

школьная программа для взрослых

ВСПОМНИМ ГЛАВНОЕ



Станислав Лапин

Станислав Лапин

**Школьная программа для
взрослых. Вспомним главное**

«Автор»

2026

Лапин С. С.

Школьная программа для взрослых. Вспомним главное /
С. С. Лапин — «Автор», 2026

«Школьная программа для взрослых. Вспомним главное» — это не учебник, а шпаргалка для тех, кто хочет быстро освежить в памяти всё, что проходили в школе. Математика, физика, химия, история, литература, английский — всё самое главное в одной книге. Без скучных формулировок, без занудства и без чувства вины за то, что вы всё забыли. Идеально для родителей, которые боятся детских вопросов, для тех, кто хочет блеснуть эрудицией, и для всех, кто просто хочет вспомнить то, что когда-то учил.

© Лапин С. С., 2026

© Автор, 2026

Содержание

Предисловие	7
Часть первая. Точные науки	8
Глава 1. Математика. Искусство считать	10
Арифметика. С чего всё начинается	10
Проценты	10
Дроби	11
Алгебра. Искусство находить неизвестное	12
Переменные	12
Уравнения	12
Функции	13
Графики	13
Линейные и нелинейные графики	13
Степени	14
Экспоненциальный рост	14
Корни	14
Геометрия. Как измерить мир	14
Точка, линия, плоскость	15
Углы	15
Треугольник	15
Теорема Пифагора	15
Площади и объёмы	16
Подобие	16
Неевклидова геометрия	16
Пропорции и масштаб. Искусство сохранять отношение	17
Средние величины. При чём тут ваша зарплата	17
Логарифмы. Зачем они нужны	18
Вероятность. Оцениваем шансы	19
Комбинаторика	20
Математическое ожидание	20
Почему казино всегда выигрывает	20
Закон больших чисел	21
Парадокс дней рождений	21
Статистика. Как не дать себя обмануть	21
Корреляция и причинность	21
Выборка и репрезентативность	22
Как читать графики	22
Дискретная математика. Про графы и связи	22
Итог главы «Математика»	22
Глава 2. Физика. Как устроен мир	24
Кинематика. Движение тел	24
Материальная точка	24
Система отсчёта	24
Траектория, путь и перемещение	25
Скорость	25
Ускорение	25
Свободное падение	25

Механика. Законы Ньютона	26
Первый закон Ньютона	26
Инерциальные системы отсчёта	26
Второй закон Ньютона	26
Третий закон Ньютона	27
Силы в природе	27
Закон всемирного тяготения	28
Статика. Простые механизмы	28
Равновесие	28
Центр тяжести	29
Простые механизмы	29
Рычаг	29
Блок	30
Наклонная плоскость	30
Ворот и колесо	30
Гидростатика. Жидкости и газы	31
Давление	31
Закон Паскаля	31
Гидростатическое давление	32
Сообщающиеся сосуды	32
Атмосферное давление	32
Архимедова сила	33
Воздухоплавание	33
Термодинамика. Тепло и температура	33
Температура и теплота	34
Внутренняя энергия	34
Агрегатные состояния	34
Теплопередача	34
Почему шуба не греет	35
Законы термодинамики	35
Колебания и волны	36
Маятник	36
Звук	36
Резонанс	37
Электричество и магнетизм	37
Электрический заряд	37
Электрический ток	38
Закон Ома	38
Последовательное и параллельное соединение	39
Работа и мощность тока	39
Магниты и магнитное поле	39
Электромагнитная индукция	40
Электродвигатель	40
Оптика. Свет и цвет	41
Свет	41
Отражение и преломление	41
Линзы	42
Дисперсия	42
Почему небо голубое, а закат красный	43

Атомная физика	43
Строение атома	43
Изотопы	43
Ионизация	43
Радиоактивность	44
Альфа-излучение	44
Бета-излучение	44
Гамма-излучение	45
Радиация	45
Период полураспада	45
Ядерные реакции	46
Астрономия. Наше место во Вселенной	46
Солнечная система	46
Луна	47
Малые тела Солнечной системы	47
Звёзды	47
Чёрные дыры	47
Галактики	48
Большой взрыв	48
Теория относительности и квантовый мир	48
Теория относительности Эйнштейна	49
Конец ознакомительного фрагмента.	50

Станислав Лапин

Школьная программа для взрослых. Вспомним главное

Предисловие

Если вы открыли эту книгу, значит, в школе у вас, скорее всего, было как у большинства: тройки, четвёрки, пробелы в знаниях и твёрдая уверенность, что всё это больше никогда не пригодится. Или вы были отличником, но с годами многое позабыли. Или родитель, которому надоело краснеть, пытаясь ответить на детский вопрос по школьной программе. А может, вы просто любопытный человек, который хочет наконец разобраться в том, что когда-то проходили.

Взрослая жизнь устроена хитро. Она регулярно подкидывает задачи, для решения которых неплохо бы иметь базовое образование. Оно необходимо не только для выживания, но и для комфортной жизни и уверенности. Чтобы понимать, о чём говорят в новостях, не теряться в разговорах с друзьями и чувствовать себя компетентным в самых разных ситуациях.

Решив освежить свои знания, я засел за школьные учебники и тут же сделал открытие. Самым трудным оказались не формулы и не правила, а скучный, казённый язык, которым они написаны. Авторы словно соревновались, кто лучше усыпит читателя. «Рассмотрим парадигму спряжения глаголов», «Анализ текстообразующих функций лексических единиц» — серьёзно? Мы это проходили?

Тогда я понял: нужна другая книга. Такая, которую я сам хотел бы прочитать. Где нет школьной духоты, где сложные вещи объясняются просто, без лишних деталей, но с пониманием дела.

Поэтому я её написал. Эта книга — не учебник. Это шпаргалка для взрослого человека. Я прошёлся по всей школьной программе и постарался вытащить самое главное. Без воды и без занудства.

При этом я сознательно обошёл предметы, которые развивают скорее вкус и кругозор, чем дают систему знаний: изобразительное искусство, музыку, мировую художественную культуру. Они важны по-своему, но наша цель — освежить академическую базу: язык описания мира, устройство природы и общества, инструменты мышления и общения. А творческие дисциплины заслуживают отдельного разговора.

Начать можно с любой главы. Книга устроена так, что это не имеет значения. Но если хочется системности — идите по порядку.

Добро пожаловать. Давайте вместе вспомним, чему нас учили, и поймём, что это было не зря.

Глава 1. Математика. Искусство считать

Математика — царица наук. Обычно эту фразу произносят таким тоном, будто речь о королеве, которую все боятся и никто не любит. На самом деле математика — это просто язык, с помощью которого можно описать многое: от траектории полёта мяча до роста населения Земли и колебаний курса валют. Большинство из нас выучили из этого языка только несколько фраз, а остальное неизбежно забыли.

Чем сложнее становится мир, тем чаще этот язык всплывает там, где мы его не ждём. В новостях про инфляцию. В графиках биржевых котировок. В обсуждениях вакцинации и распространения вирусов. И в какой-то момент начинаешь чувствовать себя туристом без разговорника.

В этой главе мы просто вспомним базовые конструкции, чтобы понимать, о чём говорят вокруг.

Арифметика. С чего всё начинается

Арифметика — это первый класс математической школы. Сложение, вычитание, умножение, деление. Всё, что дальше, так или иначе к ним сводится.

Но есть в арифметике две темы, на которых спотыкаются даже те, кто в школе учился неплохо. Это проценты и дроби. Почему-то именно они вылетают из головы первыми, хотя в жизни встречаются чаще всего.

Проценты

Слово «процент» происходит от латинского pro centum — «на сотню». Изначально это была просто удобная запись: вместо «34 из 100» стали писать «34%». Постепенно процент превратился в универсальный инструмент сравнения. Почему именно сотня? Потому что сотня — это удобно. 1% — это просто одна сотая, 25% — это четверть, 50% — половина, 75% — три четверти. Всё красиво и наглядно.

В XVI веке, когда в Европе развивался торговый капитализм, проценты стали необходимостью. Купцам нужно было считать прибыль, убытки, доли в предприятиях. И здесь проценты оказались идеальным инструментом: они позволяли сравнивать сделки разного размера. Сказать «я получил 1000 дукатов прибыли» ни о чём не говорит, если неизвестны вложения. А сказать «прибыль составила 15%» — говорит сразу. С тех пор проценты правят миром.

Когда нам говорят «инфляция 8%», мы понимаем, что цены выросли. Но что стоит за этой цифрой? Инфляция — это усреднённый показатель. Статистическое ведомство берёт корзину товаров и услуг — от хлеба до бензина и коммунальных услуг, — смотрит, как изменились цены за год, и выводит среднее. Но среднее — штука коварная. Если гречка подорожала на 50%, а телевизоры подешевели на 10%, в среднем может получиться скромные 5–6%. При этом гречку вы покупаете каждую неделю, а телевизор — раз в пять лет. Для вашего личного кошелька инфляция может оказаться совсем другой.

То же с ростом экономики. ВВП вырос на 3% — звучит неплохо. Но если население выросло на 1%, то на душу населения рост составил примерно 2%. А если при этом выросло неравенство, то большая часть этих 2% досталась тем, у кого и так было много.

Проценты позволяют говорить о числах на понятном всем языке. Но, как любой язык, они требуют понимания контекста. Просто 8% — ни о чём не говорит. Важно знать: 8% от чего? За какой период? С учётом чего?

Рассмотрим несколько ситуаций. Ипотека под 20%. Что это означает? Вы берёте деньги в долг у банка, а он говорит: «Я даю тебе 5 миллионов сегодня, а ты мне за это будешь платить годовой процент, который рассчитывается от остатка твоего долга». При этом итоговый платёж банк рассчитывает так, чтобы зафиксировать его на весь срок и к концу полностью обнулить ваш долг. Из-за этого в первые годы, когда вы должны почти все 5 миллионов, практически вся сумма ежемесячного платежа уходит на оплату процентов. Ближе к концу, когда основного долга остаётся немного, проценты становятся копеечными. Итоговая переплата за весь срок оказывается вовсе не 20% от суммы кредита, а заметно больше.

Ещё один пример — товар сначала подорожал на 20%, а потом подешевел на 20%. На первый взгляд кажется, что цена вернулась к исходной. Но это не так. Если товар стоил 100 рублей, после повышения он стал стоить 120 рублей. А 20% от 120 рублей — это уже 24 рубля. После снижения цена станет 96 рублей. Второй процент считался не от исходной, а от уже изменившейся суммы. Именно поэтому проценты нельзя просто складывать или вычитать — они всегда считаются от текущей базы.

Кешбэк 5% — это не подарок, а комиссия за пользование платёжной системой. Банк берёт с магазина 2–3% за каждую транзакцию, часть отдаёт вам. Вы получаете свои же деньги, которые магазин заложил в цену. Кешбэк — это просто возврат части переплаты, замаскированный под бонус.

Дроби

Дроби обычно пугают даже сильнее процентов. А зря. Дроби — это просто запись деления. Когда мы говорим «три четвёртых», мы имеем в виду «3, разделённые на 4». Или, если угодно, «три части из четырёх».

В Древнем Египте использовали только дроби с единицей в числителе — так называемые аликвотные дроби: $1/2$, $1/3$, $1/4$. Всё остальное они записывали как суммы таких дробей. Например, $3/4$ у них было бы как $1/2 + 1/4$. Представляете, как они мучились с расчётами?

Современная запись дробей пришла к нам из Индии через арабов. А линию между числителем и знаменателем придумал итальянский математик Фибоначчи в XIII веке. До этого писали просто числа друг над другом.

Математики называют числа, которые можно записать в виде дроби, рациональными. От латинского *ratio* — отношение, счёт. Это все целые числа, ведь 5 — это $5/1$, и все конечные десятичные дроби, например 0,5 — это $1/2$. Даже бесконечные периодические дроби вроде 0,33333... — это тоже дроби, $1/3$.

А есть числа, которые дробью не запишешь. Корень из двух, число π , число e . Их называют иррациональными. Они существуют, их можно вычислить с любой точностью, но точной дробью не выразить. Это отдельная вселенная чисел. В быту мы с ними почти не встречаемся, но без них не было бы ни физики, ни инженерии.

В быту дроби повсюду. Половина зарплаты, четверть пиццы, треть стакана муки — мы постоянно делим целое на части, даже не задумываясь. Дроби — это просто способ сказать «не целое, а часть».

Самое интересное начинается, когда дроби превращаются в десятичные. Мы привыкли к десятичной системе, поэтому 0,5 нам понятнее, чем $1/2$. Но $1/3$ в десятичном виде — это бесконечная 0,33333..., с которой неудобно работать. Поэтому в инженерии и финансах дроби часто оставляют в обычном виде — так точнее.

Процент — это частный случай дроби. $1\% = 1/100$, $50\% = 50/100 = 1/2$. Поэтому проценты легко превращать в дроби и обратно. Это просто разные языки описания одного и того же.

Алгебра. Искусство находить неизвестное

Арифметика — это про числа. Про то, сколько у нас яблок, денег или километров. Но мир не стоит на месте. Яблоки съедаются, деньги тратятся, километры преодолеваются. Для такого описания одной арифметики мало. В арифметике мы ищем ответ на вопрос «сколько?». В алгебре спрашиваем «как?». Как меняется одно, когда меняется другое? Алгебра — это язык, на котором математика говорит о переменных и зависимостях. И если арифметика учит нас считать, то алгебра учит мыслить.

Переменные

Главный страх перед алгеброй начинается с букв. В арифметике были только цифры — понятные, знакомые. А тут появляются какие-то x , y , z . Кажется, что математика превращается в абстракцию, оторванную от жизни. На самом деле ничего страшного: буквы в алгебре — это просто переменные. Как имена. «Если Петя зарабатывает 100 000, а Маша — 80 000, то вместе они получают 180 000». Петя + Маша = 180 000. Петя и Маша здесь — те же переменные, просто с именами вместо букв. Математики для удобства используют латинские буквы, а смысл тот же. Переменная — это просто ячейка, куда можно положить число. Какое именно — зависит от задачи.

Уравнения

Уравнение — это история с неизвестным. Есть некое равенство, в котором что-то спрятано. Наша задача — найти спрятанное. Выглядит это так: $2x + 3 = 7$. Переводим с математического на человеческий: «Если к удвоенному неизвестному прибавить три, получится семь. Найди неизвестное». Решение — это цепочка логических шагов. Мы знаем, что $2x + 3 = 7$. Значит, $2x = 7 - 3 = 4$. Значит, $x = 4 / 2 = 2$. Мы провели расследование и нашли преступника — число 2.

В жизни таких ситуаций — миллион. Вы приходите в магазин, набираете продуктов, на кассе вам пробивают чек на 1500 рублей. Вы точно помните, что сыр стоил 450, колбаса 600, а хлеб 50. Сколько стоили пельмени, ценник на которые вы не заметили? Получается уравнение $x + 450 + 600 + 50 = 1500$. Решаем: $1500 - (450 + 600 + 50) = 400$. Это и есть x — стоимость пельменей. Вы только что решили уравнение, даже не заметив.

Более сложный пример. Вы едете из Москвы в Петербург. Расстояние — 700 км. Вы выехали в 10 утра, едете со скоростью 90 км/ч и планируете сделать остановку на полчаса. Во сколько вы будете на месте?

Обозначим время в пути за t . Тогда расстояние, которое вы проедете, равно скорости, умноженной на время: $90 \times t = 700$. Отсюда $t = 700 / 90 \approx 7,78$ часа. Но это только время движения. Добавляем полчаса остановки — общее время в пути $7,78 + 0,5 = 8,28$ часа. Переводим 0,28 часа в минуты: $0,28 \times 60 \approx 17$ минут. Значит, в пути вы будете 8 часов 17 минут. Прибавляем к 10 утра — прибудете в 18:17.

Уравнения — это просто способ не держать всё в голове. Записал условие — и можно спокойно рассуждать дальше, не боясь забыть, что откуда взялось.

Функции

Функция — одно из самых важных понятий в математике. Оно описывает главное свойство мира: зависимость. В бытовом смысле функция — это когда одно зависит от другого. Время полёта — от скорости, количество бензина — от пройденного пути, зарплата — от отработанных часов, налог — от дохода.

Математически функция записывается так: $y = f(x)$. Читается: «игрек равен эф от икс». Означает: есть правило f , которое превращает икс в игрек. Например, правило «умножить на 2» — это функция. Подставили 3 — получили 6, подставили 10 — получили 20, а подставили -5 — получили -10 . А правило «взять квадрат» — тоже функция: тройка даёт 9, десятка — 100, а минус пять — 25 (потому что минус на минус даёт плюс). В школе над функциями измывались, заставляя строить графики и находить области определения. Но суть проста: функция — это машина, которая перерабатывает одни числа в другие по определённому рецепту.

Графики

График — это способ нарисовать функцию. По горизонтали откладываем икс, то, что подаём на вход, по вертикали — игрек, то, что получаем на выход. Соединяем точки — получается линия. Эта линия может рассказать о функции всё, не прибегая к формулам. Резко идёт вверх — значит, прирост быстрый. Пологая — медленный. Идёт вниз — убывание. Колеблется — значит, периодичность.

В новостях, в отчётах компаний, в приложениях банков мы постоянно видим графики. Курс доллара, динамика цен на нефть, рост ВВП, статистика заболеваемости — всё это графики реальных зависимостей, которые мы можем наблюдать, даже если не знаем их точных формул. Просто вместо икса — время, а вместо игрека — то, что мы измеряем.

Графиками легко манипулировать. Если сжать шкалу по вертикали, даже резкий рост будет выглядеть пологой линией. Если растянуть — любое колебание покажется катастрофой. Если начать шкалу не с нуля, а с какого-то числа, разница в несколько процентов превратится в гигантский скачок. Поэтому, глядя на график, полезно посмотреть на оси.

Линейные и нелинейные графики

Самый простой вид зависимости — линейная. Это когда игрек равен иксу, умноженному на какое-то число, плюс возможно ещё что-то. График такой функции — прямая линия. В жизни линейных зависимостей довольно много, пока мы не выходим за определённые пределы. Пройденный путь при постоянной скорости — линейная функция от времени. Стоимость бензина — линейная функция от количества литров. Зарплата при почасовой оплате — линейная функция от отработанного времени.

Но мир в основном нелинеен. Сложный процент в банке — это не линейный рост, а экспоненциальный. Зависимость тормозного пути от скорости — квадратичная. Распространение вирусов или слухов — тоже не по прямой. Нелинейность означает, что на малых значениях всё может быть незаметно, а на больших — выстрелить. Именно поэтому нельзя экстраполировать линейно: если в этом году цены выросли на 10%, это не значит, что каждый следующий год они будут расти так же. Из-за нелинейности результат через 10 лет может быть как 50%, так и 200%.

Степени

Степень — это многократное умножение числа само на себя. 2^3 , то есть два в третьей степени, — это $2 \times 2 \times 2 = 8$. Названия «вторая степень — квадрат» и «третья — куб» напрямую связаны с геометрией. Площадь квадрата равна стороне, возведённой в квадрат, а объём куба — стороне, возведённой в куб. Это важно понимать в строительстве, логистике да и просто в жизни. Например, когда вы выбираете коробку для переезда: если увеличить каждое её линейное измерение (длину, ширину и высоту) в два раза, то вещей внутрь влезет не в два, а в целых восемь раз больше.

Это важно понимать в строительстве, логистике, да и просто в жизни. Например, когда выбираете коробку для переезда. Если взять коробку со сторонами вдвое больше, вещей влезет не в два, а в восемь раз больше.

Экспоненциальный рост

Особый случай — показательная функция, где переменная стоит в показателе степени. Например, 2^n . При $n = 1$ это 2, при $n = 2$ — 4, при $n = 3$ — 8, при $n = 4$ — 16, при $n = 5$ — 32. Казалось бы, рост как рост. Но дальше начинается магия. $2^{10} = 1024$, $2^{20} \approx 1\,000\,000$, $2^{30} \approx 1\,000\,000\,000$. Это называется экспоненциальный рост.

В реальности экспоненциально растут вклады со сложным процентом, когда проценты начисляются на проценты, популяции в благоприятных условиях, пока нет ограничений, эпидемии на ранних стадиях, интернет-мемы и многое другое. Экспонента коварна тем, что сначала всё выглядит безобидно. Первые сто человек заболели, потом двести, потом четыреста, потом восемьсот. Вроде терпимо. А ещё через несколько шагов — миллионы. Человеческий мозг не приспособлен чувствовать экспоненту, поэтому мы постоянно опаздываем с реакцией на эпидемии и «пузыри» на рынках.

Корни

Корень — операция, обратная возведению в степень. Квадратный корень из 9 — это число, которое в квадрате даёт 9. То есть 3. Квадратный корень из 2 — это число, которое в квадрате даёт 2. Его нельзя точно записать десятичной дробью, оно иррационально, примерно 1,4142. В жизни корни появляются там, где нужно по площади восстановить сторону, по объёму — ребро, по мощности сигнала — расстояние. Но в быту мы редко сталкиваемся с корнями напрямую — калькулятор делает это за нас.

Геометрия. Как измерить мир

Арифметика учит нас считать. Алгебра — мыслить связями и зависимостями. А геометрия — это про пространство и форму.

Слово «геометрия» пришло из древнегреческого: «гео» — земля, «метрия» — измерять. Изначально это было буквально искусство измерять земельные участки. Каждый год Нил разливался и смывал границы между наделами, и египтянам приходилось заново делить поля. Для этого нужны были правила: как сравнить площади, как разделить участок поровну, как восстановить прямые углы.

Греки подхватили эти практические знания и превратили их в науку. Они поняли, что за измерением земли стоит нечто большее — законы, по которым устроено пространство. Евклид

собрал их в «Началах» — книге, которая была учебником геометрии две тысячи лет. До сих пор то, что изучают в школе, называется евклидовой геометрией.

Геометрия — это математика, которую можно увидеть. Прямые линии, окружности, углы, треугольники, квадраты — всё это есть вокруг нас.

Точка, линия, плоскость

В геометрии, как и в языке, есть свой алфавит. Точка — это место. Ни длины, ни ширины, просто «здесь». Линия — след движущейся точки. Плоскость — как бесконечный лист бумаги, уходящий во все стороны.

Из этих простых элементов собираются все фигуры. Квадрат — это четыре линии, концы которых соединены под прямым углом. Окружность — это линия, все точки которой равноудалены от центра.

Углы

Угол — это то, насколько одна линия повернута относительно другой. Прямой угол, 90 градусов, — это четверть полного оборота. Острый — меньше, тупой — больше.

В жизни углы повсюду. Стены комнаты — под прямым углом к полу и друг к другу, если строители не схалтурили. Лестница — под определённым углом к горизонту, чтобы по ней было удобно подниматься. Крыша дома — под углом, чтобы снег и вода не задерживались.

Градус как единица измерения углов пришёл из Вавилона. Вавилоняне любили число 60 и делили круг на 360 частей, 60×6 . Почему 360? Есть версия, что это приблизительное число дней в году. Солнце за сутки смещается примерно на градус относительно звёзд — вот и получился круг в 360 градусов.

Есть ещё одно полезное понятие — биссектриса. Это луч, который делит угол пополам. Если угол 60° , то биссектриса проведёт его так, что получится два угла по 30° . В геометрии биссектриса часто помогает находить равные части и доказывать разные хитрости, но в жизни она пригождается разве что при раскрое ткани или резке плитки, когда нужно сделать ровный скос.

Треугольник

Треугольник — одна из важнейших фигур в геометрии. Из всех многоугольников только треугольник обладает свойством жёсткости. Квадрат можно сложить, потянув за противоположные углы, — он превратится в ромб. Треугольник сложить нельзя. Если стороны фиксированы, углы тоже фиксированы.

На этом свойстве держится вся строительная механика. Фермы мостов, кранов, вышек — это конструкции из треугольников. Крыши домов — треугольные стропильные системы. Даже табуретка, если у неё четыре ножки, может качаться. А если три — никогда.

Теорема Пифагора

Теорема Пифагора — пожалуй, единственная школьная теорема, которую помнят все. Квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов. Коротко и запоминается на всю жизнь. Но что она на самом деле значит? Она связывает длины сторон прямоугольного треугольника. Если мы знаем две стороны, мы всегда можем найти третью. Это не просто формула — это фундаментальное свойство евклидова пространства. Оно работает потому, что пространство устроено именно так, а не иначе.

Вот задача для закрепления. Представьте, что вы собираетесь купить телевизор с диагональю 43 дюйма. Характеристики указывают диагональ, но не говорят, какой у него будет ширина и высота. Вам нужно понять, влезет ли он в нишу в стенке или на полку. Известно: диагональ 43 дюйма, один дюйм равен 2,54 см, соотношение сторон экрана — 16:9, это стандарт для современных телевизоров. Какова ширина и высота экрана в сантиметрах?

Соотношение сторон 16:9 означает, что если ширина экрана 16 частей, то высота — 9 таких же частей. Обозначим одну часть за x . Тогда ширина будет $16x$, высота — $9x$. Диагональ экрана, ширина и высота образуют прямоугольный треугольник. По теореме Пифагора получаем: $(16x)^2 + (9x)^2 = 43^2$. Считаем: $256x^2 + 81x^2 = 1849$, то есть $337x^2 = 1849$. Отсюда $x^2 = 1849 / 337 \approx 5,487$, значит $x \approx \sqrt{5,487} \approx 2,34$ дюйма. Теперь переводим в сантиметры: умножаем на 2,54 и получаем примерно 5,94 см. Осталось найти ширину и высоту: ширина = $16 \times 5,94 \approx 95$ см, высота = $9 \times 5,94 \approx 53,5$ см.

Площади и объёмы

Площадь круга — πr^2 . Число π — это, пожалуй, самое знаменитое число в математике. Оно равно примерно 3,14 и обозначает отношение длины окружности к её диаметру. Длина окружности вычисляется по формуле: $C = 2\pi r$ (или $C = \pi d$, где d — диаметр). Для любого круга, будь то монетка или колесо обозрения, длина окружности всегда в π раз больше диаметра. Число π иррационально, то есть у него бесконечное количество знаков после запятой — 3,1415926 и дальше без конца. Для бытовых расчётов хватает 3,14, а инженеры иногда используют 3,1416.

Объём куба — длина ребра, возведённая в куб. Объём шара — $\frac{4}{3} \pi r^3$. Это уже сложнее, но в быту шары встречаются реже, чем коробки.

Главное, что нужно помнить про площади и объёмы: они растут быстрее, чем линейные размеры. Мы уже говорили об этом в разделе про степени на примере коробки для переезда: если взять коробку со сторонами вдвое больше, вещей влезет не в два, а в восемь раз больше. То же самое с площадью: увеличили сторону квадрата в два раза — площадь выросла в четыре.

Подобие

Две фигуры называются подобными, если одна получается из другой равномерным растяжением или сжатием. Квадрат 2×2 подобен квадрату 4×4 . Любые круги подобны друг другу. Любые квадраты подобны.

В жизни подобие встречается на каждом шагу. Карта — это подобное изображение местности. Фотография — подобное изображение объекта. Модель самолёта в аэродинамической трубе — подобная копия настоящего. Закон подобия: если линейные размеры увеличить в k раз, площадь увеличится в k^2 раз, а объём — в k^3 раз. Это тот же принцип, что мы уже рассматривали в разделе про степени на примере коробки для переезда.

Неевклидова геометрия

В школе нас учили: параллельные прямые не пересекаются. Это кажется очевидным. Настолько очевидным, что древнегреческий математик Евклид две тысячи лет назад сделал это одним из главных правил геометрии. Но веками учёные чувствовали подвох. Уж слишком это правило отличалось от остальных — простых и красивых. Многие пытались его доказать, но никто не мог.

А в XIX веке несколько математиков, среди них наш соотечественник Лобачевский, решили пойти от противного: а что, если этот постулат неверен? Что, если параллельные всё-таки пересекаются? И оказалось, что если это допустить, можно построить другую геометрию

— неевклидову. В ней нет противоречий, она работает по своим правилам. Просто она описывает не плоский мир, а искривлённый.

Самый простой пример — поверхность глобуса. Возьмём экватор и меридиан. На глобусе это прямые линии. Они пересекаются под прямым углом. А другой меридиан, параллельный первому? На глобусе все меридианы пересекаются на полюсах. Параллельных просто нет. Или треугольник на глобусе. Если взять экватор и два меридиана от экватора до полюса, получится треугольник, у которого сумма углов больше 180 градусов. На плоскости такого не бывает.

Долгое время неевклидова геометрия считалась чистой абстракцией — интересной, но бесполезной. Пока Эйнштейн не создал общую теорию относительности. Оказалось, что пространство реального мира искривляется там, где есть большие массы. Рядом с Солнцем лучи света идут не по прямым, а по чуть искривлённым траекториям. И это можно измерить. Так школьная геометрия оказалась не единственной, а просто геометрией плоского мира без сильной гравитации. Для жизни на Земле её более чем достаточно. Но знать, что мир устроен чуть сложнее, полезно.

Пропорции и масштаб. Искусство сохранять отношение

Мы уже сталкивались с отношениями, когда говорили о дробях и процентах. Но есть особая тема — пропорции. Это когда два отношения равны. Запись $a/b = c/d$ читается как «а относится к b так же, как c относится к d». В жизни пропорции нужны постоянно, просто мы не всегда это осознаём.

Когда одна величина растёт, а вторая увеличивается во столько же раз — это прямая пропорциональность. Чем больше километров проехал, тем больше бензина сжёг. Чем больше килограммов яблок покупаешь, тем выше итоговая стоимость. Чем дольше работаешь, тем больше заработаешь при почасовой оплате. Формула здесь простая: $y = kx$, где k — коэффициент пропорциональности (например, цена за один килограмм или расход бензина на один километр).

А бывает наоборот — обратная пропорциональность, когда одна величина растёт, а вторая во столько же раз уменьшается. Если не брать в расчёт человеческий фактор, то чем больше рабочих строят дом, тем меньше времени им потребуется. Чем выше скорость автомобиля, тем меньше времени займёт путь. Чем выше цена товара, тем меньше штук можно купить на ту же сумму денег. Формула для этого случая: $y = k/x$.

Масштаб — это частный случай пропорции. Отношение размера на карте или чертеже к реальному размеру. Масштаб 1:100 000 означает, что одному сантиметру на карте соответствует 100 000 сантиметров в реальности. Значит, масштаб 1:100 000 — это 1 см на карте = 1 км на местности.

Средние величины. При чём тут ваша зарплата

В новостях постоянно говорят о средних зарплатах, средних температурах, средних баллах. Но среднее бывает разным, и выбор способа усреднения может кардинально менять картину.

Среднее арифметическое — это когда мы складываем все значения и делим на их количество. Возьмём зарплаты пяти человек: 30, 30, 40, 50 и 500 тысяч рублей. Складываем: $30+30+40+50+500 = 650$ тысяч. Делим на 5 — получаем 130 тысяч рублей. Но отражает ли эта цифра реальность? Четыре человека получают меньше 50 тысяч, а средняя — 130. Потому

что одно большое значение, 500 тысяч, вытянуло всю статистику. Такие значения называются выбросами.

Медиана — это значение, которое находится ровно посередине, если выстроить все числа по порядку. В нашем примере с зарплатами: 30, 30, 40, 50, 500. Посередине стоит число 40 — это и есть медиана.

А что делать, если чисел в ряду чётное количество и чёткой середины нет? Всё просто: берут два центральных числа и находят их среднее. Например, для ряда 30, 30, 40, 50 медианой станет 35.

Медиана часто честнее отражает реальность, особенно когда речь идёт о доходах. Когда говорят «медианная зарплата в регионе — 45 тысяч», это значит: ровно половина людей получает меньше 45 тысяч, а вторая половина — больше. Экстремальные выбросы, вроде доходов редких миллионеров, на медиану вообще не влияют.

Бывает, что разные значения имеют разный вес. Например, в школе оценка за контрольную важнее, чем за домашнее задание. Итоговая оценка — это среднее взвешенное. Если контрольная идёт с коэффициентом 3, а домашняя работа — с коэффициентом 1, то при оценках 5 за контрольную и 3 за домашку считаем так: $(5 \times 3 + 3 \times 1) / (3 + 1) = (15 + 3) / 4 = 18 / 4 = 4,5$. А простое среднее арифметическое дало бы 4.

Когда нам говорят «средняя зарплата по стране 80 тысяч», это ещё ни о чём не говорит. Нужно знать: это среднее арифметическое или медиана? Если среднее арифметическое, то оно может быть сильно выше того, что получает большинство. Когда вы видите график с плавным ростом, полезно спросить: а что усредняли и как?

Логарифмы. Зачем они нужны

У возведения в степень есть две обратные операции: корень и логарифм. С корнями мы разобрались, а логарифм — это когда мы ищем показатель степени. Запись выглядит так: $\log_2(8) = 3$. Читается: «логарифм восьми по основанию два равен трём». Вопрос был: «в какую степень возвести 2, чтобы получить 8?», ответ — 3.

В школе это проходят в старших классах, и многие искренне не понимают, зачем это нужно. Выглядит как игра ума ради игры ума. Но на логарифмах построены несколько важнейших шкал, с которыми мы сталкиваемся постоянно, просто не задумываясь.

Среди всех возможных оснований для логарифмов есть одно особенное — число e . Оно примерно равно 2,71828. Как и число π , оно иррационально и всплывает в самых неожиданных местах. Логарифм по основанию e называется натуральным и записывается как $\ln$. Например, $\ln(7,389) \approx 2$, потому что $e^2 \approx 7,389$.

Откуда взялось число e ? Представьте, что вы положили в банк 1 рубль под 100% годовых. Через год у вас будет 2 рубля. А если проценты начисляют не раз в год, а чаще? Например, раз в полгода. Тогда через полгода у вас будет 1,5 рубля, потому что половина от 100% — это 50%, а ещё через полгода — $1,5 + 50\% \text{ от } 1,5 = 2,25$ рубля. Уже лучше. Если начислять проценты каждый месяц, к концу года получится примерно 2,61 рубля. Каждый день — около 2,71 рубля. Каждую секунду — ещё ближе к 2,71828. Оказывается, если стремиться к бесконечно частому начислению процентов, сумма стремится к числу e . То есть e — это максимально возможный результат при непрерывном росте.

В природе и экономике много процессов растут именно так — непрерывно. Численность популяции при отсутствии ограничений, распад радиоактивных веществ, рост вклада под непрерывный процент — всё это описывается через e .

Когда говорят «землетрясение магнитудой 6 баллов», это логарифмическая шкала, шкала Рихтера. Давайте вспомним, что это значит математически. Магнитуда землетрясения,

обозначим её M , вычисляется по формуле $M = \lg(A / A_0)$, где A — амплитуда колебаний, размах волны, которую зарегистрировал сейсмограф, а A_0 — некая эталонная амплитуда, самое маленькое колебание, которое ещё можно зарегистрировать. $\lg$ — это десятичный логарифм, логарифм по основанию 10, который можно записать как $\log_{10}$.

Что означает эта формула на пальцах? Если магнитуда увеличилась на 1, значит, амплитуда колебаний увеличилась в 10 раз. Потому что логарифм как бы отматывает степень десятки. Проверим. Пусть $A/A_0 = 10$. Тогда $\lg(10) = 1$. Магнитуда 1. Пусть $A/A_0 = 100$. Тогда $\lg(100) = 2$. Магнитуда 2. Пусть $A/A_0 = 1000$. Тогда $\lg(1000) = 3$. Магнитуда 3. Каждый шаг магнитуды вверх — это умножение амплитуды на 10. То есть землетрясение магнитудой 6 — это в 100 000 раз более сильные колебания, чем магнитудой 1.

С амплитудой разобрались. Но разрушительная сила землетрясения зависит от энергии, а она растёт ещё быстрее. Для энергии формула сложнее, но грубо: увеличение магнитуды на 1 означает увеличение энергии примерно в 32 раза. Поэтому от магнитуды 5 до 6 энергии становится больше в 32 раза, от 5 до 7 — в $32 \times 32 = 1024$ раза, от 5 до 8 — в $32 \times 32 \times 32 \approx 33\,000$ раз. Вот почему 9 баллов — это катастрофа. Это не просто чуть-чуть больше 8, это в 32 раза мощнее по энергии.

Представьте, что мы сделали бы шкалу линейной. Тогда самое слабое землетрясение, которое регистрируют приборы, было бы 1, а самое сильное — с числом, где 20 нулей. Пользоваться такой шкалой невозможно. Логарифмы сжимают огромный диапазон в удобные цифры, например от 1 до 9.

Так же устроены децибелы — единица измерения громкости звука. Человеческое ухо способно воспринимать звуки, различающиеся по мощности в миллионы раз. Самый тихий звук, который мы можем услышать, и звук реактивного двигателя — это пропасть. Если бы мы измеряли громкость линейно, пришлось бы использовать огромные числа. Поэтому придумали логарифмическую шкалу — децибелы. Увеличение громкости на 10 дБ означает увеличение энергии звука в 10 раз. Шелест листьев — около 20 дБ, спокойный разговор — 50–60 дБ, оживлённая улица — 70–80 дБ, рок-концерт — 110–120 дБ, реактивный самолёт на взлёте — 130–140 дБ. Разница между 60 дБ и 120 дБ — в миллион раз по энергии звука, потому что каждые 10 дБ — это 10 раз, а 6 шагов дают 10^6 .

Точно так же устроена шкала pH — мера кислотности среды. Чистая вода — pH 7. Кислоты — pH меньше 7, щёлочи — больше 7. И это тоже логарифмическая шкала. pH 6 означает, что концентрация ионов водорода в 10 раз выше, чем при pH 7. pH 5 — в 100 раз выше. Поэтому лимонный сок с pH около 2 — это очень кислая среда, хотя по ощущениям просто кисло. А pH 1, как у аккумуляторной кислоты, — это уже в миллион раз кислее чистой воды.

Везде, где диапазон измеряемой величины охватывает миллионы и миллиарды раз, используют логарифмические шкалы. Это удобно и наглядно.

Вероятность. Оцениваем шансы

Вероятность — это математика случайного. Мы живём в мире, где многое нельзя предсказать точно: выигрыш в лотерею, погода на завтра, успех стартапа. Но можно оценить шансы.

Проще всего объяснить вероятность на примере с шарами. В мешке 10 шаров, 3 белых и 7 чёрных. Если мы тянем один шар наугад, у нас 3 шанса из 10 вытащить белый. Вероятность равна $3/10 = 0,3$, или 30%. Вероятность вытащить чёрный — $7/10 = 0,7$, или 70%. Важное свойство: сумма вероятностей всех возможных исходов всегда равна 1, или 100%. Что-то обязательно произойдёт.

Комбинаторика

Комбинаторика — это раздел математики, который отвечает на вопрос «сколько вариантов?». Сколько разных паролей можно составить из букв и цифр? Сколькими способами можно выбрать трёх дежурных из класса? Сколько вариантов выпадения карт в покере?

Главное понятие комбинаторики — факториал. Обозначается восклицательным знаком: $5!$ означает произведение всех чисел от 1 до 5, то есть $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120$. Факториал показывает, сколькими способами можно расставить n предметов в ряд. Пять книг на полке можно переставить 120 способами.

Другое важное понятие — число сочетаний. Оно отвечает на вопрос: сколькими способами можно выбрать k предметов из n , если порядок не важен? Например, сколькими способами можно выбрать двух дежурных из 20 учеников? Формула для этого: $C(n, k) = n! / (k! \times (n - k)!)$. Для двух дежурных из 20 это будет $20! / (2! \times 18!) = 190$ способов.

Комбинаторика нужна везде, где нужно оценить количество вариантов. Вероятность события часто считают как отношение числа благоприятных исходов к общему числу исходов. А общее число исходов как раз считает комбинаторика. Без неё в теории вероятности никуда.

Математическое ожидание

Если вы играете в игру, где можно выиграть или проиграть деньги, полезно знать математическое ожидание — средний результат одной игры при большом количестве попыток.

Рассмотрим простой пример. Бросаем монетку. Орёл — вы выигрываете 100 рублей, решка — проигрываете 110. Стоит ли играть? Вероятность орла = 0,5, выигрыш +100. Вероятность решки = 0,5, проигрыш –110. Считаем математическое ожидание: $(0,5 \times 100) + (0,5 \times (-110)) = 50 - 55 = -5$ рублей. В среднем за одну игру вы будете проигрывать 5 рублей. Игра невыгодная. Если бросить монету 1000 раз, с большой вероятностью вы останетесь в минусе.

Почему казино всегда выигрывает

Рассмотрим европейскую рулетку. В ней 36 чисел и одно zero (0). Всего 37 секторов. Вы ставите 100 рублей на число 13. Рассуждаете здраво: секторов 37, значит, шанс угадать — 1 из 37. В абсолютно честной игре, чтобы компенсировать такой риск, ваш выигрыш должен увеличивать ставку в 37 раз. То есть в случае удачи вы должны забрать со стола 3700 рублей: свою сотню назад и ещё 3600 рублей чистого выигрыша сверху.

Но казино так не считает. Оно говорит: «Выплата — 35 к 1». Это значит: при выигрыше вы получаете свою сотню обратно и ещё 3500 рублей сверху. Итого вы забираете со стола 3600 рублей.

Куда делись ещё 100 рублей? Это разница, которую казино по правилам игры оставляет в свою пользу. Происходит это потому, что zero (0) в расчёте выплат просто игнорируется. Игрок рискует среди 37 секторов, а казино платит ему так, будто на колесе всего 36 номеров. Эта скрытая разница в 100 рублей с каждого выигрышного стола и есть источник дохода заведения.

Теперь считаем математическое ожидание — средний результат одной ставки. Вероятность выигрыша $1/37$, чистый выигрыш 3500 рублей. Вероятность проигрыша $36/37$, потеря 100 рублей. Получаем:

$$(1/37) \times 3500 + (36/37) \times (-100) = 3500/37 - 3600/37 = -100/37 \approx -2,7 \text{ рубля.}$$

С каждых 100 рублей вы в среднем теряете 2 рубля 70 копеек. Это и есть преимущество казино — те самые 2,7%. Мелочь, но на тысячах ставок получают миллионы.

Закон больших чисел

Если подбросить монету 10 раз, может выпасть 7 орлов и 3 решки — такое бывает. Но если подбросить 1000 раз, соотношение будет очень близко к 500 на 500. Чем больше попыток, тем ближе результат к теоретической вероятности.

На этом основана работа страховых компаний. Они не знают, сгорит ли конкретный дом, но на тысячах домов могут довольно точно предсказать, сколько сгорит в среднем, и рассчитать страховые взносы так, чтобы остаться в плюсе.

Парадокс дней рождений

В группе из 23 человек вероятность того, что хотя бы у двоих совпадет день рождения, больше 50%. Интуитивно кажется, что должно быть гораздо меньше — ведь дней в году 365. Но интуиция подводит, потому что мы думаем о совпадении с конкретным днём, например со своим, а нужно считать вероятность совпадения любых двух людей в группе.

Проще считать наоборот: какова вероятность, что у всех дни рождения разные? Для первого человека — 365 вариантов из 365. Для второго — 364 из 365 (чтобы не совпасть с первым). Для третьего — 363 из 365. И так далее. Перемножаем эти дроби для 23 человек — и получаем примерно 0,493. То есть вероятность, что все дни рождения разные — около 49,3%. Значит, вероятность хотя бы одного совпадения — $100\% - 49,3\% = 50,7\%$.

Откуда берётся такая высокая вероятность? Количество возможных пар в группе из 23 человек вычисляется по формуле числа сочетаний: $23 \times 22 / 2 = 253$. Каждая из этих пар — потенциальное совпадение. При таком количестве пар шанс, что хотя бы одна из них совпала, оказывается больше половины. В группе из 60 человек вероятность совпадения превышает 99%.

Статистика. Как не дать себя обмануть

Статистика — это наука собирать, обрабатывать и интерпретировать данные. Это одновременно и самый полезный, и самый опасный раздел математики, потому что статистикой можно доказывать что угодно. Всё зависит от того, кто, как и зачем её считал.

Корреляция и причинность

Корреляция — это когда две величины изменяются согласованно. Растёт одно — растёт другое, это положительная корреляция. Растёт одно — падает другое, это отрицательная корреляция.

Классический пример: продажи мороженого и количество утопленников положительно коррелируют. Летом продаётся больше мороженого и больше людей тонет. Но мороженое не вызывает утопления. Оба явления связаны с третьим фактором — жарой. В жару больше едят мороженого и больше купаются, отсюда и утопления.

Корреляция не означает причинно-следственную связь. Это главное правило, которое нужно помнить, когда вы видите заголовки вроде «Учёные выяснили, что употребление красной рыбы продлевает жизнь». Возможно, дело не в самой рыбе, а в том, что люди, которые могут регулярно покупать красную рыбу, больше зарабатывают, в целом ведут более здоровый образ жизни, чаще посещают врачей и имеют доступ к качественной медицине.

Выборка и репрезентативность

Чтобы делать выводы обо всех, не обязательно опрашивать всех. Достаточно опросить часть — выборку. Но выборка должна быть репрезентативной, то есть отражать структуру населения.

Если опросить 1000 человек у выхода из метро в центре Москвы и сделать вывод «москвичи думают так-то» — это ошибка. В центре Москвы преобладают работающие люди, но мало пенсионеров и жителей спальных районов. Выборка смещена. Если исследование финансирует компания, заинтересованная в определённом результате, есть риск, что выборка или вопросы будут подобраны так, чтобы получить нужный ответ. Поэтому всегда полезно знать, кто заказывал исследование и на какой аудитории его проводили.

Как читать графики

Мы уже говорили о манипуляции с осями. Если сжать шкалу по вертикали, даже резкий рост будет выглядеть пологой линией. Если растянуть — любое колебание покажется катастрофой. Если начать шкалу не с нуля, а с какого-то числа, разница в несколько процентов превратится в гигантский скачок.

Добавим ещё несколько приёмов. Сглаживание: на графиках часто показывают не реальные данные, а сглаженную кривую. Это может скрывать резкие скачки или провалы. Выбор периода: можно показать график за последний месяц — и увидеть рост. Можно показать за год — и увидеть падение. Оба графика будут правдивы, но выводы разные.

Данные могут быть представлены не в абсолютных числах, а в процентах от чего-то. «Число преступлений выросло на 50%» — звучит страшно. Но если было 2 преступления на миллион человек, а стало 3, то абсолютный рост незначителен.

Дискретная математика. Про графы и связи

В школе математика в основном про непрерывные величины. Но есть огромный пласт математики, который работает с дискретными объектами — теми, что можно пересчитать поштучно. Это дискретная математика.

Одно из главных её понятий — граф. Граф — это набор точек (вершин) и линий (рёбер), которые их соединяют. Схема метро — это граф. Станции — вершины, перегоны — рёбра. Карта дорог — граф. Социальные сети — тоже граф: люди (вершины) связаны дружбой (рёбрами).

Графы помогают решать практические задачи. Как проложить маршрут, чтобы объехать все нужные точки и не переплачивать за бензин? Это задача коммивояжёра. Как найти кратчайший путь в метро от одной станции до другой? Это алгоритм Дейкстры, который работает именно с графами.

Дискретная математика лежит в основе программирования, логистики, построения сетей, даже биоинформатики. Когда вы ищете дорогу в навигаторе или видите рекомендации друзей в соцсети, внутри работает математика графов.

Итог главы «Математика»

Мы прошли немалый путь. От простого счёта — к переменным и функциям, от них — к пространственным формам, от форм — к пропорциям и средним величинам. А затем углубились в логарифмы, вероятность и статистику.

Математика оказалась не набором скучных правил, а языком описания мира. У этого языка есть разные диалекты. Арифметика даёт нам числа — кирпичики, из которых строится математика. Алгебра описывает связи и зависимости — как одно меняется вслед за другим. Геометрия отвечает за форму и пространство. Пропорции и масштаб помогают сравнивать и переносить размеры. Средние величины позволяют обобщать, но требуют осторожности. Логарифмы делают огромные числа удобными для измерения. Вероятность учит оценивать шансы в мире случайного. Статистика даёт инструменты, чтобы не быть обманутым цифрами.

В следующей главе мы применим этот язык к тому, как движется и взаимодействует всё вокруг. Переходим к физике.

Глава 2. Физика. Как устроен мир

Скажу сразу, эта глава получилась самой длинной в книге. И это не случайно: физика — самая объёмная из школьных наук. В учебном плане ей отведено больше часов, чем химии, биологии или истории. Здесь и механика, и электричество, и оптика, и строение атома. Мы не будем пытаться объять необъятное, но пройдем по главному — от падающих яблок до ядерных батареек. Если где-то станет слишком подробно — значит, там действительно стоит задержаться.

Физику в школе многие не любят даже сильнее, чем математику. Здесь начинаются эти непонятные формулы, векторы, силы, ускорения, атомы, излучения. Кажется, что это какой-то параллельный мир.

Но на самом деле физика — это о том, как всё вокруг работает. Почему самолёты летают, а камни падают. Отчего вода в чайнике закипает, а в холодильнике замерзает. Почему небо голубое, а трава зелёная.

Физика делится на несколько больших разделов, и мы пройдем по ним по порядку. Начиная с самого простого — с описания движения. Это как раз тот случай, когда можно обойтись без сложных формул, но понять главное.

Кинематика. Движение тел

Начнём с банальности: всё вокруг движется. Автомобили едут, люди ходят, облака плывут, кровь течёт по сосудам, электроны бегают по проводам. Даже то, что кажется неподвижным — например, дом или дерево — на самом деле движется вместе с Землёй вокруг Солнца.

Механическое движение — это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени. Ключевое слово здесь — относительно. Если вы сидите в поезде, вы неподвижны относительно сиденья, но движетесь относительно перрона. Если идёте по вагону, ваша скорость относительно Земли складывается из скорости поезда и вашей скорости. Движение относительно — это первый важный вывод, который сделал ещё Галилей.

Материальная точка

Когда физики описывают движение, они не хотят каждый раз учитывать форму и размеры тела. Это сложно и часто не нужно. Поэтому придумали упрощение — материальную точку. Материальная точка — это тело, размерами и формой которого в данной задаче можно пренебречь.

Когда мы рассматриваем полёт самолёта из Москвы во Владивосток, нам не важно, пассажирский это лайнер или маленький кукурузник. Важно только, где он находится в каждый момент времени. Значит, можно считать его точкой. А когда тот же самолёт заходит на посадку и выпускает шасси, размерами пренебрегать уже нельзя. В одной задаче тело может быть материальной точкой, в другой — нет. Планета Земля — это материальная точка, когда мы говорим о её движении вокруг Солнца. Но когда мы говорим о смене дня и ночи, Землю точкой уже не назовёшь — важно, что она вертится.

Система отсчёта

Чтобы описать движение, нужно договориться, относительно чего мы его рассматриваем. Для этого нужна система отсчёта.

Система отсчёта включает три вещи: тело отсчёта (то, относительно чего мы смотрим — Земля, вагон или Солнце), систему координат (чтобы задавать положение, обычно хватит оси X) и часы (чтобы измерять время).

Выбирать систему отсчёта можно любую. Законы физики работают одинаково во всех инерциальных системах, то есть тех, которые движутся равномерно и прямолинейно. Это называется принципом относительности Галилея.

Траектория, путь и перемещение

Когда тело движется, оно оставляет воображаемый след. Этот след называется траекторией. Траектория бывает прямой, тогда это прямолинейное движение, или кривой, тогда это криволинейное движение. Длина этого следа — это путь. А есть ещё перемещение. Это вектор, который соединяет начальную точку движения с конечной.

В чём разница? Путь — это сколько тело прошло. Перемещение — на сколько оно в итоге отодвинулось от старта. Вот пример. Вы вышли из дома, дошли до магазина и вернулись обратно. Путь равен расстоянию туда и обратно. Перемещение равно нулю, потому что вы снова дома. Если бы вы просто дошли до магазина, путь и перемещение были бы равны расстоянию до магазина.

Скорость

Самое простое определение: скорость — это расстояние, пройденное за единицу времени. Если движение равномерное, то есть скорость постоянна, то формула простая: $v = S / t$, где v — скорость, S — путь, t — время.

В реальной жизни скорость редко бывает постоянной. Мы то разгоняемся, то тормозим. Поэтому вводят понятие мгновенной скорости — скорости в данный конкретный момент времени, то, что показывает спидометр. И средней скорости — весь путь, делённый на всё время.

Ускорение

Если скорость тела меняется, значит, оно движется с ускорением. Ускорение показывает, на сколько увеличивается или уменьшается скорость за секунду.

Формула простая: $a = (v - v_0) / t$, где a — ускорение, v — конечная скорость, v_0 — начальная скорость, t — время, за которое произошло изменение.

Если ускорение положительное — скорость растёт, тело разгоняется. Если отрицательное — скорость падает, тело тормозит. В таких случаях физики часто говорят «равнозамедленное движение», имея в виду, что торможение происходит равномерно. Например, если поезд тормозит с постоянным усилием, его скорость уменьшается на одно и то же значение каждую секунду.

Возьмём автомобиль, который разгоняется с места до 100 км/ч за 10 секунд. Здесь начальная скорость равна нулю, конечная — 100 км/ч, время — 10 секунд. Даже без перевода в метры в секунду понятно: скорость растёт, значит, ускорение положительное.

Свободное падение

Если тело падает под действием только силы тяжести, без сопротивления воздуха, это называется свободным падением. Ускорение при этом всегда одинаковое для всех тел — примерно $9,8 \text{ м/с}^2$. Его обозначают буквой g . Это значит, что за каждую секунду скорость падающего тела увеличивается почти на 10 м/с. Легенда гласит, что Галилей сбрасывал ядра раз-

ной массы с Пизанской башни и доказывал, что они падают одинаково. На самом деле воздух мешает, но в вакууме перо и молоток падают синхронно.

Механика. Законы Ньютона

Механика — это часть физики, которая изучает, почему тела движутся именно так, а не иначе. Если кинематика просто описывает движение, отвечая на вопросы «как?», «с какой скоростью?», «с каким ускорением?», то механика отвечает на вопрос «почему?». А ответ на этот вопрос всегда один: потому что на тело действует сила.

Сила — это любое воздействие, которое заставляет тело менять скорость или форму. Удар по мячу, открытие двери, падение яблока — всё это примеры действия силы. Вся механика держится на трёх законах, которые сформулировал Исаак Ньютон в XVII веке. До него люди думали, что для движения нужна постоянная сила, как лошадь тянет телегу. Ньютон объяснил, что всё иначе.

Первый закон Ньютона

Формулировка первого закона Ньютона звучит так: существуют такие системы отсчёта, относительно которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или их действие скомпенсировано. Звучит страшно, но на деле просто. Если на тело не действуют силы, оно либо стоит на месте, либо движется по прямой с постоянной скоростью.

До Ньютона думали, что для движения нужна сила. Если перестать толкать тележку — она остановится. Ньютон понял: она останавливается не потому, что движение само по себе прекращается, а потому что на неё действует сила трения. Убери трение — тележка будет катиться вечно. В жизни это проявляется постоянно. Вы едете в автобусе, он резко тормозит — ваше тело по инерции продолжает двигаться вперёд. В кёрлинге спортсмен толкает камень, и тот скользит по льду очень долго — трение маленькое, и скорость падает медленно. Если бы льда не было, камень остановился бы почти сразу. В космосе запущенный зонд летит без двигателей годами — сил сопротивления там просто нет. Это свойство тел сохранять скорость называется инерцией. Поэтому первый закон часто называют законом инерции.

Инерциальные системы отсчёта

Ньютон добавил важную деталь: его законы механики работают не во всех системах отсчёта, а только в инерциальных. Инерциальная система — это система, которая либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно. Если вы сидите в машине, которая едет с постоянной скоростью по прямой дороге, вы в инерциальной системе. Мячик под сиденьем лежит неподвижно. Но как только машина поворачивает или резко тормозит, мячик катится — система перестаёт быть инерциальной. Земля — почти инерциальная система, но не совсем, потому что она вращается. Однако для большинства бытовых задач — будь то строительство дома, движение поездов или полет брошенного мяча — этим можно пренебречь.

Второй закон Ньютона

Второй закон Ньютона формулируется так: ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально его массе. Коротко это записывают формулой $F = m \times a$, где F — сила, m — масса, a — ускорение. Это, пожалуй, самая важная формула в физике.

Что она значит на пальцах? Чем больше сила, тем больше ускорение. Пнули мяч слабо — покатился медленно. Пнули сильно — полетел быстро. Чем больше масса, тем меньше ускорение при той же силе. Толкнуть пустую тележку легко, полную — трудно. Масса — это мера инертности тела. Она показывает, как тело сопротивляется попыткам изменить его скорость. Вот примеры из жизни. Футболист бьёт по мячу. Сила удара — F , масса мяча — m , ускорение — a . Грузовик и легковушка столкнулись с одинаковой силой. У грузовика масса больше, значит, его ускорение, то есть изменение скорости, будет меньше. Поэтому водитель грузовика испытывает меньшее ускорение (то есть изменение скорости) и, как следствие, пострадает меньше.

Третий закон Ньютона

Третий закон Ньютона гласит: тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Проще говоря, на сколько ты толкнул, на столько и толкнули тебя. Когда вы прыгаете с лодки на берег, лодка отплывает в другую сторону. Вы толкнули лодку назад — лодка «толкнула» вас вперёд.

Важный момент: силы приложены к разным телам. Поэтому они не уравниваются друг друга. Когда вы бьёте по стене, вы чувствуете боль не потому, что стена решила вас наказать, а потому что по третьему закону стена действует на вашу руку с той же силой, что и вы на стену. Примеров масса. Ракета летит потому, что выбрасывает газы назад. Газы толкают ракету вперёд. Ходьба: вы толкаете землю ногой назад, земля «толкает» вас вперёд. Плавание: вы отталкиваете воду назад, вода «толкает» вас вперёд.

Силы в природе

В механике изучают несколько основных сил. Первая и самая заметная — сила тяжести. Это сила, с которой Земля притягивает все тела. Она направлена вниз, к центру Земли. Формула силы тяжести: $F = m \times g$, где g — ускорение свободного падения, те самые $9,8 \text{ м/с}^2$. Сила тяжести действует на всех и всегда. Именно из-за неё мы не улетаем в космос, а яблоки падают с деревьев.

Важно не путать вес тела с массой. В быту мы говорим «я вешу 70 килограммов», но с точки зрения физики 70 килограммов — это ваша масса. Масса — мера инертности тела, она не зависит от того, где вы находитесь: на Земле, на Луне или в космосе. Вес — это сила, с которой тело давит на опору. На Земле человек с массой 70 кг давит на весы с силой примерно 686 ньютонов, но весы уже настроены показывать не ньютоны, а килограммы — они просто делят измеренную силу на 9,8. Поэтому ваша масса — это те самые 70 кг, которые вы видите на дисплее. На Луне масса останется той же, а вес станет в 6 раз меньше. Если бы вы взяли туда обычные весы, они показали бы всего около 12 кг — потому что они измеряют вес, а он зависит от силы притяжения.

Следующая сила — сила упругости. Она возникает при деформации тела. Чем сильнее сжать пружину, тем сильнее она толкнёт обратно. За эту взаимосвязь отвечает закон Гука, который записывается так: $F = k \times \Delta x$, где k — жёсткость пружины, Δx — величина деформации. Это работает для пружин, резинок, тетивы лука.

И наконец, сила трения. Она возникает, когда одно тело движется по поверхности другого, и всегда направлена против движения. Трение бывает разным. Трение покоя позволяет подошве ваших кроссовок зацепиться за асфальт, когда вы делаете шаг. Трение скольжения — это то, что происходит, когда вы наступаете на лёд и ваши ноги разъезжаются. Благодаря силе трения катятся и колёса. Без трения они бы просто буксовали и крутились на месте, как на чистом льду. Колесо использует трение, чтобы зацепиться за дорогу и оттолкнуться от неё, но при этом катиться ему гораздо легче, чем если бы мы тащили груз волоком. Ради этого колесо

и изобрели. Без трения мы бы не могли ходить, машины бы не ехали, гвозди бы не держались. Но трение же и мешает — нагревает детали, заставляет тратить энергию.

Закон всемирного тяготения

Ньютон сформулировал не только свои три закона, но и закон всемирного тяготения. Выглядит он так: $F = G \times (m_1 \times m_2) / R^2$, где F — сила притяжения между двумя телами, m_1 и m_2 — их массы, R — расстояние между ними, а G — гравитационная постоянная, очень маленькое число.

Что это значит? Притягиваются вообще любые тела. Вы притягиваете книгу, книга притягивает вас. Просто наши массы крошечные, и эта сила незаметна. Но чем больше массы, тем сильнее притяжение. При этом с увеличением расстояния сила падает пропорционально его квадрату: если отодвинуть тела друг от друга в 2 раза, притяжение ослабнет в 4 раза.

Этот закон объясняет, почему Земля удерживает Луну, почему на самой Луне притяжение слабее (ведь её масса меньше), и почему спутники на орбите не падают на Землю. Представьте, что вы раскрутили камень на верёвке: верёвка постоянно тянет камень к вашей руке, но из-за огромной скорости он не приближается к вам, а летит по кругу. Со спутником происходит то же самое: Земля постоянно притягивает его к себе, заменяя «верёвку», а колоссальная скорость заставляет его бесконечно мчаться по круговой орбите, не приближаясь к поверхности.

Статика. Простые механизмы

Статика — это раздел механики, который изучает равновесие тел. То есть условия, при которых тело не движется или движется равномерно и прямолинейно. Вопрос: почему одни конструкции стоят веками, а другие разваливаются на глазах? Почему Пизанская башня наклонилась, но не падает? Почему стол на трёх ножках никогда не качается, а на четырёх — может? Это всё статика.

Равновесие

Первое условие равновесия мы уже знаем из законов Ньютона: тело находится в равновесии, если сумма всех сил, действующих на него, равна нулю. Но есть нюанс. Силы могут быть скомпенсированы, а тело всё равно будет вращаться.

Представьте обычную линейку. Положите её на палец так, чтобы она лежала ровно и не падала. Это равновесие: сила тяжести тянет линейку вниз, а палец поддерживает — силы скомпенсированы. Но если сдвинуть линейку так, чтобы большая часть её была с одной стороны, она упадёт. Почему? Ведь силы остались теми же: линейку по-прежнему тянет вниз, а палец поддерживает. Но изменилось другое — моменты сил.

Момент силы — это крутящая характеристика. Он зависит от самой силы и от плеча — расстояния от точки опоры до линии действия силы. В случае с линейкой, если большая часть линейки справа, момент справа становится больше, и линейка поворачивается по часовой стрелке. Чтобы она оставалась в равновесии, нужно, чтобы моменты слева и справа были равны. Именно поэтому линейка лежит ровно только тогда, когда палец находится точно посередине — центр тяжести над опорой.

Формула момента простая: $M = F \times L$, где M — момент силы, F — сила, L — плечо.

Второе условие равновесия: сумма моментов сил, вращающих тело по часовой стрелке, должна равняться сумме моментов сил, вращающих против часовой стрелки.

В жизни эти знания используют везде. Гаечный ключ делают длинным, чтобы при той же силе получить больший момент и легче открутить гайку. Дверь толкают подальше от петель — чтобы открывать было легче.

Центр тяжести

У любого тела есть точка, в которой как бы сосредоточена вся его масса. Это центр тяжести. Есть важное правило: тело устойчиво, если вертикальная линия, опущенная из центра тяжести, попадает внутрь площади своей опоры. Если выходит за пределы — тело падает.

Пизанская башня наклонилась, но центр тяжести всё ещё внутри фундамента, поэтому она не падает. Ванька-встанька устроен так, что нижняя часть у него тяжёлая, центр тяжести очень низко, поэтому игрушка всегда возвращается в вертикальное положение. А канатоходец балансирует шестом. Длинный тяжёлый шест увеличивает момент инерции системы: теперь любые отклонения происходят медленнее, и у канатоходца есть время их скомпенсировать. К тому же, сдвигая шест, он может немного смещать общий центр тяжести, подстраиваясь под колебания.

Простые механизмы

Люди с древности искали способы поднимать тяжести, не надрываясь. Так появились простые механизмы. Их всего несколько типов, но они лежат в основе любой современной техники.

Золотое правило механики гласит: выигрывая в силе, проигрываешь в расстоянии, и наоборот. Никакой механизм не даёт выигрыша в работе. Сколько энергии потратил — столько и получил, но распределить её можно удобнее.

Рычаг

Рычаг — самый известный простой механизм. Это твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной опоры. Условие равновесия рычага записывают так: $F_1 \times L_1 = F_2 \times L_2$, где F_1 и F_2 — силы, а L_1 и L_2 — плечи. Если плечо больше, сама сила может быть меньше.

В физике рычаги делят на два основных типа (или рода). Разница между ними простая: всё зависит от того, где находится точка опоры — посередине или с самого края.

В рычагах первого рода опора всегда расположена посередине. Сюда относятся обычные качели-балансир, лом или ножницы. Например, когда мы поднимаем ломом тяжёлый камень, точка опоры (земля или кирпич) находится между нашими руками и грузом. Длинное плечо позволяет нам лишь слегка надавить на лом, а на коротком конце возникает огромная сила, поднимающая валун.

Ножницы — это тоже двойной рычаг с опорой посередине в виде винтика. Их конструкция меняется под конкретные задачи. У ножниц по металлу ручки длинные, а лезвия короткие — чтобы максимально выиграть в силе. А у портновских ножниц лезвия, наоборот, длинные, чтобы резать ткань быстро, ведь больших усилий там не требуется.

В рычагах второго рода точка опоры перемещается на самый край, а груз оказывается посередине. Ярким примером здесь служит садовая тачка, где опора — это ось колеса. Вы берётесь за ручки с противоположного конца, поэтому ваши руки находятся дальше от колеса, чем тяжёлый груз. За счёт этого длинного плеча вы легко везёте вес, который просто так в руках бы не подняли.

Блок

Блок — это механизм в виде колеса с желобом, через которое перекинута верёвка. Как и рычаг, относится к простым механизмам. Блоки бывают двух видов: неподвижные и подвижные.

Неподвижный блок закреплён на оси. Он не поднимается и не опускается, а только вращается. Представьте блок, прикрепленный к балке на верхнем этаже строящегося дома. Верёвка перекинута через него. Один конец верёвки привязан к ведру с цементом, за другой конец вы тянете, стоя внизу на земле. Когда вы тянете верёвку вниз, ведро поднимается вверх. Какой тут выигрыш в силе? Никакого — вам приходится прилагать силу такую же, как вес ведра. Но зато это гораздо удобнее и безопаснее. Неподвижный блок меняет направление силы, но не даёт выигрыша в силе.

Подвижный блок устроен иначе. Он не закреплён, а висит на верёвке. Груз крепится к самому блоку. Представьте, что вы стоите на верхнем этаже здания. Внизу, на земле, стоит ведро с цементом. К ведру прикреплен подвижный блок. Один конец верёвки надёжно закреплён наверху, рядом с вами. Верёвка спускается вниз, огибает подвижный блок (тот самый, что прикреплен к ведру) и поднимается обратно к вам. Вы берётесь за этот свободный конец и тянете верёвку вверх. Когда вы тянете, ведро с блоком начинает подниматься. Здесь уже есть выигрыш в силе: груз весом 10 кг вы сможете поднять с усилием примерно 5 кг. Но есть плата: чтобы поднять груз на высоту 1 метр, вам придётся вытянуть 2 метра верёвки.

Если соединить несколько блоков в систему, получится полиспаст. Чем больше блоков, тем больше выигрыш в силе. Такие системы используют в подъёмных кранах: двигатель развивает небольшую силу, а система блоков позволяет поднимать многотонные грузы.

Наклонная плоскость

Наклонная плоскость — это твёрдая поверхность, установленная под углом к горизонту. По ней легче затащить груз наверх, чем поднимать вертикально. Выигрыш в силе тем больше, чем длиннее плоскость и чем меньше угол наклона. Но путь становится длиннее.

Пандусы — это наклонная плоскость. Дорога в гору, которая идёт серпантином, длиннее прямой, но зато позволяет преодолеть подъём без крутых уклонов.

Клин — тоже частный случай наклонной плоскости, только работает он не как дорога, а как орудие, которое раздвигает материал. По сути, это две наклонные плоскости, сложенные основаниями. Когда вы вбиваете клин (например, топор в полено), его боковые грани давят на материал и создают силу, направленную в стороны. Чем длиннее клин и чем меньше угол его заточки, тем легче расколоть полено. На этом же принципе работают ножи, иглы, гвозди — всё, что должно входить внутрь, раздвигая материал в стороны.

Ворот и колесо

Ворот — это простой механизм, который работает как рычаг, только крутится вокруг оси. Самый понятный пример — колодезный ворот. Представьте цилиндр, закреплённый над колодезём. К нему прикреплена верёвка с ведром, а сбоку — длинная рукоятка. Когда вы крутите рукоятку, цилиндр вращается, наматывая верёвку. Ведро поднимается. Рукоятка работает как рычаг: чем она длиннее, тем меньше усилий нужно, чтобы поднять груз.

Колесо — тот же ворот, только в другой роли. Оно уменьшает трение: катить легче, чем тащить.

Руль автомобиля — это тоже ворот, только поставленный вертикально. Когда вы поворачиваете руль, вы прикладываете силу к его ободу. Чем больше диаметр руля, тем меньше усилий нужно, чтобы повернуть колёса.

Руль работает по тому же принципу, что и колодезный ворот: длинный рычаг (в данном случае обод руля) позволяет маленькой силой создавать большое усилие на валу, который через механизмы поворачивает колёса.

Гидростатика. Жидкости и газы

Гидростатика — это раздел физики, который изучает равновесие жидкостей и газов и их воздействие на погружённые в них тела. Если кратко: почему с глубиной давление воды растёт, почему одни тела плавают, а другие тонут, как работает гидравлический пресс и откуда берётся атмосферное давление.

Жидкости и газы ведут себя похоже во многих ситуациях, поэтому физики часто рассматривают их вместе. Главное отличие — газы можно сжать, а жидкости практически нет.

Давление

В твёрдых телах сила передаётся в том направлении, куда её приложили. Ударили по шляпке гвоздя — он вошёл в доску. В жидкостях и газах всё иначе. Они текучи, и давление в них передаётся по всем направлениям.

Давление — это сила, приходящаяся на единицу площади. Формула простая: $p = F / S$, где p — давление, F — сила, S — площадь. Чем меньше площадь, тем больше давление при той же силе.

Острый нож режет легче, потому что площадь режущей кромки очень мала — давление на материал получается огромным. Шины делают широкими, чтобы давление на грунт было меньше и машина не вязла в песке или грязи. Лыжи позволяют не проваливаться в снег за счёт большей площади, оказывая при этом меньшее давление.

Единица измерения давления — паскаль. Один паскаль равен одному ньютону на квадратный метр. В жизни мы чаще сталкиваемся с другими единицами: атмосферами, барами, миллиметрами ртутного столба.

Закон Паскаля

Это фундаментальный закон гидростатики. Сформулировал его французский учёный Блез Паскаль в XVII веке. Закон Паскаля гласит: давление, производимое на жидкость или газ, передаётся в любую точку одинаково во всех направлениях.

Благодаря этому закону работают гидравлические системы. Гидравлический пресс — это два цилиндра разного диаметра, соединённые трубкой и заполненные жидкостью. Если приложить силу к малому поршню, давление передастся на большой поршень. А поскольку площадь большого поршня больше, сила на нём будет во столько же раз больше. Формула выглядит так: $F_1 / S_1 = F_2 / S_2$, откуда $F_2 = F_1 \times (S_2 / S_1)$.

Если площадь малого поршня 1 см^2 , а большого — 100 см^2 , то, нажав на малый с силой 10 кгс (килограмм-сила), на большом получим 1000 кгс . Выигрыш в сто раз. 1 кгс — это просто сила, с которой груз массой 1 кг давит на опору. В быту мы часто путаем массу и вес, но здесь удобно пользоваться именно килограмм-силами.

Здесь также работает золотое правило механики: выигрывая в силе, проигрываем в расстоянии. В предыдущем примере, чтобы поднять большой поршень на 1 см , малый придётся опустить на 100 см — жидкость из узкого цилиндра перетекает в широкий и распределяется

по большей площади. Именно поэтому тонна груза поднимается медленно и на небольшую высоту, когда вы с небольшим усилием двигаете малый поршень.

Так работают гидравлические домкраты, тормозные системы автомобилей, подъёмники в автосервисах. Везде, где нужно маленькой силой поднять огромный груз, используется этот принцип.

Гидростатическое давление

Жидкость давит на дно и стенки сосуда просто потому, что у неё есть вес. Это давление зависит от высоты столба жидкости и её плотности. Формула гидростатического давления: $p = \rho \times g \times h$, где ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, h — высота столба жидкости.

На глубине 10 метров давление воды примерно равно атмосферному, то есть одной атмосфере. На глубине 100 метров — уже 10 атмосфер. Поэтому подводные лодки делают из прочной стали, а аквалангисты не ныряют глубоко без специального снаряжения.

Вода в батареях отопления создаёт давление, чтобы циркулировать по всему дому. Водонапорная башня создаёт давление за счёт высоты — чем выше башня, тем сильнее напор. При строительстве плотин учитывают, что в нижней части давление воды больше, поэтому стены делают толще именно у основания.

Сообщающиеся сосуды

Если соединить несколько сосудов разной формы трубкой, жидкость установится в них на одном уровне. Это работает для любой однородной жидкости, где давление в точках на одном уровне одинаково.

Представьте два сосуда, соединённых трубкой у дна. В одном, слева, вода находится на уровне 20 см, в другом, справа — на уровне 10 см. В нижней точке, где сосуды соединяются, давление слева будет больше, чем справа. Жидкость начнёт перетекать из сосуда с более высоким уровнем в сосуд с более низким до тех пор, пока уровни не сравняются. Именно поэтому в сообщающихся сосудах вода всегда стремится к одной горизонтальной линии.

Теперь поднимите один из сосудов выше другого вместе с трубкой. Что произойдёт? Вода тут же начнёт перетекать в нижний сосуд, снова пытаясь выровнять уровни относительно земли.

В быту этот принцип мы встречаем постоянно. Самый простой пример — обычный чайник. Его корпус и носик — это и есть сообщающиеся сосуды. Именно поэтому носик чайника всегда делают вровень с его верхней кромкой, иначе воду невозможно было бы налить доверху: она бы просто выливалась через край носика. По этому же принципу строители используют гидроуровень — длинный прозрачный шланг, заполненный водой. С его помощью можно идеально ровно разметить высоту розеток или фундамента на противоположных стенах дома, ведь вода на обоих концах шланга всегда встанет строго на одной высоте.

Атмосферное давление

Мы живём на дне воздушного океана. Воздух, как и вода, имеет вес и давит на всё, что в него погружено. Это атмосферное давление. Впервые его измерил ученик Галилея — Эвангелиста Торричелли. Он взял стеклянную трубку с ртутью, запаянную с одного конца, перевернул и опустил открытым концом в чашу с ртутью. Часть ртути в трубке осталась на высоте около 760 миллиметров. Это и есть атмосферное давление, уравновешенное столбом ртути.

Нормальное атмосферное давление — 760 миллиметров ртутного столба. В паскалях это примерно 101 300 паскалей, или одна атмосфера. Мы не чувствуем этого давления, потому что давление внутри нас такое же. Оно уравнивается.

Но как только внешнее давление меняется, мы это ощущаем. При подъёме в гору или взлёте самолёта давление снаружи падает, а внутри ушей оно остаётся прежним. Воздух давит на барабанную перепонку изнутри, и уши закладывает.

Присоски держатся за счёт того, что под ними воздуха нет, а снаружи давит атмосфера. Пипетка и шприц тоже работают за счёт разницы давлений: когда мы создаём разрежение внутри, жидкость засасывается.

Архимедова сила

Однажды древнегреческий царь заказал у ювелира корону. Мастер должен был сделать её из чистого золота. Но когда работа была готова, у царя появились сомнения: точно ли ювелир не схитрил и не добавил серебро в золото? Проверить это нужно было, оставив корону невредимой. Он поручил эту задачу Архимеду.

Архимед долго бился над ней, пока однажды, принимая ванну, не заметил, что его тело вытесняет воду. Его осенило: объём вытесненной воды равен объёму погружённого тела. Значит, можно опустить корону в воду, измерить объём вытесненной ею воды и сравнить с объёмом куска чистого золота такой же массы. Если объём короны окажется больше, значит, в ней есть примеси — серебро легче золота, поэтому кусок серебра той же массы занимает больше места.

Легенда гласит, что Архимед выскочил из ванны с криком «Эврика!», что значит «Нашёл!».

Закон Архимеда формулируется просто: на тело, погружённое в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. Формула: $F_a = \rho \times g \times V$, где ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, V — объём погружённой части тела.

Дальше всё зависит от того, какая сила больше — тяжести или Архимеда. Если тяжесть перевешивает, тело тонет, потому что плотность тела больше плотности жидкости. Если силы равны, тело плавает внутри жидкости на любой глубине. Если Архимедова сила больше, тело всплывает, это значит, что плотность тела меньше плотности жидкости.

Железный гвоздь тонет в воде, потому что плотность железа больше плотности воды. Дерево плавает, потому что его плотность меньше. Подводная лодка меняет свою среднюю плотность, набирая или вытесняя воду из цистерн. Рыбы плавают на разной глубине, меняя объём плавательного пузыря.

Воздухоплавание

Закон Архимеда работает не только в жидкостях, но и в газах. Плотность газов намного меньше плотности жидкостей, поэтому и выталкивающая сила меньше. Воздушный шар поднимается, если общая плотность шара — оболочки, газа внутри и груза — меньше плотности окружающего воздуха.

Шары с гелием летают, потому что гелий легче воздуха. Шары с горячим воздухом поднимаются потому, что нагретый воздух менее плотный, чем холодный. Чтобы подняться выше, можно сбросить балласт. Чтобы опуститься — выпустить часть газа. Так работают воздушные шары и дирижабли.

Термодинамика. Тепло и температура

Термодинамика — это раздел физики, который изучает тепловые явления. То есть всё, что связано с нагревом, охлаждением, плавлением, кипением и превращением тепла в работу. Мы сталкиваемся с этим каждый день, когда греем чайник, включаем обогреватель или просто трём замёрзшие ладони.

Температура и теплота

Температура — это мера средней скорости движения молекул. Чем быстрее движутся молекулы, тем выше температура. Теплота же — это энергия, которую тело получает или теряет при теплообмене.

Простой пример. В ведре горячей воды и в чашке горячей воды температура может быть одинаковой, допустим 80°. Но теплоты, то есть энергии, в ведре гораздо больше. Поэтому ведро будет остывать дольше, а чашка остынет за несколько минут. Температура показывает, насколько горячо, а теплота — сколько этой «горячести».

Внутренняя энергия

У любого тела есть внутренняя энергия. Это энергия движения и взаимодействия всех его молекул. Когда тело нагревают, молекулы начинают двигаться быстрее, и внутренняя энергия растёт. Когда охлаждают — падает. Изменить внутреннюю энергию можно двумя способами: совершить над телом работу, например потереть ладони друг о друга, или передать ему тепло, например погреть руки у костра.

Агрегатные состояния

В зависимости от температуры одно и то же вещество может находиться в разных состояниях. Лёд, вода и пар — это одно и то же химическое вещество, H_2O , но в разных агрегатных состояниях. В твёрдом теле молекулы только колеблются около своих мест. В жидкости они уже могут перемещаться, но всё ещё притягиваются друг к другу. В газе молекулы летают свободно и почти не взаимодействуют.

Почему вода ведёт себя именно так? Всё дело в энергии молекул. При низких температурах у молекул мало энергии, они не могут преодолеть притяжение соседей и только слегка дрожат на месте — так образуется лёд. Когда мы нагреваем лёд, молекулы получают больше энергии, их колебания усиливаются, и в какой-то момент они отрываются от своих мест — лёд тает, превращаясь в воду. При дальнейшем нагреве самые быстрые молекулы вырываются с поверхности — начинается испарение. А когда вода закипает, энергию получают уже все молекулы сразу, и они дружно превращаются в пар.

Переход из твёрдого в жидкое состояние называется плавлением, обратный процесс — кристаллизацией. Переход из жидкости в газ — парообразованием, обратный — конденсацией. Есть ещё сублимация, когда твёрдое тело сразу превращается в газ, минуя жидкость, например сухой лёд.

Теплопередача

Тепло может передаваться тремя способами. Первый — теплопроводность. Это когда энергия передаётся от одной части тела к другой через столкновения молекул. Металлы хорошо проводят тепло, поэтому металлическая ложка в горячей кружке быстро нагревается. Дерево и пластик проводят тепло хуже, поэтому из них делают ручки для кастрюль.

Второй способ — конвекция. Это перенос тепла потоками жидкости или газа. Тёплый воздух от батареи поднимается вверх, холодный опускается вниз, и так возникает циркуляция, которая равномерно прогревает комнату. Именно поэтому батареи располагают в нижней части помещения.

Третий способ — излучение. В отличие от первых двух, излучению не нужен контакт или переносчик. Солнце греет Землю через космический вакуум именно излучением. Любой нагретый предмет излучает инфракрасные лучи. Чем горячее предмет, тем сильнее излучение.

Почему шуба не греет

Шуба сама по себе не вырабатывает тепло. Она просто сохраняет то тепло, которое вырабатывает ваше тело. мех, пух, шерсть создают множество крошечных воздушных карманов. Воздух — плохой проводник тепла, поэтому нагретый телом воздух в этих карманах очень медленно передаёт тепло наружу. Шуба выполняет роль барьера: она препятствует конвекции — процессу, при котором тёплый воздух, будучи легче холодного, поднимается вверх и уносит тепло. Без шубы этот процесс шёл бы непрерывно, и тело быстро теряло бы тепло. Таким образом, шуба работает как изолятор, сохраняя тепло сразу двумя способами: используя низкую теплопроводность воздуха и блокируя его перемешивание с холодными слоями снаружи.

Чтобы лучше понять этот принцип, представьте полиэтиленовую куртку. Если куртка тонкая и плотно прилегает к телу, она не защитит от холода — воздух под ней вытеснен, а тонкий полиэтилен сам по себе не удерживает тепло. Если же куртка свободная и внутри есть воздух, она какое-то время будет работать как изолятор. Но есть проблема: полиэтилен не пропускает пар. Тело постоянно испаряет влагу, она остаётся внутри, воздух становится сырым, а влага отводит тепло гораздо быстрее сухого воздуха. К тому же любой зазор приведёт к тому, что тёплый воздух уйдёт, а холодный затечёт внутрь. Шуба же устроена иначе: тысячи мелких ворсинок удерживают воздух в неподвижных ячейках, не дают ему перемешиваться, но при этом пропускают пар, позволяя телу оставаться сухим.

Та же логика у термоса, двойных стеклопакетов и утеплителей в домах. Везде работает прослойка воздуха или другого материала, который плохо проводит тепло и замедляет его утечку.

Именно поэтому любая зимняя одежда — это не обогреватель, а изолятор. Чем мельче и многочисленнее воздушные карманы, тем лучше одежда сохраняет тепло. Современные материалы вроде тинсулейта или аэрогеля работают по тому же принципу: они просто создают ещё больше микроскопических ловушек для воздуха.

Но стоит одежде намокнуть, и вся эта схема рушится. Вода проводит тепло примерно в 25 раз лучше воздуха. Когда вода заполняет воздушные карманы, она начинает активно отводить тепло от тела. Кроме того, вода испаряется, а на испарение требуется дополнительная энергия, которую организм отдаёт ещё быстрее. Именно поэтому мокрая одежда не просто перестаёт греть, а начинает буквально высасывать тепло.

Законы термодинамики

В термодинамике есть несколько фундаментальных законов. Первый закон термодинамики — это закон сохранения энергии для тепловых процессов. Он гласит: изменение внутренней энергии системы равно сумме переданного ей тепла и работы, совершённой над системой. Проще говоря, энергия не берётся из ниоткуда и не исчезает в никуда. Если вы нагрели воду, значит, на это потратилась энергия газа или электричества.

Второй закон термодинамики звучит сложнее, но суть его в том, что тепло не может само переходить от холодного тела к горячему. Вы не можете собрать рассеявшуюся энер-

гию обратно. Именно поэтому вечный двигатель невозможен. Энергия всегда стремится рассеяться, а порядок — превратиться в хаос. В физике это называется ростом энтропии.

Третий закон термодинамики говорит о том, что нельзя достичь абсолютного нуля температуры, то есть $-273,15^{\circ}\text{C}$. Можно приближаться к нему сколь угодно близко, но никогда не достичь.

Эти законы работают везде: в двигателях внутреннего сгорания, в холодильниках и даже в биологических процессах. Термодинамика — это, по сути, наука о том, как энергия меняет свои формы и почему всё в конечном итоге приходит к равновесию.

Колебания и волны

Колебаниями называют процессы, которые регулярно повторяются во времени. Качели, маятник, струна гитары, мембрана динамика — всё это примеры колебательных систем. У каждого колебания есть свои характеристики: частота (как часто повторяется), амплитуда (размах) и период (время одного цикла).

Волны — это способ, которым колебания передаются в пространстве. Когда колебания распространяются от источника к другим точкам, возникает волна. Звук, свет, круги на воде — всё это волны, только устроены они по-разному. Звук — это механические колебания воздуха, а свет — электромагнитные колебания, которые могут распространяться даже в вакууме.

Маятник

Самый простой пример механических колебаний — обычный маятник. Это груз, подвешенный на нити или стержне. Если отклонить его от положения равновесия и отпустить, он начнёт качаться.

Важная характеристика колебаний — период, то есть время одного полного колебания. Для маятника период зависит только от длины нити и ускорения свободного падения. Масса груза не влияет. Именно поэтому маятники использовали в часах: длина нити постоянна, значит, и период постоянен. Даже когда размах качаний уменьшается из-за трения, время каждого колебания остаётся тем же самым. Механизм часов просто подталкивает маятник, не давая ему остановиться.

Ещё одна характеристика — частота. Это количество колебаний в секунду. Частота измеряется в герцах. Одно колебание в секунду — 1 Гц.

Амплитуда — это максимальное отклонение груза от положения равновесия во время колебания.

Звук

Звук — это механические волны, которые распространяются в воздухе, воде или твёрдых телах. Когда гитарная струна колеблется, она толкает молекулы воздуха, те толкают соседние, и так возникает волна, которая долетает до вашего уха и заставляет барабанную перепонку колебаться.

У звука есть три основные характеристики. Высота тона зависит от частоты колебаний. Чем выше частота, тем выше звук. Человек слышит примерно от 16–20 Гц до 20 000 Гц. Всё, что ниже, называется инфразвуком, выше — ультразвуком.

Громкость зависит от амплитуды колебаний. Чем больше размах колебаний струны, тем громче звук. Громкость измеряют в децибелах, о которых мы уже говорили в разделе про логарифмы. Шёпот — это около 20–30 дБ, разговор — 50–60 дБ, рок-концерт — все 110–120 дБ.

Тембр — это окраска звука. Благодаря тембру мы отличаем звук гитары от звука пианино, даже если они играют одну и ту же ноту.

Резонанс

Резонанс — это явление резкого возрастания амплитуды колебаний, когда частота внешней силы совпадает с собственной частотой системы. Проще говоря, если толкать качели в такт их собственному ритму, они раскачиваются быстрее и сильнее. Вряд ли что-то получится, если толкать невпопад.

Резонанс бывает полезным и опасным. Благодаря резонансу работают музыкальные инструменты: корпус гитары или скрипки усиливает звук струн. На резонансе основана работа многих измерительных приборов, например частотомеров.

Но резонанс может и разрушать. Известны случаи, когда солдаты, идущие в ногу по мосту, вызвали резонанс, и конструкция рушилась. Именно это произошло в 1905 году в Санкт-Петербурге: Египетский мост обрушился, когда по нему шёл кавалерийский эскадрон. Ритм шага лошадей совпал с собственной частотой моста, амплитуда колебаний мгновенно выросла, и цепи не выдержали. С тех пор военным строго приказывают сбивать шаг при переходе через любые мосты.

Резонанс встречается не только в механике. Электрические цепи, атомы, даже целые здания могут иметь свои резонансные частоты. В сейсмоопасных районах строители проектируют здания так, чтобы их собственная частота не совпадала с частотой колебаний грунта во время землетрясения.

Электричество и магнетизм

Электричество и магнетизм — это две стороны одного явления, которое физики называют электромагнетизмом. Мы сталкиваемся с ними постоянно: свет лампы, работа компьютера, радиоволны, даже сокращение мышц и передача сигналов в нервной системе — всё это электромагнитные явления.

Электрический заряд

Всё вокруг состоит из атомов. В центре атома находится ядро. Ядро состоит из протонов, у которых положительный заряд, и нейтронов — они нейтральны и никакого заряда не имеют. Вокруг ядра вращаются электроны, их заряд отрицательный. В обычном состоянии число протонов равно числу электронов, поэтому атом в целом нейтрален.

Если потереть эбонитовую палочку о шерсть, часть электронов перейдёт с шерсти на палочку. Шерсть легко отдаёт свои электроны, а эбонит, наоборот, жадно их принимает. В итоге палочка получит лишние электроны и зарядится отрицательно. Шерсть же, потеряв минусы, станет заряженной положительно. Это называется электризацией трением.

Теперь о главном правиле. Одноимённые заряды отталкиваются, а разноимённые притягиваются. Одноимённые — значит одинаковые: два положительных или два отрицательных заряда. Они друг от друга отталкиваются. Разноимённые — это разные заряды: положительный и отрицательный. Они притягиваются.

Именно поэтому после расчёсывания волосы иногда тянутся к расчёске. Они обмениваются электронами, приобретают разные заряды и начинают притягиваться друг к другу.

Электрический ток

Если соединить два тела с разными зарядами проводником, по нему побегут электроны от отрицательного заряда к положительному. Почему именно так? Всё просто: электроны сами заряжены отрицательно, поэтому «минус» их отталкивает, а «плюс» притягивает. Это движение и есть электрический ток.

Правда, здесь кроется забавный исторический парадокс: в физике и технике за официальное направление тока принято движение от плюса к минусу. Учёные договорились об этом ещё до того, как открыли электрон. Когда ошибка выяснилась, переделывать все схемы уже не стали. Так и осталось: электроны бегут в одну сторону, а на схемах ток рисуют в противоположную.

Вернёмся к нашему опыту. Если просто соединить два заряженных тела проводником, то ток быстро закончится — как только заряды на обоих концах уравниваются. Чтобы ток существовал постоянно, нужен источник, который поддерживает разность зарядов. В батарее или розетке эту работу выполняют химические реакции или генераторы. Именно они создают напряжение.

Напряжение — это, грубо говоря, «напор», с которым источник толкает электроны по проводу. Чем выше напряжение, тем сильнее этот напор. В розетке напряжение большое, поэтому удар током может быть опасен. В пальчиковой батарее напряжение маленькое — её можно спокойно держать в руках.

Сила тока показывает, сколько электронов проходит через проводник за секунду. Это как количество воды, протекающей по трубе. Измеряется сила тока в амперах.

Но даже при хорошем напоре ток может быть слабым, если проводник плохо пропускает электроны. Это называется сопротивлением — свойством материала мешать прохождению тока. Тонкий провод мешает сильнее, у него большое сопротивление. Толстый провод пропускает ток легче, у него сопротивление маленькое. Медь хорошо проводит ток, поэтому у медных проводов сопротивление низкое. А резина, наоборот, почти не проводит — у неё огромное сопротивление, именно поэтому её используют для изоляции.

Закон Ома

Связь между напряжением, силой тока и сопротивлением описывает закон Ома: сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению. Формула выглядит так: $I = U / R$, где I — сила тока, U — напряжение, R — сопротивление.

Разберём на понятном примере. Представьте, что вы подключили к розетке обогреватель. В розетке напряжение всегда примерно одинаковое — 220 вольт. Почему же разные приборы потребляют разный ток? Всё дело в сопротивлении.

У обогревателя внутри тонкая проволока, которая специально сделана так, чтобы иметь большое сопротивление. Когда ток идёт по этой проволоке, она нагревается и отдаёт тепло в комнату. Чем больше сопротивление, тем меньше ток — но при этом проволока рассчитана так, чтобы нагреваться ровно настолько, насколько нужно.

А теперь представьте, что вы взяли обычный медный провод и воткнули его концы прямо в розетку. У меди сопротивление очень маленькое. По закону Ома это значит, что сила тока через провод станет огромной. Провод мгновенно перегреется, начнёт плавиться, может вспыхнуть пожар или сработает автоматический выключатель. Именно поэтому нельзя просто так замкнуть розетку — ток без нагрузки становится смертельно опасным.

С лампочкой та же история. Внутри лампочки тонкая вольфрамовая нить с большим сопротивлением. Она рассчитана так, чтобы при напряжении 220 вольт через неё шёл ток, который раскаляет нить до свечения, но не пережигает её.

Формула работает и в обратную сторону. Если вы знаете, что лампочка потребляет ток 0,5 ампера при напряжении 220 вольт, можно посчитать её сопротивление: $R = U / I = 220 / 0,5 = 440$ ом. Именно такое сопротивление у нити накаливания в рабочем состоянии.

Так что закон Ома — это не просто формула, а ключ к пониманию того, почему приборы работают и устроены именно так, а не иначе.

Последовательное и параллельное соединение

В электрических цепях элементы можно соединять по-разному. От этого зависит, как будет течь ток и как поведёт себя цепь, если что-то перегорит.

Последовательное соединение — это когда элементы соединены друг за другом, как вагоны в поезде. Ток идёт через все по очереди. Если перегорит одна лампочка в гирлянде, цепь разрывается, и гаснут все. Общее сопротивление при таком соединении равно сумме сопротивлений всех элементов. Чем больше сопротивлений включено последовательно, тем труднее току течь.

Параллельное соединение — это когда у каждого элемента свой собственный путь. Лампочки в люстре включены именно так. Если одна перегорит, остальные продолжают гореть — ток идёт по другим веткам. Общее сопротивление при параллельном соединении получается меньше, чем сопротивление самого маленького из элементов. Почему? Потому что у тока появляется несколько путей одновременно, ему легче течь. Чем больше параллельных веток, тем меньше общее сопротивление.

Точно так же подключены все розетки в квартире — они соединены параллельно. Поэтому мы можем включить и чайник, и телевизор, и лампу одновременно, и каждый прибор будет работать независимо от других.

Работа и мощность тока

Когда ток идёт по проводнику, он нагревает его. Чем больше ток, тем сильнее нагрев. На этом основаны все нагревательные приборы: утюги, чайники, обогреватели.

Мощность тока показывает, сколько энергии выделяется в цепи за секунду. Она равна произведению напряжения на силу тока: $P = U \times I$. Измеряется мощность в ваттах. Например, если чайник включён в розетку с напряжением 220 вольт и потребляет ток 5 ампер, его мощность будет $220 \times 5 = 1100$ ватт.

Если включить в одну розетку слишком много мощных приборов, общая сила тока в проводах станет большой. Провода начнут перегреваться, изоляция может оплавиться, и случится пожар. Чтобы этого избежать, устанавливают автоматические выключатели — автоматы. Они разрывают цепь, если ток превышает допустимое значение.

Например, если автомат в квартире рассчитан на 16 ампер, то суммарная мощность всех включённых приборов не должна превышать $220 \times 16 \approx 3500$ ватт. Если включить обогреватель (2000 Вт) и чайник (1500 Вт) одновременно, сумма будет 3500 Вт — это предел. А если добавить ещё утюг (1000 Вт), автомат сработает и отключит электричество.

Магниты и магнитное поле

Слово «магнит» родилось из легенды. Согласно одному из преданий, в древности в Греции жил пастух по имени Магнес. Однажды он обнаружил, что железный наконечник его посоха и гвозди в подошвах притягиваются к чёрному камню, на который он сел. Этот камень называли магнетитом — природным магнитом.

Но откуда у камня такая сила? Всё дело в особом строении вещества. В некоторых материалах, таких как железо, кобальт и никель, атомы сами являются маленькими источниками

магнетизма. Они объединяются в целые области, которые называются доменами. Внутри каждого домена все атомные магнетики уже направлены одинаково. Но в обычном куске железа эти домены повернуты хаотично, и их действие взаимно гасится.

Чтобы получить постоянный магнит, нужно заставить домены повернуться в одну сторону. Это делают с помощью сильного внешнего магнитного поля. Под его действием границы доменов смещаются, и те домены, которые были направлены «не туда», либо поворачиваются, либо поглощаются соседними. После того как внешнее поле убирают, многие домены остаются в новом положении — особенно если материал обладает высокой коэрцитивной силой, то есть способностью сохранять намагниченность. Так кусок железа или специального сплава становится постоянным магнитом.

У любого магнита есть два полюса: северный и южный. С ними работает то же правило, что и с электрическими зарядами: разноимённые притягиваются, а одноимённые отталкиваются.

Земля тоже огромный магнит. Её магнитное поле создаётся движением расплавленного железа в ядре планеты. Именно поэтому стрелка компаса всегда показывает на север — её северный полюс притягивается к южному магнитному полюсу Земли.

Магнитное поле возникает не только у постоянных магнитов, но и вокруг любого проводника с током. Если свернуть провод в катушку, внутри неё поле усилится. А если поместить внутрь железный сердечник, получится электромагнит. Такие электромагниты используются в подъёмных кранах для металлолома: включаешь ток — магнит поднимает тонны металла, выключаешь — груз падает.

Электромагнитная индукция

В 1831 году английский учёный Майкл Фарадей сделал важное открытие. Он обнаружил, что если вдвигать магнит в катушку из проволоки, в ней возникает электрический ток. Как только магнит останавливается, ток исчезает. Если вытаскивать магнит обратно, ток снова появляется, но течёт уже в другую сторону. Это явление назвали электромагнитной индукцией.

Главный вывод Фарадея: ток возникает только тогда, когда магнитное поле меняется. Неважно, движется магнит или катушка — важно, чтобы поле внутри катушки изменялось. Чем быстрее меняется поле, тем больше ток.

На этом принципе работают все генераторы на электростанциях. Внутри генератора вращается ротор с магнитами или электромагнитами, и в неподвижных обмотках вокруг него возникает ток. Механическую энергию вращения можно получить от воды, пара или ветра, а на выходе — электричество.

Тот же принцип используют в беспроводной зарядке телефонов. Внутри зарядной станции есть катушка, в которой создаётся переменное магнитное поле. В телефоне — вторая катушка, в которой это поле создаёт ток и заряжает аккумулятор.

Электромагнитная индукция — это мост между механикой и электричеством. Именно она позволяет превращать движение в ток, а ток — в движение.

Электродвигатель

Представьте обычную прямоугольную рамку, скрученную из медной проволоки. Если подвесить её между двумя магнитами и подключить к батарее, рамка тут же начнёт поворачиваться. Почему это происходит?

В физике есть закон: магнитное поле всегда выталкивает проводник, по которому течёт электричество. В нашей рамке ток бежит по кругу: по левой стороне он поднимается вверх, а по правой — спускается вниз. Магнитное поле реагирует на это и толкает левую и правую стороны проволоки в противоположные направления. Одну сторону оно тянет на себя, а дру-

гую отталкивает. В результате рамка разворачивается. На этом простом эффекте и основана работа любого электродвигателя.

Чтобы рамка не просто сделала полуоборот и замерла, а крутилась непрерывно, нужно в правильный момент менять направление тока в проволоке. Для этого на вал двигателя ставят специальный механический переключатель — коллектор. Как только рамка доходит до крайней точки, коллектор мгновенно перебрасывает контакты «плюса» и «минуса». Ток меняет направление, магниты снова толкают рамку, и она продолжает вращаться. В современных мощных двигателях вместо рамки используют большую катушку из сотен витков провода, но принцип остаётся тем же.

Электродвигатели окружают нас повсюду. В стиральной машине такой двигатель крутит тяжёлый барабан, в вентиляторе вращает лопасти. Даже внутри смартфона есть крошечный моторчик с эксцентриком, который создаёт вибрацию при звонке.

Главное преимущество электродвигателей перед бензиновыми или дизельными — их потрясающая чистота и эффективность. Они не сжигают топливо внутри себя, работают почти бесшумно, не выделяют выхлопных газов, а энергию могут получать от чего угодно: от обычной розетки, автомобильного аккумулятора или даже солнечной батареи.

Оптика. Свет и цвет

Оптика — это раздел физики о свете и его взаимодействии с веществом. Благодаря оптике мы знаем, почему небо голубое, как работают очки и откуда берётся радуга.

Свет

Учёные долго спорили, что такое свет — волна или поток частиц. Оказалось, что всё зависит от того, как на него смотреть. В одних опытах свет ведёт себя как волна, в других — как поток частиц. Для нас сейчас важно другое: свет распространяется с огромной скоростью. В вакууме она составляет почти 300 000 километров в секунду. Это абсолютный предел — ничто во Вселенной не может двигаться быстрее.

Отражение и преломление

Когда свет падает на поверхность, он может отразиться. Угол падения всегда равен углу отражения. Благодаря этому мы видим предметы и отражения в зеркалах.

Большинство окружающих нас предметов мы видим благодаря рассеянному отражению. Их поверхность как бы неровная. Свет, попадая на такую поверхность, отражается во все стороны. Именно поэтому предмет можно разглядеть с любой точки — лучи от него попадают к нам в глаза под разными углами.

Зеркало устроено иначе. Под стеклом находится тонкий слой металла — идеально гладкая поверхность. Свет проходит через стекло, отражается от металлической поверхности строго под тем же углом, под которым упал, и возвращается обратно. Благодаря этому мы видим чёткое отражение.

Когда свет переходит из одной среды в другую, например из воздуха в воду, он меняет направление. Это называется преломлением. В воде свет распространяется медленнее, чем в воздухе, поэтому на границе сред он «ломается». Именно из-за этого ложка в стакане кажется сломанной, а дно бассейна — ближе, чем на самом деле.

Линзы

Линза — это прозрачное тело, которое меняет направление световых лучей. Чаще всего линзы делают из стекла или пластика, и они могут быть разной формы. Если линза толще в середине и тоньше по краям — она собирающая. Если наоборот — рассеивающая. Линзы нужны для того, чтобы управлять лучами света: собирать их в пучок или рассеивать, и как следствие увеличивать или уменьшать изображение.

В глазу у каждого из нас тоже есть своя линза — хрусталик. Он прозрачный и эластичный, а специальные мышцы могут менять его кривизну. Когда мы смотрим вдаль, хрусталик становится более плоским. Когда переводим взгляд на близкий предмет, он принимает выпуклую форму, сильнее преломляя свет. Так глаза настраиваются, чтобы изображение всегда попадало точно на сетчатку.

Но не у всех глаза работают идеально. У близоруких людей глаза слишком вытянуты или хрусталики слишком сильно преломляют лучи. Из-за этого изображение далёких предметов фокусируется не на сетчатке, а перед ней. Таким людям нужны очки с рассеивающими линзами. Они немного разводят лучи в стороны, и изображение смещается назад — точно на сетчатку. У дальнозорких людей глаза сплюснуты, и лучи фокусируются за сетчаткой. Им помогают собирающие линзы — они сводят лучи сильнее, и изображение сдвигается вперёд.

В фотоаппарате тоже используют линзы. С их помощью получается уменьшенное изображение предмета на матрице или плёнке. Меняя расстояние между линзами, фотограф может навести резкость — точно так же, как глаза настраиваются с помощью хрусталика.

Дисперсия

Белый свет на самом деле состоит из множества цветов. Ньютон первым это доказал, пропустив солнечный свет через стеклянную призму. На выходе получился спектр: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый. Это явление называется дисперсией.

Цвета в спектре всегда располагаются в строгом порядке. Красный свет отклоняется призмой меньше всего, фиолетовый — сильнее всех. Поэтому красный всегда на одном конце спектра, а фиолетовый — на противоположном. Этот порядок связан с длиной волны: у красного света волна длиннее, у фиолетового — короче. Чем короче волна, тем сильнее свет преломляется.

Кстати, чёрного цвета в этом списке нет и быть не может. Чёрный — это не цвет, а отсутствие света. Если на поверхность не падает свет или она поглощает почти все лучи, мы видим её чёрной.

Радуга возникает, когда солнечный свет проходит через множество мельчайших капель воды, которые остаются в воздухе после дождя. Каждая капля работает как маленькая призма: свет преломляется на входе, отражается от задней стенки капли и снова преломляется на выходе, раскладываясь на цвета. Именно из-за сферической формы капля радуга имеет форму дуги. Каждая капля отправляет цветной свет под определённым углом, и все вместе они создают гигантскую цветную дугу на небе.

Но человеческий глаз видит лишь малую часть всех существующих излучений. За красным краем спектра находится инфракрасное излучение — мы его не видим, но чувствуем как тепло. За фиолетовым — ультрафиолет, от которого мы загораем и который может быть опасен. Есть ещё рентгеновские лучи, микроволны, радиоволны — всё это тоже электромагнитные волны, просто с разной длиной волны и частотой. Вместе они образуют гораздо более широкий спектр, чем тот, что способен различить наш глаз.

Почему небо голубое, а закат красный

Проходя через молекулы воздуха, свет от Солнца рассеивается. Коротковолновые лучи, синие и фиолетовые, рассеиваются сильнее и гораздо эффективнее, чем длинноволновые красные. Это явление называют рэлеевским рассеянием — в честь учёного, который объяснил, почему короткие волны рассеиваются сильнее длинных. Именно благодаря ему днём мы видим небо голубым. На закате свет проходит через более толстый слой атмосферы, синие лучи рассеиваются ещё сильнее, уходя в стороны, так что до нас доходят преимущественно красные и оранжевые. Поэтому закаты такие красивые.

Атомная физика

Атомная физика изучает строение атома и ядерные процессы. Это то, что лежит в основе ядерной энергетики, радиоактивности и нашего понимания материи.

Строение атома

Мы уже знаем, что атом состоит из ядра и вращающихся вокруг него электронов, а ядро — из протонов и нейтронов. Число протонов определяет, какой это элемент: у водорода один протон, у гелия два, у углерода шесть, у урана девяносто два. Это число называют атомным номером, оно неизменно и уникально для каждого элемента.

Изотопы

Число нейтронов даже у атомов одного и того же элемента может быть разным. Такие разновидности одного химического элемента называют изотопами.

Возьмём, например, водород. В самом простом варианте в его ядре вообще нет нейтронов — только один протон. Это самый обычный водород. Но бывает водород с одним нейтроном в ядре — его называют дейтерием. А есть водород с двумя нейтронами — тритий. Во всех трёх случаях это всё ещё водород, потому что у всех один протон. Меняется только число нейтронов.

Химические свойства у изотопов одинаковые — они вступают в те же реакции, образуют те же соединения. А вот физические свойства могут отличаться. Например, атомная масса у них разная, а значит, они могут по-разному вести себя в некоторых процессах. Так, при испарении более лёгкие изотопы обычно переходят в пар чуть быстрее, чем тяжёлые.

Ионизация

Как мы знаем, в обычном состоянии атом нейтрален: сколько в нём протонов, столько же и электронов. Но если в атом попадает заряженная частица или жёсткая электромагнитная волна, она может выбить один или несколько электронов. Атом теряет электроны и превращается в положительно заряженный ион. Такой ион называют катионом.

Возможен и обратный процесс: атом может захватить лишний электрон, например при столкновении с другим атомом или свободным электроном. Тогда он становится отрицательно заряженным ионом — анионом.

Оба процесса называют ионизацией. В результате появляются заряженные частицы — ионы, которые ведут себя иначе, чем нейтральные атомы: они участвуют в химических реакциях, проводят электрический ток, реагируют на магнитное поле.

Радиоактивность

Радиоактивность — это самопроизвольный распад нестабильных ядер. Откуда берутся такие ядра? В основном они рождаются в звёздах. Лёгкие элементы вроде углерода или кислорода синтезируются в обычных звёздах. А для тяжёлых — урана или тория — нужны взрывы сверхновых. Там, в хаосе колоссальных температур и давлений, частицы лепятся друг к другу как попало. Иногда «конструкция» получается устойчивой, а иногда — с перекосом: нейтронов слишком много или слишком мало для равновесия. Такое ядро живёт в напряжении и рано или поздно избавляется от лишнего.

В зависимости от того, как именно это происходит, возникает излучение разных типов. Их три: альфа, бета и гамма.

Альфа-излучение

Альфа-излучение возникает при распаде тяжёлых элементов. Нестабильное ядро атома буквально выбрасывает из себя плотный сгусток из двух протонов и двух нейтронов. Такая комбинация в физике в точности соответствует ядру гелия. Это очень устойчивая «упаковка», поэтому тяжелому ядру проще и легче всего избавиться именно от неё.

Альфа-частицы летят тяжело и недалеко: обычный лист бумаги или верхний омертвевший слой нашей кожи полностью их останавливают. Снаружи они безвредны, а опасны становятся только в том случае, если источник излучения попадёт напрямую внутрь организма.

В быту альфа-источники почти не встречаются, но есть одно удивительное исключение: некоторые бытовые пожарные извещатели содержат крупную радиоактивную амрицию. Альфа-частицы облучают воздух внутри датчика и заставляют его проводить электричество. Между двумя электродами начинает течь слабый ток. Когда в датчик попадает дым, он перекрывает этот поток частиц, ток резко падает — и мгновенно срабатывает сигнал тревоги.

Бета-излучение

Бета-излучение — это поток электронов, которые рождаются в самом ядре в момент распада. На первый взгляд это кажется невозможным, ведь мы помним со школы, что в ядре находятся только протоны и нейтроны, а электроны вращаются снаружи. Откуда же он там берётся?

Всё дело в балансе сил. Если в ядре скапливается слишком много нейтронов, оно становится нестабильным и перегруженным. Чтобы сбросить лишнее внутреннее напряжение и стать устойчивее, один из нейтронов распадается. Он превращается в протон, а «лишний» отрицательный заряд вылетает наружу в виде шустрого электрона. Протон при этом остаётся внутри ядра, из-за чего элемент превращается в совершенно другое вещество — сдвигаясь на один номер вперёд в таблице Менделеева.

Бета-частицы гораздо легче альфа-частиц и летят значительно быстрее. Обычный лист бумаги их уже не остановит. Они способны пробить верхний слой кожи человека, но их легко задерживает тонкий лист металла (например, обычная кухонная фольга) или плотная одежда.

Бета-излучение активно используют в медицине — например, в офтальмологии для точечного лечения опухолей внутри глаза. Также на его основе создают экспериментальные ядерные батарейки. Внутри такого устройства радиоактивный элемент (третий или никель-63) годами непрерывно излучает электроны, которые попадают на полупроводник и создают в нём электрический ток. Поскольку этот распад идёт очень медленно, микроскопическая батарейка способна без подзарядки питать кардиостимуляторы или датчики в космосе десятки лет.

Гамма-излучение

Гамма-излучение — это электромагнитные волны очень высокой энергии, те же по природе, что и свет, но мощнее. Они возникают, когда ядро, уже испустившее частицу, оказывается в возбуждённом состоянии — как будто оно дрожит от избытка энергии. Чтобы успокоиться, ядро сбрасывает её в виде гамма-кванта.

У гамма-излучения нет массы и заряда, поэтому оно проходит сквозь тело насквозь. Защититься от него может только толстый слой бетона или свинца.

Гамма-лучи незаменимы для стерилизации: они убивают бактерии в медицинских инструментах и продуктах, не оставляя следов и не нагревая предмет.

Радиация

Важно понимать: радиация была вокруг нас всегда. Естественный фон есть везде — в земле, воздухе, стройматериалах, даже в бананах (из-за калия-40). Организм умеет справляться с небольшими дозами и восстанавливать клетки. Опасность начинается там, где дозы многократно превышают природный уровень.

Радиация ионизирует атомы, разрушает молекулы ДНК и вызывает мутации. Поэтому работа с радиоактивными веществами требует строгих мер защиты.

Период полураспада

Период полураспада — это время, за которое распадается половина атомов в любом образце изотопов. Например, если взять миллион атомов йода-131, через 8 суток (период его полураспада) останется 500 тысяч, ещё через 8 суток — 250 тысяч, и так далее. Чем больше период полураспада, тем медленнее идёт распад. Эта величина может быть разной: у урана-238 — 4,5 миллиарда лет, а у некоторых изотопов — доли секунды.

Именно благодаря этой характеристике радиоактивные изотопы находят применение в разных областях.

В археологии используют углерод-14 с периодом полураспада 5730 лет. Пока организм жив, он накапливает этот изотоп из атмосферы. После смерти накопление прекращается, и углерод-14 начинает распадаться. Измерив, сколько его осталось, определяют возраст древних находок.

В медицине важны изотопы с коротким периодом полураспада — часы или дни. Пациенту вводят препарат, содержащий такой изотоп. Препарат устроен так, что он накапливается в зависимости от изотопа в определённом органе или в клетках опухоли. Распадаясь, изотоп испускает гамма-лучи, которые выходят наружу. Детекторы, расположенные вокруг тела, улавливают их, а компьютер строит изображение: чем больше распадов в данной точке, тем ярче она на экране. Если щитовидная железа светится равномерно — значит, она работает нормально. Если в лёгком видно яркое пятно там, где его быть не должно, — это может быть опухоль, потому что раковые клетки поглощают препарат активнее здоровых.

В ядерной энергетике в качестве топлива используют уран-235. Его период полураспада — 704 миллиона лет, что позволяет использовать его долгое время. Но отработанное топливо содержит изотопы с меньшим периодом полураспада — сотни и тысячи лет. Они продолжают распадаться и испускать опасное излучение. Это одна из главных проблем атомной энергетики.

Так период полураспада определяет не только время жизни изотопа, но и то, где и как его можно применять.

Ядерные реакции

Ядерные реакции бывают двух типов: деление и синтез. И в том и в другом случае выделяется огромное количество энергии — намного больше, чем при горении или химических реакциях.

Деление — это когда тяжёлое ядро, например урана или плутония, захватывает лишний нейтрон, теряет устойчивость и раскалывается на два более лёгких ядра. При этом высвобождается энергия и вылетают ещё несколько нейтронов. Они могут попасть в соседние ядра и вызвать их деление — так возникает цепная реакция.

Управлять цепной реакцией можно с помощью стержней из материалов, которые хорошо поглощают нейтроны, — например, бора или кадмия. Если такие стержни ввести в активную зону реактора, они заберут часть нейтронов на себя, и реакция замедлится. Если стержни выведут — нейтронов станет больше, и реакция усилится. Меняя положение стержней, можно точно поддерживать нужную мощность.

Именно так работают атомные электростанции: реакция идёт ровно столько, сколько нужно, нагревает воду, пар крутит турбину — и получается электричество. Если же стержни убрать полностью и не контролировать процесс, реакция нарастает лавинообразно — это уже атомный взрыв. Так случилось в 1986 году на Чернобыльской АЭС, когда неуправляемая цепная реакция разрушила реактор и привела к крупнейшей техногенной катастрофе XX века.

Синтез — это обратный процесс. Лёгкие ядра, например изотопов водорода (дейтерия и трития), сливаются в одно более тяжёлое ядро — гелий. Для этого их нужно сблизить настолько, чтобы заработали ядерные силы, а этому мешает электрическое отталкивание. Поэтому синтез требует колоссальных температур и давления. Именно так работает Солнце: в его недрах водород превращается в гелий, выделяя энергию, которая согревает Землю.

На Земле человек научился делать это пока только в неуправляемом режиме — в водородной бомбе. Там нужные условия создаются с помощью атомного взрыва. А вот управляемый термоядерный синтез — та самая «мечта физиков», которая обещает почти бесконечную и чистую энергию. Над её осуществлением бьются лучшие умы планеты.

Астрономия. Наше место во Вселенной

Астрономия — это наука о небесных телах. Она изучает планеты, звёзды, галактики и всё, что находится за пределами Земли.

Солнечная система

В центре нашей системы — Солнце, звезда, которая содержит 99,8% всей массы системы. Вокруг него вращаются восемь планет, карликовые планеты, астероиды и кометы. Раньше планет было девять, но Плутон «разжаловали» в карликовые планеты.

Планеты не «падают» на Солнце по той же причине, что и спутники — мы уже разбирали это в кинематике: огромная скорость и сила тяжести создают орбитальное движение. Чем ближе планета к Солнцу, тем выше её скорость. Меркурий делает оборот вокруг Солнца за 88 земных суток, Нептун — за 165 лет.

Вокруг самих планет, в свою очередь, вращаются спутники. Так выстраивается иерархия: планеты вращаются вокруг звёзд, а спутники — вокруг планет.

Луна

Луна — спутник Земли. Она вращается вокруг нас и всегда повернута к нам одной стороной. Это называется приливным захватом: за миллиарды лет гравитация Земли замедлила вращение Луны настолько, что теперь она делает один оборот вокруг своей оси ровно за то же время, за которое облетает Землю.

Мы видим её в разных фазах: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть. Фазы зависят от того, как Солнце освещает Луну и как мы смотрим на неё с Земли.

Солнечное затмение происходит, когда Луна закрывает Солнце. Лунное затмение — когда Земля отбрасывает тень на Луну.

Примерно два раза в сутки Луна вызывает приливы и отливы. Её притяжение заставляет воду в океанах смещаться, создавая приливные волны. Вода как бы «вытягивается» в сторону Луны, а на противоположной стороне Земли возникает второй прилив — из-за инерции.

Малые тела Солнечной системы

Кроме планет и их спутников вокруг Солнца вращаются миллиарды более мелких объектов.

Астероиды — это каменные и металлические глыбы неправильной формы. Большинство из них кружит между орбитами Марса и Юпитера в так называемом поясе астероидов. Они намного меньше планет, но некоторые достигают сотен километров в диаметре. Иногда их называют малыми планетами.

Кометы устроены иначе. Астрономы называют их «грязными снежками» — это ледяные глыбы с вкраплениями камня и космической пыли. При приближении к Солнцу лёд начинает испаряться. Вокруг ядра образуется туманное облако, а за кометой тянется светящийся шлейф. Этот хвост всегда направлен строго от Солнца — его «сдувает» солнечный ветер.

А что за путаница происходит с метеорами и метеоритами? Сами по себе это просто космические обломки. Когда такой осколок влетает в атмосферу Земли, он раскаляется от трения и сгорает. Саму вспышку и светящийся след в небе мы называем метеором, или падающей звездой. Если же обломок оказывается слишком крупным, не успевает сгореть целиком и врежется в землю — перед нами метеорит. Метеориты — единственные «гости» из космоса, которые человек может потрогать руками. Их изучают, чтобы узнать, из чего зародился наш мир.

Звёзды

Звёзды — это огромные раскалённые газовые шары. Как и у Солнца, в их недрах идёт термоядерный синтез, превращающий водород в гелий и выделяющий энергию. Звёзды рождаются из облаков газа и пыли, живут какое-то время и умирают. Маленькие звёзды живут очень долго, миллиарды лет, и в конце тихо остывают, превращаясь в белых карликов. Огромные звёзды сгорают быстро — за миллионы лет — и взрываются сверхновыми, разбрасывая вещество по космосу. Все тяжёлые элементы в нашем теле — железо, кальций, углерод, кислород — родились внутри бывших звёзд. Наша планета не умеет создавать тяжёлые элементы. Мы буквально собраны из того, что когда-то являлось частью звёзд.

Чёрные дыры

Когда звезда умирает, её судьба зависит от массы. Если звезда была небольшой, она тихо остывает и превращается в белого карлика. Если звезда была массивной, но не гигантской, она взрывается сверхновой. Большая часть вещества разлетается в космос — именно из этих

«звёздных осколков» потом формируются новые звёзды и планеты. А то, что остаётся от ядра, сжимается в невероятно плотный объект — нейтронную звезду. Она весит как Солнце, но размером с небольшой город.

Но если звезда была по-настоящему огромной, её ядро под действием собственной тяжести сжимается настолько, что ничто уже не может остановить падение. Так рождается чёрная дыра.

Это область пространства, где гравитация настолько сильна, что вторая космическая скорость — та, с которой нужно улететь, чтобы преодолеть притяжение — здесь превышает скорость света. Напомним: во Вселенной ничто не может двигаться быстрее света. А значит, ничто не может и вырваться из чёрной дыры. Даже свет. Поэтому мы видим её как абсолютно чёрную.

Граница, за которой возврат невозможен, называется горизонтом событий. Всё, что переступает эту черту — звезда, облако газа, космический зонд — обречено упасть в центр и сжаться в точку бесконечной плотности, которую называют сингулярностью. Там перестают работать привычные законы физики.

Сами чёрные дыры невидимы, но их выдают соседи. Если рядом есть звезда, чёрная дыра стягивает с неё вещество. Газ закручивается в спираль, разгоняется, трётся сам о себя, раскаляется до миллионов градусов и начинает ярко светить в рентгеновском диапазоне. По такому свечению астрономы их и находят.

Чёрные дыры бывают очень разными. Есть звёздные — массой в несколько Солнц. А есть сверхмассивные — в миллионы и миллиарды раз тяжелее Солнца. Именно такие сверхмассивные чёрные дыры находятся в центрах большинства галактик.

Галактики

Галактика — это огромное скопление звёзд, которое удерживает вместе гравитация чёрной дыры, расположенной в центре галактики.

Наше Солнце — лишь одна из сотен миллиардов звёзд в галактике Млечный Путь. Чёрная дыра в её центре весит примерно как 4 миллиона Солнц, но находится так далеко, что никак не влияет на нашу жизнь.

Млечный Путь имеет форму спирали с перемычкой — как будто огромный вихрь застыл в движении. Своё название он получил из-за внешнего вида: в ясную ночь мы видим его как светящуюся полосу, напоминающую разлитое молоко. Это свечение миллиардов далёких звёзд, которые на таком расстоянии сливаются для глаз в сплошное сияние.

Но наша галактика — не единственная. За её пределами существуют миллиарды других. Ближайшая к нам крупная галактика — Андромеда. В её центре тоже находится сверхмассивная чёрная дыра. Андромеда движется прямо в направлении Млечного Пути, и через несколько миллиардов лет они должны столкнуться.

Большой взрыв

Вселенная начала резко расширяться из очень плотного и горячего состояния около 13,8 миллиарда лет назад. Это называют Большим взрывом. Что было до этого — до сих пор тайна, которую пытаются разгадать учёные.

Главное доказательство этой теории мы видим прямо сейчас: галактики разлетаются в разные стороны. Чем дальше галактика, тем быстрее она от нас улетает. Это открыли по красному смещению в спектрах далёких звёзд.

Расширение продолжается до сих пор. И, скорее всего, будет длиться вечно.

Теория относительности и квантовый мир

Всё, что мы вспоминали до сих пор — от падающих яблок до электрического тока в проводах — это классическая физика. Она безупречно работает в нашей повседневной жизни: машины едут, чайники греются, а лампочки светят. Но на самых экстремальных этажах нашей Вселенной привычные законы Ньютона внезапно перестают работать. Это происходит там, где скорости приближаются к космической скорости света, и там, где мы пытаемся разглядеть поведение самых крошечных, элементарных частиц.

Свет и микрочастицы есть и вокруг нас, но их фантастические свойства становятся заметны только на пределе возможностей природы. Изучение этих пограничных зон и венчает школьный курс физики в самом конце одиннадцатого класса. В школе от нас обычно не требовали решать по этим темам сложные математические задачи, но давали главное: понимание самих идей и несколько ключевых формул. Мы поступим точно так же: разберём всё просто, без лишней математики, но с искренним уважением к величию темы.

Теория относительности Эйнштейна

Эта теория описывает, что происходит, когда скорости приближаются к скорости света. Главный вывод, который переворачивает привычное представление о мире: время не абсолютно. Оно течёт по-разному для разных наблюдателей.

Самый известный мысленный пример — пара близнецов. Если один отправится в космос на субсветовой скорости, а другой останется на Земле, то вернувшийся космонавт окажется моложе своего брата. Эффект кажется фантастическим, но он реален и подтверждён экспериментами. В 1971 году учёные проверили это с помощью атомных часов: одни часы оставались на земле, другие облетели планету на самолёте. После посадки летавшие часы действительно отстали.

Сегодня этот эффект приходится учитывать даже в обычной жизни. Спутники GPS движутся с большой скоростью, и время на них течёт иначе, чем на Земле. Если не внести поправку, их часы разойдутся с земными всего за сутки, и ошибка в определении координат достигнет километров.

Но замедление времени — лишь одно из следствий теории относительности. Другое, не менее знаменитое, касается самой природы реальности. Эйнштейн показал, что масса и энергия — не разные сущности, а две стороны одной медали. Формула $E = mc^2$, где E — энергия, m — масса, а c — скорость света, выражает это фундаментальное единство. Она показывает, что любая масса — это колоссальный сгусток энергии, а энергия, в свою очередь, обладает массой.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.