

## ОТ ГОРЯЧЕГО К ХОЛОДНОМУ: ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

В статье «Три вида теплопередачи» из «Квантика» № 7 за 2022 год мы обсудили, как может передаваться тепловая энергия от более нагретого тела к более холодному. Для этого у природы есть три способа – *теплопроводность* («контактная» передача тепла, нагревание при соприкосновении), *конвекция* (перемешивание горячих и холодных «кусков» вещества, или струй, как в закипающем чайнике) и *излучение* («бомбардировка светом», так Солнце греет Землю). В этот раз поговорим подробнее о теплопроводности.

В состоянии теплового равновесия все части физической системы имеют одинаковую температуру. Пока равновесия нет, более тёплые части отдают тепло остальным всеми тремя возможными способами; если один не подходит – природа использует другой.

Например, вот стена дома. Внутри – тепло, градусов 20, батарея работает, снаружи (зима!) холодно. Внутри и снаружи поддерживаются постоянные (разные) температуры, а тепло, выделяемое батареей, постоянно «просачивается» сквозь стену (это и есть теплопроводность) и уходит на обогрев всей улицы. Сколько тепла просачивается через стену каждую секунду – зависит от толщины и материала стены и от разницы температур снаружи и внутри. Чем больше эта разница, тем сильнее поток тепла.

Свойство материала пропускать тепло описывается числом, которое называется *коэффициентом теплопроводности*. Если у одного материала он в 2 раза больше, чем у другого, то при той же толщине стены и разнице температур поток тепла через первую стенку будет тоже в 2 раза больше, чем через вторую.<sup>1</sup>

Материал	Коэфф. теплопр. Вт/м К
Серебро	430
Медь	390
Золото	310
Алюминий	230
Железо	75
Чугун	56
Лёд	2,3
Камень	1,4
Стекло	1,15
Вода	0,6
Старый снег	0,5
Песок сухой	0,3
Дерево	0,2
Водород	0,17
Гелий	0,14
Воздух	0,025

<sup>1</sup> Более аккуратное определение см. в статье С. Дворянинова «Что такое теплопроводность» в «Квантике» № 2 за 2019 год.

Посмотрите на таблицу: самая большая теплопроводность – у металлов. У льда, камня и воды – в сотню раз меньше! У дерева вообще крошечная, как у лёгких газов. А у воздуха – ещё в 10 раз меньше, прямо почти ноль уже! Если, кстати, откачать воздух, сделать вакуум – вообще ноль получится. Нет вещества – некому передавать тепло.

Теперь мы можем решить задачу №1 из статьи «Мороз и солнце» («Квантик» №12 за 2022 год).

*Почему в очень сильный мороз нельзя трогать голыми руками металлические предметы – например, опоры турника? А сам турник – можно? А если перед этим «поплевать» на руки? А бетонный столб можно потрогать? А ключи, если они упали на землю? А в очень сильную жару?*

Металлы очень хорошо проводят тепло. Если греть один краешек большого металлического предмета, передаваемое ему тепло почти мгновенно расходится по всему объёму металла. Нагреть только один маленький кусочек металлического предмета поэтому практически невозможно (в отличие от камня, например).

Когда мы берёмся руками за холодный предмет, мы передаём ему тепло, нагреваем его. Чем больше разница температур руки и предмета, тем больше тепла мы отдаём каждую секунду. Если это камень или (тем более) дерево, очень тонкий слой возле руки быстро нагревается, а дальше тепло уходит медленно, поток тепла маленький. Если это большая железка, наше тепло тратится сразу на обогрев всей железки. Естественно, на повышение температуры всей железки его не хватает, разница температур остаётся большой, и тепло продолжает уходить от руки очень интенсивно. Теперь уже у руки не хватит теплопроводности на передачу такого большого потока, и маленькая область руки возле места контакта сильно остынет (своё тепло она уже отдала железке, а новое прийти от тела не успело). Может возникнуть обморожение – клетки кожи отмирают от холода, придётся долго ждать, пока они заменятся другими.

Это если руки сухие. А если они ещё и влажные, тонкий слой воды на поверхности руки просто замёрзнет от контакта с холодной, несогревающейся поверхностью металла, и рука примёрзнет к железке.





Ключ тоже металлический, но его можно поднимать без опаски – он маленький, рука легко и быстро нагреет его целиком.<sup>2</sup>

Когда очень жарко, вернее, горячо (в бане, например), всё работает так же, но с обратным знаком – поток тепла идёт от предмета к руке. Поэтому в бане, чтоб не обжечься, нет ничего металлического, всё из дерева – оно плохо проводит тепло. Но учтите, что поток тепла пропорционален разнице температур, а температура руки около 36 °С. Поэтому про морозе –20 °С поток тепла примерно такой же, как при +90 °С. Впрочем, наше тело лучше умеет быстро греть свои конечности, чем охлаждать, поэтому контакт с холодным мы переносим лучше, чем с горячим.

*Для многих вещей вокруг нас коэффициент теплопроводности очень важен.*

Почему оконные рамы в домах – двойные? Чтобы поток тепла (зимой – наружу, жарким летом – внутрь) был как можно меньше. Воздух между рамами – прекрасный теплоизолятор, вон у него какая теплопроводность маленькая. Почему спички не обжигают пальцы, а поленья в костре опытный турист без опаски перекладывает голыми руками? Причина – низкая теплопроводность дерева; один конец дровины в центре костра, а другой – холодный. Почему чугунные казаны для плова лучше алюминиевых? У чугуна теплопроводность меньше, в такой посуде еда медленнее и равномернее греется и медленнее остывает. (Есть, конечно, и другие отличия, потоньше.)

Зачем у сковородок пластмассовые ручки? Почему одежда из шерсти зимой лучше «греет», а летом в ней жарко? Зачем эскимосы строят хижины (иглу) из снега? Чем пластиковая кружка лучше простой металлической, и как устроена металлическая термкружка? Почему, если оказался одни в поле ночью, лучше ночевать, зарывшись в стог сена?... Бывает и такое, что нужна, наоборот, теплопроводность повыше – например, она требуется от материала батареи или от кон-

<sup>2</sup> А такой большой ключ, как у Буратино, может быть опасен в очень холодную погоду. Где тут граница между маленьким и большим? Что можно потрогать, а что уже не сто́ит? Это определяется другим свойством предметов – теплоёмкостью: сколько тепла они могут забрать (например, у нашей руки). Про теплоёмкость см. статью в следующем номере «Квантика».



тура охлаждения холодильника – это тонкие трубочки на его задней стенке.

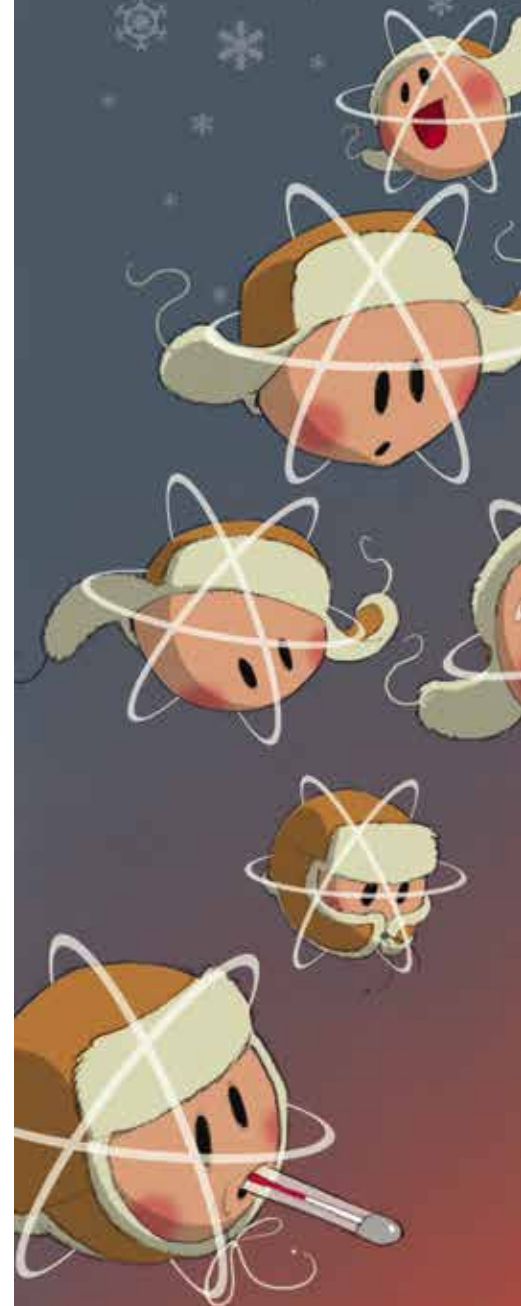
***А от чего зависит – какой материал проводит тепло хорошо, а какой плохо?***

Это сложная штука. Многие вещи трудно или даже невозможно (с современными знаниями) рассчитать, а можно только измерить. Но некоторые общие закономерности понять можно. Всё зависит от того, как устроено вещество, как взаимодействуют между собой его молекулы.

С «микроскопической» точки зрения вещество – это множество молекул (или атомов)<sup>3</sup>. А что такое с этой точки зрения температура? Это средняя энергия движения каждой молекулы (или атома). Когда к какой-то части вещества подводится тепло («её нагревают»), молекулы в этой области начинают двигаться интенсивнее и сильнее «толкают» соседей, передают им часть своей энергии. Соседи, в свою очередь, тоже начинают активнее двигаться и толкают своих соседей, и т. д. Так и передаётся тепловая энергия от одной области к другой.

В газах расстояния между молекулами такие большие, что каждая молекула большую часть времени летит сама по себе, только иногда сталкивается с какой-нибудь другой. Молекулы из нагретой области при этом довольно быстро удаляются от места старта, как бы «уносят энергию на себе». Передача энергии другим молекулам происходит за счёт (редких в газе) столкновений. В жидкостях взаимодействие молекул устроено совсем по-другому! Расстояния между молекулами так малы, что каждая из них в каждый момент «чувствует» всех своих соседей, «толкается» со всеми ними одновременно. Быстрые, «нагретые» молекулы передают свою энергию не кому-то одному, но далеко, а ближайшим соседям, и сразу нескольким. И такой способ, оказывается, эффективнее! Хотя сами молекулы в жидкостях перемешиваются гораздо медленнее, чем в газах, теплота распространяется быстрее: коэффициент теплопроводности у жидкостей во много раз выше. А у твёрдых веществ он ещё больше, особенно у кристаллических.

<sup>3</sup> См. статьи «Самый маленький конструктор» («Квантик» № 10, 2018) и «Кристаллы» («Квантик» № 1, 2019).



# ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ

КРЕПКО - КРЕПКО...



Художник Алексей Вайнер

«Передать энергию по цепочке» оказывается выгоднее, чем «послать гонца».<sup>4</sup>

А почему это у металлов такая огромная теплопроводность? Из-за их особого устройства. Ведь в металлах от каждого атома «оторван» один или два электрона, и эти свободные электроны летают по всему куску металла, как им заблагорассудится (см. статью из сноски 1). Они как бы принадлежат всем атомам сразу – и ни одному из них. Из-за этих свободных электронов металлы – хорошие проводники электрического тока: в электрическом поле (которое создаёт батарейка или розетка) все электроны, помимо обычного движения «куда попало», дружно движутся, «дрейфуют» в одну и ту же сторону. Это и есть ток.

Вот и тепло металлы хорошо проводят по той же причине. Если в каком-то месте металл соприкасается с горячим источником тепла – энергия от места соприкосновения переносится не только ионами кристалла, но и электронами. А свободные электроны – дивный переносчик энергии! Летают они так же далеко, как молекулы в газе, и при этом в сотню раз быстрее – потому что они очень лёгкие, в тысячи раз легче любой молекулы. И при этом их так же много, как ионов в кристалле – в пару тысяч раз больше, чем молекул в газе. Вдобавок, они и взаимодействовать могут не только с кем-то одним (электроном или ионом), как молекулы в газе, а и со многими другими электронами сразу. Поэтому, благодаря свободным электронам, тепловая энергия распространяется по металлу почти со сказочной быстротой!

**Вопрос 1.** У мокрого песка теплопроводность не только больше, чем у сухого, но даже больше, чем у воды. Как же так?

**Вопрос 2.** Лёд и снег – один и тот же материал. Почему же их теплопроводность разная? В таблице дан коэффициент для «старого» снега. А для свежего – он выше или ниже?

<sup>4</sup> В кристаллах молекулы (атомы) образуют кристаллическую решётку – стоят в определённом, всегда одном и том же для каждого вещества, «строю», крепко держась друг за друга. Представьте, что будет, если несколько человек стоят в цепочке и не то что за руки держутся, а прямо сцепились локтями, крепко-крепко, и кто-то посторонний толкает крайнего. Если бы просто за руки – ну, крайний бы пошатнулся, ну, максимум его сосед немного наклонился бы. А когда такое крепкое соединение – они качнутся все вместе, вплоть до самого последнего в цепочке. Получается, что толкаешь как будто не одного человека, а всю цепочку сразу. Что-то в таком духе происходит и с атомами в кристалле.