

Журнал Квант 1971 №2

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 50
ББК 22
Ж92

Ж92 Журнал Квант 1971 №2 / – М.: Книга по Требованию, 2023. – 68 с.

ISBN 978-5-458-29861-2

ISBN 978-5-458-29861-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

сместиться на отрезок $A'A$, а волновая поверхность второго пучка, проходившая ранее также через точку D , должна сместиться на отрезок DA . В результате возникает разность хода

$$\Delta L = DA - AA' = a \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = \frac{2a \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha}. \quad (2)$$

Ясно, что такая же разность хода, но с обратным знаком будет в точке C . Начнем теперь уменьшать угол α . При достаточно малом α можно сделать ΔL равным $\frac{\lambda}{4}$. Тогда вся область AC будет заполнена одной светлой интерференционной полосой. Следовательно, всюду энергия будет превышать сумму энергий двух пересекающихся пучков. Никакой компенсации за счет образования темных полос нет, так как они вообще отсутствуют!

Можно получить и, так сказать, негативный результат, заставив пересекаться пучки с начальной разностью фаз, равной π . Тогда область AC будет заполнена темной интерференционной полосой. В первом случае непонятно, откуда берется дополнительная энергия, во втором — неясно, куда исчезает энергия.

Оба случая явно противоречат закону сохранения энергии. Очевидно, в наших рассуждениях есть какой-то дефект, приводящий к противоречию с одним из основных законов природы. Чтобы понять, в чем здесь дело, запишем формулу (2) для указанного случая, когда $\Delta L =$

$= \frac{\lambda}{4}$, и воспользуемся при этом малостью угла α ($\sin \alpha \approx \alpha$ для малых α). Мы покажем ниже, что угол α действительно очень мал. Тогда получим

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{2a \left(\frac{\alpha}{2} \right)^2}{\alpha} = \frac{a\alpha}{2}, \quad (3)$$

или

$$\alpha = 0,5 \frac{\lambda}{a}. \quad (4)$$

Возьмем $a = 1$ см, $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см, тогда $\alpha = 2,5 \cdot 10^{-5}$ радиана. Из (4) мы видим, что неприятности с законом сохранения энергии возникают при угле между пучками порядка отношения длины волны к величине поперечного сечения пучка.

Решение парадокса заключается в том, что при таких малых углах уже нельзя пользоваться понятием идеального параллельного пучка конечного сечения.

При любой попытке реализовать такие пучки мы потерпим неудачу. Ограничение размеров пучка благодаря явлению дифракции с необходимостью приводит к превращению его в расходящийся пучок. Угол расхождения пучка определяется как раз формулой (4). При этом, естественно, угол, под которым пересекаются пучки, можно определить лишь с точностью до величины порядка угла расхождения пересекающихся пучков.

Если бы дифракция еще не была открыта, мы на основании закона сохранения энергии и формулы (4) должны были бы не только догадаться о ее существовании, но и указать на основную закономерность, управляющую величиной дифракционного угла. Это хороший пример того, что закон сохранения в физике всегда может служить надежной путеводной звездой.

Взяв реальные световые пучки, мы никогда, конечно, не получим противоречия с законом сохранения энергии. В интерференционных опытах данного типа всегда дело будет сводиться к пространственному перераспределению потока энергии.

Есть, однако, интерференционные эксперименты, где возникают еще более тонкие энергетические парадоксы, но это, как говорится, уже другая история.

ДВЕ ИГРЫ СО СПИЧКАМИ

И. М. Яглом



В этой статье мы расскажем вам об играх «ним» и «цзяньшицзы». И «ним» и «цзяньшицзы» — китайские народные игры; «цзяньшицзы» в переводе означает «выбирание камней» (разумеется, замена в условиях игр камней спичками ничего не меняет в ее существе). Впоследствии эти игры проникли в Европу; одно время игра «ним» была популярна в Западной Европе.

Приведем правила этих игр.

Игра «ним»

На столе лежат три кучки спичек. Двое играющих поочередно берут спички из этих кучек, причем за один раз играющий может взять любое число спичек из одной (обязательно только из одной!) кучки. Выигравшим считается тот, кто заберет последнюю спичку.

Игра «цзяньшицзы»

На столе лежат две кучки спичек. Двое играющих поочередно берут спички из этих кучек, причем за один раз играющий может либо взять любое число спичек из одной кучки, либо поровну (но тоже любое число!) спичек из обеих кучек. Выигравшим считается тот, кто заберет последнюю спичку.

Задача состоит в том, чтобы определить, при каких начальных положениях (то есть количествах спичек в каждой из кучек) начинающий может выиграть, а при каких нет, и указать метод правильной (беспроигрышной) игры.

Практически играть в ним или цзяньшицзы очень удобно у классной доски — без всяких спичек, но с мелом и тряпкой в руке. На доске можно нарисовать, скажем, три ряда полей, оканчивающихся у правого края доски, и три шашки — по одной в каждом ряду полей (рис. 1). Каждый играющий в свой ход стирает одну из шашек и «передвигает» ее на любое число полей вправо (здесь речь идет об игре ним); выигравшим считается тот, кто делает последний ход. Так же можно играть и в цзяньшицзы — только теперь доска для игры содержит два ряда

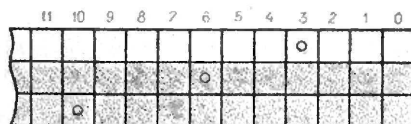


Рис. 1.

полей и каждый играющий своим ходом подвигает либо одну шашку, либо одновременно обе шашки на одно и то же число полей.

Начинаем играть в «ним»

Предположим, что в трех кучках спичек лежат соответственно a , b и c спичек, где $a \leq b \leq c$; тройка чисел (a, b, c) — это положение или позиция в игре в данный момент. Ясно, что позиция $(0, 1, 1)$ является проигрышной для начинающего: своим ходом он обязан взять одну из двух имеющихся спичек; но после этого его соперник забирает вторую спичку и выигрывает. Все остальные начальные положения $(0, 1, c)$, где $c \geq 2$, выигрышны для начинающего: своим первым ходом он забирает $c-1$ спичку из третьей кучки, оставляя тем самым своему противнику заведомо проигрышную позицию $(0, 1, 1)$. Следующее проигрышное для начинающего положение задается тройкой чисел $(0, 2, 2)$: ведь если в этой позиции он заберет одну спичку, то следующим ходом противник оставит ему позицию $(0, 1, 1)$, а если заберет две спички, то противник следующим ходом кончит игру (то есть выигрывает). Все остальные позиции $(0, 2, c)$, где $c \geq 3$, выигрышны для начинающего, который может своим первым ходом забрать $c-2$ спички, оставив противнику (проигрышную!) позицию $(0, 2, 2)$. Следующие положения, проигрышные для начинающего, будут иметь вид $(1, 2, 3)$ и $(0, 3, 3)$: здесь после каждого хода начинающего противник либо сразу выигрывает, либо сводит игру к одной из рассмотренных выше позиций $(0, 1, 1)$ и $(0, 2, 2)$ (см. ри-



Рис. 2.

сунок 2, где красными цифрами обозначены проигрышные для начинающего позиции и стрелки обозначают ходы).

Продолжая рассуждать таким же образом, мы можем составить таблицу начальных положений, проигрышных для начинающего: игрок, *вынужденный* сделать ход, исходя из такой позиции, *неминуемо* должен перейти

к позиции, *выигрышной* для начинающего (то есть не входящей в составленную нами таблицу); напротив, если позиция не является проигрышной, то игрок своим ходом может либо сразу выиграть, либо перейти к проигрышной позиции, «подставив» тем самым ее своему противнику. Первые 15 из этих позиций собраны в следующей таблице:

Т а б л и ц а I (проигрышные позиции в игре «ним»)

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a	0	0	1	0	0	1	0	2	0	3	2	1	0	0	1
b	1	2	2	3	4	4	5	4	6	4	5	6	7	8	8
c	1	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	7	7	8	9

Попытаемся взглянуть в составленную таблицу с тем, чтобы усмотреть в ней общую закономерность, закон ее составления. Однако на первый взгляд никакого определенного закона, диктующего правила составления этой таблицы, заметить нельзя...

Игра «цзяньшицзы»

Пусть в наших двух кучках лежат соответственно a и b спичек, где $a \leq b$; пара чисел (a, b) — это *положение* или *позиция* в данный момент игры. Будем и здесь искать те положения, которые *проигрышны* для начинающего. Первое такое положение — это (1, 2); возможных ходов всего четыре: можно взять 1 спичку из 1-й кучки, или 1 спичку из 2-й кучки, или 2 спички из 2-й кучки, или, наконец, по 1 спичке из каждой кучки. Очевидно, что при любом возможном ходе начинающего про-

тивник следующим ходом заканчивает игру, то есть выигрывает. Все остальные положения, где одно из двух чисел a и b равно 1 или 2 или где разность $b - a$ равна 1, *выигрышны* для начинающего: если в этом положении нельзя окончить игру одним ходом (то есть сразу выиграть), то можно свести игру к положению (1, 2), проигрышному для начинающего. Следующей *проигрышной* позицией является позиция (3, 5): здесь после каждого хода начинающего противник или сразу выигрывает, или сводит игру к положению (1, 2). Все остальные позиции (a, b) , где одно из чисел a и b равно 3 или 5 или где $b - a = 2$, *выигрышны* для начинающего; следующее *проигрышное* для начинающего положение — это (4, 7). Продолжая рассуждать таким же образом, мы можем составить таблицу проигрышных для начинающего позиций.

Т а б л и ц а II (проигрышные позиции в игре «цзяньшицзы»)

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a	1	3	4	6	8	9	11	12	14	16	17	19	21	22	24
b	2	5	7	10	13	15	18	20	23	26	28	31	34	36	39

К сожалению, и здесь не видно никакого определенного закона составления этой таблицы.

А нельзя ли таблицы I и II записать по другому?

Нам не удалось понять, как составлены таблицы I и II, образованные в первом случае тремя, а во втором — двумя строчками чисел. Подумаем теперь над возможными причинами постигшей нас неудачи.

Мы уже говорили о том, что таблицы I и II — это числовые таблицы; они образованы рядами чисел. Фигурирующие в этих таблицах числа мы, естественно, записывали обычным образом, используя общепринятую десятичную систему счисления; так, например, составляющие последний столбец таблицы II числа 24 и 39 означают: «2 десятка и 4 единицы» и «3 десятка и 9 единиц». Однако сама по себе десятичная система счисления, происхождение которой связано с тем случайным обстоятельством, что человек имеет на руках 10 пальцев, никак не связана с рассматриваемыми нами играми; поэтому уместной представляется попытка записать наши таблицы по-другому.

Дальнейшее содержание этой статьи связано со статьей «Системы счисления» («Квант» № 6). Нам потребуются следующие сведения из этой статьи.

Систем записи целых положительных чисел с помощью небольшого числа символов (цифр) можно предложить много. *Позиционные системы счисления* (точнее было бы сказать — *позиционные системы записи чисел*) строятся следующим образом. Задается некоторый *базис*, или *система ключевых чисел*, представляющий со-

бой бесконечную возрастающую последовательность целых чисел:

$$1 = q_0 < q_1 < q_2 < q_3 \dots \quad (*)$$

После этого каждое число N представляется в виде суммы чисел нашего базиса, взятых с теми или иными целыми коэффициентами:

$$N = a_m q_m + a_{m-1} q_{m-1} + \dots + a_2 q_2 + a_1 q_1 + a_0 q_0;$$

это выражение записывается так:

$$N = a_m a_{m-1} \dots a_2 a_1 a_0,$$

где $a_m, a_{m-1}, \dots$ — «цифры» записи числа N .

Например, если система базисных чисел такова:

$$1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, \dots$$

то число 27 запишется следующим образом:

$$27 = 1 \cdot 23 + 0 \cdot 19 + 0 \cdot 17 + 0 \cdot 13 + 0 \cdot 11 + 0 \cdot 7 + 0 \cdot 5 + 1 \cdot 3 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = \text{«1000000101»}.$$

При этом k -я цифра a_k в записи любого числа N в системе счисления с базисом (*) всегда будет меньше

$$\text{отношения } \frac{q_{k+1}}{q_k}.$$

Если базис системы счисления имеет вид

$$1 = q^0, q = q^1, q^2, q^3, q^4, \dots,$$

где q — некоторое целое число, то система счисления называется « q -ичной»; в ней все числа представляются суммами степеней числа q и все цифры в записи числа N меньше q (меньше 10 в случае общепринятой десятичной системы счисления).

Самой простой из всех систем записи целых чисел является двоичная система счисления, в которой все числа представляются суммами степеней числа 2. Если использовать эту

систему счисления, то наши таблицы I и II примут совсем другой вид (числа в двоичной системе счисления мы будем записывать красными цифрами):

Таблица Ia

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>a</i>	0	0	1	0	0	1	0	10	0	11	10	1	0	0	1
<i>b</i>	1	10	10	11	100	100	101	100	110	100	101	110	111	1000	1000
<i>c</i>	1	10	11	11	100	101	101	110	110	111	111	111	111	1000	1001

Таблица IIa

№№	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>a</i>	1	11	100	110	1000	1001	1011	1100
<i>b</i>	10	101	111	1010	1101	1111	10010	10100

9	10	11	12	13	14	15
1110	10000	10001	10011	10101	10110	11000
10111	11010	11100	11111	100010	100100	100111

Внимательное изучение таблицы Ia позволяет усмотреть в ней вполне определенную закономерность: да, конечно, *проигрышные позиции* (*a*, *b*, *c*) в игре «ним» — это те позиции, где сумма цифр каждого разряда в двоичной записи числа *a*, *b*, *c* четна (то есть равна 0 или 2)! Однако таблица IIa оказывается более коварной: она ничем не лучше таблицы II, и никакой определенной закономерности составления проигрышных пар (*a*, *b*) из нее усмотреть нельзя.

Но почему именно двоичная система счисления должна дать нам ключ к отысканию системы беспроигрышной игры в цзяньшицзы? Правда, мы видели, что эта система помогает как будто при разработке теории игры ним: но ведь цзяньшицзы — это совсем другая игра, а ключ, открывающий одну дверь, совсем не обязан подходить к другой. Нельзя ли переписать таблицу II по-иному: может быть, другая система записи образу-

ющих эту систему чисел прольет больше света на ее строение?

Внимательное изучение таблицы II позволяет подметить, что в ней часто фигурируют числа Фибоначчи (см., например, 1-й, 2-й, 5-й и 13-й столбцы таблицы)*. А это в свою очередь может навести нас на мысль о целесообразности попытки записать таблицу II в «фибоначчиевой системе счисления», в которой все числа представляются суммами чисел последовательности Фибоначчи (числа в этой системе счисления мы будем записывать синими цифрами). Например, число 100 в фибоначчие-

*) Числа Фибоначчи — последовательность чисел, начинающая с 1 и 2 и далее строящаяся по следующему закону: *каждое число последовательности Фибоначчи равно сумме двух предыдущих*. Первые ее члены таковы: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, ... Числам Фибоначчи посвящена хорошая брошюра Н. Н. Воробьева «Числа Фибоначчи» (М., «Наука», 3-е изд., 1969).

вой системе счисления записывается так:

$$100 = 1000010100$$

$$\text{ибо } 100 = 1 \cdot 89 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 3.$$

Перепишем теперь таблицу II в фибоначчической системе счисления:

Т а б л и ц а IIб

№№	1	2	3	4	5	6	7	8
a	1	100	101	1001	10000	10001	10100	10101
b	10	1000	1010	10010	100000	100010	101000	101010

9	10	11	12	13	14	15
100001	100100	100101	101001	1000000	1000001	1000100
1000010	1001000	1001010	1010010	10000000	10000010	10001000

Вот тут уж закон составления «проигрышных» пар не вызывает никакого сомнения: записанная в фибоначчической системе счисления пара чисел (a, b), где $a < b$, определяет в игре «цзяньшицзы» проигрышную позицию, если a оканчивается четным числом нулей*), a b получается из a присоединением одного нуля в конце.

Догадка? Нет, теорема!

Мы уже почти достигли цели: мы как будто знаем, какие позиции в играх «ним» и «цзяньшицзы» являются проигрышными для начинающего, а какие выигрышны для него. Однако математика не признает выражения «как будто»; в математике решить задачу — это не только (и не столько!) догадаться, каким будет ответ задачи, но и доказать, что твоя догадка правильна.

Доказательство того, что подмеченная нами закономерность составления проигрышных позиций правильна, состоит в следующем: *требуется показать, что в каждой из игр «ним» и «цзяньшицзы» существует такая система позиций (их можно называть выделенными или проигрышными позициями), что*

а) для каждой позиции, не являющейся проигрышной, существует такой ход, после которого позиция становится проигрышной;

б) каждая проигрышная позиция после любого хода играющего перестает быть таковой.

Эти свойства проигрышных позиций определяют и «метод беспроигрышной игры» (применимый, разумеется, только в том случае, когда начальная позиция не является проигрышной):

играющий должен каждым своим ходом добиваться того, чтобы позиция стала проигрышной).*

По этому поводу см. также решение задачи M8 («Квант» № 10, 1970, стр. 38).

При этом обратите внимание на некоторую разницу в терминологии. В решении задачи M8 позиции рассматриваются с точки зрения одного из игроков, который именуется Я; мы же рассматриваем позиции с точки зрения того игрока, которому предстоит сделать из данной позиции ход, и именно с точки зрения этого игрока оцениваем «выигрышность» позиции.

Сформулируем теперь те две теоремы, которые нам предстоит доказать:

Т е о р е м а 1. *Проигрышными (то есть удовлетворяющими форму-*

*) При этом позицию (0, 0, 0), соответственно (0, 0), мы также причисляем к числу «проигрышных»: ведь если игрок может свести игру к этой позиции, то, значит, он уже выиграл.

*) a может оканчиваться «нулем нулей», то есть вовсе не содержать нулей в конце, ведь нуль — четное число.

лированным выше условиям а) и б)) в игре «ним» являются те и только те позиции (a, b, c) , для которых суммы всех цифр, отвечающих одному разряду в записи чисел a, b, c в двоичной системе счисления, для всех разрядов четны.

Теорема II. Проигрышными в игре «цзяньшицзы» являются те и только те позиции (a, b) , для которых число a , будучи записанным в фибоначчевой системе счисления, кончается четным числом нулей, а число b получается из числа a приписыванием еще одного нуля в конце.

З а м е ч а н и е. Из теорем I и II следует, что обе игры — «ним» и «цзяньшицзы» — в определенном смысле выгодны для начинающего: проигрышных для начинающего позиций (см. таблицы I и II) в них довольно мало, то есть они встречаются гораздо реже, чем все остальные (выигрышные для начинающего) позиции.

Доказательства этих теорем составляют содержание приводимых ниже упражнений. Ответы к ним даны на стр. 60 (попробуйте, однако, найти решения самостоятельно). Советуем вам сначала разобраться с упражнениями 1–4, так как упражнения 5–7 гораздо сложнее.

У п р а ж н е н и я

1. Докажите, что если позиция (a, b, c) в игре «ним» не является проигрышной, то есть не удовлетворяет указанным в формулировке теоремы I условиям, то играющий своим ходом может сделать ее проигрышной.

2. Докажите, что если позиция (a, b, c)

в игре «ним» является проигрышной, то после любого хода игрока она перестает быть таковой.

3. Укажите правила беспроигрышной игры в игру «ним» в том случае, если число кучек спичек есть любое наперед заданное целое число $n \geq 2$ (прочие правила игры мы оставляем прежними). К чему сводится стратегия беспроигрышной игры в случае $n = 2$?

4. Опишите проигрышные позиции (a, b, c) в игре «ним», записывая числа a, b, c не в двоичной, а в четверичной системе счисления (то есть представляя, скажем, число a в виде $a = a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0 = a_n 4^n + a_{n-1} 4^{n-1} + \dots + a_2 4^2 + a_1 4 + a_0$; здесь $0 \leq a_i \leq 3$ для всех $i = n, n-1, \dots, 2, 1, 0$ *)

5. Докажите, что для любого целого положительного числа p существует одна и только одна проигрышная позиция (a, b) в игре «цзяньшицзы» (то есть позиция, удовлетворяющая условиям теоремы II) такая, что $b - a = -p$. Проверьте это для первых 15 проигрышных позиций, перечисленных в таблице II.

6. Докажите, что если позиция (b, a) в игре «цзяньшицзы» не удовлетворяет условиям теоремы II, то играющий своим ходом может либо сразу выиграть, либо свести позицию к проигрышной.

7. Докажите, что если позиция (a, b) в игре «цзяньшицзы» является проигрышной, то после любого хода играющего она перестает быть таковой.

8. Укажите правила беспроигрышной игры в цзяньшицзы, если число кучек нечетно (играющий каждым своим ходом имеет право взять либо любое число спичек из какой-то одной кучки, либо поровну — и тоже любое число! — из всех кучек).

П р о б л е м а. Укажите правила беспроигрышной игры в цзяньшицзы, если число кучек равно четырем.

Хочу предупредить читателя, что решение поставленной проблемы автору неизвестно.

*) Черта над числом означает, что это запись числа цифрами $a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0$, а не произведение чисел.

ДИАЛОГ О ТЕМПЕРАТУРЕ

М. Я. Азбель

Научно-популярная статья — всегда своеобразная игра Автора и Читателя, в которой Автору верят на слово (отсюда — не так уж редко реализуемая — возможность жульничества), но зато он не имеет права писать непонятно и нагонять скуку. Иначе — проигрыш Автора: статья не будет прочитана и, значит, писалась зря.

Обычно популярная статья выглядит как длинный монолог. Но уже древние греки понимали, что научный диалог гораздо интереснее. Поскольку это не нарушает правил игры, последуем их примеру. В результате Читатель получит возможность, проявив характер, попытаться сначала сам найти ответы на поставленные вопросы, каждый из которых — это физическая задача, а иногда и целая проблема.

Итак, занавес поднимается — мы начинаем.

Автор

Температура, пожалуй, первое количественное понятие, с которым сталкивается в своей жизни человек. Пятилетний ребенок еще не умеет считать, но уже сообщает: «Я здоров, у меня 36,6», — не понимая еще даже смысла произносимых слов (для десятичных дробей нужно вырасти вдвое). Это означает, что речь идет об одном из важнейших физических понятий. Человечество на протяжении всей своей истории пытается понять вещи, поражающие еще в детстве: пространство, время... Ибо чем привычнее понятие, чем проще формулируется вопрос, тем он обычно глубже и тем труднее на него ответить. Впрочем, тем труднее его и задать — настолько он кажется очевидным. Так, в одном из детективных рассказов сыщики сбиваются с ног, разыскивая то, что находится у них перед глазами.

Читатель

Бог с ними, и с сыщиками, и с философскими рассуждениями. Нельзя ли поконкретнее?

Автор

Пожалуйста. Вот вопрос, последовательное выяснение которого ведет нас в конце концов к основным

понятиям общей теории относительности.

Все методы измерения температуры основаны на выравнивании температур, то есть на том, что более горячее тело охлаждается, а более холодное — нагревается. Не так ли?

Читатель

Конечно.

Автор

А почему это происходит? Почему тепло всегда переходит от более нагретого тела к менее нагретому?

Читатель

Не всегда! Холодильник, например, охлаждается, хотя около него нет более холодного тела. Тепло здесь передается более тепловому телу — окружающему воздуху и всему тому, что находится в комнате.

Автор

Вы опередили ход моих рассуждений, сделав очень важное замечание. Действительно, если потрудиться и затратить работу, можно холодным телом нагреть горячее. Не зря холодильник включается в сеть. Но в системе, не взаимодействующей ни с какими другими объектами (такую систему физики называют замкнутой), температура всегда выравнивается,

тепло передается от горячего к холодному. Во всех случаях, когда этого не происходит, можно найти, где система «разомкнута». Так, в случае холодильника его охлаждение происходит за счет энергии, полученной от электростанции, или, в конечном счете, от остывающего Солнца.

Читатель

Все, что вы говорите, по-моему, совершенно очевидно.

Автор

Я уже предупреждал: источник самых глубоких идей — кажущаяся очевидность. Давайте сформулируем сказанное в виде физического закона и посмотрим, какие из него вытекают следствия. Этот закон сводится к так называемому «второму началу термодинамики» («первым началом» называют закон сохранения энергии), или «закону возрастания энтропии».

Обычно, когда результаты эксперимента противоречат теории, надо исправлять теорию. Если же эксперимент противоречит второму началу термодинамики, ищут ошибку в эксперименте. И всегда находят ее. Ибо за всю историю науки не было ни одного случая, чтобы нарушился этот закон, так же как за всю историю человечества не было ни одного случая бессмертия. (Аналогия, в действительности, очень глубокая.)

Второе начало термодинамики гласит: *«В замкнутой системе происходит выравнивание температур»*. Иначе говоря, тепло переходит от горячего тела к холодному. Первое охлаждается, а второе нагревается.

Для того, чтобы отнять энергию у более нагретого тела, надо затратить работу. Значит, невозможен не только «вечный двигатель первого рода», который совершает работу из «ничего», вопреки первому началу термодинамики — закону сохранения энергии. Невозможен также не противоречащий этому закону «вечный двигатель второго рода», который бы, вопреки сформулированному нами второму началу термодинамики, совершал работу, ох-

лаждая моря, океаны, материки. Запасы их тепловой энергии практически неисчерпаемы, но — увы — недоступны. Какие соблазнительные проекты погубило второе начало!

Итак, в замкнутой системе происходит выравнивание температур.

Этот процесс заканчивается, когда температуры тел становятся одинаковыми. Тогда наступает состояние равновесия, но не механического, а термодинамического.

Но отсюда немедленно следует вывод о «тепловой смерти Вселенной», принадлежащий немецкому ученому Клаузиусу. Раньше или позже остынут все звезды, во всем мире установится одна и та же температура, любые процессы окажутся невозможными — мир превратится в безжизненную пустыню. Все попытки понять, почему этого не произошло за время существования Вселенной, были бесплодны до появления общей теории относительности!

Читатель

А согласно теории относительности температуры не выравниваются?

Автор

Нет, ответ не столь прямолинеен. Но для того, чтобы понять, как расправилась общая теория относительности с тепловой смертью, надо хоть немного рассказать об основных понятиях этой теории.

Читатель

А это, скажете вы сейчас, школьнику недоступно...

Автор

Наоборот, уверен, что доступно. Считаю, что чем глубже физическая или математическая идея, тем проще ее изложить, не используя никаких специальных знаний.

Читатель

Так расскажите, пожалуйста, об общей теории относительности.

Автор

Это должно быть темой отдельной беседы. Сегодня мы говорим о температуре, и мне было важно лишь показать, что, размышляя над тем, как термометр измеряет температуру, мож-