



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

В.В. Борисовский

ТЕПЛОТА (теория и практика)

Учебное пособие
для студентов всех направлений

Рубцовск 2014

УДК 530.1

Борисовский В.В. Теплота (теория и практика): Учебное пособие для студентов всех направлений/ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014.- 44 с.

Пособие представляет собой краткую теорию тепловых процессов и тепловых свойств тел. Приведенные примеры из повседневной жизни, природы и техники рассматривают процессы передачи теплоты и их влияние на свойства тел.

Пособие предназначено для студентов всех направлений и может быть использовано старшеклассниками и преподавателями физики.

Рассмотрено и одобрено на заседании
НМС Рубцовского индустриального
института
Протокол № 7 от 07.10.2014г.

Рецензент:

к.т.н., доцент П.А. Люкшин

© Рубцовский индустриальный институт, 2014

Содержание

I. Количество теплоты и тепловые процессы	4
1.1. Теплоемкость	4
1.2. Теплота при различных процессах	5
1.3. Способы передачи теплоты	7
II. Вопросы и задачи	10
III. Подсказки	22
IV. Ответы	26

I. Количество теплоты и тепловые процессы

Кинетическая энергия хаотического движения молекул вместе с их потенциальной энергией составляют внутреннюю энергию тела. Передача энергии от одного тела к другому может происходить как путем совершения работы одного тела над другим, так и посредством теплопередачи. **Теплопередачей** является процесс изменения внутренней энергии тела без совершения работы. Мерой энергии, получаемой или отдаваемой телом в процессе теплопередачи, служит величина, называемая **количеством теплоты**.

Единицей количества теплоты в СИ является джоуль (Дж). Ранее использовалась единица теплоты калория $1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}$. Подобно другим видам энергии, количество теплоты подчиняется закону сохранения. Если тело участвует в процессе, в котором оно отдает и получает теплоту, то количеству теплоты, которое получает это тело, приписывают знак плюс, а количеству теплоты, которое оно отдает, – знак минус.

1.1. Теплоемкость

Элементарное количество теплоты dQ , сообщаемое телу для изменения его температуры от T до $T+dT$, определяется формулой:

$$dQ = C dT, \quad (1)$$

где C характеризует вещество, из которого сделано тело, и называется теплоемкостью тела. Из (1) следует, что

$$C = dQ/dT, \quad (2)$$

т.е. теплоемкость какого-либо тела есть величина, равная количеству теплоты, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на один кельвин. Теплоемкость C зависит от массы тела, его химического состава и термодинамического состояния.

Различают удельную и молярную теплоемкости. **Удельной теплоемкостью** C называют теплоемкость единицы массы вещества. Если тело однородно, то $c = C/m$, где m – масса тела. В термодинамике применяют **молярную** или **молекулярную теплоемкость**. Так называют теплоемкость одного моля вещества C_μ . Между молярной и удельной теплоемкостями существует простая связь: $c = C_\mu/\mu$, где μ – молярная масса вещества. Удельная теплоемкость измеряется в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$, а молярная – в $\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{K}}$.

С физической точки зрения различают два типа теплоемкости: при постоянном объеме и постоянном давлении. Теплоемкостью при постоянном объеме V называют теплоемкость (удельную и молярную), которую определяют при нагревании тела при постоянном объеме: $V = \text{const}$ (обозначают c_V и C_V). Теплоемкостью при постоянном давлении P называют теплоемкость (удельную и молярную), которую определяют при нагревании тела при постоянном давлении: $P = \text{const}$ (обозначают c_P и C_P). Для твердых тел и жидкостей теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении мало отличаются друг от друга из-за очень небольшого коэффициента объемного расширения.

Для газов величина теплоемкости существенным образом зависит от того, как осуществляется подвод теплоты к газу. Молярная теплоемкость при постоянном объеме

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad (3)$$

где i – число степеней свободы ($i=3$ для одноатомного газа, $i=5$ для двухатомного, $i=6$ для трех- и более атомного), $R=8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$ – универсальная газовая постоянная.

Молярная теплоемкость при постоянном давлении

$$C_P = \frac{i+2}{2} R. \quad (4)$$

Молярная теплоемкость C_P превосходит теплоемкость C_V на величину работы расширения моля газа при постоянном давлении и увеличении температуры на один градус. Работа расширения идеального газа в процессе нагревания моля газа на один градус при постоянном давлении равна универсальной газовой постоянной R :

$$A = p\Delta V = p \frac{R\Delta T}{p} = R \text{ так как } \Delta T=1 \text{ К.}$$

Теплоемкости C_P и C_V связаны уравнением Роберта Майера (1814-1878)

$$C_P - C_V = R. \quad (5)$$

Теплоемкость при изотермическом процессе $C_T = \pm\infty$. Теплоемкость при адиабатическом процессе $C_Q = 0$.

1.2. Теплота при различных процессах

Количество теплоты, необходимое для нагревания вещества, находящегося в одном из агрегатных состояний (твердое тело, жидкость или газ), определяется по формуле:

$$Q = cm(T_2 - T_1), \quad (6)$$

где T_1 – начальная температура вещества, T_2 – конечная температура, c – удельная теплоемкость вещества, различная для разных веществ и разных агрегатных состояний. **Удельная теплоемкость** численно равна количеству теплоты, необходимой для нагревания 1 кг вещества на один градус, и измеряется в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

Для превращения жидкости в пар (газообразное состояние) необходима передача ей определенного количества теплоты. Количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости в пар при постоянной температуре, является **удельной теплотой парообразования** r . Количество теплоты, идущее на превращение жидкости в пар, определяется по формуле:

$$Q = rm, \quad (7)$$

где m – масса жидкости, превратившейся в пар.

Процесс, обратный парообразованию, называется **конденсацией**. При данном процессе пар переходит в жидкое состояние.

Явление перехода вещества из твердого состояния в жидкое называется **плавлением**, а явление перехода вещества из жидкого состояния в твердое – за-

твердеванием. Для каждого кристаллического вещества при определенном внешнем давлении существует определенная температура плавления, которая является также температурой затвердевания. При плавлении происходит разрушение пространственной решетки кристалла, на что расходуется энергия. Количество теплоты, идущей на превращение твердого тела в жидкое при температуре плавления, называется **теплотой плавления**.

Теплота плавления определяется по формуле:

$$Q = \lambda t, \quad (8)$$

где λ – различный для разных веществ коэффициент, называемый **удельной теплотой плавления**. Удельная теплота плавления равна количеству теплоты, необходимой для плавления 1 кг вещества при температуре плавления, измеряется в Дж/кг.

Не все твердые тела – кристаллы. Существует множество аморфных твердых тел, которые не имеют кристаллического строения. К ним относятся природные соединения: смолы, янтарь, опал и искусственные: стекло, плавленый кварц, пластмассы и т.д. Аморфные тела представляют собой как бы переохлажденные жидкости, т.е. жидкости с большим коэффициентом вязкости. Поэтому в отличие от кристаллов, которые обладают вполне определенной температурой плавления, аморфные тела при нагревании делаются все менее и менее вязкими и, наконец, превращаются в жидкость (например, при нагревании стекла). Таким образом, вместо температуры плавления приходится говорить о температурном интервале размягчения, и в этом случае количество теплоты, необходимой для размягчения, определяется по формуле (6).

Теплота, необходимая для осуществления того или иного процесса, выделяется при сгорании чаще всего органического топлива (уголь, дрова, нефтепродукты, газ). Все виды топлива характеризуются **удельной теплотой сгорания**, т.е. количеством теплоты, выделяющимся при полном сгорании 1 кг топлива. Обозначают эту величину буквой q и измеряют в джоулях на килограмм (Дж/кг). Чтобы вычислить количество теплоты, выделяющееся при сгорании любой массы топлива, нужно удельную теплоту сгорания q умножить на массу m :

$$Q = qt. \quad (9)$$

Из опыта следует, что если два или несколько тел с различными температурами привести в соприкосновение, то между ними будет происходить процесс передачи теплоты от более нагретого тела к менее нагретому, который приведет к выравниванию температур. Под теплообменом или **теплопередачей** в термодинамике понимают самопроизвольный необратимый процесс переноса определенного количества теплоты между телами или частями одного тела, имеющими различную температуру.

При теплообмене выполняется закон сохранения количества теплоты: количество теплоты, отдаваемое телом с более высокой температурой Q_1 , равно количеству теплоты Q_2 , которое получает тело с более низкой температурой: $Q_1=Q_2$. Уравнение, определяющее установление теплового равновесия, называется **уравнением теплового баланса**. Если агрегатное состояние какого-то тела или нескольких тел изменяется в процессе теплообмена, то к уравнению тепло-

вого баланса тел, находящихся в одном агрегатном состоянии, следует добавить высвобождающееся при этом количество теплоты в одном случае и отнять поглощающееся количество теплоты в другом.

1.3. Способы передачи теплоты

Существуют три вида теплопередачи от одних тел к другим: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

1. **Теплопроводность** – передача теплоты от одного тела к другому при их контакте или от одной более нагретой части тела к другой, менее нагретой, без переноса молекул. Физическая природа теплопроводности состоит в том, что молекулы тела (или его части) с более высокой температурой обладают большей кинетической энергией и передают ее соседним молекулам другого тела (или его части), обладающим меньшей кинетической энергией и, следовательно, меньшей температурой. В случае, если проводник теплоты имеет конечную длину l , поперечное сечение S , а разность температур на его концах равна ΔT , то передаваемое количество теплоты Q можно определить по формуле:

$$Q = \beta \frac{\Delta T}{l} S \tau, \quad (10)$$

где τ – продолжительность процесса теплопроводности, β – коэффициент теплопроводности.

Вступая в контакт с твердым телом, имеющим другую температуру, жидкость (газ) либо отдает ему теплоту, либо получает теплоту от него. Такое явление называют **теплоотдачей**. Пусть разность температур поверхности твердого тела и жидкости (газа) равна ΔT . Тогда количество теплоты Q , проходящее через поверхность соприкосновения площадью S за время τ , определяется формулой:

$$Q = \alpha S \tau \Delta T, \quad (11)$$

где α называется коэффициентом теплоотдачи. Значение α зависит от состава жидкости (газа), от скорости ее (его) передвижения, от чистоты обработки поверхности твердого тела, но не зависит от его состава.

2. **Конвекция** – перенос теплоты потоком жидкости или газа. Передача теплоты при конвекции осуществляется путем перемешивания и перемещения холодных и теплых слоев жидкого и газообразного вещества. В случае конвекции теплота передается путем перемещения слоев жидкости или газа от слоев с более высокой температурой к слоям с более низкой температурой, то есть теплота передается с одновременным перемешиванием частиц – атомов или молекул.

Свободная конвекция (без внешних воздействий) осуществляется вследствие того, что теплые слои жидкости и газов имеют меньшую плотность, чем холодные, и поэтому поднимаются вверх, перенося при таком движении теплоту. При низком давлении газа его плотность мала и конвекция отсутствует. Это свойство используется в термосах (сосуд Дьюара, 1892). При конвекции тепло-

та передается вместе с потоком нагретой жидкости (газа), т.е. конвекция может происходить лишь в жидкостях и газах.

3. **Тепловое излучение** – перенос теплоты с помощью электромагнитных волн инфракрасного спектра излучения. Этот способ передачи теплоты может осуществляться и через вакуум. Так, вся энергия, получаемая Землей от Солнца, передается путем теплового излучения.

Из опыта следует, что все нагретые тела излучают электромагнитные волны. Физическая природа такого излучения заключается в преобразовании энергии теплового движения молекул и атомов (при температуре больше 0 К) вещества в энергию излучения. В термодинамике изучают равновесное тепловое излучение, т.е. электромагнитное излучение, находящееся в состоянии термодинамического равновесия с веществом.

Если нагретое тело поместить в полость, ограниченную идеально отражающей оболочкой, то с течением времени установится равновесие, при котором тело будет в единицу времени поглощать в виде излучения столько же энергии, сколько оно будет излучать само. При этом равновесие с течением времени меняться не будет. Установившееся в этой полости излучение, находящееся в статическом равновесии с нагретым телом, есть **равновесное тепловое излучение**. Все другие виды излучения неравновесные.

Поток теплового излучения Φ (измеряется в ваттах, Вт), испускаемый единицей поверхности тепла S по всем направлениям, называется энергетической светимостью (интегральной испускательной способностью тела):

$$R = \Phi/S, \quad (12)$$

то есть это энергия, излучаемая в единицу времени с единицы площади ($\text{Дж}/\text{с}\cdot\text{м}^2$).

Распределение энергии в спектре излучения описывается **спектральной плотностью энергетической светимости** (лучеиспускательной способностью) r . Лучеиспускательная способность измеряется мощностью, испускаемой в узком спектральном интервале $d\lambda$ с единицы поверхности:

$$r_\lambda = dR/d\lambda. \quad (13)$$

Лучеиспускательная способность зависит от температуры тела T и длины волны λ . Если функциональная зависимость r_λ от длины волны и температуры известна, то энергетическая светимость может быть найдена

$$R = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda. \quad (14)$$

Поглощательная способность тела, или коэффициент поглощения a_λ , характеризуется отношением потока излучения, поглощенного данным телом в узком интервале длин волн, к потоку излучения, падающего на тело. Тело, имеющее коэффициент поглощения $a_\lambda=1$, называется **абсолютно черным телом**, т.е. это тело поглощает все падающее на его поверхность излучение. Сажа и платиновая чернь приближаются по оптическим свойствам к абсолютно черному телу, но идеальных абсолютно черных тел в природе нет.

Моделью абсолютно черного тела является отверстие в полой камере, нагретой до определенной температуры (рис.1). Попадающее в отверстие излучение после многократного отражения от внутренних стенок камеры полно-

стью поглощается ими, т.е. поглощательная способность отверстия равна 1; отверстие является практически идеальной моделью абсолютно черного тела.

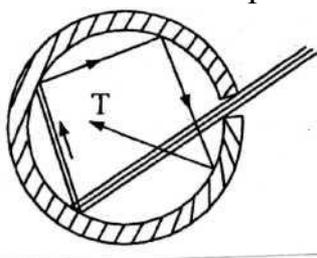


Рис. 1

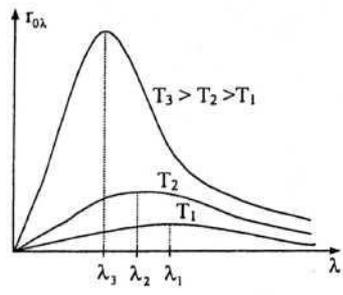


Рис. 2

Пользуясь этой моделью, провели исследования зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела $r_{0\lambda}$ от температуры. На рис.2 изображены кривые зависимости функции $r_{0\lambda}$ от длины волны при различных температурах для абсолютно черного тела.

В состоянии термодинамического равновесия у тел, обменивающихся энергией лишь путем излучения и поглощения, как установил немецкий физик Г.Кирхгоф (1824-1887), для всех тел, независимо от их природы, отношение спектральной плотности r_λ к спектральному коэффициенту поглощения a_λ при той же температуре и для тех же длин волн равно спектральной плотности излучения абсолютно черного тела для той же длины волны и при той же температуре:

$$\frac{r_\lambda}{a_\lambda} = r_{0\lambda}. \quad (15)$$

Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела, как следует из закона Кирхгофа, является универсальной функцией, поэтому нахождение ее явной зависимости от длины волны и температуры является главной задачей теории теплового излучения. Первую попытку решить эту задачу сделали австрийские физики И.Стефан (1835-1893) (экспериментально) и Л.Больцман (1844-1906) (теоретически); они установили зависимость энергетической светимости R абсолютно черного тела от температуры. По закону Стефана-Больцмана

$$R = \sigma T^4, \quad (16)$$

т.е. энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Из экспериментальных кривых зависимости $r_{0\lambda}$ от длины волны λ при различных температурах (рис.2) следует, что все кривые имеют максимум, который по мере повышения температуры смещается в сторону более коротких длин волн. Немецкий физик В.Вин (1864-1928) установил зависимость длины волны λ_{max} , на которую приходится максимум спектральной плотности излучения абсолютно черного тела, от температуры. По закону смещения Вина

$$\lambda_{max} \cdot T = b, \quad (17)$$

где $b=2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вина. Закон Вина объясняет, почему при малых температурах тела излучают главным образом инфракрасные лучи, а по мере повышения температуры излучение делается красным, оранжевым и, наконец, белым.

II. Вопросы и задачи

1. **Быстрое нагревание и охлаждение воды.** Для быстрого нагревания воды в кастрюле нагреватель всегда помещают снизу (например, ставят кастрюлю на плиту). Желая охладить кастрюлю с водой как можно быстрее до комнатной температуры, кастрюлю поставили на лед. Правильно ли это?

2. **Как остудить чай?** Только что приготовленный горячий чай необходимо как можно быстрее охладить. Когда в этом случае необходимо класть сахар: в начале остывания или в конце? Когда и как долго следует его размешивать? Имеет ли значение, какая ложка – пластмассовая или металлическая? Зависит ли охлаждение чая от цвета чашки?

3. **Горячий кофе.** Вы собрались завтракать и налили в стакан кофе. Но вас просят отлучиться на несколько минут. Что надо сделать, чтобы к вашему возвращению кофе был еще горячим: налить в него молоко сразу перед уходом или тогда, когда вы вернетесь?

4. **Банка с мутной водой.** На подоконнике была оставлена на ночь стеклянная банка с мутной водой. К утру муть осталась только у стенки, обращенной в комнату. В какое время года была поставлена банка на подоконник?

5. **Может ли холодильник охладить комнату?** В очень жаркий день для охлаждения комнаты было решено использовать бытовой холодильник. Будет ли охлаждаться комната, если открыть дверцу холодильника?

6. **Отопительная батарея или полотенце.** На горячей отопительной батарее лежит давно просохшее полотенце. Одинаково ли нагреты батарея и полотенце, если оценивать наощупь? Одинаковы ли их температуры?

7. **Термос различной формы.** Какие термосы выгоднее использовать при одной и той же вместимости: круглого или квадратного сечения, а может, в виде шара?

8. **Что холоднее – металл или дерево?** Кусок металла и кусок дерева имеют одинаковую температуру. Почему на ощупь холодный металл кажется холоднее дерева, а горячий металл – горячее дерева? При какой температуре и металл и дерево будут казаться на ощупь одинаково нагретыми?

9. **Нагревание и охлаждение различных тел.** Горячую воду вылили в металлический сосуд, масса которого равна массе воды. Вода при этом охладилась, а сосуд нагрелся. На одинаковое ли число градусов в результате охладилась вода и нагрелся сосуд?

10. **Нагревание тел при падении.** Два тела, имеющие равные температуры, падают с одной и той же высоты. Одно тело изготовлено из меди, другое – из алюминия. Какое из них нагрелось сильнее при абсолютно неупругом ударе? Соппротивлением воздуха можно пренебречь.

11. **Холод на вершинах гор.** Горячий воздух, как более легкий, поднимается вверх, холодный воздух, как более тяжелый, опускается вниз. Почему же тогда холодно на вершинах гор? Разве холодный воздух не должен опускаться вниз?

12. **Медицинская грелка.** Почему медицинские грелки наполняют горячей водой, а не горячим воздухом?

13. **Самовар распаивается.** До появления современного электрического чайника для нагревания воды до кипения применяли самовары или простые чайники. Некоторые рассеянные люди ставили на огонь самовар или чайник без воды, и они распаивались, так как в качестве припоя использовался сравнительно легкоплавкий металл – олово. Почему же самовар не распаивался, если в нем находилась вода?

14. **Из какого металла делать паяльник?** Теплоемкость железа больше, чем у меди. Поэтому при равных массах и при нагреве до одинаковых температур запас внутренней энергии у паяльника, изготовленного из железа, будет больше, чем у паяльника из меди. Почему же при изготовлении паяльников вместо дешевого железа применяют значительно более дорогую медь?

15. **Температура воздуха на большой высоте.** На высоте нескольких километров, где проходят трассы современных пассажирских самолетов, господствует сильный мороз до -50°C . Однако при дальнейшем подъеме наблюдается так называемая инверсия, то есть температура начинает возрастать. А на высоте несколько сот километров молекулы воздуха обладают скоростями, которым соответствуют температуры в несколько тысяч градусов.

Почему же в таком случае не плавятся и не сгорают летающие именно на таких высотах в течение длительного времени искусственные спутники Земли?

16. **Нагревание космических кораблей.** Космический корабль при возвращении на землю, попадая в плотные слои атмосферы, сильно разогревается из-за трения о воздух. Поэтому возвращение космонавтов на землю происходит в спускаемом аппарате с тормозной системой в виде парашюта. Если же космический корабль запускается на орбиту, то при прохождении через плотные слои атмосферы наблюдается очень слабое нагревание корабля. Почему космический корабль при спуске на землю нагревается значительно сильнее, чем при запуске на орбиту?

17. **Растворение соли в воде.** Равные количества соли растворяют в двух одинаковых сосудах с одинаковым количеством воды. В одном случае соль берут в виде одного большого кристалла, а в другом – в виде порошка. В каком случае температура раствора после полного растворения соли будет выше, если до растворения соль и вода находились при одинаковых температурах?

18. **Полый стеклянный пузырек в воде.** Внутри воды плавает полый стеклянный пузырек. В сосуд доливают дополнительное количество воды, и пузырек поднимается вверх. Затем еще подливают воды, пузырек начинает тонуть. Как можно объяснить подобную ситуацию?

19. **Границы применения уравнения теплового баланса.** В результате теплообмена между телами, а также при выделении или поглощении теплоты при изменении агрегатных состояний каких-либо тел должен выполняться закон сохранения количества теплоты: количество теплоты, отдаваемое телами, равно количеству теплоты, которое получают тела с более низкой температурой. Уравнение, записанное в этом случае, называется уравнением теплового баланса. Каковы границы применимости уравнения теплового баланса, если исходить из первого закона термодинамики?

20. **Нагревание пилы и дерева.** При распиливании дерева, как бы хорошо ни была наточена пила, часть энергии в результате трения переходит в теплоту – и дерево, и пила нагреваются. Почему при этом пила нагревается до более высокой температуры, чем дерево?

21. **Температура кофе при добавлении молока.** Если в кофе добавить холодное молоко, то температура кофе изменится. Учитывая, что теплоемкости кофе и молока примерно равны, заметно ли меняет температуру кофе добавление в него холодного молока?

22. **Где больше масса?** Исследование зависимости количества теплоты от времени для медного сосуда и нагреваемой в нем воды показало, что графики для сосуда и для воды совпадали. Что можно сказать о соотношении масс воды и сосуда?

23. **Сколько теплоемкостей у железа?** Два железных шара одинакового диаметра нагревают от 20 до 100° С. Один из них при этом находится на горизонтальной теплоизолированной плоскости, а другой

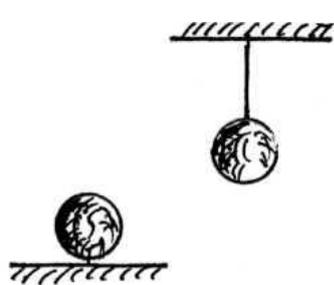


Рис. 3

подвешен на практически нерастяжимой нити (рис.3). Казалось бы, что в соответствии с формулой $Q = cm\Delta T$ количества теплоты, переданные шарикам, должны быть одинаковыми. На самом же деле для первого шара количество теплоты оказывается несколько больше. Это означает, что и теплоемкость железа, из которого изготовлен первый шар, больше, хотя шары и были изготовлены из одного слитка.

Почему же это оказалось возможным? Какая теплоемкость приводится для железа в таблицах физических величин?

24. **Передача теплоты к телу без изменения его температуры.** Как можно передать телу какое-то количество теплоты, чтобы не произошло при этом повышение его температуры?

25. **Газ в теплоизоляционном сосуде.** Как будет изменяться температура газа, помещенного в теплоизоляционный цилиндр, при постепенном увеличении объема цилиндра?

26. **Давление на воду.** Внешнее давление на воду увеличивается. Что при этом необходимо делать – нагревать или охлаждать воду, чтобы сохранить объем неизменным?

27. **Шар из монокристалла.** Монокристалл – это кристалл с непрерывной кристаллической решеткой. Монокристаллы выращивают искусственно из расплавов, растворов, из парообразной фазы. Существуют также природные монокристаллы кварца, каменной соли, флюорита и др. Применяют монокристаллы в различных областях науки и техники, особенно широко в радиотехнике и электронике (полупроводники).

Из монокристалла вытачивают шар и затем нагревают. При нагревании шар может изменить не только свой объем, но и форму. Почему?

28. **Дует из закрытого окна.** Если в комнате окно имеет щель, то из нее сильно дует. Однако зимой чувствуется, как дует из окна, рама которого закры-

та так плотно, что наружный воздух не может проходить сквозь щель. Почему все же дует от закрытого окна?

29. **Остывание металлических шариков.** Русский физик Г.В. Рихман (1711-1753), желая сравнить теплопроводность различных металлов, нагревал до одинаковой температуры металлические шарики одинаковых размеров и наблюдал быстроту их остывания. Наиболее быстро остывал свинцовый шарик. Можно ли отсюда сделать вывод, что свинец обладает большей теплопроводностью, чем другие металлы?

30. **Греем руки трением.** Иногда в зимнее время для того, чтобы согреться, мы потираем руки друг о друга. При этом в результате трения выделяется теплота. Попробуйте оценить количество теплоты, выделяющееся, когда мы, разогреваясь, потираем руки.

31. **Какая сковорода лучше?** Почему опытные хозяйки предпочитают жарить на чугунных, а не на алюминиевых сковородах?

32. **Сосуд с водой в кипящей воде.** Будет ли кипеть вода в металлическом сосуде, который плавает в другом сосуде с кипящей водой?

33. **Огонь под кастрюлей.** Повар занимается приготовлением пищи на газовой плите. Желая ускорить варку, повар усиливает огонь под кастрюлей, в которой уже кипит вода. Правильен ли этот прием?

34. **Прованское масло и луженая посуда.** Известна история, как одну итальянскую студентку спросили на экзамене (а среди экзаменаторов был и знаменитый физик Э.Ферми (1901-1954)): «Как вам известно, точка кипения прованского масла (оливковое масло) выше, чем точка плавления олова. Объясните, почему можно жарить пищу на прованском масле в луженой оловом кастрюле». (Лучшая посуда в Италии – медная, с оловянной полудой). Что должна была ответить студентка?

35. **Какая вода закипит быстрее?** В две абсолютно одинаковые кастрюли налито равное количество воды при одной и той же температуре, но в одну из них – сырая вода, в другую – кипяченая. Если поставить обе кастрюли на огонь одинаковой силы, то в какой из них вода закипит быстрее?

36. **Сварить яйцо на Марсе.** Можно ли на Марсе сварить яйцо вкрутую?

37. **Зачем кастрюлю накрывают крышкой?** Почему вода закипает быстрее, если кастрюля накрыта крышкой? Возможно, таким путем уменьшают потерю тепла. Но что именно уменьшается: конвекционные потери или потери на излучение? Температура крышки, которой накрыта кастрюля, почти равна температуре кипения воды, поэтому и конвекция воздуха, и излучение должны оставаться в этом случае такими же, как при открытой кастрюле. Почему же все-таки в закрытой кастрюле вода закипает быстрее?

38. **Приспособление для жарки мяса.** Как быстро поджарить большой кусок мяса? Можно, например, насадить его на железный прут, как делают, когда жарят шашлык. Железный прут нагревается, тепло тогда лучше проникает внутрь мяса, и оно готовится быстрее, так как тепло поступает и снаружи, и изнутри. Однако существует приспособление, предназначенное для этой цели. Оно представляет собой закрытую с обеих сторон трубку, внутри которой проходит смоченный водой фитиль. Трубка находится в вертикальном положении,

нижний конец имеет утолщение. Утверждается, что такая трубка проводит тепло в 1000 раз лучше, чем сплошной стержень, в результате время готовки сокращается вдвое. Но почему? Чем полая трубка может быть лучше сплошного стержня и при чем тут фитиль и вода?

39. **Таз с водой спасает от мороза.** В погребе, который промерзает, ставят большой таз с водой рядом с овощами, чтобы предохранить их от мороза. Подобное может быть осуществлено и с автомобилем, если он стоит зимой в неотапливаемом гараже. Чтобы предотвратить замерзание воды в радиаторе автомобиля, рядом с радиатором ставят большой таз с водой. Как соседство с водой может спасти овощи и радиатор?

40. **Батарея отопления с одной трубой.** Большинство систем отопления имеют радиаторы с двумя трубами – входной и выходной, однако есть и система, в которой к батарее подходит одна труба. И, как ни странно, утверждают, что подводимый к батарее пар и выходящая из нее вода находятся при одной температуре. Как они могут иметь одну температуру, если батарея согревает комнату? Откуда берется излучаемое радиатором тепло?

41. **Алюминиевая фольга для хранения пищи.** У обычной пищевой фольги одна сторона блестящая, а другая – матовая. Какая из сторон должна быть наружной, когда в фольгу заворачивают продукты? Какая сторона фольги должна быть снаружи, если продукты предназначены для замораживания? Существенна ли эта разница?

42. **Капли, пляшущие на горячей сковородке.** Если брызнуть водой на раскаленную сухую сковородку, то на ней начнут прыгать и плясать капли. Почему вода не испаряется сразу? Почему капли движутся? Как это ни удивительно, но капли испаряются быстрее, если сковородка менее горячая. Почему?

43. **Вода в открытых водоемах.** Если провести измерение температуры воды в открытых водоемах (прудах, озерах, реках), то почти всегда в летнее время она будет ниже температуры окружающего воздуха. Почему?

44. **Как вода гасит огонь?** Все прекрасно знают, что при пожаре основным средством тушения огня является вода. А вы задумывались над тем, почему вода гасит огонь и в чем, собственно, заключается ее действие при тушении пожара? Попробуйте дать ответ на этот вопрос.

45. **Горячее дыхание пустыни.** Если ветер в морозный день приводит к более интенсивному охлаждению тела человека (см. «Мороз и ветер»), то это означает, что ветер и в знойный день должен приносить прохладу. Почему же в таком случае путешественники говорят о горячем дыхании пустыни? И почему жители пустыни, например туркмены, носят теплые халаты и меховые шапки, а не ходят в легкой одежде?

46. **Расход энергии холодильника.** На что расходуется электроэнергия, потребляемая домашним холодильником? Как отбирается тепло из холодильной камеры и куда оно расходуется? И наконец, как устроен холодильник?

47. **Испарение спирта и воды.** Из таблиц видно, что вода имеет гораздо большую теплоту парообразования, чем спирт. Следовательно, налитая на руку вода, испаряясь, должна сильнее охлаждать руку, чем налитый на руку спирт. В действительности происходит наоборот. В чем здесь дело?

48. **Вода кажется теплее воздуха.** Из-за большой теплоемкости вода прогревается медленнее воздуха, поэтому даже в жаркий летний день вода в пруду холоднее воздуха. Почему же тогда после купания вода кажется теплее воздуха?

49. **Ожог кожи.** Известно, что ожог кожи наступает при соприкосновении ее со средой, имеющей достаточно высокую температуру. Так, если поместить руку на некоторое время в воду с температурой $55-60^{\circ}\text{C}$, то можно получить опасные ожоги. Почему же на воздухе человек безболезненно может переносить жару в $50-60^{\circ}\text{C}$ и не получает при этом ожогов. В сауне человек выдерживает даже температуру 140°C .

50. **Пар обжигает, а вода – нет.** Почему пар обжигает сильнее воды той же температуры?

51. **Почему палец примерзает к металлу?** Если дотронуться до очень холодного металла, то палец может примерзнуть к нему. Кожу, приставшую к металлу, легко повредить. И уже ни в коем случае, как это делают некоторые неразумные дети, лизать холодный металл – это может закончиться очень плохо. Почему палец прилипает к холодному металлу? Насколько холодным должен быть металл, чтобы палец примерз к нему?

52. **Какая температура воды под слоем льда?** Вода имеет наибольшую плотность при температуре 4°C . При понижении температуры от более высокой до 4°C вода сжимается, но при дальнейшем остывании от 4°C до точки замерзания, т.е. до 0°C , она расширяется. Как такое необычное свойство воды влияет на установление температуры воды в водоемах под слоем льда в зимнее время?

53. **Предупреждение о заморозках.** Летом в начале июня в утренние часы на почве в некоторые годы бывают заморозки. После получения предупреждения о заморозках была полита почва. Зачем?

54. **Ртутный термометр в Антарктиде.** В Антарктиде бывают очень сильные морозы, некоторые могут достигать до -60°C и ниже. Самая низкая в мире температура здесь зафиксирована на отметке $-89,2^{\circ}\text{C}$. Чуть меньше морозы бывают в некоторых районах Якутии. Можно ли использовать для измерения температуры в Антарктиде ртутный термометр?

55. **Ни вода, ни лед.** Вода замерзает при температуре 0°C , превращение льда в воду также происходит при 0°C . Следовательно, если в сосуд с водой при 0°C опустить кусок льда при той же температуре, то должно было бы произойти или замерзание воды, или таяние льда. Однако не происходит ни того, ни другого. Почему?

56. **Дождь зимой.** Если зимой идет дождь, то капли воды, летящие в воздухе, находятся при температуре ниже нуля и должны были бы замерзнуть. В действительности они моментально превращаются в лед, только упав на землю. Чем это объяснить?

57. **Замерзание воды.** Возьмем два широких деревянных сосуда: один с холодной водой, другой с таким же количеством горячей воды – и выставим их зимой на улицу. В каком из них вода замерзнет раньше? Конечно, в сосуде с холодной водой, скажете вы. Ведь пока горячая вода остынет до температуры

холодной, последняя уже начнет замерзать. В действительности горячая вода замерзнет быстрее холодной. Как же это объяснить?

58. **Растения при небольшом морозе.** Осенью иногда рано выпадает снег и несколько дней держится мороз $-1 - -2^{\circ}$ C. Но когда наступает потепление, многие растения оказываются живыми, зеленеют и даже цветут. Как им удается устоять?

59. **Голая земля в мороз.** Известно, что рыхлый снег хорошо предохраняет почву и деревья, укрытые снегом, от промерзания, потому что в нем заключено много воздуха, который является плохим проводником тепла. Но ведь и к почве, не покрытой снегом, прилегают слои воздуха. Отчего же в таком случае она сильно промерзает?

60. **Иней на стенках дома.** Атмосферный воздух представляет смесь различных газов и водяного пара. Количество водяного пара, содержащегося в одном кубическом метре воздуха (при прочих равных условиях), возрастает с понижением температуры. При более низких температурах может выпасть большее количество воды в виде росы (или измороси), чем при более высоких температурах.

Температура воздуха зимой на улице ниже, чем в комнатах. Однако в некоторых старых помещениях кирпичные стены обмерзают со стороны комнаты, а не с улицы. Как объяснить такое противоречие? Почему иней редко появляется на стенах деревянных домов?

61. **Влажная почва промерзает меньше.** Мокрый предмет на морозе замерзает сильнее, а между тем, когда начинаются морозы, влажная почва обычно промерзает вглубь меньше, чем сухая. В чем здесь дело?

62. **Птицы замерзают на лету.** Человек, находясь на улице в зимний мороз, старается больше двигаться, чтобы не замерзнуть. Почему же тогда птицы замерзают на лету?

63. **Каменные постройки под водой.** При строительстве гидроэлектростанций приходится затапливать огромные территории, создавая водохранилища. После заполнения водохранилища в некоторых местах оказываются под водой остатки каменных построек. Почему лед над такими постройками менее прочен, чем в других местах водохранилища?

64. **Загадочное поведение птиц.** Никого не удивляют птицы, сидящие на деревьях, - где же им еще сидеть. Но в сильные холода, находясь поблизости от рек и озер, наверняка можно обратить внимание на птиц, сидящих на льду. Что они там делают? Питаться на льду нечем, а отдыхать удобнее и безопаснее на деревьях. Иногда пернатых на льду собирается так много, что отпадают всякие сомнения, что прилетают они сюда неспроста и что-то им на льду все-таки надо. Чем объяснить такое поведение птиц? Что гонит их на лед?

65. **Как расплавить олово в воде?** Если кусок олова опустить в сосуд с водой и попытаться его расплавить, нагревая воду при атмосферном давлении, то сделать этого мы не сможем. Известно, что температура кипящей воды в процессе кипения не повышается, несмотря на то, что к ней непрерывно подводится энергия от нагревателя. Вся подводимая энергия тратится на испарение жидкости, и ничего не расходуется на повышение ее температуры. При атмо-

сферном давлении температура кипящей воды, как известно, равна 100°C , и кусок олова, лежащий в воде, при таких условиях расплавиться не сможет, так как у него температура плавления равна 232°C . И все-таки как можно расплавить кусок олова, лежащий в воде?

66. **Шипы на шинах и песок в гололед.** Зимой в гололед улицы часто посыпают песком, а на шины автомобилей надевают шипы. Почему ни то, ни другое не дает желаемого эффекта при температуре ниже -18°C , а при температуре выше -18°C эти средства помогают?

67. **Антифриз в радиаторе.** Почему смесь антифриза с водой замерзает при более низкой температуре, чем вода? А каким образом антифриз предохраняет двигатель от перегрева летом? Если антифриз так хорош, то почему не заполнять бы радиатор только им и обходиться совсем без воды? (Согласно рекомендациям большинства фирм-изготовителей антифризов, количество антифриза в смеси не должно превышать 50%).

68. **Разрезание бруска льда.** На брусок льда подвесили два одинаковых груза: один на медной проволоке, другой – на капроновой леске того же диаметра. Какой груз перережет лед быстрее? Почему?

69. **Соль и лед.** При повышении давления температура таяния льда понижается. В этом можно убедиться на простом опыте. Если на брусок льда повесить проволоку с грузом, то лед под ней начнет таять и проволока, врезаясь в лед, будет опускаться, причем вода, образовавшаяся из растаявшего льда, сразу же замерзает выше проволоки. Так проволока пройдет через весь брусок, и он останется целым. Однако если лед на том месте, где на нем лежит проволока, посыпать солью, которая понижает температуру таяния льда, то вместо того, чтобы скорее пройти через ледяной брусок, проволока за то же время очень мало врежется в лед, хотя его и растает около проволоки гораздо больше, чем в первом случае. Чем объяснить это странное явление?

70. **Облака «тают» к вечеру.** Обычно при похолодании воздуха образование облаков усиливается. Почему же в холодную погоду облака «тают» к вечеру, хотя в это время становится холоднее?

71. **Скольжение коньков.** Давление лезвий коньков не может заставить таять лед при десятиградусном морозе. И все же конькобежец скользит по тончайшей пленке воды. В чем здесь дело?

72. **Толщина ледника.** Ледники – это скопление льда атмосферного происхождения, движущегося по земной поверхности. Образуются ледники в тех районах, где твердых атмосферных осадков отлагается больше, чем таивает и испаряется. Как правило, ледники образуются в горах. Оцените максимальную толщину ледника.

73. **Детонация двигателя автомобиля.** При неправильной регулировке двигателя внутреннего сгорания иногда вместо сравнительно медленного сгорания горючей смеси начинается так называемая детонация, при которой смесь сгорает быстро, со взрывом. Почему при этом падает КПД двигателя?

74. **Сосновые и березовые дрова.** Теплотворная способность любого топлива определяется количеством теплоты, которая выделяется при сгорании одного килограмма этого топлива. Если посмотреть табличные значения тепло-

творной способности сосновых и березовых дров, то у сосновых дров она больше, чем у березовых. Почему же говорят, что березовые дрова жарче горят?

75. **Копоть в пламени горелки.** Иногда пламя горелки коптит. Если сверху пламени поднести вертикальную стеклянную трубку (можно из любого материала, плохо проводящего тепло), то копоть пропадает. Объясните это явление. Можно применять и металлическую трубку, но она очень быстро нагревается, и ее трудно будет удержать в руке.

76. **Где больше тепла?** Одну и ту же порцию топлива сжигают в примусе на уровне моря и в Гималаях – на высоте 8000 м. Когда выделится больше тепла?

77. **Загорится ли бумага?** Если толстый гвоздь очень плотно обернуть полоской бумаги и внести его в пламя свечи, то бумага не загорится. Почему?

78. **Вода улучшает горение.** Чтобы улучшить горение каменного угля в топке, его обливают водой. Почему?

79. **Мороженое быстро тает.** Известно, что струя воздуха, идущая от вентилятора, приносит летом прохладную свежесть. Попробуйте таким способом сохранить подольше в твердом виде мороженое. Казалось бы, вблизи вентилятора оно не должно быстро растаять. В действительности происходит как раз наоборот. В чем же здесь дело?

80. **Медная проволока плавится, а гвоздь – нет.** Почему тонкая медная проволока плавится в пламени газовой печи, в то время как медный толстый гвоздь даже не раскаляется докрасна?

81. **Треснувший стакан.** Если налить кипятка в стакан, изготовленный из обычного стекла, он часто лопается, а стакан из кварцевого стекла остается целым. Почему? Может быть, потому что он слишком тонкий, но оказывается, как раз толстые стаканы самые непрочные в этом отношении: они лопаются чаще, нежели тонкие. Аналогично ведут себя тонкие стаканы с толстым дном. Лопаются также стаканы и фарфоровые чашки с толстым кольцеобразным выступом внизу.

Для того, чтобы стаканы не трескались от кипятка, опытные хозяйки, прежде чем разливать чай по стаканам, не забывают положить в них ложки, особенно если они серебряные. Житейский опыт выработал вполне правильное решение. На чем оно основано?

82. **Почему сгоревшая спичка изогнута?** Если зажженную спичку держать горизонтально, то по мере передвижения язычка пламени ее сгоревшая часть будет изгибаться и подниматься вверх (рис.4). Это не происходит, если спичку держать вертикально, тогда сгоревшая часть спички останется расположенной вертикально. Почему происходит изгибание сгоревшей части спички вверх?

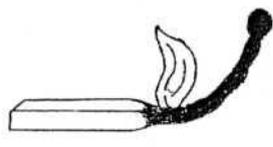


Рис. 4.

83. **Медицинский термометр.** Все хорошо знают, что для измерения температуры тела человека медицинским термометром или, как чаще мы его называем – градусником, необходимо держать его под мышкой

минут 5-10. Для того, чтобы «стряхнуть» термометр после измерения, достаточно иногда долей секунды. Почему так легко это сделать?

Когда вы измеряете температуру, тепло вашего тела заставляет ртуть в градуснике расширяться. Почему сужение в капилляре не дает упасть столбику ртути после того, как вы измерили температуру? Ведь при расширении ртуть прошла через это сужение. Почему же она не проходит сквозь него, когда сжимается?

84. **Грибовидные облака.** При проведении наземных ядерных взрывов образуется грибовидное облако (естественно, такое облако можно наблюдать только в документальном кино). Такое же облако наблюдается и при любых очень мощных взрывах. Почему при таких взрывах образуются грибовидные облака?

85. **Провисание провода.** В какое время года сильнее всего провисают провода?

86. **Предварительно напряженные трубы.** Трубы с тонкой стенкой могут выдерживать небольшое давление в 2-3 атмосферы. На мощных тепловых станциях для получения высокой температуры пара (до 560°C) необходимо использовать трубы на давление около 160 атм, следовательно, толщина стенки трубы должна быть в 50 раз больше. Это приводит к большому расходу материала и огромному весу труб.

Попробуйте предложить вариант двухслойной трубы, в которой для уменьшения толщины используется предварительное механическое напряжение.

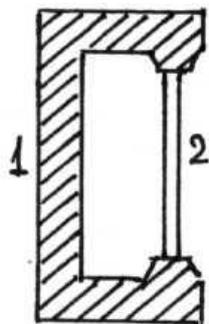


Рис. 5

87. **Закрепленный стержень.** Между выступами цинковой опоры 1 вставлен железный стержень 2 (рис.5) такой длины, что он держится между выступами при очень малом трении. Что произойдет, если всю конструкцию опустить в горячую воду?

88. **Уровень керосина в колбе.** В колбу с узким длинным горлышком налили керосин и отметили его уровень на горлышке. При погружении колбы в горячую воду в первый момент уровень керосина опустится, а затем начнет повышаться. Почему?

89. **Измерение температуры тела.** Как правило, измерение температуры тела человека медицинским термометром производится при комнатной температуре. А как измерить температуру тела человека, если температура окружающего воздуха равна примерно 42°C ?

90. **Греет ли шуба?** Довольно странный вопрос, ведь мы все знаем, что в шубе нам не страшен любой мороз. Однако попробуем проверить, как греет шуба. Заметим показание термометра и закутаем его в шубу, через несколько часов вынимаем термометр и смотрим, сколько градусов он показывает. После проведения такого эксперимента показание термометра не изменилось. Это доказывает, что шуба не греет. Можно провести опыт со льдом – один кусок льда закутаем в шубу, другой – оставляем в комнате. Когда лед в комнате растает,

развернем шубу и увидим, что лед в шубе почти не начал таять. И этот опыт доказывает, что шуба не греет. Так все-таки как греет шуба человека?

91. **Почему не помогла теплоизоляция?** Через медную трубку с внешним радиусом 5 мм пропускается пар. Чтобы уменьшить тепловые потери, ее покрыли слоем теплоизоляционного материала толщиной 5 мм. Но потери после этого не только не уменьшились, но даже, наоборот, возросли. Почему это произошло?

92. **Изолированный сосуд.** В закрытом со всех сторон сосуде находится газ, молекулы которого при ударах о стенки сосуда передают им часть кинетической энергии. В результате этого, очевидно, сосуд будет нагреваться, если считать, что он теплоизолирован от окружающей среды. Так ли это?

93. **Свечение одинаково нагретых тел.** Нагретый кусок стали при температуре 800°C светится вишнево-красным цветом, тогда как свечение прозрачного стержня из кварца при такой же температуре еле заметно (с несколько меньшим успехом опыт можно сделать со стеклом). Чем объяснить такой эффект?

94. **Мел и уголь при высокой температуре.** Мел и уголь имеют одинаковую высокую температуру. Почему мел выгладит на фоне раскаленных углей темным?

95. **Ледяные сосульки.** Зимой мы очень часто видим свешивающиеся с крыш ледяные сосульки, но очень редко задумываемся над вопросом, как они образуются, в какую погоду и на какой крыше.

Очевидно, что для образования ледяных сосуллек нужно в одно и то же время иметь две температуры: для таяния снега и образования воды необходима температура выше нуля и для замерзания воды – ниже нуля. Как это происходит?

Второй вопрос: в какую погоду образуются сосульки: в оттепель или в мороз? Если в мороз, то откуда могла взяться вода на крыше? Если в оттепель, то как могла замерзнуть вода при температуре выше нуля?

Если в городе имеются дома с плоскими крышами, то на таких крышах сосульки образуются очень редко или вообще не образуются, в отличие от крыш со скатами. Почему образование сосуллек зависит от угла наклона крыши?

Все это, казалось бы, разные вопросы, но ответ на них можно дать, используя только одно свойство падающих солнечных лучей. Какое?

96. **Температура воздуха в городе и за его пределами.** Температура воздуха в центре крупного города всегда на 3-5 градусов выше, чем за его пределами. Особенно это чувствуется в зимнее время. Назовите основные причины такого увеличения температуры.

97. **Одежда металлургов.** Металлурги, имеющие дело с расплавленным металлом, работают в очень тяжелых условиях. Тепловое излучение, испускаемое расплавленным металлом, буквально обжигает человека. Казалось бы, что для облегчения условий труда костюмы металлургов должны изготавливаться из материала с очень низкой теплопроводностью. Но на самом деле спецодежду металлургов часто покрывают тонким слоем металла – великолепного проводника тепла. С какой целью так поступают?

98. **Термос.** Хорошо известно, что в термосе любые жидкости (вода, кофе, чай и др.) могут довольно долго сохранять неизменной ту температуру, при которой они были налиты в термос. Почему так происходит?

99. **Калориметр.** Калориметр (от латинского calor – тепло) - прибор для определения различных тепловых характеристик и величин удельной теплоемкости, теплоты сгорания, теплоты растворения, энергии излучения и др. Действие калориметра основано на измерении количества теплоты, переходящей от одного тела к другому.

Известно, что теплопроводность металла значительно больше теплопроводности стекла. Почему же тогда калориметры делают из металла, а не из стекла?

100. **Плавление железного космического корабля.** Каждый квадратный метр поверхности тела, нагретого до температуры T , излучает за единицу времени энергию $W = \sigma T^4$, где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$. На каком расстоянии R от Солнца расплавится железный космический корабль, если плотность потока солнечного излучения (мощность, проходящая через единицу площади) на орбите Земли $E_0 = 1400 \text{ Вт/м}^2$? Температура плавления железа $T = 1535 \text{ К}$, расстояние от Земли до солнца $R^0 = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

101. **Белые одежды в тропиках.** Почему люди в тропиках носят белую одежду? Считается, что белая одежда прохладнее. Реален ли и измерим ли этот эффект? Если кожа у людей белая, то есть ли смысл в белой одежде? От какого излучения солнца – ультрафиолетового, видимого или инфракрасного - защищает человека белая одежда? Какая доля получаемого нами тепла приходится на солнечные лучи, а какая берется от окружающей среды? Наконец, если вам придется идти по пустыне, то что лучше: одеться в белое или вообще снять одежду?

102. **Чугунные сковородки.** С давних пор по неведомым причинам предпочтение отдается чугунным сковородкам перед стальными. Все повара – и профессионалы, и любители – в один голос клянутся, что в чугунной посуде пища прожаривается более равномерно и меньше пригорает. Есть ли этому какое-то физическое объяснение?

III. Подсказки

1. Нагретые слои воды поднимаются вверх, а холодные опускаются вниз.
- 2, 3. Количество теплоты, отдаваемое нагретым телом окружающей среде, пропорционально разности температур тела и среды.
4. Потоки воды при конвекции направлены от холодной воды к теплой.
5. Мотор и радиатор холодильника выделяют больше тепла, чем поглощает холодный воздух, входящий в холодильник.
6. Ткань полотенца имеет меньшую теплопроводность, чем металл батареи. Полотенце лежит долго на батарее.
7. Потеря тепла у любого сосуда зависит от площади боковой поверхности.
8. У металла и дерева разная теплопроводность.
9. Удельные теплоемкости воды и металла очень сильно отличаются друг от друга. У воды теплоемкость во много раз больше, чем у металла.
10. Сильнее нагревается тело с меньшей теплоемкостью.
11. При расширении температура газа понижается.
12. У воды большая удельная теплоемкость, чем у воздуха.
13. Вода при подводе теплоты не может нагреваться выше температуры кипения при атмосферном давлении.
14. Теплопроводность у меди значительно выше, чем у железа.
15. Понятие температуры неприменимо к отдельной молекуле, хотя она и движется в большой скоростью.
16. Кинетическая энергия переходит в тепло.
17. Для разрыва межмолекулярных связей в большом кристалле необходима затрата энергии.
18. При изменении плотности воды меняется величина архимедовой силы.
19. Уравнение теплового баланса выполняется в изолированной системе тел.
20. Теплоемкость материала, из которого изготовлена пила, меньше, чем у дерева.
21. Масса холодного молока много меньше горячего кофе.
22. Теплоемкость меди в 11 раз меньше воды.
23. Количество теплоты, переданное системе, идет на увеличение внутренней энергии и на работу системы против внешних сил.
24. Совершается работа или переход в иное агрегатное состояние.
25. Наблюдается адиабатический процесс (процесс без подвода тепла).
26. Вода при охлаждении от 4 до 0°C расширяется и расширяется при повышении температуры от 4°C и выше.
27. Монокристалл обладает свойством анизотропии.
28. Происходит конвекция холодных и горячих потоков воздуха.
29. Быстроту охлаждения и нагревания определяет удельная теплоемкость вещества.

30. Для оценки выделившегося количества теплоты можно принять коэффициент трения кожи о кожу 0,5 и удельную теплоемкость 4200 Дж/кг·К.
31. Теплопроводность чугуна меньше, чем алюминия.
32. Происходят потери тепла на нагревание плавающего сосуда.
33. После достижения температуры кипения она меняться не будет при неизменных внешних условиях.
34. При жарке пищи кипит не масло, а вода.
35. В сырой воде больше растворенного воздуха.
36. Температура кипения воды зависит от внешнего давления.
37. Тепло, идущее на испарение воды в закрытой кастрюле, остается внутри кастрюли.
38. С одного конца трубки происходит превращение воды в пар, с другого – конденсация пара.
39. При замерзании воды выделяется довольно большое количество тепла.
40. При превращении пара в воду выделяется удельная теплота парообразования.
41. Блестящая сторона фольги отражает тепловое излучение, а матовая сторона поглощает.
42. Быстрое испарение воды образует оболочку пара вокруг капли.
43. Вода – плохой проводник тепла, кроме того, происходит испарение с поверхности воды.
44. Вода при испарении поглощает тепло, а пары прекращают доступ воздуха к горящему предмету.
45. При температуре выше тела человека горячий воздух к нему подводится.
46. Фреон испаряется при очень низкой температуре, порядка -30°C .
47. У спирта скорость испарения выше, чем у воды.
48. Капельки воды на теле человека испаряются.
49. Пот, испаряясь с поверхности тела, охлаждает его.
50. Происходит конденсация пара.
51. Замерзает влага на поверхности пальца.
52. Холодные слои воды (подо льдом) при низкой температуре опускаются вниз, а горячие поднимаются вверх.
53. При охлаждении и замерзании жидкости (воды) выделяется тепло.
54. Температура замерзания ртути равна $-38,9^{\circ}\text{C}$.
55. И при превращении воды в лед, и при превращении льда в воду выделяется и поглощается одинаковое количество тепла.
56. При полете капля дождя находится в состоянии переохлаждения.
57. Количество воды в сосудах зависит от скорости испарения.
58. Растения заполнены водой, а не физиологическим раствором.
59. Над почвой без снега происходит постоянная циркуляция воздуха.
60. Внутри помещения в зимнее время влажность воздуха выше, чем снаружи.

61. Для того, чтобы лед растаял, необходимо затрачивать значительное количество тепла, при обратном процессе это тепло выделяется.
62. При полете воздух у тела птицы отнимает тепло.
63. Теплопроводность камня выше, чем теплопроводность воды.
64. См. подсказку № 61.
65. При повышении давления на поверхности воды ее температура кипения будет увеличиваться.
66. При температуре льда и снега ниже -18°C под шипами не происходит таяния, а песок не закрепляется на дороге.
67. Антифриз понижает температуру замерзания воды и повышает температуру кипения.
68. У меди теплопроводность выше, чем у капроновой лески.
69. Соль при растворении поглощает большое количество тепла.
70. К вечеру облака опускаются вниз в теплые слои воздуха.
71. Тепло выделяется при трении коньков о лед.
72. Высота ледника ограничена из-за плавления льда у основания ледника.
73. Из-за быстрого сгорания смеси поршень и шатун не могут быстро набрать скорость.
74. У сосновых дров меньше скорость сгорания, чем у березовых.
75. Копоть в пламени появляется из-за недостатка кислорода.
76. Увеличение потенциальной энергии продуктов сгорания не меняет их теплотворную способность.
77. Железо имеет хорошую теплопроводность, а бумага нет.
78. Образующиеся трещины при поливе водой угля увеличивают площадь соприкосновения с воздухом.
79. Вентилятор ускоряет обмен воздуха возле мороженого.
80. Количество теплоты, подводимое к стержню, зависит от площади боковой поверхности, а отводимое от стержня зависит от площади сечения стержня.
81. Необходимо обратить внимание на неравномерное расширение стекла и на коэффициент линейного расширения, а также на то, что металл имеет большую теплоемкость.
82. Верхняя часть горячей спички из-за потока воздуха имеет более высокую температуру.
83. При малой разности температур тела и градусника ртуть расширяется очень медленно. Необходимо рассмотреть процесс измерения температуры тела человека.
84. В месте взрыва воздух очень быстро разогревается и поднимается вверх.
85. При изменении температуры воздуха наблюдается тепловое расширение или сжатие проводов.
86. Для создания предварительного напряжения используется тепловое расширение.
87. У цинка и железа разные коэффициенты линейного расширения.

88. Сначала прогревается колба, а затем керосин.
89. Градусник можно охладить или долго держать под мышкой.
90. Плохой проводник тепла не дает возможности потери тепла.
91. Потеря тепла зависит от площади поверхности излучения.
92. В изолированном сосуде устанавливается термодинамическое равновесие.
93. При переходе электронов с более высоких энергетических уровней на более низкие происходит излучение энергии в виде электромагнитного излучения (волн).
94. Тепловое излучение – излучение равновесное, т.е. количество излучаемой энергии равно количеству поглощенной.
95. Тепловая энергия солнечных лучей, обогревающих поверхность, зависит от угла падения этих лучей.
96. В городе меньше испарение и меньше ветер, а также большее накопление тепла.
97. Металл хорошо отражает электромагнитные волны.
98. Если тело не поглощает, но и не излучает.
99. В металлическом сосуде происходит быстрое выравнивание температуры и меньше потери на излучение.
100. Энергия излучения корабля определяется по формуле энергии $W = \sigma T^4$, где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$, T – температура, а поглощение определяется солнечной постоянной $E_0 = 1400 \text{ Вт/м}^2$.
101. Темная одежда поглощает видимое и инфракрасное излучения сильнее, чем белая.
102. Толстые массивные чугунные сковородки прогревают равномерно.

IV. Ответы

1. Для быстрого нагревания воды в емкости нагреватель ставят внизу, потому что нагретые слои воды, как более легкие, поднимаются вверх и таким образом достигается наиболее эффективное перемешивание и нагревание всей воды. При охлаждении же происходит все наоборот: более холодные слои воды, как более тяжелые, опускаются вниз. Поэтому если поместить лед внизу, то перемешивания не будет и остывание будет идти очень долго. Для более быстрого охлаждения надо поместить лед сверху.

2. Растворение сахара способствует охлаждению чая, поскольку при растворении поглощается энергия. Однако количество теплоты, отдаваемое нагретым чаем окружающей среде за одно и то же время, пропорционально разности температур чая и среды. Поэтому чай быстрее охлаждается, если его сначала выдержать до определенной температуры, а затем растворить сахар.

Размешивание понижает температуру чая, так как ускоряется перенос более горячей жидкости к поверхности и к холодным стенкам чашки по сравнению с обычной конвекцией. Металлическая ложка поглощает тепло и способствует его уносу из жидкости, отдавая его конвекционным воздушным потокам и излучая в окружающее пространство. Что касается цвета чашки, то больше будет терять энергии в виде излучения чашка темного цвета.

3. Скорость охлаждения пропорциональна разности температур нагретого тела и окружающего воздуха. Поэтому следует сразу несколько охладить кофе, влив в него молоко, чтобы дальнейшее остывание происходило медленнее.

4. Банка, стоящая на подоконнике, нагревается неравномерно, так как температуры со стороны комнаты и со стороны окна разные. При неравномерном нагревании банки в ней существуют непрерывные конвекционные потоки, которые у дна направлены от холодной стенки к теплой. Эти потоки переносят оседающую на дно муть к более теплой стенке. Зимой, очевидно, стенка, обращенная к комнате, теплее, чем обращенная к окну. Значит, опыт производился зимой.

5. Если открыть дверцу холодильника, то на некоторое время температура в комнате немного понизится. Однако затем включится холодильная система, которая снова начнет охлаждать внутренность холодильника. Так как мотор и радиатор на задней стенке холодильника выделяют больше тепла, чем его поглощает выходящий из холодильника холодный воздух, то в комнате вскоре станет еще жарче. Можно, конечно, отключить холодильник от сети, когда будет открыта дверца. Температура в комнате понизится на чуть большее время, чем при работающем холодильнике, но через некоторое время в комнате восстановится прежняя температура.

6. Так как просохшее полотенце лежит на отопительной батарее давно, то за длительное время температуры полотенца и батареи выровнялись. Однако на ощупь ткань будет казаться менее горячей из-за меньшей теплопроводности.

7. Выгоднее должен быть тот термос, который теряет меньше тепла за одно и то же время. Обмен теплом между термосом и окружающим пространством происходит через боковые стенки и торцы термоса. Если вместимость и

высоты одинаковы, то сечения, а значит, и торцевые поверхности термосов тоже одинаковы. Боковые же поверхности неодинаковы, а именно у цилиндрического термоса боковая поверхность меньше, чем у квадратного термоса. Поэтому термос с круглым сечением теряет меньше тепла и, значит, является более выгодным, чем термос с квадратным. Еще меньше будет терять тепло при одинаковой вместимости термос шаровой формы, так как у него будет самая маленькая боковая поверхность. И все-таки бытовые термосы имеют, в основном, цилиндрическую форму, так как с технологической точки зрения их легче изготавливать. Правда, термосы для хранения жидкого азота (сосуды Дьюара) имеют шаровую форму.

8. Ощущение степени холода или тепла при соприкосновении нашего тела с каким-либо предметом определяется количеством тепла, которое отдается или получается нашим телом в единицу времени. Теплопроводность у металла больше, чем у дерева. Если металл и дерево нагреть до одинаковой температуры, более высокой, чем температура нашего тела, то при соприкосновении с нашим телом металл передает ему в единицу времени больше тепла, чем дерево. Если же металл холоднее нашего тела, то он отнимает от последнего в единицу времени опять-таки больше тепла, чем дерево при той же температуре. Поэтому в первом случае металл кажется теплее дерева, а во втором – холоднее. Очевидно, что при температуре, равной температуре нашего тела, когда обмена теплом не будет, и металл, и дерево будут на ощупь казаться одинаково нагретыми.

9. У всех металлов удельная теплоемкость примерно в 10 раз меньше, чем у воды. Поэтому горячая вода будет охлаждаться на меньшее число градусов, чем металлический сосуд при нагревании.

10. Падая с определенной высоты, тело имеет потенциальную энергию, которая переходит в кинетическую, а при абсолютно неупругом ударе полностью в тепловую. В результате удара тело нагревается, количество теплоты, которое передается телу, равно $Q = cm\Delta T$, где c – удельная теплоемкость, m – масса тела, ΔT – изменение температуры. Для данной массы тел изменения температуры обратно пропорциональны их удельным теплоемкостям. Поэтому сильнее нагревается то тело, у которого меньше удельная теплоемкость, в нашем случае – это медное тело.

11. На вершинах гор холоднее из-за того, что теплый воздух, поднимаясь по склонам гор, попадает в область более низкого атмосферного давления, расширяется, а при расширении происходит охлаждение воздуха.

12. У воздуха меньшая, чем у воды, удельная теплоемкость, поэтому воздушная грелка быстро охлаждается.

13. Самовар с водой при нагревании не распаивается, хотя для соединения отдельных деталей используется легкоплавкий припой. Причина в том, что вода может нагреваться в открытом сосуде только до температуры кипения 100°C , поэтому нагреваемая вода, обладающая большой теплоемкостью, поглощая избыток теплоты корпуса самовара, не дает ему нагреться заметно выше 100°C , то есть настолько, чтобы мог расплавиться припой.

14. При пользовании паяльником важным является не столько величина запасенной внутренней энергии (в особенности, если паяльник электрический), сколько скорость, с которой паяльник ее отдает. Скорость отдачи тепла определяется теплопроводностью, а она у меди в шесть с лишним раз выше, чем у железа, то есть паяльник из меди передает тепло значительно быстрее.

Немаловажную роль в выборе материала для паяльника играет также более высокая, чем у железа, химическая стойкость меди.

15. В равновесных условиях температура пропорциональна средней кинетической энергии частиц тела. Но понятие температуры неприменимо к отдельной молекуле или даже нескольким молекулам; о температуре, как о величине статистической, можно говорить лишь в том случае, если имеется достаточно большая совокупность частиц. Если же одна или две молекулы обладают скоростями и кинетической энергией, которым соответствует температура в несколько тысяч градусов, то речь уже идет не о температуре, а о простом движении молекул.

Высоко над Землей атмосфера очень сильно разрежена и число молекул в единице объема невелико. Поэтому, хотя каждая молекула обладает значительной кинетической энергией, частиц слишком мало, чтобы передать при соударениях со стенками спутника заметное количество энергии. Наоборот, когда спутник не освещается лучами Солнца, он отдает в окружающее пространство в процессе лучеиспускания гораздо больше энергии, чем получает от ударяющихся о него молекул, и может сильно охладиться, если не принять меры.

Нагревание спутника в плотных слоях атмосферы при посадке происходит совершенно по другим причинам – это трение поверхности спутника о воздух.

16. При движении космического корабля в воздушном пространстве в результате столкновения с молекулами и атомами, входящими в состав воздуха, происходит нагревание за счет кинетической энергии, которой обладают молекулы относительно космического корабля. Поэтому при запуске скорость ракеты в плотных слоях атмосферы мала, а при спуске велика, и космический корабль нагревается много сильнее при спуске.

17. Для растворения соли необходима затрата энергии, которая забирается у воды, и она охлаждается. Если в воде растворяется порошок соли, то часть молекулярных связей кристаллической решетки в ней уже была разрушена при измельчении. Поэтому для растворения порошка требуется меньше энергии, чем для растворения большого кристалла, так как в нем необходимо затратить энергию на разрушение связей. Следовательно, после растворения порошка соли температура воды в сосуде будет более высокой.

18. Под действием силы Архимеда полый стеклянный пузырек удерживается внутри воды на определенной глубине. Когда в сосуд с водой подливают холодную воду, т.е. воду, температура которой ниже, чем у воды в сосуде, то плотность смешанной воды увеличивается и, следовательно, увеличивается сила Архимеда, пузырек всплывает. Если затем добавить горячую воду, то плотность воды уменьшается и уменьшается сила Архимеда, пузырек тонет.

19. Уравнение теплового баланса учитывает только теплообмен между телами в виде передачи теплоты. Поэтому необходимо, чтобы процессы протекали без теплообмена с окружающей средой и без совершения работы.

20. Теплоемкость стали, из которой изготавливаются пилы, в пять раз меньше, чем у дерева. При распиливании дерева в результате трения и пила, и дерево получают примерно одинаковое количество теплоты, которое определяется по формуле $Q = cm\Delta T$, где c – удельная теплоемкость, m – масса тела, ΔT – разность температур. Так как теплоемкость дерева в пять раз больше, чем стали, то пила будет нагреваться в пять раз сильнее. А если учесть, что масса дерева больше массы пилы, то дерево практически нагревается очень слабо.

21. Оценим изменение температуры кофе при добавлении в него холодного молока. Так как теплоемкости кофе и молока примерно равны, то изменения температур кофе и молока обратно пропорциональны их массам. Поэтому при добавлении, скажем, 10 г молока при 5°C в чашку кофе – 200 г при 95°C – температура кофе понизится меньше, чем на 5°C .

22. Если теплоемкость воды в 11 раз больше теплоемкости меди, то при одинаковых графиках зависимости количества теплоты от времени для медного сосуда и воды в нем масса воды должна быть примерно в 11 раз меньше массы медного сосуда.

23. Столь неожиданный результат можно объяснить, если проанализировать первый закон термодинамики, который можно сформулировать следующим образом: количество теплоты, переданное системе, равно увеличению ее внутренней энергии плюс работа, произведенная системой против внешних сил: $Q = \Delta U + A$.

Так как начальная и конечная температуры обоих шаров одинаковы, то изменение их внутренних энергий одно и то же. Однако в результате теплового расширения центр тяжести первого шара при этом поднимается, второго – опускается. Таким образом, при нагревании первого шара нужно подводить дополнительную энергию (теплоту), чтобы совершить положительную работу против гравитационных сил (то есть увеличить потенциальную энергию шара). Для второго шара центр тяжести опускается, и работа против гравитационных сил отрицательна. Стало быть, при одном и том же увеличении температуры $Q_1 > Q_2$. Следовательно, теплоемкость вещества не является постоянной величиной. Для твердых тел, однако, чаще всего достаточно знать одну теплоемкость, а именно теплоемкость при постоянном давлении, которая и приводится в справочниках физических величин.

24. При подводе теплоты к телу не будет увеличиваться его температура, если вся подведенная теплота пойдет на совершение работы. Второй вариант, при котором не будет меняться температура, если совершается переход в другое агрегатное состояние (плавление, парообразование).

25. Так как газ находится в теплоизоляции сосуда, то отсутствует теплообмен с окружающей средой. Поэтому при расширении газа часть его внутренней энергии расходуется на совершение механической работы. Уменьшение внутренней энергии газа обуславливает понижение его температуры. Такой газовый процесс называется адиабатическим.

26. Из-за особенностей теплового расширения воды ответ зависит от начальной температуры. Увеличение внешнего давления при неизменной температуре приводит к уменьшению объема. Температуру воды необходимо изменить так, чтобы компенсировать это изменение объема. Значит, если начальная температура ниже 4°C , воздух следует охлаждать, так как вода при охлаждении от 4 до 0°C расширяется. Если температура воды выше 4°C , воздух следует нагревать, так как вода при нагревании от 4°C также расширяется.

27. При нагревании происходит расширение и объем шара увеличивается. Кроме этого, вследствие анизотропии некоторых монокристаллов при нагревании будет происходить расширение по разным направлениям кристаллической решетки неодинаково. Поэтому шар будет изменять не только объем, но и форму.

28. В комнате всегда существуют невидимые для глаза воздушные течения, порождаемые нагреванием или охлаждением воздуха. От нагревания воздух расширяется, становится легче, от охлаждения, наоборот, уплотняется, становится тяжелее.

Охлажденный воздух у окна опускается к полу, затем снова нагревается у печки (батареи) и вновь «путешествует» по комнате. Это перемещение воздуха мы и ощущаем, стоя у окна.

29. Быстрота остывания шариков зависит не только от их теплопроводности, но и от их теплоемкости. Чем больше удельная теплоемкость вещества, из которого сделан шарик, тем медленнее он нагревается и тем, естественно, медленнее остывает. В опыте Рихмана свинцовый шарик остывал быстрее не потому, что он имеет большую теплопроводность, а потому, что теплоемкость свинца сравнительно невелика ($130 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$), теплопроводность же свинца тоже невелика.

30. Для оценки количества теплоты, выделяющейся при трении рук, допустим, что мы сжимаем ладони с силой 1 Н , а коэффициент трения кожи о кожу составляет $0,5$. Тогда сила трения, которую мы преодолеваем при скольжении одной ладони по поверхности другой, будет равна $0,5 \text{ Н}$. Если считать, что, разогреваясь, мы за одну секунду совершаем два движения ладоней и каждое из них по $0,1 \text{ м}$, то мощность, расходуемая на преодоление сил трения, составляет $0,1 \text{ Вт}$. За 10 секунд такого разогрева в области контакта ладоней выделится 1 Дж тепла. Пусть все это тепло идет на разогрев участка поверхности кожи ладоней площадью $0,01 \text{ м}^2$ и толщиной 1 мм , которая имеет массу около 10^{-5} кг и удельную теплоемкость, близкую к теплоемкости воды, т.е. $4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$. Значит, наши действия приведут к нагреву этого участка на 25 градусов. Видно, оценка нагрева получилась явно завышенной. Большая часть тепла от разогрева конечно уходит в ткани, расположенные под кожей, и разносится по телу с кровотоком, но и оставшейся части тепловой энергии оказывается достаточно, чтобы поднять температуру кожи.

31. Теплопроводность чугуна меньше, чем алюминия. Поэтому температура внутренней поверхности чугунной сковороды более равномерна. Кроме того, благодаря большой теплоемкости чугунной сковороды ее температура

практически не меняется, когда на нее опускают холодные продукты. Поэтому продукты при жарке не подгорают.

32. Вода не будет кипеть в сосуде, плавающем в другом сосуде с кипящей водой, так как вследствие неизбежных потерь тепла на нагрев сосуда температура воды в плавающем сосуде будет ниже температуры кипения воды.

33. Если при варке пищи в кастрюле температура всей воды уже достигла 100°C (температура кипения воды), то она уже повышаться не будет, пока не закончится процесс кипения, т.е. пока вся вода не превратится в пар. Поэтому усиливать огонь совершенно бесполезно. Надо только, чтобы подводимого тепла было достаточно для поддержания кипения во всей кастрюле и для компенсации потерь тепла.

34. Несмотря на смущение (ведь среди экзаменаторов был хотя и молодой в те годы, но уже хорошо известный Э.Ферми), студентка все же сообразила и ответила правильно: «Когда жарят, кипит не масло, а вода, содержащаяся в пище».

И действительно, пока не выкипит вся вода, температура не поднимется выше 100°C . Именно по этой причине можно вскипятить воду в бумажном кульке.

35. Известно, что в воде имеются растворенные газы. При кипячении воды часть растворенных газов выходит из воды. Таким образом, сырая вода закипает быстрее, так как в кипяченой воде меньше растворенного газа (воздуха).

36. Сварить яйцо вкрутую на Марсе невозможно. Вследствие разреженности атмосферы вода закипит при температуре более низкой, чем необходимо для свертывания белка.

37. При испарении воды в кастрюле затрачивается значительное количество тепла. Если кастрюля открыта, то это тепло теряется, так как пар уносится воздушными потоками. Если же кастрюля накрыта крышкой, то пар остается в ней и тепло удерживается внутри кастрюли.

38. Нижний, более широкий конец трубки для жаренья мяса согревается теплом духовки, и вода, заключенная внутри трубки, нагревается и превращается в пар, потребляя при этом большое количество тепла, которое необходимо для перехода воды из жидкого состояния в газообразное. Горячий пар поднимается в верхний конец трубки, на который насажен холодный кусок мяса. Здесь пар конденсируется, высвобождая тепло, которое в свое время было затрачено на переход воды в пар. Жидкая вода стекает по трубке вниз, и цикл начинается сначала. При использовании такого приспособления мясо получает в 100-1000 раз больше тепла, чем в случае цельного стержня из того же металла, что обусловлено большой удельной теплотой парообразования.

39. Чтобы предохранить замерзание овощей в погребе и замерзание воды в радиаторе автомобиля, в погребе и рядом с радиатором ставят большой таз с водой. При приближении температуры воздуха в помещении к точке замерзания воды сосуд, наполненный водой, служит резервуаром тепла. Когда в нем начинает образовываться лед, высвобождается довольно большое количество тепла (удельная теплота кристаллизации – 332 кДж/кг), благодаря чему дальнейшее охлаждение помещения задерживается.

40. Пар поднимается по трубе в радиатор, где он конденсируется, и по той же трубе стекает вниз. Тепло радиатор получает за счет удельной теплоты фазового перехода (пар в воду), а не вследствие понижения температуры воды в нем.

41. Если продукты заворачивать в алюминиевую фольгу блестящей стороной наружу, то продукты будут дольше храниться, так как блестящая сторона будет отражать большую часть падающего на него теплового (инфракрасного) излучения. Матовая сторона фольги излучает и поглощает тепло лучше, чем блестящая. Поэтому если необходимо, например, быстро испечь кусок мяса, заворачивать следует так, чтобы матовая сторона фольги оказалась снаружи. Точно так же следует заворачивать продукты, предназначенные для замораживания.

42. Когда капля воды падает на раскаленную сковородку, ее нижняя часть мгновенно испаряется и образует паровую подушку между сковородкой и оставшейся частью капли. Затем в результате теплового излучения от сковородки через паровую подушку конвекционным потоком внутри подушки и теплопроводностью капля нагревается. Однако, чтобы она нагрелась таким образом до кипения, потребуется 1-2 мин. В течение этого времени паровая подушка предохраняет каплю от испарения, и та беспрепятственно «пляшет» и «скачет» по поверхности сковородки. Если сковородка будет горячей, то паровая подушка не образуется, и тепло будет передаваться непосредственно капле, и она будет быстро испаряться.

43. Вода в открытых водоемах будет иметь более низкую температуру, чем окружающий воздух, по двум причинам. Во-первых, вода плохой проводник тепла, и, прогреваясь с поверхности солнечными лучами, не прогревается глубоко. Во-вторых, вода, испаряясь, теряет энергию с испаряемыми молекулами и охлаждается. Это ведет часто к тому, что воздух, нагревающийся снизу от соприкосновения с нагретой землей, имеет более высокую температуру, чем вода в водоеме.

44. Если вода гасит огонь, с одной стороны, из-за того, что, попадая на горящий предмет и превращаясь в пар, она отбирает при этом очень много теплоты у горящего тела; чтобы превратить воду в пар, нужно в пять с лишним раз больше теплоты, чем при нагревании того же количества холодной воды от 0 до 100° С.

С другой стороны, образующиеся пары занимают объем, в сотни раз больший, чем породившая их вода; окружая горящее тело, пары оттесняют от него воздух и прекращают доступ кислорода, необходимого для горения.

Для тушения пожара второй фактор более важен, поэтому для прекращения доступа кислорода к горящему предмету раньше иногда в воду добавляли порошок. Для чего? Порох, быстро сгорая, выделяет большое количество негорючих газов, которые, окружая собой горящие предметы, затрудняют горение. В настоящее время для прекращения доступа кислорода к горящим предметам используют иногда специальную пену.

45. В пустыне и тропическом климате воздух, как правило, имеет температуру выше, чем тело человека. Поэтому в пустыне при ветре людям стано-

вится не прохладнее, как в морозный день (см. «Мороз и ветер»), а жарче. Теплота передается уже не от тела воздуху, а наоборот – воздух нагревает человеческое тело. И чем большая масса воздуха успеваает в единицу времени прийти в соприкосновение с телом, тем сильнее ощущение жары. Правда, испарение при ветре усиливается, но первая причина превалирует. Вот почему жители пустыни носят теплые халаты и меховые шапки.

46. Чтобы понять, куда расходуется электроэнергия в холодильнике, рассмотрим принцип его действия. А для этого попробуем в зимнее время отобрать часть тепла у воздуха и перенести в дом. Находясь на улице, возьмем жидкость, кипящую при низкой температуре, например, фреон-12 (CF_2Cl_2) и нальем несколько миллилитров ее в резиновый шарик, после чего сразу завяжем шарик веревкой, чтобы пары не улетучивались. Так как температура кипения фреона равна -33°C , то даже зимой на улице весь фреон, испаряясь, берет тепло из холодного воздуха, которое можно оценить, зная удельную теплоту парообразования фреона (139 кДж/кг); холодный воздух становится еще холоднее. А теперь внесем этот шарик в комнату и сожмем его. Когда давление внутри

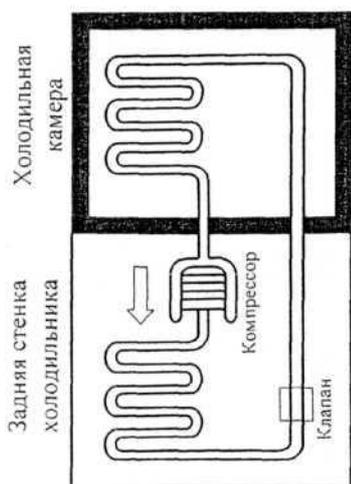


Рис. 6

ри шарика возрастет настолько, что пары фреона начнут конденсироваться, вся та тепловая энергия, которую мы отняли на улице у холодного воздуха, выделится в комнате и там станет теплее, ну а потом, когда шарик остынет, чтобы завершить цикл, можно опять вынести его на улицу, уменьшить давление внутри него и снова дождаться, пока весь фреон испарится. Таким образом, совершая работу над паром, мы переносим тепло от более холодного тела (воздух на улице) к более теплomu (воздух в комнате). Устройства, делающие это циклически, называются тепловыми насосами.

Наверно, почти все замечали с задней стороны наших холодильников явно теплую, а иногда даже горячую решетку радиатора. В принципе, наш холодильник можно назвать тепловым насосом, выкачивающим тепло из холодильной камеры в комнату или кухню. Наш холодильник называется компрессионным (рис. 6) и состоит из: насоса (компрессора), который создает область высокого давления в трубках теплообменника снаружи холодильной камеры; клапана (сужения), разделяющего эти две секции теплообменника; хладагента с температурой кипения около -30°C , переходящего из одной секции теплообменника в другую, а также из газообразного состояния в жидкое и обратно.

А теперь как работает холодильник. Через определенные промежутки времени включается двигатель насоса компрессора, который начинает очередной цикл работы:

- 1) сжимается газ, находящийся во внешнем теплообменнике, и давление, и температура увеличиваются;
- 2) двигаясь по внешнему теплообменнику, газ остывает, нагревая воздух комнаты;

3) температура газа падает и часть газа конденсируется в жидкость;

4) высокое давление перед клапаном выбрызгивает капельки жидкого хладагента в секцию теплообменника, находящегося под низким давлением, где хладагент начинает кипеть, испаряясь, понижает температуру холодильной камеры.

Таким образом, можно сказать, что электроэнергия, потребляемая холодильником, идет на нагревание комнаты.

47. Спирт испаряется гораздо быстрее, чем вода, и при этом за одну и ту же единицу времени поглощает большее количество тепла, которое и отнимается от руки.

48. Когда человек выходит из воды после купания, то происходит испарение капелек воды, оставшихся на теле. Поглощая при этом много тепла, они отбирают его не только у воздуха, но и у тела. Тело охлаждается, и воздух начинает казаться холоднее воды.

49. При большой температуре окружающего воздуха человек потеет. Пот же, испаряясь, понижает температуру тела, чем и охраняет его от ожогов. В горячей воде испарения не происходит, и кожа обжигается.

50. При конденсации пара выделяется большое количество тепла.

51. Когда мы прикасаемся к холодной металлической поверхности, имеющаяся на коже влага замерзает и поэтому палец может примерзнуть к металлу. Примерзание к металлу происходит с большей вероятностью, чем, например, к дереву, поскольку теплопроводность металла велика и тепло очень быстро отводится от кончика пальца.

52. Когда наступают морозы, то прежде всего охлаждаются и сжимаются поверхностные слои воды. Сжимаясь, они становятся тяжелее, чем нижележащие, более теплые слои; поэтому поверхностные слои воды опускаются вниз, а на их место поднимаются глубинные, более легкие слои воды. Когда вся масса воды охладится до 4°C , процесс охлаждения и смена слоев прекратится. Начиная с этой температуры верхние слои воды уже не будут опускаться, потому что при дальнейшем охлаждении они становятся легче нижележащих, то есть эти слои останутся наверху до замерзания (рис.7). Самый верхний слой льда примет температуру окружающего воздуха, затем в глубину температура постоянно повышается, и слои воды, лежащие глубоко, будут иметь температуру 4°C даже в самые сильные морозы. Если бы все происходило иначе, то пресноводная рыба водилась бы только в тропиках.

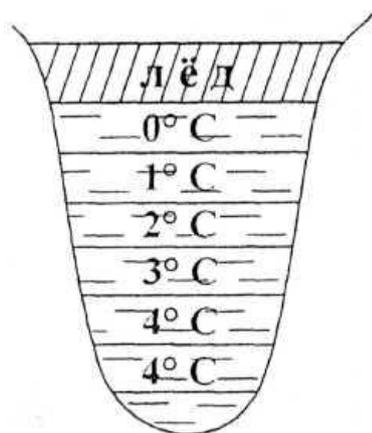


Рис.7

53. Если перед заморозками полить почву водой, то при охлаждении воды будет выделяться тепло, а при замерзании еще в большем количестве. Выделившееся тепло и будет защищать растения от мороза.

54. Температура замерзания ртути равна $-38,9^{\circ}\text{C}$, поэтому ртутный термометр нельзя применять для измерения температур от -40°C и ниже. Следовательно, ртутный термометр применять в Антарктиде невозможно.

55. Каждый грамм воды, находящийся при температуре 0°C , будет замерзать, если от него отнять 335 Дж теплоты. Лед растает лишь в том случае, если ему сообщить на каждый грамм 335 Дж теплоты. Сосуд, в котором находится вода со льдом, не остывает и не нагревается. Следовательно, вода и лед будут находиться в термодинамическом равновесии.

56. Вода в спокойных условиях может не замерзнуть даже при температуре ниже нуля (такая вода называется переохлажденной). Поэтому, пока капля движется в холодном воздухе (температура может быть значительно ниже нуля), вода в нем находится в жидком состоянии, но при ударе о какой-нибудь предмет или о землю она сразу же замерзает.

57. Вода замерзает при 0°C . Сначала она охлаждается до этой температуры, а потом начинает образовываться лед. Однако если сосуды сделаны из теплоизолирующего материала, то теплообмен через стенки будет очень мал и охлаждение происходит в основном за счет испарения с поверхности. При испарении над поверхностью жидкости образуется пар, давление которого все время меняется. Если сосуд закрыт, то этот пар довольно быстро становится насыщенным с давлением $p_{\text{н}}$, равным давлению насыщенного пара при данной температуре. Тогда дальнейшее охлаждение идет почти целиком за счет теплообмена. В нашем случае оба сосуда открыты. Как было сказано, жидкость испаряется до установления равновесия с паром, т.е. пока давление пара над поверхностью жидкости не станет равным $p_{\text{н}}$. Давление $p_{\text{н}}$ зависит от температуры и растет при ее увеличении. Поэтому над горячей жидкостью давление пара намного меньше $p_{\text{н}}$ и жидкость благодаря интенсивному испарению быстро охлаждается. При испарении масса воды все время уменьшается, поэтому когда температура достигнет 0°C , в «горячем» сосуде воды будет гораздо меньше, чем в холодном. Дальнейшее охлаждение в обоих сосудах будет происходить в одинаковых условиях. А поскольку в «горячем» сосуде воды меньше, установлено, что от 100 до 50°C вода остывает в 9 раз быстрее, чем от 50 до 0°C . Таким образом, при одинаковых условиях, когда затруднен обмен с определенной средой, а свободная поверхность жидкости достаточно велика, кипятик замерзнет быстрее, чем вода из-под крана.

58. Растение заполнено не водой, а тем или иным физиологическим раствором, который замерзает при температуре ниже нуля. Пока растение не замерзло, в нем продолжается подъем растворов по капиллярам, хотя и очень медленно (из-за слабого испарения вблизи точки замерзания). При этом температура соков, поднимающихся из подземной части растений, немного выше нуля. Кроме того, многие растения покрыты волосками, которые задерживают движение воздуха. Создается неподвижный слой воздуха, являющийся хорошим изолятором.

59. Воздух, соприкасающийся с почвой, не покрытой снегом, все время находится в движении. Этот движущийся воздух отнимает от земли тепло и усиливает испарение влаги. Воздух же, находящийся между частицами снега, малоподвижен и, как плохой проводник тепла, предохраняет землю от промерзания.

60. Количество содержащихся в одном кубическом метре воздуха водяных паров на улице и в комнате различно. При охлаждении стены холодным зимним воздухом вблизи ее температура воздуха в комнате понижается. Начиная с определенной температуры (точки росы) начинается конденсация паров (кирпичная стенка мокнет). Охлаждение может быть настолько сильным, что образовавшаяся вода на стене замерзает, появляется изморозь. Это объясняется тем, что кирпич обладает большей теплопроводностью, чем дерево. Поэтому при потеплении поверхность деревянной стенки быстро становится теплой.

61. При замерзании влажной почвы выделяется значительное количество теплоты в результате превращения воды в лед, которое идет на нагревание почвы. Поэтому влажная почва промерзает вглубь меньше, чем сухая почва.

62. В мороз птицы сидят нахохлившись, распутив перья и, тем самым создав возле своего тела воздушную рубашку. При полете воздух у тела птицы все время меняется, отнимая тепло. Эта потеря может быть настолько сильной, что птица замерзает.

63. В глубоких водоемах вода промерзает не до дна. Самые нижние слои воды имеют температуру 4°C (см. «Какая температура вода под слоем льда?»). Температура более высоких слоев понижается по мере приближения к поверхности, и самые верхние слои обращаются в лед.

Теплопроводность камня больше, чем теплопроводность воды, поэтому по каменным стенам от нижних теплых слоев воды и от дна водохранилища тепловые потоки поднимаются вверх. Эти потоки нагревают вышележащие слои воды, поэтому температура воды над постройкиками несколько выше и толщина льда меньше, чем в соседних местах.

64. В борьбе за существование птицы научились использовать в своих интересах законы физики. В частности, они «имеют представление», что происходит, когда вода превращается в лед.

Для того, чтобы превратить в воду 1 кг льда, находящегося при 0°C , необходимо затратить около 330 кДж теплоты. Эта теплота называется удельной теплотой плавления льда. При обратном процессе в окружающую среду выделится такое же количество теплоты. Таким образом, при морозе толщина льда увеличивается и выделяется определенное количество теплоты, которым и обогриваются птицы. Следует обратить внимание, что и при охлаждении поверхности льда также выделяется теплота, правда, несколько меньше, чем при превращении воды в лед.

65. При уменьшении внешнего давления на жидкость температура ее кипения будет понижаться. На вершинах высоких гор, где атмосферное давление меньше обычного, жидкость кипит при меньших, чем внизу, температурах. На высоте 5-6 км вода кипит при температуре около 80°C . При увеличении внешнего давления на жидкость температура ее кипения повышается (см. ответ «Кипение без нагревания»). Итак, чтобы температура кипения воды повысилась до температуры плавления олова, необходимо повысить внешнее давление на воду или нагреть воду с куском олова в герметически закупоренном сосуде. Если сосуд будет герметически закрыт, то испаряемая вода будет создавать повышенное давление, при котором температура кипения воды будет увеличи-

ваться и может достичь значения, необходимого для плавления олова. Чтобы достичь температуры кипения воды, достаточной для плавления олова, необходимо давление увеличить в 30 раз по сравнению с нормальным атмосферным давлением.

66. Шины с шипами «вгрызаются» в снег, и тем самым увеличивается сцепление с дорогой. Действие таких шин основано на том, что лед и снег под каждым шипом тают под давлением, создаваемым весом автомобиля. При наличии шипов вес автомобиля распределяется на меньшей площади опоры (площади соприкосновения шипа с дорогой), поэтому давление на лед увеличивается. Если температура снега и льда ниже -18°C , то такое увеличение давления оказывается недостаточным, чтобы вызвать таяние. Посыпать дороги песком целесообразно в том случае, когда при таянии под давлением льда и снега он может прочно закрепиться на дороге. При слишком большом морозе этого не происходит.

67. Когда в воду добавляют соль, то количество тепла, которое необходимо отбирать у раствора при замораживании, возрастает, поэтому температура его замерзания понижается. Добавка соли также повышает температуру кипения воды. Чтобы преодолеть притяжение к молекулам соли, молекулам воды придется двигаться значительно быстрее, только тогда они смогут оторваться и перейти в пар. Аналогичное понижение температуры замерзания и повышение температуры кипения лежит в основе действия антифриза в автомобильном радиаторе.

68. Медная проволока перережет лед быстрее. Одна из причин – хорошая теплопроводимость меди, обеспечивающая подвод тепла из окружающей среды к месту контакта лед-медь. Капроновая леска – очень плохой проводник тепла.

69. Соль, растворяясь, поглощает большое количество тепла и понижает температуру льда не только до нуля градусов, но и ниже температуры плавления льда при давлении, создаваемом проволокой.

70. К вечеру нагревание и подъем воздуха прекращается и внизу начинается его охлаждение от остывающей к ночи почвы. Облака, состоящие из мельчайших капелек воды, в это время начинают опускаться. Попадая в более теплые слои воздуха, они нагреваются и превращаются в невидимый водяной пар.

71. Лед тает за счет тепла, образовавшегося при трении коньков о лед.

72. Обозначим максимальную высоту ледника через H . Она ограничена из-за плавления льда у основания ледника. При плавлении льда массой $\Delta m = \rho S \Delta x$ (ρ – плотность льда, S – площадь сечения ледника) поглощается энергия $\lambda \Delta m$. Эта энергия равна изменению потенциальной энергии ледника, высота которого уменьшается на Δx и, следовательно,

$$\Delta E = \rho g H S \Delta x.$$

Поэтому $\rho g H S \Delta x \approx \rho S \lambda \Delta x$.

Откуда $H \approx \lambda / g$.

Для льда $\lambda = 332$ кДж/кг. Поэтому $H \approx 35$ км.

Примерно такую же величину мы получим для высоты гор, так как теплота плавления горных пород того же порядка, что и у льда. Как известно, самая

высокая гора на Земле имеет высоту ≈ 9 км, так что наша оценка совсем неплохая.

73. При взрыве давление газа в цилиндре возрастает скачком. Из-за инерции поршня и шатуна они не могут быстро набрать скорость и поэтому сильно деформируются. На это уходит часть энергии. При правильной регулировке двигателя смесь сгорает сравнительно медленно, и давление в цилиндре все время примерно одно и то же.

Кроме того, при взрыве газа его температура больше температуры смеси при медленном сгорании. Поэтому возрастают потери энергии из-за теплоотдачи.

74. Несмотря на то, что сосновые дрова имеют большую теплотворную способность, чем березовые, березовые дрова сгорают быстрее, чем сосновые. Поэтому в единицу времени березовые дрова выделяют больше тепла, чем сосновые и, естественно, у нас создается впечатление, что березовые дрова жарче.

75. Горелка коптит в том случае, если для нормального горения не хватает кислорода. Вертикальная трубка, поднесенная сверху пламени, является своеобразной трубкой, в которой создается тяга, что и вызывает приток кислорода к пламени горелки. Когда трубку закрывают сверху, то тяга исчезает и горелка начинает коптить снова.

76. Несмотря на то, что при подъеме на высоту 8000 м потенциальная энергия порции горючего увеличилась, при ее сгорании выделится столько же тепла, сколько и на уровне моря. Работа по подъему горючего в конечном итоге увеличивает потенциальную энергию продуктов сгорания, но не теплотворную способность.

77. Железо, обладая хорошей теплопроводностью, отводит тепло от бумаги, поэтому ее температура не достигает той, при которой бумага может загореться.

78. Под действием воды на горячем угле появляются трещины. Поверхность соприкосновения с воздухом увеличивается, и он начинает хорошо гореть. Кроме того, образовавшаяся при этом в топке смесь окиси углерода с водородом хорошо горит.

79. Мороженое тает потому, что оно поглощает теплоту из окружающего воздуха. По мере того, как воздух, находящийся вблизи мороженого, охлаждается, он опускается вниз, а на смену ему приходит более теплый воздух. Чем скорее происходит этот обмен, тем быстрее будет таять мороженое. Вентилятор же ускоряет обмен воздуха, поэтому он не только не охлаждает мороженое и не сохраняет его в твердом виде, а, наоборот, ускоряет его таяние.

80. Количество тепла, передаваемое стержню, находящемуся в пламени, пропорционально площади его боковой поверхности. Теплоотвод же вдоль стержня пропорционален площади поперечного сечения стержня. Поэтому повышение температуры находится в прямой зависимости от отношения площади боковой поверхности к площади поперечного сечения. Это отношение обратно пропорционально радиусу стержня. Поэтому тепловое равновесие толстого стержня наступает при значительно меньшей температуре, чем тонкой проволоки.

81. Причиной того, что лопается стакан из обычного стекла при налипании в него кипятка, является неравномерное расширение стекла. Горячая вода, налитая в стакан, прогревает его стенки не сразу: сначала нагревается внутренний слой стенок, в то время как наружный не успевает еще нагреться. Нагретый внутренний слой тотчас же расширяется, наружный же остается пока неизменным и испытывает, следовательно, сильное давление изнутри. Происходит разрыв наружного слоя – стекло лопается.

Если взять стаканы с толстыми стенками, то он будет лопаться чаще, нежели тонкие. Это и понятно: тонкая стенка прогревается быстрее, в ней быстрее устанавливается равномерная температура и одинаковое расширение, – не так как в толстом, медленно нагреваемом слое стекла.

В химических лабораториях пользуются очень тонкими сосудами и кипятят в них воду прямо на горелке, не тревожась за целостность сосуда. С другой стороны, очевидно, что идеальной посудой была бы такая, которая совсем бы не расширялась или в крайнем случае расширялась бы, но очень слабо. К таким материалам относится кварцевое стекло. Оно расширяется примерно в 20 раз меньше, чем обычное стекло. Посуда из кварцевого стекла может нагреваться при любых условиях и не будет лопаться. Кроме того, кварцевая посуда удобна для лабораторного употребления еще тем, что она очень тугоплавка: кварц плавится при температуре 1700°C .

Стаканы из обычного стекла могут лопаться не только при быстром нагревании, но и при резком охлаждении. Причина – неравномерное сжатие: наружный слой, охлаждаясь, сжимается и сильно сдавливает внутренний слой, еще не успевший охладиться.

Теперь о чайной ложке в стакане. Резкое различие в нагревании внутреннего и наружного слоя стенок бывает лишь тогда, когда в стакан сразу наливается очень горячая вода; вода теплая не вызывает резкой разницы в нагревании. От теплой воды посуда не лопается. При налипании кипятка в стакан с ложкой горячая жидкость, попав на дно, прежде чем нагреть стекло (которое плохо проводит тепло), успевает отдать часть своей теплоты хорошему проводнику – металлу; температура жидкости понижается; из горячей делается теплой и поэтому почти безвредна. Металлическая ложка в стакане (особенно если она массивна) сглаживает неравномерность нагревания стакана и тем самым предотвращает растрескивание стакана.

82. Причиной изгиба сгоревшей спички служит вертикальное движение воздуха в области горения, в результате которого устанавливается разная температура верхней и нижней частей спички. Верхняя часть горящей спички нагревается до более высокой температуры, чем нижняя. При горении масса и объем спички уменьшаются и чем больше температура, тем сильнее. Таким образом, верхняя часть горящей спички укорачивается сильнее, чем нижняя, и сгоревшая часть спички изгибается вверх. Этому также способствует поток воздуха, направленный всегда снизу вверх вблизи горящей спички.

83. При измерении температуры тела человека медицинским термометром (градусником) происходит следующее. В первый момент, когда разница температур градусника и тела человека большая, ртуть в градуснике расширя-

ется при быстром нагревании. Когда же температура градусника становится близкой к температуре тела, нагревание градусника происходит медленно и ртуть также расширяется медленно. Поэтому требуется значительное время для того, чтобы градусник нагрелся до температуры тела человека.

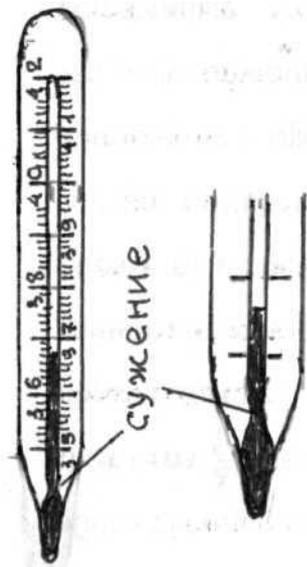


Рис. 8

Кроме того, так как диаметр сужения (рис.8) в градуснике очень маленький, то ртуть проходит через него только под давлением, которое возникает либо в результате теплового расширения ртути, либо под действием центробежной силы (она создается, когда градусник стряхивают, совершая им дугообразные движения). При остывании ртуть в месте сужения разрывается, так как молекулярные силы в ртути недостаточно сильны, чтобы втянуть верхнюю часть столбика обратно сквозь сужение трубки. И, таким образом, полученное значение температуры тела можно посмотреть через любой промежуток времени. Для возвращения градусника в рабочее состояние его достаточно стряхнуть (как уже было сказано), чтобы столбик ртути занял освобо-

дившийся объем в резервуаре термометра.

84. В месте атомного взрыва воздух очень быстро нагревается и стремительно поднимается вверх, увлекая за собой приземной воздух, пыль, обломки деревьев, водяной пар, которые и образуют «ножку» грибовидного облака. Поднимаясь, горячий воздух расширяется и благодаря этому охлаждается. В конце концов его температура сравнивается с температурой окружающего воздуха, и он начинает распространяться в стороны. Так образуется верхушка облака.

85. При повышении температуры происходит тепловое расширение, провода удлиняются, поэтому провисают провода сильнее всего в жаркие дни, то есть летом. С этой точки зрения, естественно, лучше всего провода натягивать между опорами в самые холодные зимние дни.

86. Для создания предварительного напряжения необходимо взять две трубы разного диаметра: внешний диаметр внутренней трубы должен быть чуть больше внутреннего диаметра наружной трубы. При одинаковой температуре внутренняя труба, естественно, не будет входить во внешнюю, если же внешнюю трубу нагреть, ее внутренний диаметр в результате теплового расширения увеличится и при определенной температуре будет иметь значение чуть больше, чем внешний диаметр внутренней трубы. В этот момент внутренняя труба вставляется во внешнюю, которая после остывания будет сжимать внутреннюю трубу с каким-то усилием.

Таким образом можно подобрать трубы с такими диаметрами, что механическое напряжение, действующее со стороны внешней трубы на внутреннюю, будет компенсировать высокое давление внутри такой двухслойной тру-

бы. Такое предварительное напряжение позволит значительно уменьшить общую толщину труб.

87. Из табличных данных температурный коэффициент линейного расширения у железа меньше, чем у цинка. Поэтому в горячей воде железный стержень выскочит из цинковой опоры.

88. Вначале уровень керосина понизится, так как первоначально нагревается колба и происходит ее тепловое расширение. Когда же прогревается и керосин, его уровень повысится за счет того, что температурный коэффициент расширения у керосина в 100 раз больше, чем у стекла.

89. Если температура окружающего воздуха очень высокая ($\approx 42^{\circ}\text{C}$), то для измерения температуры тела человека можно применить следующие способы. Можно предварительно охладить градусник в холодильнике и затем стряхнуть. Или же нужно подержать термометр под мышкой в течение длительного промежутка времени, извлечь его и сразу же стряхнуть. Термометр покажет температуру тела.

90. Шуба действительно не греет, если под словом «греть» подразумевать сообщение теплоты. Солнце греет, печка греет, камин греет, человеческое тело греет, потому что все эти тела являются источниками теплоты. Шуба в этом смысле своего тепла не дает, а только мешает теплоте нашего тела уходить от него.

В таком же смысле, как шуба, снег греет землю; будучи плохим проводником тепла, он мешает теплу уходить из покрытой им почвы.

Итак, на вопрос, греет ли нас шуба, можно ответить, что шуба только помогает нам греть самих себя. А еще точнее было бы говорить, что мы греем шубу, а не она нас.

91. Прибавление слоя тепловой изоляции толщиной 5 мм удвоило радиус внешнего слоя, что привело к удвоению площади поверхности, с которой происходит излучение тепла. При очень малой теплопроводности материала, из которого изготовлен изоляционный слой, за счет большой площади излучения потери действительно могут возрасти.

92. Сосуд не должен нагреваться потому, что при ударах о стенки молекулы отдают им часть кинетической энергии и сами становятся холоднее, а при последующих соударениях о более нагретые стенки молекулы газа, наоборот, принимают часть энергии от стенок. В результате устанавливается термодинамическое равновесие, и сосуд не нагревается.

93. Электроны в атомах находятся в разных состояниях, каждому из которых соответствует различная энергия. При переходе электрона из состояния с более высокой энергией в состояние с более низкой, «излишек» энергии выделяется в виде электромагнитного излучения. В зависимости от его частоты наблюдатель воспринимает свет того или иного цвета (свет – электромагнитное излучение).

В металлах наиболее удаленные от ядра электроны (валентные электроны) за счет тепловой энергии (нагревание) легко переходят в возбужденное состояние (приобретают большую энергию) и так же легко возвращаются в нормальное (основное), отдавая запасенную энергию в виде электромагнитного из-

лучения с соответственной длиной волны. В нашем случае электромагнитное излучение приходится на длину волны вишнево-красного цвета.

В кварце и стекле (диэлектрические материалы) все электроны находятся в связанном состоянии, прочно связаны с ядрами атомов и с большим трудом меняют свое энергетическое состояние. Чтобы получить заметное свечение, в этом случае необходима значительно более высокая температура.

Следует также обратить внимание на то, что для теплового излучения должен выполняться закон Кирхгофа. Согласно закону излучения Кирхгофа тело, которое при данной температуре лучше поглощает излучение, должно интенсивнее излучать. Кварц (и стекло) в отличие от стали почти не поглощает видимый свет, поэтому при нагревании в видимой области излучает значительно слабее.

94. В отличие от черного угля, почти полностью поглощающего видимый свет, белый мел этот свет отражает. Поэтому при нагревании мел излучает значительно меньше света и выглядит на фоне сильно излучающего угля темным.

95. Ледяные сосульки образуются на покатых крышах, потому что снег на склоне крыши тает, так как солнечные лучи нагревают его до температуры выше нуля. Правда, такие процессы будут наблюдаться не при любых температурах воздуха ниже нуля, а только при морозе порядка $1 - -3^{\circ}\text{C}$ в ясный день, когда Солнце заливает своими лучами землю и все окружающие здания.

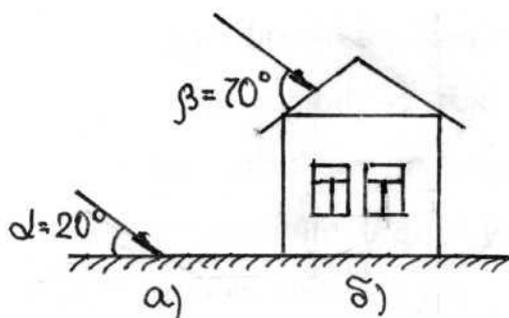


Рис. 9

Зимой наклон солнечных лучей к поверхности земли очень маленький и эти косые лучи не согревают землю настолько, чтобы снег мог таять (рис.9, а). Но на склон крыши, обращенной к Солнцу, лучи падают не полого, как на землю, а круче, под углом β , близким к прямому (рис.9, б), а на некоторые склоны даже и под прямым углом. Освещение и нагревание тепловыми лучами тем больше, чем больший угол составляют

лучи с плоскостью, на которую они падают. (Поток энергии на единицу поверхности пропорционален синусу этого угла; для случая на рис.9 снег на крыше получает тепла в 2,8 раза больше, чем снег на земле, так как $\sin 70^{\circ}$ в 2,8 раза больше синуса 20°). Таким образом, скат крыши нагревается сильнее и снег на нем может таять. Вода стекает и каплями свисает с крыши. Но под крышей температура может быть ниже нуля, и капля, охлаждаемая к тому же при падении, замерзает. На замерзшую каплю натекает следующая и так же замерзает и т.д., постепенно образуется маленький ледяной бугорок. В следующую такую же погоду ледяной наплыв удлиняется и в конце концов образуется ледяная сосулька. Если крыша плоская без скатов, то сосульки на таких крышах практически не образуются.

96. Причин более высокой температуры воздуха в черте города, в основном, три: 1) в городе меньше испарение, а соответственно, и меньше охлаждение за счет испарения; 2) асфальтированные дороги и здания накапливают

больше тепла, чем почва; 3) из-за большой высоты строений и их частого расположения ветер в городе слабее, чем на окраинах.

97. Передача тепла от раскаленного металла к человеку происходит главным образом через электромагнитное излучение. Максимум излучения при температуре плавления металла приходится на инфракрасные (тепловые) лучи, которые, как и вообще электромагнитные волны, очень хорошо отражаются металлами. Это и дает ответ на вопрос, зачем металлизуют спецодежду металлургов.

98. Самая низкая температура, которую могут иметь тела, равна -273°C , - это так называемый абсолютный ноль, равный по шкале Кельвина 0 K . При этой температуре атомы и молекулы внутри тела прекращают свое движение. При любой температуре выше 0 K атомы и молекулы начинают двигаться, и часть энергии их движения теряется в результате преобразования кинетической энергии в энергию излучения (тепловое излучение). Кроме того, всегда наблюдается и обратный процесс, когда тепловое излучение превращается в кинетическую энергию молекул. Если эти два процесса взаимно компенсируют друг друга, то температура тела не меняется. Поэтому тепловое излучение часто называют равновесным.

Если какой-либо из двух процессов превалирует, то тело будет или нагреваться, или охлаждаться. Если же тело имеет какую-то температуру и всю падающую на него энергию полностью отражает, то не будет и излучать, поэтому такое тело, которое не излучает, будет оставаться при неизменной температуре. В термосе такой отражающей поверхностью является зеркальная колба с двойными стенками (сосуд Дьюара), в которой находится жидкость, и поглощение может происходить только через пробку, но ее размеры очень малы. Поэтому температура воды неизменной будет оставаться очень длительное время.

99. Металл обладает большой теплопроводностью и малой удельной теплоемкостью, благодаря этому температура внутри калориметра быстро выравнивается, а на нагревание его затрачивается очень мало тепла. Кроме того, излучение металла значительно меньше излучения стекла, что уменьшает тепловые потери.

100. Корабль нагревается до такой температуры T , при которой энергия, излучаемая им, становится равной энергии, получаемой от Солнца. Излучаемая в единицу времени энергия пропорциональна площади поверхности корабля. Для оценки будем считать, что корабль – шар, средний радиус которого равен r . Тогда энергия, излучаемая кораблем, нагретым до температуры T , за единицу времени, равна:

$$W_{\text{изл}} = 4\pi r^2 W = 4\pi r^2 \sigma T^4.$$

Энергия, получаемая от Солнца за единицу времени, пропорциональна площади наибольшего сечения шара, то есть πr^2 , и равна

$$W_{\text{погл}} = \pi r^2 E_1,$$

где E_1 – плотность потока солнечного излучения на расстоянии R от Солнца.

Так как в единице телесного угла от Солнца распространяется постоянная энергия, то (рис.10) $E_1 S_1 = E_0 S_2$, и тогда

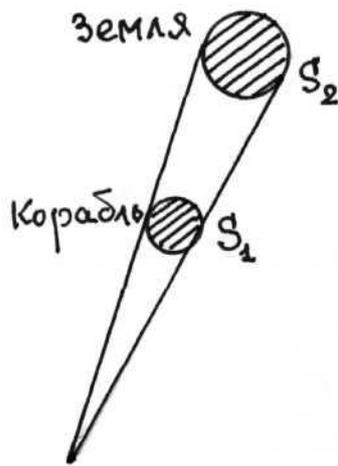


Рис. 10

$$E_1 = E_0 \frac{S_2}{S_1} = E_0 \frac{R_0}{R}^2.$$

Следовательно,

$$W_{\text{погл}} = \pi r^2 E_0 \frac{R_0}{R}^2.$$

Приравняв $W_{\text{изл}}$ и $W_{\text{погл}}$, получим

$$4\pi r^2 \sigma T^4 = \pi r^2 E_0 \frac{R_0}{R}^2.$$

Из этого уравнения найдем

$$R = \frac{R_0}{2} \sqrt{\frac{E_0}{\sigma T^4}} \approx 5 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

101. В жарких странах одежда защищает человека от прямых солнечных лучей. Темная одежда поглощает видимое и инфракрасное излучения сильнее, чем белая, поэтому в условиях жаркого климата следует носить белую одежду. Если климат достаточно влажный, то одежда должна быть пористой, чтобы испаряющийся пот охлаждал кожу. При сухом климате пористость одежды нежелательна, так как может вызвать быстрое обезвоживание организма.

102. У толстых массивных чугунных сковородок и кастрюль дно прогревается более равномерно, чем у современных, сделанных из тонкой стали. Те участки дна стальных сковородок, которые располагаются непосредственно над огнем, прогреваются особенно сильно, и на них пища часто пригорает.

Борисовский Василий Васильевич

ТЕПЛОТА
(теория и практика)

Учебное пособие для студентов всех направлений

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 13.11.14. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 2,75. Тираж 50 экз. Зак. 141313. Рег. № 117.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.