

Оглавление

Оглавление.....	5
Предисловие	9
Введение	13
Вопрос 1. Как устроена наука физика?	13
 ЧАСТЬ 1. КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА	17
Вопрос 2. Что такое сила и как мы понимаем, что она как-то действует?	18
Вопрос 3. Сколько всего сил существует в природе?	22
Вопрос 4. Что такое инерция или почему мы падаем, когда спотыкаемся?.....	24
Вопрос 5. В чем смысл трех законов Ньютона? ...	28
Вопрос 6. Что такое относительность?	32
Вопрос 7. Какие предметы быстрее падают: легкие или тяжелые?	38
Вопрос 8. Почему Луна не падает на Землю?	41
Вопрос 8. Чему равна скорость света и как ее измерили?	48
 ЧАСТЬ 2. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА	55
Вопрос 10. Откуда берется электричество и какое оно бывает?	56
Вопрос 11. Что такое электрическое поле?	61
Вопрос 12. Почему магниты притягиваются или как работает компас?.....	68
Вопрос 13. Что такое электрический ток, откуда и куда он «течет»?.....	72

Вопрос 14. Откуда берется магнитное поле?	75
Вопрос 15. Как при помощи магнита получить электричество?.....	79
Вопрос 16. Как работают электростанции?	81
Вопрос 17. Как связаны электрические и магнитные поля?.....	84
Вопрос 18. Что такое электромагнитные волны и какие они бывают?	88
Вопрос 19. Как происходит интерференция и в чём суть двухщелевого эксперимента?	93
 ЧАСТЬ 3. ТЕРМОДИНАМИКА.....	100
Вопрос 20. Что такое температура?.....	101
Вопрос 21. Какая в природе самая низкая и самая высокая температура?	108
Вопрос 22. Какая температура в космосе?	110
Вопрос 23. Что такое давление и как газы вообще могут давить?	112
Вопрос 24. Что означает миллиметр ртутного столба и причем тут атмосферное давление?	115
Вопрос 25. Почему вакуум засасывает?	120
Вопрос 26. Зачем мы потеем?.....	122
Вопрос 27. Что такое влажность воздуха?	123
Вопрос 28. Как в термодинамике измеряют хаос и причём тут энтропия?.....	128
Вопрос 29. Как работает микроволновка и почему она нагревает?	133
Вопрос 30. Почему железо светится, если его нагреть?	136
Вопрос 31. В чем заключалась ультрафиолетовая катастрофа?	139
 ЧАСТЬ 4. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА.....	142
Вопрос 32. Что такое кванты и зачем они нужны?	143

Вопрос 33. За что Эйнштейну дали Нобелевскую премию?	145
Вопрос 34. Что такое корпускулярно-волновой дуализм?	150
Вопрос 35. Из чего всё состоит? (Часть 1).....	154
Вопрос 36. Откуда берется радиация?	158
Вопрос 37. Похожи ли атомы на планетные системы?	165
Вопрос 38. Могут ли частицы быть волнами?	174
Вопрос 39. В чем суть принципа неопределенности?	178
Вопрос 40. Почему кот Шрёдингера и жив и мертв одновременно?	183
Вопрос 41. Почему частицы ведут себя по-другому, когда за ними наблюдают?	188
 ЧАСТЬ 5. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ	 199
Вопрос 42. Зачем нужно было придумывать теорию относительности?	200
Вопрос 43. Что такое релятивистские эффекты и что означает формула Эйнштейна $E = mc^2$?	204
Вопрос 44. Может ли время замедляться и в чем суть парадокса близнецов?	210
Вопрос 45. Действительно ли время может замедляться и реально ли создать машину времени?	216
Вопрос 46. Что будет, если бежать со скоростью света параллельно лучу света?	223
Вопрос 47. А можно ли двигаться быстрее скорости света?	225
Вопрос 48. Почему СТО противоречит закону всемирного тяготения?	232
Вопрос 49. Как Эйнштейн понял, что пространство искривляется?	234
Вопрос 50. Какие существуют подтверждения правильности ОТО?	243

Вопрос 51. Что такое гравитационная линза и как она работает?	252
Вопрос 52. Как можно увидеть искривление времени?	254
Вопрос 53. Как работают GPS / ГЛОНАСС и причем здесь теория относительности?	256
Вопрос 54. Что такое черные дыры и как они выглядят?	260
 ЧАСТЬ 6. ВОПРОС 55. ЧТО ТАКОЕ АНТИМАТЕРИЯ? ...	273
Вопрос 35. Из чего всё состоит? (Часть 2) или Кто живет в «зоопарке» элементарных частиц?	280
Вопрос 56. Что такое кварки и сколько их вообще?	290
Вопрос 57. Как устроена Стандартная модель? ...	295
Вопрос 58. Что такое квантовые поля?	302
Вопрос 59. Почему несовместимы квантовая механика и теория относительности?	306
Вопрос 60. В чем суть теории струн и откуда берется 10-мерное пространство?	311
 ЧАСТЬ 6. КОСМОЛОГИЯ	319
Вопрос 61. Насколько огромна наша Вселенная?	320
Вопрос 62. Сколько лет нашей Вселенной и как мы это узнали?	327
Вопрос 63. Теория Большого взрыва — что и где вообще взорвалось?	332
Вопрос 64. Чем темная материя отличается от темной энергии?	338
Вопрос 65. Как в теории инфляции появляются параллельные Вселенные?	344
 Заключение	349

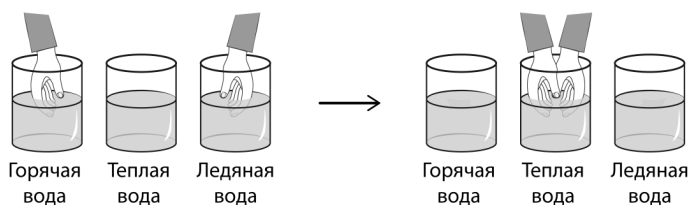
разберемся, что это такое, как их измеряют и как они связаны между собой.

Вопрос 20. Что такое температура?

Ну и конечно, первое, с чего мы начинаем изучение тепловых явлений, это понятие температуры. Потому что температура как раз и характеризует меру нагретости тел. У холодных тел она низкая, у горячих высокая. Интуитивно вроде понятно, но только до тех пор, пока мы не начали более детально разбираться с этим понятием.

Давайте проведем такой эксперимент²⁹: возьмем три емкости с водой. В одну емкость нальем горячую воду (только не слишком горячую, чтобы не обжечься), во вторую нальем воду комнатной температуры, а в третью — ледяную воду (можно даже бросить туда несколько кусочков льда). Затем поместим на одну минуту указательный палец левой руки в горячую воду, а указательный палец правой руки — в ледяную. После чего оба пальца переместим в воду комнатной температуры и понаблюдаем за своими ощущениями.

²⁹ Кстати, в отличие от многих других экспериментов, описанных в этой книге, именно этот опыт вы можете провести у себя дома.

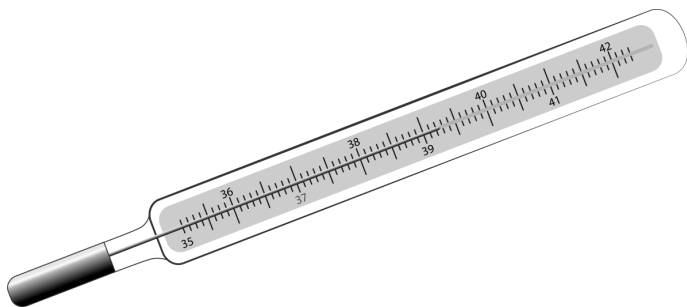


Что вы почувствуете? Палец левой руки, который до этого находился в горячей воде, подаст вам сигнал, что вода во второй емкости прохладная. А вот для пальца, перемещенного из ледяной воды, вторая емкость покажется чуть ли не горячей. Возможно, вы даже ощутите характерное покалывание. Так какая же на самом деле вода во второй емкости: горячая или холодная? Доверяться своим ощущениям в этой ситуации будет совершенно ошибочно (тем более что сигналы от разных пальцев вообще противоречат друг другу). Значит, нужен какой-то более объективный способ определения температуры. И физики его изобрели.

Основан этот способ на явлении теплового расширения. Оно заключается в том, что все тела при нагревании расширяются, т.е. увеличиваются в объеме, а при охлаждении уменьшаются (почему так происходит, мы поговорим чуть позже). Тепловое расширение зависит от химических связей в веществе, типа кристаллической решетки, пористости и других характеристик. Этот эффект не так сильно заметен в обычной жизни, потому что привычные нам предметы при изменении температуры меняют свои размеры очень слабо. Однако для достаточно больших тел тепловое

расширение уже будет существенным. Поэтому в технике и строительстве обязательно приходится учитывать эти эффекты. Например, 10 км железнодорожного полотна при нагревании на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ удлиняется примерно на 1,2 м. Поэтому при укладке рельсов между ними оставляют небольшие зазоры, из-за чего мы слышим стук колес поездов. Аналогично, при строительстве мостов их составляют из отдельных секций, которые соединяют специальными термическими буферными сочленениями, которые позволяют компенсировать тепловое сжатие и расширение и предотвратить разрушение конструкции.

Тепловому расширению подвержены не только твердые тела, но и жидкости. Поэтому их можно использовать для создания хорошо знакомых нам жидкостных термометров.



На кончике термометра располагается емкость с жидкостью. При нагревании эта жидкость расширяется и поднимается вверх по тоненькой трубочке-капилляру. Так мы фиксируем повышение температуры: чем выше поднялась жидкость, тем

выше температура. При охлаждении жидкость сжимается и столбик термометра, соответственно, опускается.

Осталось только задать шкалу измерения — отметить на столбике термометра, где ноль градусов, где десять, а где сто. И вот тут ученые разошлись во мнениях. К середине XVIII века насчитывалось уже около 30 (!) различных температурных шкал. Кто-то выбирал в качестве нуля температуру таяния сливочного масла, кто-то — температуру самого жаркого дня в Италии, а кто-то — температуру самого глубокого подвала парижской обсерватории. Но гораздо удобнее принять за ноль градусов что-то более универсальное и объективное. Например, температуру замерзания воды. А за 100 градусов — температуру кипения воды. Если разделить это расстояние на 100 равных отрезков, то цена каждого такого деления будет ровно один градус. Таким образом мы получим хорошо знакомую нам шкалу Цельсия³⁰.

Но есть и другая шкала температур — шкала Фаренгейта. Историки науки до сих пор спорят, что именно послужило эталоном нуля — температура замерзания смеси воды, соли и льда либо самая холодная зимняя температура в Данциге, где жил

³⁰ Хотя на самом деле всё было с точностью до наоборот: Цельсий принял температуру кипения воды за ноль градусов, а температуру замерзания воды — за 100. И лишь после его смерти физики решили для большего удобства перевернуть эту шкалу.

Фаренгейт. Тем не менее шкала Фаренгейта некоторым показалась удобной и ее до сих пор используют в таких странах, как Багамские острова, Либерия и США. По шкале Фаренгейта температура замерзания воды будет уже не ноль, а 32 градуса. При этом ноль по Фаренгейту — это минус 17,7 по Цельсию.

Тут пытливый читатель может задать вопрос: хорошо, мы разобрались, как измерить температуру, и даже узнали, какие существуют шкалы температур. Но как это нас продвинуло к пониманию того, что такое температура? Если оставаться в рамках эмпирических исследований, то мы должны сказать, что температура — это физическая величина, которую измеряет термометр. Но вряд ли это определение удовлетворит пытливого читателя. Поэтому для более глубокого понимания температуры нам нужно ввести еще одно понятие — понятие термодинамического равновесия.

Давайте поместим несколько разных предметов (холодных, теплых, горячих) в теплоизолированный ящик, чтобы они не могли обмениваться теплом с окружающей средой, а только друг с другом, и оставим их на некоторое время. Постепенно горячие предметы будут остывать, а холодные, наоборот, нагреваться. В конечном итоге абсолютно все предметы в нашем ящике окажутся нагреты одинаково. И если эту систему больше не нагревать и не охлаждать, а оставить как есть, то предметы больше не будут ни охлаждаться, ни нагреваться

сколь угодно долго. Это и есть состояние термодинамического равновесия. А физическая величина, которая выравнивается у всех тел при переходе к этому равновесию, называется температурой. Так будет происходить всегда, вне зависимости от количества тел, их начальных температур и материалов, из которых они состоят. Любые тела, изолированные от всех внешних воздействий, через некоторое время придут в состояние термодинамического равновесия. В этом заключается суть нулевого начала термодинамики³¹.

Как вам такое определение температуры? Вроде интуитивно и так было понятно, что после обмена теплом все горячие предметы остынут, а холодные нагреются, у всех тел температура станет одинаковой. Но этого определения оказывается вполне достаточно для построения классической термодинамики и вывода ее уравнений, очень хорошо описывающих многие наблюдаемые явления.

Однако если мы хотим еще глубже продвинуться к пониманию сути понятия температуры, нам придется привлечь более фундаментальные представления об устройстве материи. Так мы переходим в область молекулярно-кинетической теории. В ее основе лежит идея о строении вещества из мельчайших частичек (молекул). Эти микроскопические частички невозможно увидеть

³¹ Термодинамика основана на четырех постулатах, называемых «началами термодинамики». И так уж сложилось, что самый первый из них имеет номер ноль.

(они слишком малы), но, соединяясь друг с другом, они формируют макроскопические тела и предметы, с которыми мы имеем дело в обычной жизни.

При этом сами молекулы никогда не стоят на месте, а постоянно движутся: в газах, где между молекулами много свободного пространства, они хаотично летают; в жидкостях, где свободного места уже не так много, молекулы перескакивают с места на место; а в твердых телах, где «упаковка» молекул очень плотная, они могут только колебаться вокруг своего фиксированного положения. Какие-то из молекул могут двигаться быстрее, а какие-то — медленнее (все движутся по-разному, ведь их движение хаотично). Поэтому скорость какой-то одной молекулы не является показательной. А вот если мы возьмем среднее значение по всем молекулам, из которых состоит тело, то получим более точную картину. Так вот температурой мы можем назвать среднюю кинетическую энергию (энергию движения) всех молекул, из которых состоит тело³². Получается, что любой градусник — это просто спидометр для молекул, ведь он измеряет то, насколько быстро они движутся.

Давайте посмотрим, как теперь будет выглядеть переход в состояние термодинамического равновесия. Возьмем полстакана холодной воды

³² Если быть более точным, то средняя кинетическая энергия молекул равна температуре, умножить $3/2$ и на константу Больцмана (еще одна из фундаментальных физических постоянных).

(она холодная, потому что ее молекулы движутся медленно) и полстакана горячей воды (она горячая, потому что ее молекулы движутся быстро). При этом молекулы горячей и холодной воды ничем не отличаются, кроме скорости своего движения. Что произойдет с молекулами, когда мы смешаем горячую воду с холодной? Быстрые молекулы горячей воды начнут сталкиваться с медленными молекулами холодной воды. В этих столкновениях быстрые молекулы будут передавать часть своей кинетической энергии медленным и немного снижать свою скорость. А медленные молекулы — наоборот, будут получать дополнительную энергию и немного разгоняться. В итоге через некоторое время скорости всех молекул выровняются, не будет уже слишком много очень быстрых молекул или очень медленных. Это и будет состоянием термодинамического равновесия. А соответствующая температура, пропорциональная средней кинетической энергии молекул, будет равновесной и уже не изменится с течением времени. Потому что больше энергии взяться неоткуда, и она ниоткуда в систему не поступает (разумеется, при условии, что наша система замкнута).

Вопрос 21. Какая в природе самая низкая и самая высокая температура?

Теперь, когда мы поняли, что такое температура, мы можем порассуждать о том, какие значения она может принимать. Возможно ли охладить какое-то

тело до минус ста градусов? А до минус тысячи? Если температура — это средняя кинетическая энергия всех молекул, из которых состоит тело, то при понижении температуры молекулы должны замедляться. Поэтому, продолжая тормозить молекулы, мы будем уменьшать температуру тела. И в какой-то момент может так случиться, что все молекулы остановятся. Это состояние и будет соответствовать минимально возможной температуре или абсолютному нулю. Конечно же, это не ноль по шкале Цельсия и даже не ноль по Фаренгейту. Эта температура гораздо ниже. Ее значение примерно $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этой температуре прекращается всё тепловое движение, молекулы останавливаются³³. Это значение принято за ноль в шкале Кельвина. Поэтому точка замерзания воды по шкале Кельвина будет 273 К, а точка кипения воды 373 К.

Давайте теперь будем увеличивать температуру, тогда молекулы вещества станут двигаться все быстрее и быстрее, а их кинетические энергии также будут возрастать. Так мы можем дойти до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Твердые тела при повышении температуры начнут плавиться, превращаясь в жидкости. Эти жидкости при дальнейшем нагревании закипят и начнут

³³ Заметим, что при абсолютном нуле тепловое движение прекращается только в классической термодинамике. Если же описывать эти процессы с точки зрения квантовой теории, то даже в точке абсолютного нуля молекулы будут продолжать совершать небольшие колебания и, соответственно, их кинетическая энергия никогда не будет равна нулю.

испаряться. Например, температура плавления железа — 1538 °С, а вольфрама — 3422 °С. Получается, что в сторону увеличения температуры мы можем уйти гораздо дальше, чем в сторону охлаждения. Но что будет, если продолжать нагревать вещество, или (как мы теперь понимаем) продолжать разгонять его молекулы? В своем хаотическом движении они все сильнее будут сталкиваться друг с другом, так что при определенных скоростях начнет разрушаться структура этих молекул, они распадутся на атомы. При дальнейшем увеличении температуры атомы в столкновениях тоже будут разрушаться, от них начнут отваливаться электроны. Вся эта «каша» из атомов, электронов и ионов (т.е. атомов, от которых оторвали один или несколько электронов) называется плазмой, это четвертое агрегатное состояние вещества. И ничто нам не мешает продолжать нагревать плазму дальше, разогревая ее все сильнее. Самая горячая плазма, которую удалось на сегодняшний день получить, была разогрета до температуры свыше 10 триллионов градусов. И это, разумеется, не предел.

Вопрос 22. Какая температура в космосе?

Этот вопрос очень часто приходится слышать, когда рассуждаешь о тепловых процессах. Интерес к нему также подкрепляется большим количеством фантастических фильмов и мультфильмов, в которых показывают, как различные предметы

мгновенно замерзают, попав из космического корабля в открытый космос. Но так ли холодно в космосе на самом деле? И сколько там на самом деле градусов?

Для ответа на эти вопросы нам нужно вспомнить, что температура — это средняя кинетическая энергия молекул вещества (см. предыдущую главу). Значит, вопрос о температуре имеет смысл лишь тогда, когда речь идет о каком-то веществе, состоящем из молекул. Но когда мы хотим узнать температуру пустого пространства, то вопрос сразу обесмысливается. Нет никакой температуры у пространства. У воздуха в банке температура есть, и она равна средней кинетической энергии всех молекул воздуха. А если выкачать из этой банки весь воздух, создав там абсолютный вакуум, то никакой температуры у этого вакуума быть не может. Мы даже не можем сказать, что его температура равна нулю, поскольку для этого всё равно потребуется наличие там молекул, кинетическая энергия которых должна равняться нулю. Но в вакууме никаких молекул нет (мы ведь выкачали из банки весь воздух).

Тем не менее ученые рассуждают о температуре Вселенной. Но это совсем другая температура. Она характеризует не степень нагретости космоса (ведь мы не можем нагреть пустое пространство), а частоту реликтового излучения, оставшегося после Большого взрыва. Подробнее об этом излучении мы поговорим в главе «Теория Большого взрыва — что и где вообще взорвалось?» (стр. 332).