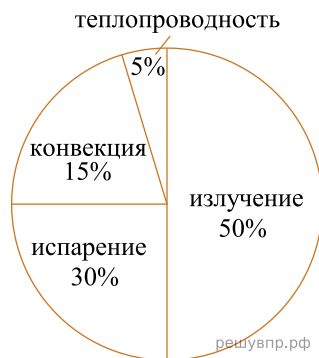


## Теплообмен

Теплообмен тела человека с окружающей средой может осуществляться, путём всех трёх видов теплопередачи (теплопроводности, конвекции и излучения), а также за счёт испарения воды с поверхности тела.

Перенос тепла в случае теплопроводности прямо пропорционален разности температуры тела и температуры окружающей среды. Чем больше разность температур, тем интенсивнее происходит теплоотдача энергии живым организмом в окружающую среду. Кроме того, большое значение имеет коэффициент теплопроводности окружающей среды. Известно, что коэффициент теплопроводности для воды (при 20 °С) равен 2,1 кДж/(ч·м·°С), а для сухого воздуха – примерно 0,08 кДж/(ч·м·°С). Поэтому для человека теплопроводность через воздух составляет очень незначительную величину.



### Идеальный теплообмен

Теплоотдача излучением для человека в состоянии покоя составляет 43–50% всей потери тепла. Излучение человеческого тела характеризуется длиной волны от 5 до 40 мкм с максимальной длиной волны в 9 мкм.

Испарение позволяет охлаждать тело даже в том случае, когда температура окружающей среды выше, чем температура тела. При низкой температуре воздуха конвекция и излучение с поверхности тела человека составляют около 90% общей суточной теплоотдачи, а испарение при дыхании – 9–10%. При температуре 18–20 °С теплоотдача за счёт конвекции и излучения уменьшается, а за счёт испарения увеличивается до 25–27%.

При температуре воздуха 34–35 °С испарение пота становится единственным путём, с помощью которого организм освобождается от избыточного тепла. На каждый литр испарившегося пота кожа теряет количество теплоты, равное 2400 кДж, она становится холоднее, охлаждается и протекающая через неё кровь.

Если при температуре окружающей среды 37–39 °С потеря воды с потом составляет около 300 г/ч, то при температуре 42 °С и более она повышается до 1–2 кг/ч. Испарение эффективно только тогда, когда воздух сухой и подвижный. Если воздух влажный и неподвижный, испарение происходит очень медленно. Вот почему особенно тяжело переносится жара во влажных субтропиках.

Самый простой и наиболее эффективный способ охлаждения организма путём испарения (при невысокой физической активности) – усиление дыхания. Ведь лёгкие работают ещё и в качестве холодильника. Выдыхаемый воздух всегда имеет стопроцентную влажность, а на испарение воды с громадной поверхности лёгких уходит большое количество избыточного тепла. Именно так охлаждают свой организм многие животные.

1. В воде тело человека охлаждается гораздо быстрее, чем в воздухе такой же температуры. За счёт каких основных видов теплопередачи это происходит? Ответ поясните.

2. В таблице приведены данные о теплоотдаче тела человека посредством различных способов.

Способ теплоотдачи	Процент теплоотдачи организма за сутки, %
Излучение	43,0
Конвекция	22,0
Испарение через лёгкие	9,0
Испарение через кожу	17,5
Нагревание вдыхаемого воздуха	3,5
Прочее	5,0
Всего	100,0

Какому диапазону температур воздуха соответствует такое распределение тепловотерь (в отсутствии физических нагрузок)? Ответ поясните.

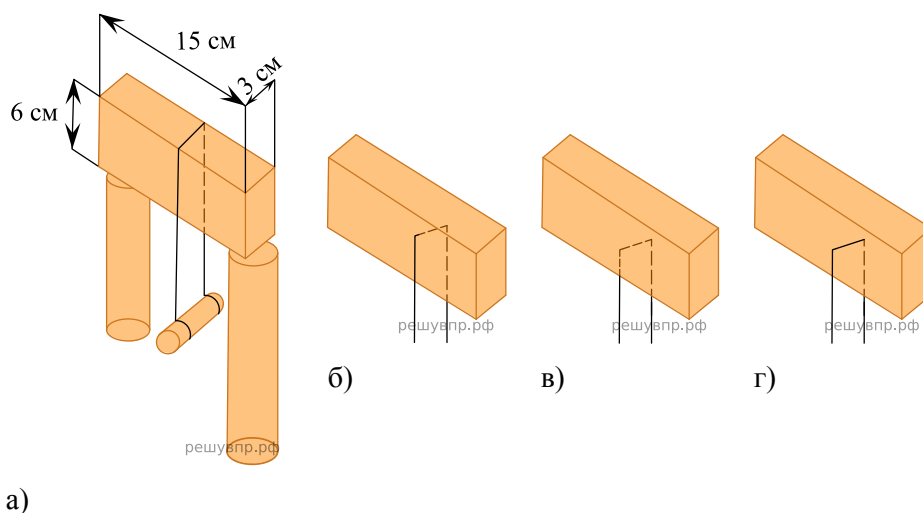
## Свойства льда

Между давлением и точкой замерзания (плавления) воды наблюдается интересная зависимость (см. таблицу).

Давление, атм	Температура плавления льда, °С	Изменение объёма при кристаллизации, см <sup>3</sup> /моль	Давление, атм	Температура плавления льда, °С	Изменение объёма при кристаллизации, см <sup>3</sup> /моль
1	0,0	-1,62	5280	-10,0	1,73
610	-5,0	-1,83	5810	-5,0	1,69
1970	-20,0	-2,37	7640	10,0	1,52
2115	-22,0	0,84	20000	73,8	0,68

С повышением давления до 2200 атмосфер температура плавления падает: с увеличением давления на каждую атмосферу она понижается примерно на 0,0075 °С. При дальнейшем увеличении давления точка замерзания воды начинает расти: при давлении 20 670 атмосфер вода замерзает при 76 °С. В этом случае будет наблюдаться горячий лёд.

При нормальном атмосферном давлении объём воды при замерзании внезапно возрастает примерно на 11%. В замкнутом пространстве такой процесс приводит к возникновению громадного избыточного давления до 2500 атм. Вода, замерзая, разрывает горные породы, дробит многотонные глыбы.



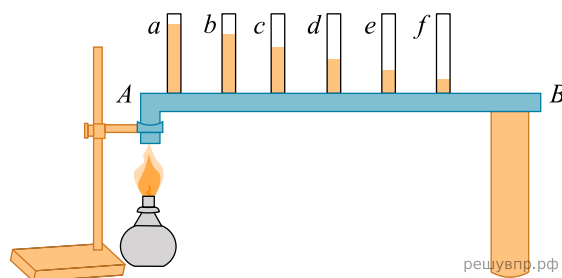
В XIX веке было обнаружено явление режеляции льда, которое можно продемонстрировать на опыте. Поставим на два столбика прямоугольный ледяной брусок. Перекинем через него тонкую стальную проволоку (диаметром 0,1 мм) и подвесим на ней груз массой 3 кг (см. рис. а). Все это оставим на лёгком морозе. Важно, чтобы температура на улице была лишь немногим ниже нуля. Примерно через сутки мы обнаружим, что проволока и гиря лежат на земле, а на столбиках стоит наш ледяной брусок, целый и невредимый. Если бы мы в течение опыта выходили на улицу, то увидели бы, как постепенно проволока опускается, как бы разрезая ледяной брусок (см. рис. б, в, г), никакого разреза не остаётся – выше проволоки брусок оказывается монолитным.

Долгое время думали, что лёд под лезвиями коньков тает потому, что испытывает сильное давление, температура плавления льда понижается и лёд плавится. Однако расчёты показывают, что под коньками температура плавления льда уменьшается примерно на 0,1 °С, что явно недостаточно для катания, например, при -10 °С.

**3.** Получится ли описанный в тексте опыт по режеляции льда, если его проводить при температуре -20 °С? Ответ поясните.

## Как исследовали теплопроводность материалов

То, что различные тела обладают разной способностью проводить тепло, т. е. разной теплопроводностью, было известно давно, однако инструментальные исследования начались лишь в конце XVIII в. Ж.-Б.-Фурье предложил способ, показанный на рисунке: в стержне  $AB$ , один конец которого нагревался, на равном расстоянии высверливались небольшие отверстия под термометры ( $a, b, \dots, f$ ). Вначале температура каждого термометра поднималась, но затем подъём прекращался, устанавливалось стационарное распределение температуры вдоль стержня. Лучшей теплопроводностью обладал тот материал, для которого различие между показаниями двух соседних термометров было наименьшее. Используя эту идею, Г. Видеман и Р. Франц получили данные о теплопроводности металлов и сплавов, сопоставив их с электропроводностью. Результаты опытов в относительных единицах представлены в табл. 1 (наилучшая проводимость — у серебра; наихудшая — у висмута).



Наряду с теплофизическими свойствами проводников, изучались и аналогичные свойства теплоизоляторов. Граф Б.-Т. Румфорд исследовал теплопроводность материалов, используемых для одежды. Он помещал термометр в стеклянную трубку с окончанием в виде сферы так, чтобы шарик термометра был в её центре. Пространство между стеклянной сферой и термометром заполнялось исследуемой материей. Вся трубка сначала помещалась в горячую воду, прогревалась до тех пор, пока не устанавливалась неизменная температура, затем прибор помещался в смесь толчёного льда и соли и охлаждался. В опытах измерялось время понижения температуры для каждого материала на  $135^\circ\text{F}$  ( $57,2^\circ\text{C}$ ). Данные, полученные Румфордом, представлены в табл. 2.

Наряду с экспериментальной базой в XIX в. были заложены и основы теории теплопроводности.

Таблица 1. Проводники			
Металл	Проводимость		Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$
	теплоты	электр.	
	Относительные единицы		
Серебро	100	100	10,49
Платина	10	8	21,40
Медь	73	74	8,93
Свинец	11	9	11,34
Золото	59	53	19,32
Железо	13	12	7,85
Висмут	2	2	9,79
Олово	23	15	7,28

Таблица 2. Теплоизоляторы			
Материал		Время	
		мин.	с
Шёлк	кручённый	15	17
	сырец	21	04
Лён		17	12
Хлопок-сырец		17	26
Заячий мех		21	52
Гагачий пух		21	45
Бобровый мех		21	36
Овечья шерсть		18	38

4. Известно, что теплопроводность воздуха тем выше, чем больше его плотность. Справедлив ли этот вывод для металлов? С какой их характеристикой согласуется теплопроводность металлов?

5. Ученик утверждает, что теплопроводность металлов тем выше, чем ниже их температура плавления. У серебра, например, температура плавления ниже, чем у железа, а теплопроводность выше. Правомерно ли такое утверждение? С какой характеристикой металлов согласуется их теплопроводность?

## Как исследовали теплопроводность материалов

То, что различные тела обладают разной способностью проводить тепло, т. е. разной теплопроводностью, было известно давно, однако инструментальные исследования начались лишь в конце XVIII в. Идея одного из опытов принадлежала Б. Франклину. Он предлагал покрывать полосу металла воском, а затем погружать один конец в горячее масло. Считалось, что большей теплопроводностью обладал тот металл, у которого воск за одно и то же время плавился на большей длине. Ж.-Б. Фурье предложил иной способ, показанный на рисунке: в стержне  $AB$ , один конец которого нагревался, на равном расстоянии друг от друга высверливались небольшие отверстия под термометры ( $a, b, \dots f$ ). Вначале температура каждого термометра поднималась, но затем подъём прекращался, устанавливалось стационарное распределение температуры вдоль стержня. Используя эту идею, Г. Видеман и Р. Франц в 1835 году получили данные о теплопроводности металлов и сплавов. Результаты их опытов в относительных единицах представлены в табл. 1 (наилучшая проводимость — у серебра; наихудшая — у висмута).

**Свойства металлов**

Металл	Теплопроводность, (относительные единицы)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельная теплоёмкость, Дж/г · °С	Температура плавления, °С
Серебро	100	10,49	0,239	961
Олово	23	7,28	0,230	232
Железо	13	7,85	0,460	1539
Висмут	2	9,79	0,142	271
Платина	10	21,40	0,133	1768
Свинец	11	11,34	0,128	327
Золото	59	19,32	0,129	1063
Медь	73	8,93	0,381	1083

Эксперимент по Фурье является физически более верным, чем эксперимент, предложенный Франклином. Дж. Тиндаль привёл такой аргумент. Возьмём два коротких стержня одинаковых геометрических размеров: один из висмута, другой из железа; покроем один торец каждого стержня воском, а другой конец поставим на крышку котла с горячей водой. Первым воск растает на стержне из висмута, значит, по Франклину, он лучший проводник тепла. Опыты же Видемана и Франца показали противоположный результат.

Тиндаль разъяснил, что на результаты опыта по Франклину влияет не только теплопроводность металлов, но и их удельная теплоёмкость. Умножив удельную теплоёмкость металла на его плотность для висмута получим:

$$0,142 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 9,79 \text{ г}/\text{см}^3 = 1,39 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

а для железа:

$$0,460 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 7,85 \text{ г}/\text{см}^3 = 3,61 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Следовательно, на прогрев стержня из висмута требуется меньшее количество теплоты. Сплавы металлов также обладают высокой теплопроводностью. (Например, нейзильбер — сплав меди, никеля и цинка, из которого делали столовые приборы.) Тиндаль пишет, что если взять кусочек белого фосфора, который плавится при 44 °С и загорается при 60 °С, и положить его на черенок чайной ложки из нейзильбера, опущенный в горячий чай, то фосфор расплавится. А если тот же опыт повторить с ложкой из серебра, то фосфор загорится.

**6.** Опыт Тиндаля проводят со стержнями из олова и железа. На прогрев стержня из железа на одно и то же число градусов требуется большее количество теплоты, чем стержня из олова. (Для олова:  $0,230 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 7,28 \text{ г}/\text{см}^3 = 1,64 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ; для железа:  $0,460 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 7,85 \text{ г}/\text{см}^3 = 3,61 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ .) Какой из стержней прогреется быстрее? Ответ поясните.

7. Опыт Тиндаля проводят со стержнями из меди и железа. На прогрев стержня из железа на одно и то же количество градусов требуется большее количество теплоты, чем у меди. Для меди:

$$0,381 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot^\circ\text{C}) \cdot 8,93 \text{ г}/\text{см}^3 = 3,40 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для железа:

$$0,460 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot^\circ\text{C}) \cdot 7,85 \text{ г}/\text{см}^3 = 3,61 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Какой из стержней прогреется быстрее? Ответ поясните.

Прочитайте текст и выполните задания 16–18.

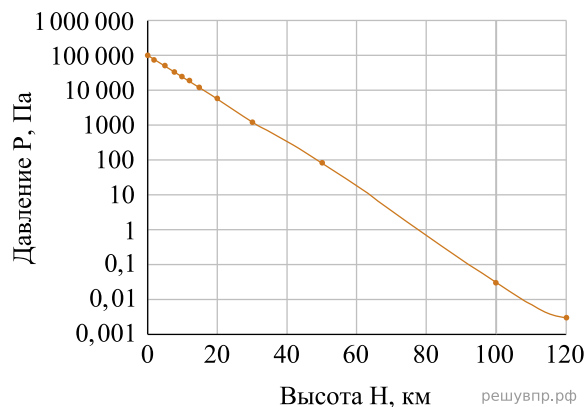
#### АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ

С высотой атмосферное давление падает. Это связано с двумя причинами. Во-первых, чем выше мы находимся, тем меньше высота столба воздуха над нами. Во-вторых, с высотой плотность воздуха уменьшается, следовательно, он имеет меньший вес на единицу высоты. Земля притягивает тела, в том числе и молекулы воздуха. Хаотичное движение молекул заставляет их разлетаться. Однако больше молекул воздуха находится в нижних слоях атмосферы.

Нижний слой атмосферы — тропосфера — содержит 80% массы воздуха и составляет всего 8-18 км высоты. Здесь можно пренебречь изменением плотности воздуха с высотой, считая её постоянной. Кроме того, для тропосферы характерны мощные вертикальные конвективные потоки воздуха, что уравнивает плотность по высоте. С учётом этого допущения можно рассчитывать атмосферное давление на небольших высотах по вертикальному барическому коэффициенту: при изменении высоты на 100 м атмосферное давление изменяется на  $12,5 \text{ гПа} = 1250 \text{ Па}$ .

Что касается более высоких слоёв атмосферы, то давление в них резко убывает с высотой. Здесь не происходит вертикальной конвекции воздуха, газовый состав изменяется в сторону более лёгких молекул, отсутствуют водяные пары. Поэтому зависимость давления от высоты становится нелинейной.

8. Применим ли метод вертикального барического коэффициента для расчёта давления на высотах верхних слоёв атмосферы? Ответ поясните.



Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.

### Открытие поглощения инфракрасных лучей (по Дж. Тиндалю)

Открытие термо-ЭДС, возникающей при нагреве контакта двух разнородных металлов (термопары), сделало возможным исследование инфракрасных (тепловых) лучей. Термодатчик (последовательно соединённые термопары) при нагревании тепловыми лучами вырабатывает ЭДС, измеряемую гальванометром. По отклонению стрелки судят о степени нагрева.

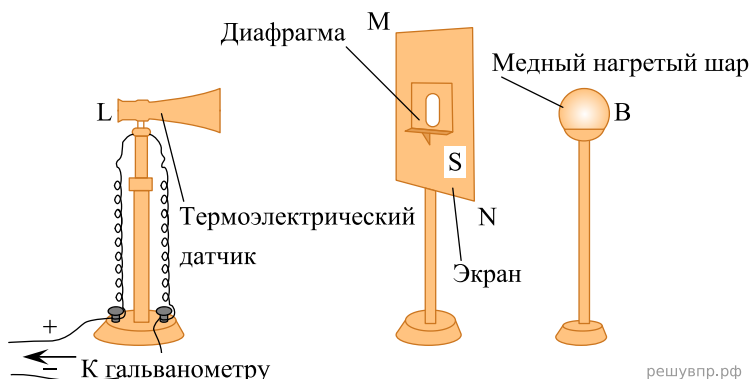


Рис. 1. Исследование прозрачности твёрдых тел

На рис. 1 показана схема исследования прозрачности твёрдых тел для тепловых лучей. Предполагалось, что комнатный воздух них прозрачен. В качестве источника излучения использовались нагретое тело, пламя и т. п. По закону Вина с понижением температуры тела максимум излучения смещается в сторону длинных волн:  $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$ , где  $b = 2897 \text{ мкм} \times \text{К}$ ,  $T$  — температура в кельвинах. В опыте исследуемая пластина (рис. 1) перекрывала отверстие диафрагмы. Оказалось, что прозрачные для видимого света оконное стекло непрозрачно для тепловых лучей. Пластина горного хрусталя пропускает: 38% излучения от пламени ( $T \approx 1200 \text{ К}$ ), 6% — от меди, нагретой до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  и 3% — меди, нагретой до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Пластина каменной соли (NaCl) пропускает более 92% лучей, испускаемых и пламенем, и нагретой медью (от  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

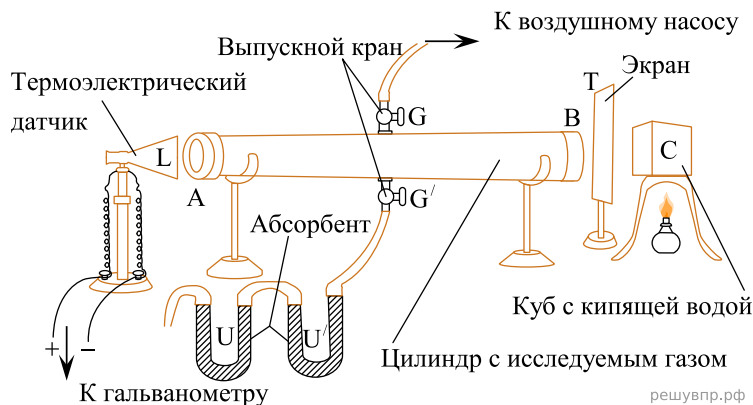


Рис. 2. Исследование прозрачности газов

При изучении прозрачности газов, например,  $\text{CO}_2$ , в цилиндре  $AB$  в качестве «окон» использовались кристаллы NaCl (рис. 2, торцы цилиндра). В откачанный цилиндр через кран  $G'$  впускали предварительно осушенные (прошедшие через трубки  $U-U'$ ) газы. После этого убирали экран  $T$ , закрывающий зачернённый сажей куб с кипящей водой  $C$ . По отклонению стрелки гальванометра судили о степени поглощения лучей.

Непрозрачность паров воды для инфракрасных лучей играет существенную роль в природе. Первые наблюдения были проделаны Р. Стрейчи в марте 1850 г. Он измерял падение температуры воздуха ( $\Delta t$ ) от восхода до захода Солнца на открытом воздухе при абсолютно ясном небе с помощью термометра, фиксируя в журнале наблюдений парциальное давление водяных паров (абсолютную влажность).

Понижение температуры воздуха после захода Солнца при различной абсолютной влажности воздуха									
$p_{\text{вод. пар}}$ , мм рт. ст.	22,6	21,6	20,4	19,0	18,0	16,7	15,4	14,1	11,0
$\Delta t$ , $^\circ\text{C}$	3,3	3,9	4,6	4,7	5,7	7,0	6,7	7,3	9,2

Было показано, что поглощение инфракрасных лучей водяным паром препятствует остыванию атмосферного воздуха.

Изучение причин возникновения парникового эффекта, а именно поглощение тепловых лучей водяным паром и углекислым газом, было начато физиками в середине XIX века.

9. Р. Стрейчи провёл в Мадраसे наблюдения над падением температуры ночью при ясном небе и подъёмом дневной температуры в солнечный день. Из его данных следовало, что увеличение абсолютной влажности воздуха примерно в два раза уменьшало остывание ночного воздуха в 2,75 раза, а прогрев дневного воздуха также уменьшало, но только в 2 раза. Приведите объяснение исходя из опытов Тиндаля и закона Вина.

Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.

### Инфразрение

У холоднокровных животных возможно существование инфраглаза. Тепловые «глаза» змеи, получившие название «лицевые ямки», представляют собой специализированные органы, чувствительные к инфракрасному излучению внешних объектов. Лицевые ямки, как правило, расположены впереди и чуть ниже обоих глаз змеи, а их число зависит от вида змеи и может достигать 26 (у питона).

Наиболее изучены лицевые ямки гремучей змеи. Чувствительность лицевой ямки такова, что она может обнаружить человеческую руку или живую мышь на расстоянии 0,5 м. Змея производит бросок тогда, когда температура чувствительной мембраны лицевой ямки повышается всего лишь на 0,003 °С.

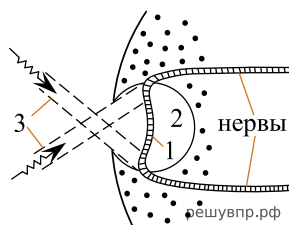


Рис. Разрез «лицевой ямки» змеи: 1 - термочувствительная мембрана; 2 - воздушная полость; 3 - инфракрасное излучение.

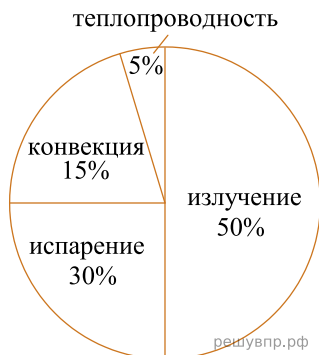
Глаз-термометр, в отличие от глаза, реагирующего на видимый свет, не содержит линзы, и своей конструкцией напоминает камеру-обскуру (см. рис.). Диаметр термочувствительной мембраны, как правило, более чем в 2 раза превышает диаметр внешнего отверстия лицевой ямки. Это обеспечивает частичную фокусировку изображения на поверхности мембраны. Однако, каждая такая ямка обладает лишь примитивной фокусирующей способностью: она даёт возможность различать два отдельных инфракрасных источника только тогда, когда угол между направлениями на них составляет 30–60°. В то же время использование змеей одновременно нескольких таких ямок, имеющих различные перекрывающиеся друг друга зоны обзора, позволяет значительно лучше локализовать направление на цель после обработки мозгом информации от всех терморецепторов.

10. Известно, что максимум собственного теплового излучения тела человека приходится на длины волн 9–10 мкм, что соответствует инфракрасному излучению. Объясните, почему человек не обладает инфразрением.

**Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.**

Теплообмен тела человека с окружающей средой может осуществляться путём всех трёх видов теплопередачи (теплопроводности, конвекции и излучения), а также за счёт испарения воды с поверхности тела.

Перенос тепла в случае теплопроводности прямо пропорционален разности температуры тела и температуры окружающей среды. Чем больше разность температур, тем интенсивнее происходит теплоотдача энергии организмом в окружающую среду. Кроме того, большое значение имеет коэффициент теплопроводности окружающей среды. Известно, что коэффициент теплопроводности для воды (при 20 °С) равен 2,1 кДж/(ч · м · °С), а для сухого воздуха — примерно 0,08 кДж/(ч · м · °С). Поэтому для человека теплопроводность через воздух составляет очень незначительную величину.



Идеальный теплообмен

Теплоотдача излучением для человека в состоянии покоя составляет 43–50% всей потери тепла. Излучение человеческого тела характеризуется длиной волны от 5 до 40 мкм с максимальной длиной волны в 9 мкм.

Испарение позволяет охлаждать тело даже в том случае, когда температура окружающей среды выше, чем температура тела. При низкой температуре воздуха конвекция и излучение с поверхности тела человека составляют около 90% от общей суточной теплоотдачи, а испарение при дыхании — 9–10%. При температуре 18–20 °С теплоотдача за счёт конвекции и излучения уменьшается, а за счёт испарения увеличивается до 25–27%.

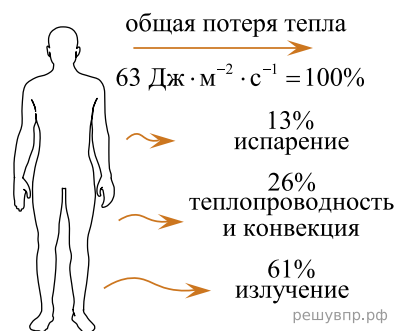
При температуре воздуха 34–35 °С испарение пота становится единственным путём, с помощью которого организм освобождается от избыточного тепла. На каждый литр испарившегося пота кожа теряет количество теплоты, равное 2400 кДж, она становится холоднее, охлаждается и протекающая под ней кровь.

Если при температуре окружающей среды 37–39 °С потеря воды с потом составляет около 300 г/ч, то при температуре 42 °С и выше она повышается до 1–2 кг/ч. Испарение эффективно только тогда, когда воздух сухой и подвижный. Если воздух влажный и неподвижный, испарение происходит очень медленно. Вот почему особенно тяжело переносится жара во влажных субтропиках.

Самый простой и наиболее эффективный способ охлаждения организма путём испарения (при невысокой физической активности) — усиление дыхания. Ведь лёгкие работают ещё и в качестве холодильника. Выдыхаемый воздух всегда имеет 100%-ную влажность, а на испарение воды с громадной поверхности лёгких уходит большое количество избыточного тепла. Именно так охлаждают свой организм многие животные.

**11.** На рисунке приведены данные о теплоотдаче тела человека посредством различных способов.

Какой примерно температуре воздуха соответствует такое распределение тепловпотерь в отсутствие физических нагрузок? Ответ поясните.

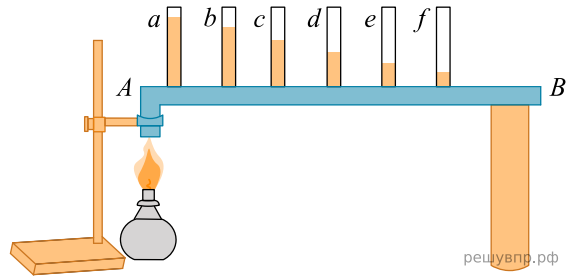


Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.

### Как исследовали теплопроводность материалов

То, что различные тела обладают разной способностью проводить тепло, т. е. разной теплопроводностью, было известно давно, однако инструментальные исследования начались лишь в конце XVIII в. Идея одного из опытов принадлежала Б. Франклину. Он предлагал покрывать полосу металла воском, а затем погружать один конец в горячее масло. Считалось, что большей теплопроводностью обладал тот металл, у которого воск за одно и то же время плавился на большей длине.

Ж.-Б. Фурье предложил иной способ, показанный на рисунке: в стержне АВ, один конец которого нагревался, на равном расстоянии друг от друга высверливались небольшие отверстия под термометры (а, b, ... f). Вначале температура каждого термометра поднималась, но затем подъём прекращался, устанавливалось стационарное распределение температуры вдоль стержня.



Используя эту идею, Г. Видеман и Р. Франц в 1835 году получили данные о теплопроводности металлов и сплавов. Результаты их опытов в относительных единицах представлены в табл. 1 (наилучшая проводимость — у серебра; худшая — у висмута).

Таблица 1. Свойства металлов

Металл	Теплопроводность, (относительные единицы)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельная теплоёмкость, Дж/г · °С	Температура плавления, °С
Серебро	100	10,49	0,239	961
Медь	73	8,93	0,381	1083
Золото	59	19,32	0,129	1063
Олово	23	7,28	0,230	232
Железо	13	7,85	0,460	1539
Свинец	11	11,34	0,128	327
Платина	10	21,40	0,133	1768
Висмут	2	9,79	0,142	271

Эксперимент по Фурье является физически более верным, чем эксперимент, предложенный Франклином. Дж. Тиндаль привёл такой аргумент. Возьмём два коротких стержня одинаковых геометрических размеров: один из висмута, другой из железа; покроем один торец каждого стержня воском, а другой конец поставим на крышку котла с горячей водой. Первым воск растает на стержне из висмута, значит, по Франклину, он лучший проводник тепла. Опыты же Видемана и Франца показали противоположный результат.

Тиндаль разъяснил, что на результаты опыта по Франклину влияет не только теплопроводность металлов, но и их удельная теплоёмкость. Умножив удельную теплоёмкость металла на его плотность для висмута получим:

$$0,142 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{С}) \cdot 9,79 \text{ г}/\text{см}^3 = 1,39 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{С}),$$

а для железа:

$$0,460 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{С}) \cdot 7,85 \text{ г}/\text{см}^3 = 3,61 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Следовательно, на прогрев стержня из висмута требуется меньшее количество теплоты. Сплавы металлов также обладают высокой теплопроводностью. (Например, нейзильбер — сплав меди, никеля и цинка, из которого делали столовые приборы.) Тиндаль пишет, что если взять кусочек белого фосфора, который плавится при 44 °С и загорается при 60 °С, и положить его на черенок чайной ложки из нейзильбера, опущенный в горячий чай, то фосфор расплавится. А если тот же опыт повторить с ложкой из серебра, то фосфор загорится.

**12.** Опыт Тиндаля проводят со стержнями из олова и железа. На прогрев стержня из железа на одно и то же число градусов требуется большее количество теплоты, чем стержня из олова. Для олова:

$$0,230 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{С}) \cdot 7,28 \text{ г}/\text{см}^3 = 1,64 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{С}),$$

для железа:

$$0,460 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 7,85 \text{ г}/\text{см}^3 = 3,61 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Какой из стержней прогреется быстрее?

### Инфразрение

У холоднокровных животных возможно существование инфраглаза. Тепловые «глаза» змеи, получившие название «лицевые ямки», представляют собой специализированные органы, чувствительные к инфракрасному излучению внешних объектов. Лицевые ямки, как правило, расположены впереди и чуть ниже обоих глаз змеи, а их число зависит от вида змеи и может достигать 26 (у питона).

Наиболее изучены лицевые ямки гремучей змеи. Чувствительность лицевой ямки такова, что она может обнаружить человеческую руку или живую мышь на расстоянии 0,5 м. Змея производит бросок тогда, когда температура чувствительной мембраны лицевой ямки повышается всего лишь на  $0,003 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

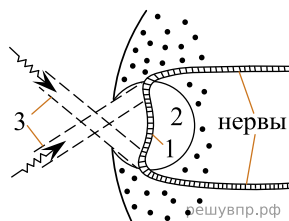


Рис. Разрез «лицевой ямки» змеи: 1 — термочувствительная мембрана; 2 — воздушная полость (3 — инфракрасное излучение)

Глаз-термометр, в отличие от глаза, реагирующего на видимый свет, не содержит линзы, и своей конструкцией напоминает камеру-обскуру (см. рис.). Диаметр термочувствительной мембраны, как правило, более чем в 2 раза превышает диаметр внешнего отверстия лицевой ямки. Это обеспечивает частичную фокусировку изображения на поверхности мембраны. Однако, каждая такая ямка обладает лишь примитивной фокусирующей способностью: она даёт возможность различать два отдельных инфракрасных источника только тогда, когда угол между направлениями на них составляет  $30\text{--}60^\circ$ . В то же время использование змеями одновременно нескольких таких ямок, имеющих различные перекрывающиеся друг друга зоны обзора, позволяет значительно лучше локализовать направление на цель после обработки мозгом информации от всех терморепцепторов.

**13.** Объясните, почему инфразрением могут обладать только холоднокровные животные?