу, чтобы нагреть его от начальной температуры $t_н$ до конечной температуры $t_к$, выражается формулой $Q = cm(t_к - t_н)$, где m — масса тела, c — удельная теплоёмкость вещества, из которого состоит тело.
- Если теплопередача происходит только между двумя телами, то количество теплоты Q_1, которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2, которое получает менее нагретое тело: $Q_1 = Q_2$. Это соотношение называют *уравнением теплового баланса*.
- Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива, находят по формуле $Q = qm$, где m — масса тела, q — *удельная теплота сгорания топлива*.
- *Плавлением* называют переход вещества из кристаллического состояния в жидкое. Температуру, при которой происходит плавление, называют *температурой плавления* данного вещества.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы полностью расплавить кристаллическое тело при его температуре плавления, находят по формуле $Q = \lambda m$, где m — масса тела, λ — *удельная теплота плавления*.
- *Кристаллизацией* (или отвердеванием) называют переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое. Кристаллизация происходит при той же температуре, что и плавление.
- *Парообразованием* называют превращение жидкости в пар, а *конденсацией* — превращение пара в жидкость.

- При *испарении* парообразование происходит с поверхности жидкости. Испарение происходит при любой температуре. При повышении температуры скорость испарения увеличивается.
- При *кипении* парообразование происходит внутрь пузырьков во всём объёме жидкости. Кипение происходит при определённой температуре, которую называют *температурой кипения* данной жидкости. При увеличении давления температура кипения повышается, а при уменьшении давления — понижается.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, выражается формулой $Q = Lm$, где m — масса жидкости, L — *удельная теплота парообразования*.
- *Влажность воздуха* характеризует содержание водяного пара в воздухе. Если водяной пар насыщенный, влажность воздуха принимают равной 100 %. Комфортные условия для человека соответствуют влажности 50—60 %.
- *Тепловым двигателем* называют устройство, в котором внутренняя энергия топлива частично превращается в механическую энергию. К тепловым двигателям относятся *паровая турбина*, *реактивный двигатель*, *двигатель внутреннего сгорания*.
- Цикл двигателя внутреннего сгорания состоит из четырёх тактов: впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск.
- При работе тепловых двигателей в окружающую среду выделяется большое количество теплоты и много продуктов сгорания топлива. Для уменьшения вредных последствий работы тепловых двигателей совершенствуют двигатели, используют энергосберегающие технологии, а также используют источники энергии, в которых не сжигают топливо.
- *Коэффициентом полезного действия* (КПД) теплового двигателя называют выраженное в процентах отношение работы A, совершённой двигателем, к количеству теплоты Q, выделившемуся при сгорании топлива: $\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\ \%$. КПД современных тепловых двигателей достигает 35—50 %.