

Урок 7. Тепло и как остывает чай

Физика вокруг нас · ~35 минут

Ты налил кипятка и не можешь пить — горячо. Дуешь на чай, ждёшь пять минут, и вот он тёплый. Простая бытовая сцена — а за ней три способа передачи тепла, теплоёмкость воды (самая большая среди привычных жидкостей!) и закон остывания, который заметил ещё Ньютон. Сегодня разберём по шагам, что откуда берётся, прикинем, за сколько минут остынет чашка, и заодно соберём весь курс в одну картину.

Что ты узнаешь

- Три способа передачи тепла: теплопроводность, конвекция, излучение.
- Что такое теплоёмкость и почему воду так трудно нагреть и остудить.
- Зачем реально помогает дуть на чай.
- Как оценить время остывания чашки чая.

Разбираемся в теме

Сначала разведём два разных слова: «тепло» и «температура»

Их часто путают, а это совсем разные вещи. Давай по порядку.


Молекулы всё время дрожат. Любое вещество состоит из молекул, и они никогда не стоят на месте — они непрерывно хаотично дёргаются, толкаются, разлетаются и сталкиваются. Чем быстрее они дрожат, тем «горячее» тело на ощупь. Это и есть тепловое движение.

Температура — это мера того, как быстро в среднем дрожат молекулы.

Точнее — мера их средней кинетической энергии движения. Заметь слово «средней»: температура ничего не говорит о том, сколько молекул в теле, только о том, насколько энергично дрожит одна типичная молекула. Одна искра из

костра может иметь температуру в тысячи градусов, но обжечь всерьёз не успеет — в ней слишком мало вещества.

Тепло (теплота) — это энергия, которая переходит от одного тела к другому из-за разницы температур. Тепло — не то, что «содержится» в теле, а то, что течёт между телами. И течёт оно всегда в одну сторону: **от горячего к холодному**. Быстрые молекулы горячего тела сталкиваются с медленными молекулами холодного и передают им часть своей энергии — раскачивают их, как более сильный человек раскачивает качели.

 **Аналогия с водой.** Температура — как *уровень* воды в двух сосудах, а тепло — как вода, перетекающая по трубе между ними. Вода (тепло) течёт из сосуда с высоким уровнем (горячего) в сосуд с низким уровнем (холодного) — и течёт до тех пор, пока уровни (температуры) не сравняются. Когда сравнялись — течение прекращается. Это состояние называют **тепловым равновесием**.

Разница температур — это «движущая сила» теплообмена. Запомни этот главный принцип урока, к нему мы вернёмся ещё много раз:

- Большая разница температур → тепло течёт быстро (много и бурно).
- Маленькая разница → тепло течёт еле-еле.
- Разница равна нулю → теплообмен прекращается совсем.

Ровно как с водой в трубе: чем больше перепад уровней, тем сильнее напор; сравнялись уровни — течение остановилось.


Тремя путями: как именно тепло переходит

Тепло от горячего к холодному может добираться тремя разными способами:

- **Теплопроводность** — через прямой контакт, от молекулы к молекуле, как эстафета толчков. Быстрая молекула толкает соседку, та — следующую, и энергия «прошагивает» сквозь вещество, хотя сами молекулы почти остаются на месте. Так нагревается металлическая ложка, если оставить её в чае: дрожание передаётся вдоль ложки до самой ручки. Металлы проводят тепло

отлично (их электроны разносят энергию быстро), а воздух — очень плохо. Именно поэтому греет шуба: сама шерсть не тёплая, но она держит между ворсинками неподвижный воздух, а он почти не проводит тепло наружу.

- **Конвекция** — перенос тепла целыми потоками самой жидкости или газа. Горячая порция воды расширяется, становится легче (менее плотной) и всплывает вверх; на её место опускается холодная. Возникает круговорот, который перемешивает и прогревает всю кастрюлю. Так же работает батарея отопления: нагретый воздух поднимается к потолку, остывший опускается к полу — и комната прогревается вся.
- **Излучение** — тепло уходит электромагнитными волнами (в основном инфракрасными), и для этого вообще не нужна среда. Любое тёплое тело светится в невидимом инфракрасном диапазоне. Так нас греет Солнце сквозь безвоздушную пустоту космоса и так чувствуешь жар от костра, даже не касаясь его и стоя сбоку от восходящего горячего воздуха.

 **Запомни:** горячий чай остывает всеми тремя способами сразу — проводит тепло через стенки чашки, отдаёт его конвекцией поднимающегося тёплого воздуха и слегка светит инфракрасным излучением. Плюс четвёртый мощный канал — испарение, о нём чуть ниже.

Теплоёмкость: почему воду так трудно нагреть

Теперь свяжем количество тепла с изменением температуры. Опыт показывает три очевидные вещи:

1. Чтобы нагреть **больше** вещества, нужно больше тепла (полный чайник греется дольше половинного).
2. Чтобы нагреть **сильнее** (на большее число градусов), нужно больше тепла.
3. Разные вещества нагреваются по-разному: масло на сковороде вскипает быстрее, чем такая же по массе вода.

Все три наблюдения собираются в одну формулу:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Тепло для нагрева: теплоёмкость × масса × изменение температуры.

Разберём каждый символ — что откуда берётся:

- **Q** — количество теплоты (энергия), измеряется в джоулях (Дж). Это то, что мы подводим к телу или отбираем у него.
- **m** — масса вещества в килограммах. Стоит множителем, потому что вдвое больше вещества требует вдвое больше энергии (пункт 1 выше).
- **ΔT** — изменение температуры в градусах (греческая буква «дельта» Δ означает «изменение», то есть ΔT = конечная температура минус начальная). Стоит множителем, потому что нагреть на 20° вдвое дороже, чем на 10° (пункт 2).
- **c** — **удельная теплоёмкость** вещества. Это и есть «характер» вещества из пункта 3. По смыслу c — это количество энергии, которое нужно, чтобы нагреть **1 кг** этого вещества на **1 °C**. Отсюда и единицы измерения: Дж на (кг · °C), то есть **Дж/(кг·°C)**.


Проверим на здравый смысл: если $m = 1$ кг и $\Delta T = 1$ °C, формула даёт $Q = c \cdot 1 \cdot 1 = c$. То есть c — это ровно энергия на нагрев одного килограмма на один градус. Всё сходится, определение и формула — это одно и то же, записанное с двух сторон.

Для воды $c = 4200$ Дж/(кг·°C) — это очень много. Значит, чтобы поднять температуру всего одного килограмма воды (это один литр) всего на один градус, нужно целых 4200 джоулей.

Насколько это много? Сравним с другими веществами (у всех — в тех же Дж/(кг·°C)):

- вода — **4200**;
- воздух — ~1000;
- песок — ~800;
- железо — ~460.

Раздели 4200 на 460 — получится примерно 9. Значит, воду почти в **9 раз** труднее нагреть, чем железо той же массы. Вода — настоящий «аккумулятор тепла»: медленно нагревается и так же медленно остывает.

 **А знаешь ли ты?** Именно огромная теплоёмкость воды делает климат у моря мягким: океан медленно набирает тепло летом и медленно отдаёт зимой, сглаживая перепады. Континентальный климат (вдали от воды) — с жарким летом и лютой зимой — как раз потому, что суша (песок, камень) нагревается и остывает быстро, ей нечем «запасать» тепло.

Посчитаем по шагам: сколько энергии надо на чашку чая. Возьмём кружку воды 0,25 л. Вода удобна тем, что 1 литр весит ровно 1 кг, поэтому 0,25 л = 0,25 кг. Нагреваем от 20 до 100 °C.

Шаг 1. Найдём изменение температуры: $\Delta T = 100 - 20 = 80$ °C.

Шаг 2. Подставим всё в формулу $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, подписывая, что откуда: $Q = 4200$ (это c) \times 0,25 (это m) \times 80 (это ΔT).

Шаг 3. Считаем аккуратно, по кусочкам. Сначала перемножим первые два множителя: $4200 \times 0,25 = 1050$ (потому что 0,25 — это четверть, а четверть от 4200 — это $4200 \div 4 = 1050$). Теперь домножим на 80: $1050 \times 80 = 84\ 000$.

Итог: $Q = \mathbf{84\ 000\ Дж} = \mathbf{84\ кДж}$ (килоджоуль — это 1000 джоулей).

Шаг 4. А за сколько это вскипит чайник? Мощность 2000 Вт означает 2000 джоулей в секунду (ватт = джоуль в секунду). Если нужно 84 000 Дж, а каждую секунду прибавляется по 2000 Дж, то время — это «сколько раз по 2000 умещается в 84 000»: $t = 84\ 000 \div 2000 = \mathbf{42\ с}$.

Это идеальная оценка, без потерь. Реально уйдёт около минуты: часть тепла улетает в воздух, греет сам чайник и его стенки. Позже (в задачах) мы как раз оценим, какая доля тепла теряется.

Почему остывающий кипяток сначала спешит, а потом ленится

Вернёмся к главному принципу: **разница температур — движущая сила теплообмена**. Применим его к остывающему чаю.

Ньютон заметил простую вещь: скорость остывания тела тем больше, чем больше разность температур между телом и окружающим воздухом. Логика ровно как с водой в трубе — чем больше перепад, тем сильнее «напор» уходящего тепла.

Проследим за чашкой по шагам, только словами и прикидками:

- **В самом начале** чай горячий (скажем, $90\text{ }^{\circ}\text{C}$), комната — $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Разница огромная — целых $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Напор тепла максимальный, поэтому чай теряет градусы быстро.
- **Чай остыл до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$** . Теперь разница с комнатой всего $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ — почти вдвое меньше начальной. Значит и остывает он теперь примерно вдвое медленнее, чем вначале.
- **Чай остыл до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$** . Разница с комнатой всего $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Напор совсем слабый, градусы уходят еле-еле.
- **Чай почти сравнялся с комнатой (около $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)**. Разница близка к нулю — и остывание практически останавливается.

Отсюда важный вывод, который каждый видел на кухне: горячий чай теряет первые градусы стремительно, а последние — мучительно долго. Кривая остывания круто падает вначале и вытягивается в длинный пологий «хвост». Поэтому «почти остывший» чай так долго остаётся чуть тёплым: разница температур мала, гнать тепло почти нечем.



Запомни: остывание — не равномерный процесс. Первые 10 градусов чай теряет в разы быстрее, чем последние 10. Причина одна: по мере остывания

уменьшается разница температур, а с ней слабеет и напор уходящего тепла.

(Точная формула остывания в физике описывается плавной кривой, которая приближается к комнатной температуре — сначала быстро, потом всё медленнее. Нам сейчас важна не формула, а сама идея: скорость остывания падает вместе с разницей температур.)

Зачем дуть на чай

Разберём по шагам, что происходит над поверхностью горячего чая — и почему дуть реально помогает.

Шаг 1. Над чаем сам собой образуется «тёплое одеяло». Поверхность чая нагревает соприкасающийся с ней воздух и насыщает его водяным паром (испарившимися молекулами воды). Этот тонкий слой прямо над чашкой становится тёплым и влажным. А мы уже знаем: раз он тёплый, разница температур между чаем и этим слоем мала — а значит, отдавать ему тепло чаю почти нечем. Слой работает как одеяло: сидит сверху и мешает остыванию.

Шаг 2. Дуя, ты сдуваешь это одеяло. Струя воздуха уносит тёплый насыщенный слой прочь и подгоняет к поверхности свежий холодный и сухой воздух из комнаты. Разница температур у поверхности снова становится большой — напор тепла восстанавливается. Это принудительная **конвекция**.

Шаг 3. Ты разгоняешь испарение — а это самый мощный канал охлаждения.

Вот здесь кроется главное. Разберём, почему испарение так сильно охлаждает:

- В жидкости молекулы дрожат с разной скоростью — есть и медленные, и очень быстрые. С поверхности улетают (испаряются) именно самые быстрые, самые «энергичные» молекулы — только у них хватает прыти оторваться.
- Когда лучшие «спринтеры» покидают чашку, средняя энергия оставшихся молекул падает. А средняя энергия — это и есть температура. Значит, оставшаяся жидкость **охлаждается**.
- Насколько это мощный эффект? Чтобы испарить всего 1 кг воды, нужна колоссальная энергия — удельная теплота парообразования $\sim 2,3 \times 10^6$ Дж/кг (это 2 300 000 Дж на килограмм!). Сравни: нагреть тот же килограмм на 1

градус стоит всего 4200 Дж. Значит, испарить воду примерно в 550 раз «дороже» по энергии, чем нагреть её на один градус. Всю эту энергию улетающий пар забирает у чая.

- А над спокойной чашкой воздух быстро насыщается паром и испарение почти останавливается. Сдувая насыщенный слой, ты открываешь дорогу новым порциям пара — испарение (а с ним и охлаждение) не глохнет.

Итог: дую, ты одновременно (а) снимаешь тёплое одеяло, (б) усиливаешь конвекцию свежим воздухом и (в) разгоняешь испарение — самый сильный из способов остудить чай.

💡 Испарение — мощнейший холодильник. Поэтому мы потеем: испарение пота с кожи уносит ту самую огромную теплоту парообразования и охлаждает тело. По той же причине после бассейна на ветру знобит — вода испаряется с кожи и забирает тепло, а ветер (как твоё дыхание на чай) сдувает насыщенный слой и разгоняет испарение ещё сильнее.

⚠️ **Частая ошибка:** думать, что дуют просто чтобы «принести холодный воздух, который сам по себе холоднее чая». Да, комнатный воздух холоднее чая. Но у воздуха крохотная теплоёмкость и ничтожная масса — сам по себе он уносит мало тепла. Главную работу делают снос тёплого одеяла и разгон испарения. Именно испарение — основной охладитель.

Оценка времени остывания чашки — по шагам и на пальцах

Точный расчёт остывания сложен, но порядок величины прикинем честно, опираясь только на здравый смысл и главный принцип.

Шаг 1. Что известно из опыта. Если поставить термометр в открытую чашку (0,25 кг воды) с горячим чаем при большой разнице температур (около 70 °С над комнатой), измерения дают скорость остывания примерно **0,5–1 °С в минуту** в самом начале. Это не формула, а прямой факт из измерений — с него и начнём.

Шаг 2. Оценим начало. Возьмём для прикидки среднюю скорость в начале около $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в минуту. Значит, за первые ~ 5 минут чай теряет примерно 5 градусов? Нет — на самом деле в начале, при самой большой разнице, скорость даже повыше, ближе к верхней границе, поэтому за первые минуты уходит заметно больше. Грубо: с $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ за ~ 5 минут чай спадёт примерно до **$70\text{ }^{\circ}\text{C}$** — уже можно осторожно пить.

Шаг 3. Вспомним, что дальше остывание замедляется. По мере остывания разница температур падает, и вместе с ней падает скорость (мы это подробно разбирали выше). Поэтому следующие такие же «порции» градусов уходят всё дольше:

- за ~ 5 минут: с 90 до $\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (разница была большой — спад быстрый);
- к $\sim 15\text{--}20$ минутам: до $\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ — приятная температура (разница уже средняя, спад помедленнее);
- чтобы дойти до «комнатной» ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), нужен почти **час** — тот самый длинный пологий хвост, ведь под конец разница температур совсем мала и напор тепла ничтожен.

Шаг 4. Сверим с жизнью. Всё сходится с опытом: заваренный чай можно пить минут через пять, к $15\text{--}20$ минутам он приятно тёплый, а забытая на столе чашка к твоему возвращению через час — совсем холодная. Мы не пользовались ни одной сложной формулой — только принципом «чем больше разница температур, тем быстрее остывает» и одним измеренным фактом о начальной скорости.



Опыт дома

Измерь закон остывания сам.

Возьми: термометр (кухонный или для ванны, до $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), кружку, кипяток, часы, лист бумаги.

1. Налей горячую воду в кружку, опусти термометр.

2. Записывай температуру **каждые 2 минуты** в течение 20–30 минут. Отметь и температуру комнаты.
3. Построй график: время по горизонтали, температура по вертикали.
4. Убедись: кривая круто падает вначале и выполаживается к комнатной температуре. Первые 10 градусов уходят в разы быстрее последних десяти — ровно потому, что вначале разница температур большая, а под конец маленькая.
5. **Бонус:** повтори с той же водой, но накрыв кружку крышкой (или блюдцем). Накрытая остывает заметно медленнее — крышка режет и испарение, и конвекцию (главные каналы потерь). Ты своими руками доказал, что именно испарение и конвекция уносят большую часть тепла.



Разбор примера

Задача. Сколько энергии отдаст, остывая, кружка чая (0,3 кг) при охлаждении с 90 до 40 °С? Хватит ли этой энергии, чтобы поднять человека (60 кг) на какую высоту?

Решение по шагам.

1. Сначала считаем, сколько тепла уходит при остывании. Остывание — это тот же $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, только теперь тело отдаёт тепло, а не получает. Найдём изменение температуры: $\Delta T = 90 - 40 = 50$ °С. Подставляем: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4200 \times 0,3 \times 50$. Считаем по шагам: $4200 \times 0,3 = 1260$, затем $1260 \times 50 = \mathbf{63\ 000\ Дж} = \mathbf{63\ кДж}$.
2. Теперь прикинем, на какую высоту эта энергия подняла бы человека. Энергия подъёма (потенциальная) равна $E = mgh$, где m — масса, $g \approx 9,8\ м/с^2$ (ускорение свободного падения), h — высота. Приравняем эту энергию к нашему теплу Q и выразим высоту: из $Q = mgh$ получаем $h = Q/(mg)$. Подставляем: $h = 63\ 000 / (60 \times 9,8)$. Считаем знаменатель: $60 \times 9,8 = 588$. Тогда $h = 63\ 000 / 588 \approx \mathbf{107\ м}$.

Ответ: остывающая кружка чая отдаёт **63 кДж** — этого хватило бы поднять человека на высоту около **100 метров** (30-этажный дом)! Вот сколько энергии прячется в горячем чае. Тепловая энергия обманчиво «незаметна», но огромна.



Задачи

Итоговые задачи-прикидки — они объединяют весь курс.

1. Сколько теплоты нужно, чтобы нагреть полную ванну воды (150 кг) с 15 до 40 °С? Вырази в кДж и в кВт·ч (1 кВт·ч = $3,6 \times 10^6$ Дж).
2. Электрочайник мощностью 2200 Вт кипятит 1,5 л воды с 20 °С. Оцени минимальное время закипания (без потерь). Реально ушло 4 минуты — какая доля энергии потерялась?
3. Почему в пустыне днём жара, а ночью холод, а на берегу моря на той же широте перепад мягче? Свяжи с теплоёмкостью воды.
4. **(Ферми + тепло.)** Оцени, сколько энергии в сутки твоё тело отдаёт в окружающую среду, если человек в среднем «излучает» как лампочка ~100 Вт. Сравни с суточной нормой питания ~2000 ккал (1 ккал = 4200 Дж). Сходится ли?
5. **(Размерность + тепло.)** Проверь на размерность формулу $Q = cm\Delta T$, зная, что c измеряется в Дж/(кг·°С). Получаются ли джоули?
6. Испарение 1 г пота уносит ~2300 Дж. Сколько пота (в граммах и мл) должен испарить человек, чтобы сбросить 500 кДж тепла за час тренировки?
7. **(Архимед + тепло.)** Почему горячая вода в кастрюле поднимается вверх, а холодная опускается? Свяжи с тем, что при нагревании вода расширяется и её плотность падает (вспомни закон Архимеда и конвекцию).
8. Термос держит чай горячим часами. Объясни, как его устройство (вакуумный зазор между стенками, зеркальное покрытие, крышка) блокирует все три способа передачи тепла по очереди.