

# Курс спецматематики в листках для 7 класса

Автор: Иванова Елена Юрьевна  
Редактор: Кузнецов Глеб Михайлович

2 сентября 2023 г.

# Оглавление

0.1	Предисловие . . . . .	2
<b>1</b>	<b>Четность</b>	<b>5</b>
1.1	Как проходит занятие . . . . .	5
1.2	Письменные задачи. . . . .	10
1.3	Переход на второй уровень . . . . .	10
1.4	Комментарии для преподавателя . . . . .	11
1.5	Решения переводной работы с уровня 1 на уровень 2 . . . . .	11
1.6	Решения письменных задач. . . . .	15
1.7	Переход на третий уровень . . . . .	15
1.8	Решения проверочной работы с уровня 2 на уровень 3 . . . . .	18
1.9	Дубль уровня 2 . . . . .	18
1.10	Уровень третий . . . . .	20
1.11	Подведение итогов и результаты. . . . .	22
1.12	Решения некоторых задач. . . . .	22
<b>2</b>	<b>Принцип Дирихле</b>	<b>25</b>
2.1	Ответы к упражнениям . . . . .	33
2.2	Решения некоторых задач . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Комбинаторика</b>	<b>34</b>
3.1	Решение некоторых задач проверочной . . . . .	38
3.2	Аналогии . . . . .	39
3.3	Ответы к упражнениям . . . . .	42
3.4	Решения некоторых задач . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Теория Чисел</b>	<b>43</b>
4.1	Деление с остатком. . . . .	45

## Предисловие

Эта книжка предназначена в первую очередь для учителей математики, работающих в профильных математических классах. Материалы книги могут быть также использованы в работе математических кружков, для дополнительных занятий и самостоятельной работы.

Мы будем ориентироваться на учителей математики, представляя удобный формат занятий в первую очередь для них.

Сама структура занятий основана на «листочковой системе», введенной в школьное образование Н.Н.Константиновым еще в 60е годы прошлого века. Начав заниматься спецматематикой с более младшими школьниками, нежели те, для которых изначально была разработана эта система, мы переработали и сам набор и порядок тем, и саму структуру.

Система была опробована автором в течение 15 лет на различных математических классах г.Москвы, выпускники которых завоевали четыре золотых и две серебряные медали на Международной математической олимпиаде школьников и получили множество наград на других всероссийских и международных соревнованиях. Часть из них уже закончила свое обучение в Вузе и плодотворно трудится на научном поприще.

В течение этих лет система модифицировалась, пока не пришла к нынешнему виду. Сейчас она достаточно гибка и, на наш взгляд, позволяет подстроиться к любому уровню школьников 7 класса, желающих изучать профильную математику.

По сути, система представляет собой «Уровневую систему листочков»<sup>1</sup>, правила которой объявляются детям заранее. Лучше всего эти правила распечатать и выдать детям. Вот они:

### Правила игры или как мы будем жить.

1. Задания по спецматематике сгруппированы по темам, а в каждой теме разнесены на два, три или более уровня.
2. Темы бывают обязательные и дополнительные.
3. Изначально при изучении новой темы все получают теоретический листок и листок уровня «один». Усвоение теоретического листка и решение (сдача) задач листка уровня «один» дает право на получение оценки «удовлетворительно», а также ведёт к получению заданий следующего уровня.
4. Чтобы перейти на следующий уровень после решения задач предлагается выполнить проверочное задание по соответствующей теме соответствующего уровня. Если задание выполнено успешно, то уровень зачтен. Если нет, то ученик возвращается к изучению плохо пройденной темы вновь и получает новые задания того же уровня.
5. Ученик может претендовать на получение следующего уровня без решения задач предыдущего. Для этого он может написать соответствующую проверочную работу, не решая задачи уровня. Если работа выполнена успешно (все верно), то ученик переводится на следующий уровень. В случае неудачи повторное выполнение проверочной работы без решения задач в этой теме для этого ученика не допускается.
6. Через некоторое оговорённое время (обычно, когда большинство освоило уровень 2-3), задачи разбираются и переходим к следующей теме. За выполнение второго уровня ставится «хорошо», за выполнение каждого следующего уровня – «отлично».

---

<sup>1</sup>Напомним, что «система в листочках» предполагает, что в классе находится несколько принимающих, что дает возможность каждому индивидуально рассказывать решения задач принимающим. Кроме того на занятиях не предполагаются учебники. Все необходимые сведения выдаются в листках и дети могут решать эти задачи, как в классе, так и дома. Тем самым каждый имеет свой собственный ритм работы и движения. Одновременно в классе дети могут иметь много разных листков и сдавать задачи в индивидуальном темпе.

## Комментарии для учителя.

Как только начинается новая тема, сначала она обсуждается в классе. Разбираются простые задачи, дается необходимый кусок теории и т.п. После этого детям выдается листок, условно называемый «Тема N. Теория. Уровень 1» В этом листке может быть приведен список задач, разобранных на занятии, короткий конспект рассказанной учителем теории, какие-то факты и задачи, которые учитель считает важным включить, но они не были рассказаны у доски.

Работа с теоретическим листком может идти по-разному. А) можно продолжить обсуждение коллективно, предлагая решить совместно какие-то задачи из выданного листка; Б) можно включить в листок набор простеньких задач по теме и предложить выполнить их письменно; В) можно выделить время для самостоятельного решения и потом разобрать индивидуально (если хватает принимающих) или у доски для всех; Г) а можно всем выдать сразу же и листок с задачами уровня 1 со словами «А теперь вы самостоятельно решаете задачи и нам рассказываете». Однако мы считаем, что вариантом Г) злоупотреблять не стоит. В течение года это возможно, но не более 1-2 раз и не на первых темах.

После того как с теоретическим листком так или иначе покончено, дети получают листок «Тема N. Задачи. Уровень 1». Обычно в таких листках от 8 до 12 задач. Предполагается, что средний ребенок должен их решить примерно за полторы недели. Приходя на каждое занятие, ученик рассказывает решенные дома задачи принимающему до тех пор, пока задачи не кончатся. Как только это произошло, ученик получает проверочную работу из 3-4 задач (но в простых уровнях может быть и больше) на основные идеи Уровня 1 и двадцать минут на письменное решение. Очевидно, что пользоваться своими записями задач листочка, теоретическим листком и т.п. не разрешается. Работа считается верно выполненной ТОЛЬКО в том случае, если ВСЕ задачи решены верно и написано полное решение. Если в какой-то задаче указан только ответ без пояснений или решение с недочетами, то работа считается невыполненной. Обычно в 1 уровне таких проблем не бывает – ребенок либо решил задачу и хорошо написал, либо нет. При переходе со 2 уровня на 3 нужно быть уже более внимательным, да и задачи там уже более содержательные.

Итак, если все задачи проверочной работы решены верно, то считается, что уровень 1 успешно пройден и ученик получает листок «Тема N. Задачи. Уровень 2» и листок «Тема N. Теория. Уровень 2», если таковой имеется.

В этом месте обращаем внимание, что в силу того, что дети получают такие листки в разное время, и новая теория не разбирается, теоретический листок должен быть составлен предельно аккуратно и давать всю необходимую информацию. В частности там могут быть включены примеры решения задач. Заметим, что если в какой-то момент уже все дети получили теоретический листок уровня 2, то имеет смысл потратить часть занятия на разбор задач 1 уровня, уделяя особое внимание тем задачам, которые являются ключевыми в этой теме, и тем задачам, классическое решение которых вы хотите донести до учеников.

**Внимание!** Мы считаем, что все задачи задачного листка должны быть разобраны преподавателем тем или иным способом. Либо у доски, либо индивидуально принимающим.

Еще несколько слов про пункт 5 «правил игры». Мы специально добавили в правила такую возможность. Бывает так, что ребенок уже много решал задач такого типа, и мы знаем, что он прекрасно с ними справится. В этом случае жалко времени и хочется идти дальше. Такой ребенок обычно сразу же легко пишет проверочную работу и получает следующий листок. Бывает также, что ребенок ложно считает, что он все хорошо знает и ему простые задачки решать незачем. Мы тоже в этом случае даем ему работу. Но если знания только кажущиеся, то чаще всего такой ребенок допускает при решении задач ошибки и работу не пишет. В этом случае он теряет право получить листок 2 уровня и должен вернуться к листку 1 уровня.

Что делать, если ученик сдал все задачи листка уровня 1, но не справился с проверочной работой? В этом случае ему предлагается листок «Тема N. Задачи. Уровень 1А». В этом листке содержатся задачи, аналогичные задачам предыдущего листка, только с измененными формулировками, числами и т.п. И ученик должен снова сдать все эти задачи. Как показывает практика, при переходе с уровня 1 на уровень 2 такое встречается крайне редко, а при переходе с уровня 2 на уровень 3 – часто. Поэтому всегда стоит иметь такой дубль.

В исключительных случаях (на нашей практике такое было только один раз), если вторая попытка написать проверочную работу (она уже, конечно, другая) снова неудачна, то ребенок получает листок

«Тема N. Задачи. Уровень 1Б», но прежде с ним нужно индивидуально разобрать еще раз все задачи листка А.

В зависимости от сложности темы на нее отводится от 8 до 28 уроков (от 4 до 14 занятий, если они сгруппированы парами), то есть от 2 до 7 недель. Понятно, что это условно. При необходимости можно увеличивать время до двух месяцев. Больше изучать какую-то тему нежелательно, так как она уже затирается и детям становится скучно.

Примерно один раз в три месяца мы устраиваем контрольные работы по 2-3 темам. Примеры таких работ тоже есть в книжке.

Кроме того часть занятий отведено под игры и устные зачеты. Некоторые задачи в листочках отмечены буквой «n». Эти задачи предназначены для письменной сдачи учениками. То есть они не принимаются устно, а требуется принести решение, записанное аккуратно и подробно дома. Эти решения проверяются, отмечаются не только верный / неверный ход решения, но и оформление, не в смысле чистописания (хотя это тоже приветствуется в разумных пределах), а в смысле строгости и аккуратности изложения.

### **Расположение материала.**

Материалы условно разделены на несколько частей.

1. Материалы, которые выдаются детям. Мы постарались сформировать их в виде уже готовом к раздаче.
2. Комментарии для учителя и тексты для разбора в классе.
3. Проверочные и самостоятельные работы.
4. Решения некоторых задач и комментарии.

# Глава 1

## Четность

### Как проходит занятие

Поскольку это первое занятие такого типа, то сначала школьникам объясняются «правила игры», отвечая на все возникающие вопросы. Далее мы предлагаем не выдавать сразу задачи для решения, а сначала поговорить в целом, как школьники понимают четные и нечетные числа, их свойства.

На доске выписываем равенства :

$$\text{Ч} + \text{Ч} = \text{Ч}$$

$$\text{Ч} + \text{Н} = \text{Н}$$

$$\text{Н} + \text{Ч} = \text{Н}$$

$$\text{Н} + \text{Н} = \text{Ч}$$

Первый факт можно предложить доказать, используя только определение чётного числа – «Число называется чётным, если его можно разделить на две равные части».<sup>1</sup>

**Решение.** Пусть число  $A$  четное и число  $B$  четное. Докажем, что число  $A + B$  также четное. По определению это значит, что число  $A$  делится на 2 и число  $B$  делится на 2. То есть  $A = a + a$  и  $B = b + b$ . Тогда  $A + B = (a + b) + (a + b)$

Тут можно проиллюстрировать свою речь картинками типа:

$$A = \blacktriangle + \blacktriangle$$

$$B = \blacktriangledown + \blacktriangledown$$

$$A + B = \blacklozenge + \blacklozenge$$

То есть сумму можно представить в виде суммы двух равных целых слагаемых. Что и требовалось доказать.  $\square$

Аналогично для разности четных чисел. Можно предложить доказать этот факт самостоятельно или вынести позже в проверочную работу.

Еще один факт, который стоит доказать. А именно то, что сумма четного и нечетного числа нечетна.

**Решение.** Пусть  $A$  – четное,  $B$  – нечетное. Докажем, что  $A+B$  – четное. Будем доказывать «методом от противного». Предположим, что требуемое неверно и  $A+B$  – четное. Тогда  $B = (A+B) - A$  – разность двух четных чисел и должно быть четным. Получили противоречие. То есть  $A + B$  – нечетно.  $\square$

Далее можно всем вместе разобрать часть задач и упражнений из теоретического листка (он приведен ниже). Рекомендуются сначала обсудить задачи 1-3 этого листка и только после разбора выдать этот листок школьникам.

После выдачи листка можно предложить школьникам проверить себя – самостоятельно решить упражнения и поверить себя по ответам в конце листка. Мы обычно обсуждаем все вместе задачи на доказательство, так как в этом возрасте такие задания идут наиболее тяжело. После этого, если вопросов нет, выдать первый листок уже с заданиями.

Обращаем внимание, что первый листок включает в себя не только сами задачи, но и некоторые комментарии к ним и дополнительно «правила игры»

---

<sup>1</sup>Предварительно мы оговариваем, что пока имеем дело только с целыми числами и «делимость на две равные части» мы подразумеваем делимость целого числа на целочисленные части.



### Теоретический Листок. Четность.

Прежде чем решать задачи вспомните, какие числа называются четными, а какие нечетными и их простейшие свойства.

*Сумма или разность двух чисел одной четности четна.  
Сумма или разность двух чисел разной четности нечетна.*

Решите несколько приведенных ниже упражнений:

**Упражнение 1.** Сложили 3 нечетных числа. Могло ли получиться 1024?

**Упражнение 2.** Не выполняя никаких арифметических действий, назовите чётность чисел:

1.  $1000 - 947 \times 7567 \times 6 + 2009 + 2006$
2.  $204 \times 121 + 5360 \times 7 + 3121 + 6731 \times 81 \times 11 - 154 - 77 + 87$
3.  $(1246254651 - 45645645) \times (67876 - 59681) + (1163 - 712) \times (948 - 8569) + 886541 \times 735 + 1$
4.  $1000 - 947 \times 7567 \times 76 + 2009 + 2006$
5.  $204 \times 2121 + 5360 \times 7 + 3121 + 6731 \times 81 \times 11 - 154 - 77 + 87$
6.  $(1246254651 - 45645645) \times (67876 - 59681) + (1163 - 712) \times (948 - 8569) + 886541 \times 735 + 1$

**Упражнение 3.** Имеется два числа одной четности. Какова может быть четность их разности?

**Упражнение 4.** Сумма двух чисел нечетна. Какой четности их разность?

**Упражнение 5.** Двое играют в следующую игру: первый игрок рисует на клетчатой бумаге квадрат. Затем второй игрок зачеркивает одну из клеток этого квадрата. Потом то же делает первый, и так далее. Проигрывает тот, кто не сможет сделать ход. Кто выиграет при правильной игре и как ему надо играть?

**Задача 1.1.** Парламент состоит из двух равных по численности палат. На совместном заседании присутствовали все, и никто не воздержался при голосовании. Когда было объявлено, что некоторое решение было принято большинством в 23 голоса<sup>2</sup>, оппозиция закричала «Это обман!». Почему?

**Решение.** На первый взгляд, не обладая информацией о численности палат, вряд ли можно делать какие-либо выводы. Тем не менее, предположим, что описанная в задаче ситуация возможна. Если голосовавших «против» было  $x$ , то голосовавших «за» было  $x + 23$ . Следовательно, всего проголосовало  $2x + 23$  человек (нечетное число), а в двух палатах равной численности в сумме четное число членов. Противоречие.  $\square$

**Решение. «без формул или на пальцах»** Первоначальное утверждение: если какое-то количество можно разбить на две равные части, то это количество четно. В нашем случае из условия следует, что в парламенте четное число членов. Далее, заметим, что если к какому-либо числу прибавить нечетное число, то четность суммы поменяется (если число было четным – станет нечетным, если же было нечетным, то станет четным). Тогда количество проголосовавших «за» и «против» имеют разную четность. Но тогда их сумма нечетна, как сумма двух чисел разной четности. Противоречие.  $\square$

В приведенном примере мы использовали наблюдение, что сумма или разность четного и нечетного числа – нечетное число. Если рассматривать четность как частный случай делимости (а именно: четность – это делимость на натуральное число 2), то в данном наблюдении нет ничего необычного. Отличие четности от любой другой делимости заключается в наблюдении, что сумма двух нечетных чисел – четное число (например, сумма двух чисел, не делящихся на три, может как делиться, так и не делиться на 3). Продемонстрируем еще на одном примере, как можно это использовать.

<sup>2</sup> «большинством в 23 голоса» – значит голосующих «за» было на 23 больше, чем голосующих «против».

**Задача 1.2.** На 99 карточках пишут числа 1, 2, ..., 99, перемешивают их, раскладывают чистыми сторонами вверх и снова пишут числа 1, 2, ..., 99. Для каждой карточки складывают два её числа и 99 полученных сумм перемножают. Докажите, что результат чётен.

**Решение.** Так как на карточках написаны числа от 1 до 99, то среди них нечетных на одно больше чем четных. Поскольку нечетных больше половины, на какой-то карточке с обеих сторон будут нечетные числа. Их сумма будет четным числом. При умножении нескольких натуральных чисел, среди которых есть четное, получается четное число.  $\square$

В задаче 2 мы использовали также тот факт, что произведение нескольких натуральных чисел, среди которых есть четное, – четное число. Это же можно формулировать по-другому: если произведение некоторого набора натуральных чисел – число нечетное, то все эти числа нечетные.

*Сумма нечетного количества нечетных чисел нечетна.*

Этот факт является простым следствием того, что сумма двух нечетных чисел – четное число.

**Упражнение 6.** Сложили 5 целых чисел. Получили 2017. Сколько среди них может быть нечётных? А если чисел 2017?

**Упражнение 7.** Сколько нечетных среди первых 100 натуральных чисел? А среди 2019? А среди первых  $N$  натуральных чисел?

**Задача 1.3.** Филя перемножил 17 целых чисел и получил 1025, а Степашка сложил эти же числа и получил 100. Докажите, что кто-то из них ошибся.

**Решение.** Предположим, что Филя не ошибся. Тогда если Филя, перемножая натуральные числа, получил нечетный результат, то все множители были нечетными. Но в то же время сумма 17 нечетных чисел – нечетное число, и никак не может равняться 100.  $\square$

## Чередование

Выполняя *упражнение 7*, вы, несомненно, воспользовались тем, что четные и нечетные числа в числовом ряду идут попеременно.

**Упражнение 8.** Укажите, в каких еще задачах, приведенных ранее, используется идея чередования.

**Упражнение 9.** Среди 10 целых чисел 7 четных и 3 нечетных. Какой максимальной длины цепочка последовательных чисел может быть выстроена из них в лучшем случае?

**Упражнение 10.** На шахматной доске на одной из клеток стоял конь. Он сделал несколько ходов и вернулся в ту же клетку. Четное или нечетное число ходов он сделал?

**Упражнение 11.** Дрессированный кузнечик прыгает по прямой – каждый раз на 1 метр вправо или влево. Через некоторое время он оказался в исходной точке. Докажите, что он сделал четное число прыжков.

**Задача 1.4.** За время летних каникул сторож посадил вдоль школьного забора 20 яблонь. 1 сентября оказалось, что число яблок на соседних деревьях отличается на 1. Может ли на всех этих яблонях быть ровно 2017 яблок?

**Решение.** Не может. Будем называть яблоню с четным количеством яблок четной, а с нечетным – нечетной. Предположим, что описываемое в условии возможно. Тогда четные и нечетные яблони чередуются. Следовательно, половина яблонь – четные, а половина – нечетные. Половина – это 10. Сосчитаем общее количество яблок. Нам нужно сложить 10 четных чисел и 10 нечетных. Очевидно, что эта сумма является четным числом, поэтому получить 2017 невозможно.  $\square$

**Ответы к упражнениям:** 1. нет. 2. 1) нечетно; 2) четно; 3) нечетно. 3. любым четным числом. 4. нечетна. 5. Первый всегда может обеспечить себе выигрыш. Для этого он должен нарисовать квадрат, состоящий из четного числа клеток. 6. 1) 1 или 3, или 5. 2) любое нечетное число от 1 до 2017. 7. 1) 50; 2) 1009; 3) если  $N$  четно, то  $N/2$ , если же нечетно, то  $(N+1)/2$ . 8. например, задача 2 и упр.5. 9. цепочка из 7 чисел. 10. четное.





## Листок 1. Четность. Уровень 1.

*Если написанная программа сработала правильно, то это значит, что во время ее работы выполнилось четное число ошибок или программист не понял задание.*

Правило четности ошибок

*Задачи вы можете решать как дома, так и в классе. Рекомендуется коротко записывать решение в тетрадь. Рассказывать решения задач вы будет одному из принимающих. Задачи, отмеченные значком п, приниматься в устном форме не будут. В данном случае это единственная задача 1.8. Решение таких задач надлежит выполнить в письменном виде дома и принести на занятие спецматематики. Через некоторое время часть задач будет разобрана, после чего решения этих задач приниматься не будет. Рекомендуем решать задачи по порядку, поскольку зачастую в решении следующей задачи можно использовать идею из предыдущей.*

*Желаем успеха!*

**Задача 1.5.** Филя пишет на доску одно целое число, а Степашка – другое. Если произведение чётно, победителем объявляют Филю, если нечётно, то Степашку. Может ли один из игроков играть так, чтобы непременно выиграть?

**Задача 1.6.** Докажите, что произведение любых двух последовательных чисел четно.

**Задача 1.7.** Каким (четным или нечетным) может быть число  $n^2 + n$ , где  $n$  – целое?<sup>3</sup>

**Задача 1.8.** <sup>n</sup> Может ли для каких-нибудь целых чисел  $a$  и  $b$  быть верно:

$$ab(a - b) = 201720182019$$

В предыдущих задачах у нас обычно имелось фиксированное количество целых чисел, с которыми мы производили некоторые операции. Для решения задачи требовалось выяснить, каким – четным или нечетным – числом является результат этих операций. Можно рассмотреть обратную задачу. Пусть имеется некоторое целое число, и мы хотим разбить его на части. Возникает вопрос: на какие части мы можем его разбить и сколько среди них может быть нечетных? Или, другими словами, в виде суммы каких слагаемых можно представить данное число? Например, число 17 можно представить в виде суммы трех или пяти нечетных слагаемых, но нельзя в виде четырех.

### Количество нечетных чисел.

**Задача 1.9.** Сумма четырнадцати целых чисел является нечетным числом. Может ли их произведение тоже быть нечётным?

**Задача 1.10.** За время летних каникул вдоль забора школы посадили 20 яблонь. 1 сентября оказалось, что число яблочек на соседних деревьях отличается на 1. Может ли на всех этих яблонях быть ровно 2011 яблочек?

**Задача 1.11.** На доске написано 2011 целых чисел. Всегда ли можно стереть одно из них так, чтобы сумма всех оставшихся чисел была четна?

**Задача 1.12.** Алиса и Базилио устроили благотворительную лотерею. Они написали на 33 билетах (занумерованных числами от 1 до 33) 33 последовательных числа от 33 до 65 (в каком-то порядке) и объявили, что выигрышным считается билет, у которого сумма номера билета и написанного на нем числа четна. Докажите, что при таких правилах им в любом случае придется кому-то выплатить выигрыш.

<sup>3</sup>Для решения этой задачи дети должны уметь выносить общий множитель на скобку. Если по какой-то причине это еще не изучено, то лучше давать задачу в виде произведения  $n$  и  $(n + 1)$

**Задача 1.13.** 98 спичек разложили в 19 коробков и на каждом написали количество спичек в этом коробке. Может ли произведение этих чисел быть нечетным числом? Если да, то приведите пример, если нет, то докажите, почему.

Выполняя упражнение 7 из теоретического листочка, вы, несомненно, воспользовались тем, что четные и нечетные числа в числовом ряду идут попеременно:

1	2	3	4	5	6	...
Н	Ч	Н	Ч	Н	Ч	...

В следующих задачах вам придется пользоваться этим соображением неоднократно. Более того, идея чередования характерна не только для чисел. Зачастую чередуются не числа, а какие-либо свойства объектов.

**Задача 1.14.** Можно ли разложить несколько мячей а) \*в 3; б) \*в 4; в) в 2018; г) 2019 ящиков, расставленных по кругу, так, чтобы в любых двух соседних ящиках число мячей отличалось на 1?

**Задача 1.15.** Вокруг круглой поляны растут 2011 сосен. Незнайка измерил высоту каждой из них и заявил, что любые две соседние сосны отличаются по высоте ровно на метр. Знайка тут же заметил, что Незнайка врет. Кому верить?

**Задача 1.16.** Можно ли обойти конем всю доску, побывав на каждом поле ровно один раз, начав с поля  $a1$ , а закончив на поле  $h8$ ? (Если можно, то как, если нельзя, то почему.)

### **Письменные задачи.**

Если вы заметили, в листке есть задача, отмеченная буквой  $n$  – это означает, что решение задачи должно быть выполнено в письменном виде и сдано на листке.

Для чего это сделано?

Общеизвестно, что большинству школьников достаточно сложно дается запись своих решений. И такие задания направлены как раз на выработку этого умения. В том числе этим регулируется строгость изложения. Школьникам сообщается, что в письменных решениях будет учитываться не только «решил» / «не решил», а насколько связан и логичен текст.

В любом случае потом всем школьникам выдаются письменные решения «от автора», чтобы они могли сравнить со своими опусами.

### **Переход на второй уровень**

Наконец наступает момент, когда кто-то решил все задачи листка уровня 1 или просто решил, что он уже все знает из этого листка и готов к проверке.

Наступает момент проверочной работы.

### Листок 1.1 Четность. Переводная работа.

1. Дайте определение чётного числа.
2. Какие из утверждений верны: А) Сумма нечётного количества чётных чисел нечётна. Б) Произведение нечётного количества чётных чисел нечётно. В) Сумма нечётного количества нечётных чисел нечётна. Г) Произведение чётного количества нечётных чисел чётно.
3. Сумма двух чисел нечетна. Какой четности может быть их разность?
4. Не выполняя никаких арифметических действий, укажите чётность числа:  

$$(124789254651 - 45645646) \cdot (67776 - 59681) + (18963 - 712) \cdot (94978 - 8569) + 8865431 \cdot 735 + 17$$
5. Среди 11 целых чисел 8 четных и 3 нечетных. Какой максимальной длины цепочка последовательных чисел может быть выстроена из них в лучшем случае?
6. Аня попала в Зазеркалье, где встретила свое отражение – Яну. Потом Яна попала в свое Зазеркалье, где встретила свое отражение – конечно же, Аню-2! Аня-2 попала в свое Зазеркалье, где была Яна-2. И так происходило достаточно долго, пока зеркало не разбилось. Назовите, как звали 2019-ю девочку?

### Комментарии для преподавателя

Первая проверочная работа достаточно простая. Она рассчитана на 25-35 минут.

Полные пояснения требуются только в задачах 5 и 6. В остальных только ответы.

Если все задания выполнены правильно, то считается, что школьник успешно прошел 1 уровень и получает листок 2 уровня.

Если же что-то неверно, то те, кто не сдавали задачи из листка 1 уровня, должны их решить и сдать, а те, кто сдал, но тем не менее работу написал неудачно, получает Дубль листка 1 уровня. Поскольку у нас пока не было прецедентов, что кто-то не справился с проверочной работой, то мы не обзавелись дублем. Однако учитель легко может его сделать, заменив имена и числа в задачах.

### Решения переводной работы с уровня 1 на уровень 2

1. Четное число дает остаток 0 при делении на 2.
2. А) нет, потому что сумма любого количества четных чисел – четна. Б) нет, потому что произведение целых чисел четно, если хотя бы одно из них четно. В) да Г) нет, потому что произведение любого количества нечетных чисел – нечетно.
3. Только нечетной, потому что их четности различны.
4. Перепишем в виде: 
$$\underbrace{(H - Ч)}_H \cdot \underbrace{(Ч - H)}_H + \underbrace{(H - Ч)}_H \cdot \underbrace{(Ч - H)}_H + \underbrace{(H \cdot H)}_H + H = H + H + H + H = Ч$$
5. Четные и нечетные чередуются, значит четных может быть только на 1 больше или меньше нечетных, а нечетных максимум 3. Значит четных 4. Значит всего последовательных чисел не больше 7.

6. Выпишем первые несколько имен:

1 девочка – Аня-1  
2 девочка – Яна-1  
3 девочка – Аня-2  
4 девочка – Яна-2  
5 девочка – Аня-3  
6 девочка – Яна-3

...

Заметим, что Аня всегда "нечетная девочка" а Яна - всегда "четная". После этого можно заметить, что номера девочек - это номер соответствующего четного или нечетного числа в последовательности. Например, Яна-5 обозначает пятое четное число, а Аня-7 – седьмое нечетное. Соответственно задача сводится к тому, чтобы узнать каким по счету является данное число. 2010 – 1005 четных и 1005 нечетных чисел, следовательно 2011 – 1006 нечетное число, значит ему соответствует девочка Аня-1006 2018 – 1009 четных и 1009 нечетных чисел, следовательно 2019 – 1010 нечетное число, значит ему соответствует девочка Аня-1010

*Примечание.* Если не получается решить задачу в общем случае, можно построить примеры при малых числах и найти в них закономерность. Предложить гипотезу и доказать ее.



## Листок 1. Четность. Уровень 2.

*Беды обычно приходят парами — пара за парой, пара за парой, пара за парой...*

Следствие Кона из закона Мерфи

**Задача 1.17.** Полный комплект костей домино выложен в цепочку. На одном конце оказалась пятерка. А что могло оказаться на другом?

**Задача 1.18.** Из полного набора домино, подаренного родителями, Ваня потерял все кости с «пустышками». Сможет ли теперь кто-нибудь выложить оставшиеся кости в ряд?

**Задача 1.19.** На бирже в городе Нью-Васюки ежедневно в 10.00 проходят торги. Рано утром 1 января N-го года цены на акции фирм «Вася Inc.» и «Петя и Ко» были один и два рубля соответственно. Вечером 31 декабря того же года цены стали снова теми же. Лёша установил, что цены на акции этих фирм всегда были различны, каждый день изменялись и все время были либо один, либо два рубля. Докажите, что прошедший год был високосным.

**Задача 1.20.** <sup>n</sup> В разные моменты времени из пунктов А и В выехали навстречу друг другу велосипедист и мотоциклист. Встретившись в точке С, они тотчас развернулись и поехали обратно. Доехав до своих пунктов, они опять развернулись и поехали навстречу друг другу. На этот раз они встретились в точке D и, развернувшись, вновь поехали к своим пунктам. И т.д. В какой точке отрезка АВ произойдет их 2019 встреча?

**Задача 1.21.** Можно ли выписать в ряд по одному разу цифры от 1 до 9 так, чтобы между единицей и двойкой, двойкой и тройкой, ..., восьмеркой и девяткой было нечетное число цифр?

**Задача 1.22.** 7М класс упражняется в счете. Анатолий Анатольевич написал на доске число 2011. После чего каждый ученик вышел к доске, прибавил или вычел 17 или 13 и записал получившийся результат. Когда каждый из 20 учеников вышел по одному разу, на доске оказалось написано число 2012. Анатолий Анатольевич посмотрел на доску и расстроился. Докажите, что кто-то из учеников ошибся.

**Задача 1.23.** У Вини-Пуха было 2019 горшочков меда. Кристофер Робин принес или забрал 9 горшочков, что именно – Пух не помнит. На следующий день Кристофер Робин снова пришел и принес или забрал 8 горшочков, на следующий день – 7 и так далее. Наконец Кристофер Робин пришел и принес или забрал один горшочек. а) Могло ли у Винни-Пуха на 10 день оказаться горшочков столько же, сколько и было в самом начале, то есть 2019? б) Сколько вообще горшочков меда могло быть у Вини-Пуха на 10 день, если все это время он мед не ел?

## Разбиение на пары

**Задача 1.24.** Докажите, что число способов расставить на доске 8 ферзей так, чтобы они не били друг друга, четно.

**Задача 1.25.** Лиза сложила лист бумаги пополам, после чего вырезала из него фигурку. После разворачивания фигурка оказалась шестиугольником. Сколько различных значений могут принимать длины его сторон?

**Задача 1.26.** Пусть билеты для проезда в наземном транспорте<sup>4</sup> имеют номера от 000000 до 999999. Назовем билет «счастливым», если сумма первых трех цифр равна сумме трех последних его цифр. Докажите, что число таких «счастливых» билетов четно. (Для решения задачи вовсе не обязательно считать точное количество «счастливых» билетов)

**Задача 1.27.** 7Ю класс уселся за круглый стол. Елена Юрьевна между соседями-мальчиками положила по ручке, между соседями-девочками – по карандашу, а если рядом сидели мальчик и девочка,

<sup>4</sup>Мы не будем здесь рассматривать все возможные билеты для проезда. Безусловно, сейчас существуют и семизначные, и восьми- и даже тринадцатизначные номера для проездных документов.

то между ними она положила по тетрадке.

а) Докажите, что ей понадобится четное число тетрадок.

б) А может ли она обойтись нечетным количеством карандашей?

в) Каким минимальным числом ручек она могла обойтись, если в классе 17 мальчиков и 5 девочек?

**Задача 1.28.** а) В ряд выписаны числа от 1 до 10. Можно ли расставить между ними знаки «+» и «-» так, чтобы значение полученного выражения было равно нулю?

б) А если выписаны числа от 1 до 2019, можно ли получить 17?

**Задача 1.29.** \* Для уроков информатики Михаил Владимирович приготовил 7 карточек, на которых были написаны числа от 5 до 11. Он их перемешал и предложил Глебу и Юле. Глеб взял себе три карточки, Юля – две, а оставшиеся две Михаил Владимирович отдал Ване, который их тут же потерял. Глеб сразу сказал Юле: «Я точно знаю, что сумма чисел на твоих карточках четна», и оказался абсолютно прав. Какие числа были написаны на карточках у Глеба?

**Задача 1.30.** \* На 99 карточках пишут числа 1, 2, ..., 99, перемешивают их, раскладывают чистыми сторонами вверх и снова пишут числа 1, 2, ..., 99. Для каждой карточки складывают два её числа и 99 полученных сумм перемножают. Докажите, что результат чётен.

*Напоминаем, что задачи, отмеченные значком <sup>n</sup>, приниматься в устном форме не будут. В данном случае это единственная задача 1.20. Решение таких задач надлежит выполнить в письменном виде дома и принести на занятие спецматематики. Через некоторое время часть задач будет разобрана, после чего решения этих задач приниматься не будет. Задачи, отмеченные звездочками \* не являются обязательными для получения следующего задания. Их решение может приниматься после перехода на следующий уровень.*

*Желаем успеха!*

## Решения письменных задач.

В уровне 2 также есть письменная задача, которую нужно сдавать в письменном виде. Целесообразно после того, как все сдадут письменные задачи обоих уровней (или большинство, если все-таки есть те, кому через значительное время не удалось получить второй уровень), выдать письменные решения.

**Задача 1.8<sup>n</sup>** Может ли для каких-нибудь целых чисел  $a$  и  $b$  быть верно:

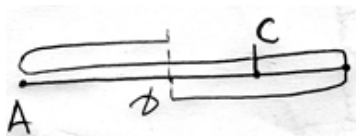
$$ab(a - b) = 201720182019$$

**Решение. 1 способ.** Рассмотрим два случая. 1 случай: числа  $a$  и  $b$  одной четности. Тогда  $a - b$  обязательно четно. Следовательно, произведение  $ab(a - b)$  также будет четным. 2 случай: числа  $a$  и  $b$  разной четности. Тогда в произведении  $ab(a - b)$  один из множителей четен и, следовательно, все произведение четно. Тем самым мы доказали, что для любых целых чисел  $a$  и  $b$  произведение  $ab(a - b)$  четно. Но число 201720182019 нечетно, следовательно, требуемое в условии невозможно.

**2 способ.** Поскольку 201720182019 – нечетное число, то требуется выяснить, можно ли его разложить на три нечетных множителя указанного в условии вида. Предположим, что это возможно, тогда числа  $a$  и  $b$  должны быть нечетными, но тогда  $a - b$  обязательно четно. Следовательно, произведение  $ab(a - b)$  также будет четным. Противоречие. Следовательно, требуемое в условии невозможно.  $\square$

**Задача 1.20<sup>n</sup>** В разные моменты времени из пунктов А и В выехали навстречу друг другу велосипедист и мотоциклист. Встретившись в точке С, они тотчас развернулись и поехали обратно. Доехав до своих пунктов, они опять развернулись и поехали навстречу друг другу. На этот раз они встретились в точке D и, развернувшись, вновь поехали к своим пунктам. И т.д. В какой точке отрезка АВ произойдет их 2019 встреча?

**Решение.** В точке С. Без ограничения общности можно считать, что первым выехал кто-то из А. Тогда пусть К – точка, в которой находится этот кто-то в тот момент времени, когда второй выехал из В. Теперь они одновременно стартуют – один из В, другой из К и через некоторое время прибывают в С. С этого момента точка К больше не имеет значения. Они разворачиваются и через некоторое время Т одновременно прибывают в D. И так далее. Заметим, что за время Т вместе оба путешественника проедут удвоенный путь от А до В. (см.рис.). Теперь, если они развернутся в точке D и поедут обратно, то за время Т они снова приедут в точку С (это будет их третья встреча). И так далее. Отсюда следует, что все нечетные встречи будут происходить в точке С, а все четные – в точке D. Поскольку 2019 – нечетное число, то 2019-я встреча состоится в точке С.  $\square$



**Замечание** Отметим, что мы не использовали информацию о том, кто именно выехал из какого пункта и какая именно скорость была у путешественников. Используется только неизменность скоростей. Для решения задачи это неважно. Более того, при определенных условиях точки С и D могут совпадать, но это тоже не имеет значения, поскольку приведенные выше рассуждения справедливы и для этого случая.

## Переход на третий уровень

В этой теме переход на третий уровень необычен. Проверочная работа включает в себя не только задачи на тему четности и разбиения на пары, но упражнения на умение видеть аналогии.

Если в группе почти все собираются писать проверочную работу для перехода со 2 уровня на 3, то можно сначала первую часть листка разобрать вместе. Иначе – отвести больше времени на выполнение работы.

Разберем сначала несколько примеров.

1. Двое играют в следующую игру: первый игрок рисует на клетчатой бумаге квадрат. Затем второй игрок зачеркивает одну из клеток этого квадрата. Потом то же делает первый, и так далее. Проигрывает тот, кто не сможет сделать ход. Кто выиграет при правильной игре и как ему надо играть?
2. Фрекен Бок и Карлсон играют в фантики. Сначала Карлсон вынимает из кармана несколько фантиков, затем фрекен Бок забирает себе один, затем Карлсон и так далее, пока фантики не



кончатся. Проигрывает тот, кто не сможет сделать ход. Кто выиграет при правильной игре и как ему надо играть?

Установление аналогии. Пусть в задаче а) первый не рисует квадрат, а выкладывает фантики в виде квадрата, тогда понятно, что в этом случае «забирание» фантика соответствует зачеркиванию клетки квадрата. Тем самым мы показали, что задачи аналогичны.

1. На прямой отметили несколько точек. После этого между каждыми двумя соседними точками отметили еще по точке. Такое "уплотнение" повторили еще дважды (всего три раза). В результате на прямой оказалось отмечено 4009 точек. Сколько точек было отмечено первоначально?
2. На квартиры была очередь, и около строящегося дома появился очень странный палаточный городок: все палатки были выстроены в линию. Через некоторое время между каждыми двумя поставили ещё по одной палатке. Через некоторое время – между каждыми двумя снова по одной. Наконец дом достроили. В нём оказалось 15 этажей, на каждом этаже было 3 квартиры. Каждой семье досталось ровно по одной, и все квартиры оказались заняты. Сколько семей приехало сначала, если в одной палатке жила одна семья?
3. В буфете после городской олимпиады выстроилась очередь за бутербродами. Бутерброды задерживались, и в каждый промежуток между стоящими успело влезть по человеку. Бутерброды все еще не начали выдавать, и во все промежутки опять влезло по человеку, а потом еще по человеку. Тут наконец принесли 4009 бутербродов, и всем стоящим досталось по одному. Сколько человек стояли в очереди первоначально?

Установление аналогии. Заметим, что задачи 1 и 3 полностью аналогичны даже численно. Заменим в задаче 3 людей точками, тогда количество принесенных бутербродов в точности совпадает с окончательным количеством людей в очереди, и мы получим формулировку задачи 1. В задаче 2 общее количество семей закамouflировано под количество квартир, которое надо сначала вычислить. Сделав это, а также заменив семьи (палатки) точками, мы получим задачу 1 с другими численными данными, в которой «уплотнение» произведено только два, а не три раза.

1. Имеется две кучки 9 камней и 10 камней. За один ход можно взять сколько угодно камней из любой (но только одной) кучки. Проигрывает тот, кто не сможет сделать ход. Кто выигрывает при правильной игре?
2. На шахматной доске размером  $10 \times 11$  в левом нижнем углу стоит ладья. Двое по очереди ходят ею вверх или право (влево и вниз ходить не разрешается). Выигрывает тот, кто первым поставит ладью в правый верхний угол. Кто выигрывает при правильной игре?

Установление аналогии. В этом примере аналогия гораздо менее очевидна, однако она есть. Заномеруем вертикали доски от 0 до 10 (слева направо), а горизонтали от 0 до 9 (снизу вверх). Будем устанавливать соответствие следующим образом: представим себе, что мы играем в обе игры одновременно. Будем двигать ладью вверх, если берут камни из кучки с 9 камнями (назовем эту кучку – первая) и вправо, если из кучки из 10-ю камнями (назовем эту кучку – вторая). И, наоборот, при движении ладьи по горизонтали будем брать камни из второй кучки, а при движении по вертикали – из первой. Каждый раз количество взятых камней равно количеству клеток, на которые переместили ладью. Тем самым мы установили соответствие между позициями двух этих игр.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Другими словами: мы задаем координаты ладьи на доске и устанавливаем соответствие позиций следующим образом: позиция ладьи  $(a; b)$  соответствует позиция  $a$  камней в первой кучке и  $b$  камней во второй.



### Листок 1.2. Четность. Переводная работа. Аналогии.

*Как узнать, кто вы – физик или математик? Предлагается решить простейшую задачу: вскипятить воду, если дано: газовая плита, кран с водой, спички. В этом случае действия физика и математика полностью совпадают. Другая задача: вскипятить воду, если дано: все то же самое, но чайник с водой и газ включен. Что сделает физик? Просто поставит чайник на огонь. Что сделает математик? Выключит газ и выльет воду из чайника, чтобы свести задачу к предыдущей, уже решенной!*

Из сборника "Физики шутят."

**Найдите аналогичные между собой и аналогичные задачам из листков 1 и 2 уровня. Обращаем внимание, что числа не обязательно совпадают. Обязательно установите аналогию, как это сделано на примерах. Решать все задачи не нужно.**

1. На 20 кустах малины, растущих в ряд, количество ягод на любых двух соседних кустах отличается на 1. Можно ли собрать с них 2019 ягод? (Оставлять ягоды на кустах нельзя, они сгниют)
2. У фальшивомонетчиков Гоги и Сереги есть 2018 монет номиналом от 1 до 2018 центов. Они хотят так поделить монеты, чтобы номинальная сумма центов у обоих была одинакова. Удастся ли им это сделать?
3. Воевода и его богатыри питаются золотыми рыбками. Воевода наловил 20 золотых рыбок. Тридцать три богатыря передают друг другу чашу с рыбками, и каждый кладет или забирает из чаши рыбку. Может ли в чаше в результате получиться 10 золотых рыбок?
4. У Лизы в 17 спичечных коробках живут 2010 тараканов. На каждой коробке написано количество проживающих в нем тараканов. Может ли произведение этих чисел быть нечетным числом? Если да, то приведите пример, если нет, то докажите, почему.
5. Может ли окружность пересекать в одной точке (без касания!) все стороны правильного 17-ти угольника?
6. У Ильи есть 2018 стальных шариков весом от 1г до 2018г. Он пытается разложить их на две чашки весов так, чтобы весы оказались в равновесии. Сможет ли он это сделать?
7. Катя вернулась из летнего лагеря и заявила, что в лагере, кроме нее, было еще ровно 2018 ребят, и в начале смены каждый был знаком ровно с тремя. Права ли Катя?
8. Куча семиклассников встали в круг, и каждый из них загадал число. После чего Илья Владимирович прошел круг, и для каждого двух соседей подсчитал произведение их чисел. Если у него получалось отрицательное число, то он ставил обоим этим ребятам по двойке. Всего было поставлено 10 двоек. Докажите, что кто-то из семиклассников загадал ноль.
9. Злой волшебник пообещал Мефодию Буслаеву власть над миром, если он согнет из волшебной золотой проволоки 2019-тиугольник, длины всех сторон которого составляют нечетное число сантиметров. Волшебник дал ему моток такой проволоки длиной 20 м 8 см и сказал, что проволока обязательно должна быть использована полностью. Сможет ли Мефодий получить власть над миром?
10. Кузнечик прыгает по прямой, причем в первый раз он прыгнул на 1см в какую-то сторону, во второй раз – на 2см, в третий – на 3см, и так далее. Докажите, что он не сможет за 2018 прыжков вернуться в начальную точку.

**Запишите решение задачи 8**

Еще раз обращаем внимание, что в данной работе не требуется приводить решения всех задач. Для успешной сдачи нужно указать аналогии и записать решение лишь одной задачи.

## Решения проверочной работы с уровня 2 на уровень 3

Задачи 2 и 6 полностью аналогичны таким образом: монеты – гири. В обеих задачах требуется разделить их пополам. Также они схожи с задачей 10, в которой прыжок вправо – монета одному фальшивомонетчику, а прыжок влево – другому. Условие совпадения суммы денег эквивалентно условию попадания в начало координат. Задача 1.23 аналогична этим трем – 2, 6, 10.

номер в проверочной	номер в листках 1.1, 1.2
1,3	1.14,1.15,1.28
4	1.13
5	1.16
8	1.17,1.18
9	1.22

**Решение.** Задачи 8. Предположим противное, что 0 никто не загадал. Тогда пар соседей, у которых произведение отрицательно четно. Потому что количество пар «-» «+» ровно столько же, сколько пар «+» «-» (если идти, например, по часовой стрелке). А 10 – это 5 пар. Противоречие.  $\square$

### Дубль уровня 2

Второй уровень достаточно сложен. Поэтому скорее всего дубль этого листка потребуется.

### Листок 1. Четность. Уровень 2А

**Задача 1.31.** На рисунке прямая пересекает все стороны шестиугольника. Может ли прямая пересекать все стороны какого-нибудь 17-угольника, не проходя ни через одну его вершину?

**Задача 1.32.** По кругу зацеплены 17 шестерёнок: первая со второй, вторая с третьей . . . семнадцатая с первой. Могут ли они вращаться?

**Задача 1.33.** 100 фишек поставлены в ряд. Разрешено менять местами любые две фишки, стоящие через одну. Можно ли поставить фишки в обратном порядке?

**Задача 1.34.** Кузнечик прыгает по прямой, причем в первый раз он прыгнул на 1см в какую-то сторону, во второй раз – на 3см, в третий – на 5см, и так далее. Сможет ли он за 2011 прыжков вернуться в начальную точку?

**Задача 1.35.** В 7Ю учится 30 человек. На каждый день нужно назначить трое дежурных. Можно ли так составить график дежурства, чтобы через некоторое время каждый подежурил с каждым ровно один раз?

**Задача 1.36.** На шахматной доске стоят 17 пашек, расположенных симметрично относительно большой диагонали. Докажите, что есть пашка или пашки и на большой диагонали.

**Задача 1.37.** Витя и Коля купили несколько шоколадок «Вдохновение»<sup>6</sup> и решили их поделить между собой. Каждую плитку брал себе целиком либо Витя, либо Коля, либо они ломали ее пополам. После этого Витя заявил, что Коля взял себе на одну дольку больше. Могло ли такое быть?

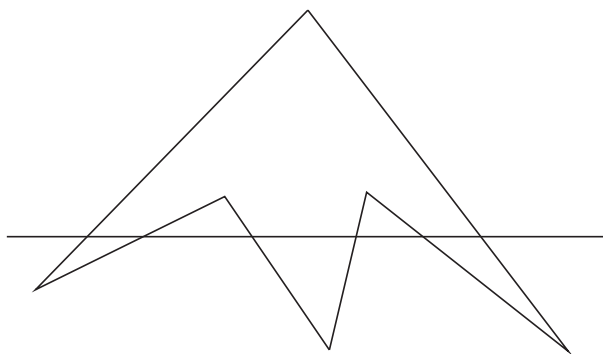


Рис. 1.1: Задача 1.31

<sup>6</sup>Шоколадка «Вдохновение» состоит из нескольких отдельных плиток, каждая из которых содержит две дольки.



### Листок 1. Четность. Переводная работа 2А. Аналогии.

Найдите аналогичные между собой и аналогичные задачам из листков 1 и 2 уровня. Обращаем внимание, что числа не обязательно совпадают. Обязательно установите аналогию, как это сделано на примерах.

**Задача 1А.** У двоечника Вани есть 2019 дневников. Он хочет разложить их по кругу так, чтобы количество двоек в лежащих рядом дневниках отличалось на 1. Сможет ли он это сделать?

**Задача 2А.** На далекой планете Занзибар живут многоножки. Как-то собрались вместе 2018 многоножек с количеством ножек от 1 до 2018. Причем известно, что у всех количество ножек разное. Они хотят разбиться на две команды для игры в крокет, чтобы общее количество ножек в командах было одинаково. Удается ли им это сделать?

**Задача 3А.** Михаил Владимирович написал на доске программу, содержащую 2019 строчек. После чего каждый из 20 учеников 7Ю класса вышел к доске (один или несколько раз) и дописал или стер одну строчку программы. В результате на доске оказалась записанная программа из 17 строчек. Докажите, что нечетное число раз к доске выходило четное число учеников.

**Задача 4А.** У Жени в 20 аквариумах живут 2019 креветок. На каждом аквариуме написано количество проживающих в нем креветок. Может ли произведение этих чисел быть нечетным числом? Если да, то приведите пример, если нет, то докажите, почему.

**Задача 5А.** Шахматный конь обошел все клетки шахматной доски  $7 \times 7$ . Мог ли он начать не с угловой клетки, а с соседней с угловой?

**Задача 6А.** У Ильи есть 2018 стальных шариков весом от 1г до 2018г. Он пытается разложить их на две чашки весов так, чтобы весы оказались в равновесии. Сможет ли он это сделать?

**Задача 7А.** Незнайка, вернувшись из путешествия, рассказывал, что в некоторой планетарной системе 2019 планет, причем каждая имеет межпланетное сообщение еще с тремя другими. Не заблуждается ли Незнайка?

**Задача 8А.** Лизочка играет в Зазеркалье. Каждый день она меняет имя. Если она сегодня звалась Лиза, то на следующий день – Лизавета. Если же сегодня она звалась Лизавета, то на следующий день она зовется Лизой. А еще она меняет цвет платья – два дня носит красное, а потом два дня – синее. 1 сентября она назвалась Лизой и пришла в белом, а на следующий день уже надела красное. В каком платье и с каким именем она встретит Новый Год?<sup>7</sup>

**Задача 9А.** Злой волшебник пообещал Мефодию Буслаеву власть над миром, если он соберет волшебные бусы из 49 камней, чередуя алмаз и бриллиант. Причем, чтобы алмазов было меньше, чем бриллиантов, а начинались бусы с алмаза. Сможет ли Мефодий получить власть над миром?

**Задача 10А.** Кузнечик прыгает по прямой, причем в первый раз он прыгнул на 1см в какую-то сторону, во второй раз – на 2 см, в третий – на 3 см, и так далее. Докажите, что он не сможет за 2010 прыжков вернуться в начальную точку.

**Задача 11А.** Докажите, что число способов расставить на шахматной доске  $2018 \times 2018$  2018 ферзей так, чтобы они не били друг друга, четно.

Запишите решения задач 8 и 3

---

### Уровень третий

Как показывает практика, до третьего уровня добираются далеко не все. Задания этого уровня достаточно сложны и требуют от школьников уже не только владения материалом, но и значительной доли фантазии и сообразительности.

---

<sup>7</sup>31 декабря

**Листок 1. Четность. Уровень 3.**

В этом разделе собраны задачи, для решения которых придется применить несколько идей, разобранных в листках уровней 1 и 2.

**Задача 1.38.** Лёша нарисовал на клетчатой бумаге замкнутый путь, идущий по линиям сетки. Докажите, что он нарисовал четное число единичных отрезков (единица – сторона клетки).

**Задача 1.39.** Улитка ползет по плоскости с постоянной скоростью. Каждые 15 минут она поворачивает под прямым углом. Докажите, что вернуться в исходную точку она сможет только через целое число часов.

**Задача 1.40.** Кузнечик прыгает а) по прямой на метр вправо или влево; б) по плоскости, каждым прыжком перемещаясь на метр на север, юг, запад или восток; в) по узлам клетчатой плоскости, каждым прыжком перемещаясь по диагонали одной из клеток. Может ли он вернуться в исходную точку через 2011 прыжков?

**Задача 1.41.** а) б) в) Может ли в условиях предыдущей задачи кузнечик вернуться в исходную точку через 2010 прыжков?

**Задача 1.42.** <sup>n</sup> Дорожки парка – линии квадратной сетки. Одна ячейка – 100 на 100 метров. Войти в парк можно через единственный вход, а выйти – через единственный выход. Петя и Вася делились впечатлениями по поводу прогулок и выяснили, что один прошел по дорожкам на 300 м меньше, чем другой, причем каждый обошел целое число дорожек (то есть, ступив на дорожку, проходил до конца без возвращений). Не ошиблись ли ребята?

**Задача 1.43.** К 17-значному числу прибавили число, записанное теми же цифрами, но в обратном порядке. Докажите, что хотя бы одна из цифр полученной суммы четна.

**Задача 1.44.** 17 девочек и 17 мальчиков встали в хоровод. Докажите, что у кого-то с обеих сторон стоят девочки.

**Задача 1.45.** Маша и ее друзья встали в круг. Оказалось, что у каждого из них оба соседа либо оба мальчика, либо девочки. Мальчиков среди Машиных друзей пять. А сколько девочек?

**Задача 1.46.** Во время перемирия за круглым столом разместились рыцари двух враждующих станов. Оказалось, что число рыцарей, справа от которых сидит враг, равно числу рыцарей, справа от которых сидит друг. Докажите, что число рыцарей делится на 4.

**Задача 1.47.** В классе 30 учеников. Они сидят за 15-ю партами. При этом оказалось, что ровно половина всех девочек сидит с мальчиками. Докажите, что их не удастся пересадить (за те же 15 парт) так, чтобы ровно половина всех мальчиков класса сидела с девочками.

**Задача 1.48.** Сто грустных мартышек кидают друг в друга одним кокосовым орехом. Грустная мартышка, попавшая орехом в другую грустную мартышку, становится веселой и больше не грустнеет. Мартышка, в которую попали, выбывает из игры. Каких мартышек больше было из игры – веселых или грустных – к моменту, когда в игре осталась одна мартышка?

## Подведение итогов и результаты.

Итак, подошло время подведения итогов. Поскольку это первый листок и школьники привыкают к новым правилам, к самостоятельной работе, то время, которое обычно отводится на листок – около полутора месяцев – примерно 12 полуторачасовых занятий. Детям заранее объявляется, когда наступает «час X», то есть день, когда задачи будут разобраны и их решения больше принимать не будут. Лучше не устраивать разбор всех задач в самом конце, а разбирать их по ходу дела. И школьникам будет проще воспринимать, и пользы от этого больше. Например, задачи листка 1 уровня рекомендуется разобрать, когда все уже готовы писать (или уже написали) проверочную работу на 1 уровень. Часть задач второго уровня можно разбирать в процессе, когда есть такая необходимость. Если в этом случае задача рассказывается тому, кто ее не смог решить, то задачу можно заменить на похожую. Главная цель – убедиться, что все ученики класса разобрались в решении всех задач 1 и 2 уровня.

В уровне 3 некоторые задачи могут остаться неразобранными, если нет людей, кто над ними думал. С другой стороны, если школьники выражают желание узнать решения задач, стоит им их рассказать.

Мы считаем, что обязательному разбору подлежат задачи из листка 3 уровня – 1.39, 1.43, 1.47 и 1.48.

Оценки. Если эти листки решаются в школе, а не на кружке, то по правилам школы необходимым является выставление оценок.

Школьники, сдавшие листок 1 уровня и написавшие переводную работу на 2 уровень, но далее не продвинувшиеся, получают оценку «3» или «удовлетворительно».

Школьники, сдавшие листок 2 уровня и написавшие переводную работу на 3 уровень, но далее не продвинувшиеся, получают оценку «4» или «хорошо».

Школьники, сдавшие листок 2 уровня и написавшие переводную работу на 3 уровень и решившие не менее 8 задач из листка уровня 3, получают оценку «5» или «отлично».

Дополнительную оценку «5» можно поставить тем, кто решил все задачи листка уровня 3.

При этом не имеет значения решил школьник задачи проверочной работы с первого или со второго раза.

## Решения некоторых задач.

**Задача 1.17** Полный комплект костей домино выложен в цепочку. На одном конце оказалась пятерка. А что могло оказаться на другом?

**Решение.** Рассмотрим множество половинок всех доминошек. Всего доминошек 28, при этом каждое число (от 0 до 6) присутствует ровно на 8 половинках. Заметим, что в выложенной цепочке все половинки кроме двух крайних разбиты на пары с одинаковыми цифрами. Это означает, что среди них любое число (от 0 до 6) встречается четное число раз. Тогда, если не рассматривать неизвестный конец, пятерка встречается на одном конце и еще на четном количестве мест, а все остальные числа встречаются на четном количестве мест. Отсюда однозначно следует, что на втором конце тоже пятерка. □

**Задача 1.18** Из полного набора домино, подаренного родителями, Ваня потерял все кости с «пустышками». Сможет ли теперь кто-нибудь выложить оставшиеся кости в ряд?

**Решение.** Не сможет. Предположим обратное: пусть кости разложены в ряд. Все половинки, кроме двух крайних, объединяются в пары с равными числами. На двух крайних числа могут быть как равные, так и нет (мы не можем сослаться в этом месте на предыдущую задачу, так как часть косточек потеряна). Следовательно, все числа, за исключением двух, заведомо появляются четное число раз. Но после потери всех пустышек осталось ровно по 7 экземпляров каждой из 6 цифр 1,2,3,4,5,6. □

**Задача 1.39** Улитка ползет по плоскости с постоянной скоростью. Каждые 15 минут она поворачивает под прямым углом. Докажите, что вернуться в исходную точку она сможет только через целое число часов.

**Решение.** Введем координаты. Оси направим параллельно и перпендикулярно движению улитки. А нулем обозначим ее начальное положение. Пусть за 15 минут улитка проползает 1. Тогда: за 15 минут улитка меняет четность одной координаты.

за 30 минут улитка меняет четность каждой координаты

за 45 минут четность хотя бы одной координаты останется измененной

за час четность каждой координаты не изменится

Потому что изменение координаты чередуется каждые 15 минут. Значит за нецелое количество часов вернуться назад (то есть не менять четность), нельзя.  $\square$

**Задача 1.43** К 17-значному числу прибавили число, записанное теми же цифрами, но в обратном порядке. Докажите, что хотя бы одна из цифр полученной суммы четна.

**Решение.** Предположим противное. Посмотрим на 9 цифру: она складывается сама с собой, поэтому у суммы в 9 разряде будет четное, если нет перехода с 8 разряда. Значит есть и переход с 10 на 11 разряд (потому что участвуют те же цифры). Следовательно четность 11 и 7 цифр одинакова. Поэтому у суммы в 7 разряде будет четное, если нет перехода с 6 разряда. Значит есть и переход с 6 на 7 разряд (потому что участвуют те же цифры). Следовательно четность 12 и 6 цифр одинакова. повторяя аналогичные рассуждения приходим к тому, что четность 17 и 1 цифр одинакова. Но на 1 и 17 местах цифры разной четности (иначе последняя цифра суммы была бы четной). Противоречие.  $\square$

**Задача 1.47** В классе 30 учеников. Они сидят за 15-ю партами. При этом оказалось, что ровно половина всех девочек сидит с мальчиками. Докажите, что их не удастся пересадить (за те же 15 парт) так, чтобы ровно половина всех мальчиков класса сидела с девочками.

**Решение.** Если половина всех девочек сидит с мальчиками, то остальная сидит с девочками, то есть по парам. Значит число девочек делится на 4. Для аналогичного условия для мальчиков требуется делимость их количества на 4. Но тогда сумма всех детей должна делиться на 4. Но 30 не делится на 4. Противоречие.  $\square$

**Задача 1.48** Сто грустных мартышек кидают друг в друга одним кокосовым орехом. Грустная мартышка, попавшая орехом в другую грустную мартышку, становится веселой и больше не грустнеет. Мартышка, в которую попали, выбывает из игры. Каких мартышек больше выбыло из игры – веселых или грустных – к моменту, когда в игре осталась одна мартышка?

**Решение.** Веселых меньше. Чтобы попасть в веселую, она перед этим должна была попасть в грустную. Значит веселых, в которых попали, меньше или равно количеству выбитых грустных. Равенства быть не может в силу нечетности количества выбитых.  $\square$

**Задача 1.19** На бирже в городе Нью-Васюки ежедневно в 10.00 проходят торги. Рано утром 1 января N-го года цены на акции фирм «Вася Inc.» и «Петя и Ко» были один и два рубля соответственно. Вечером 31 декабря того же года цены стали снова теми же. Лёша установил, что цены на акции этих фирм всегда были различны, каждый день изменялись и все время были либо один, либо два рубля. Докажите, что прошедший год был високосным.

**Решение.** Каждый день четность стоимостей акций меняется. Значит такой же стоимость может стать только через четное количество дней. Только в високосном году так бывает.  $\square$

**Задача 1.21** Можно ли выписать в ряд по одному разу цифры от 1 до 9 так, чтобы между единицей и двойкой, двойкой и тройкой, ..., восьмеркой и девяткой было нечетное число цифр?

**Решение.** Предположим, что у нас получилось их выписать в таком порядке. Тогда единица и двойка стоят на местах одинаковой четности. Ровно как и любые другие 2 соседних по величине числа. Значит все числа стоят либо на четных, либо на нечетных местах, чего быть, конечно, не может.  $\square$

**Задача 1.22** 7М класс упражняется в счете. Анатолий Анатольевич написал на доске число 2011. После чего каждый ученик вышел к доске, прибавил или вычел 17 или 13 и записал получившийся результат. Когда каждый из 20 учеников вышел по одному разу, на доске оказалось написано число 2012. Анатолий Анатольевич посмотрел на доску и расстроился. Докажите, что кто-то из учеников ошибся.

**Решение.** Каждая операция меняет четность числа. Через 20 операция четность не должна измениться, значит кто-то ошибся.  $\square$

**Задача 1.23** У Вини-Пуха было 2019 горшочков меда. Кристофер Робин принес или забрал 9 горшочков, что именно – Пух не помнит. На следующий день Кристофер Робин снова пришел и принес или забрал 8 горшочков, на следующий день – 7 и так далее. Наконец Кристофер Робин пришел и принес или забрал один горшочек. а) Могло ли у Винни-Пуха на 10 день оказаться горшочков столько же, сколько и было в самом начале, то есть 2019? б) Сколько вообще горшочков меда могло быть у Вини-Пуха на 10 день, если все это время он мед не ел?



**Решение.** а) за 10 дней четность количества горшочков менялась 5 раз, значит в конце должно было получиться четное количество, значит 2019 быть не могло.

б) можно получить любую четную сумму от  $2011 - 45 = 1966$  до  $2019 + 45 = 2056$ . Доказательство опустим.  $\square$

**Задача 1.11** На доске написано 2019 целых чисел. Всегда ли можно стереть одно из них так, чтобы сумма всех оставшихся чисел была четна?

**Решение.** Да, если сумма четна, то среди чисел есть хотя бы одно четное, которое можно зачеркнуть. В противном случае есть хотя бы одно нечетное, которое тоже можно зачеркнуть.  $\square$

**Задача 1.15** Вокруг круглой поляны растут 2019 сосен. Незнайка измерил высоту каждой из них и заявил, что любые две соседние сосны отличаются по высоте ровно на метр. Знайка тут же заметил, что Незнайка врет. Кому верить?

**Решение.** Высота всех деревьев, стоящих на нечетных местах одинакова. Но 1 и 2019 сосны стоят рядом, и их высоты не могут отличаться на 1. Значит Незнайка врет.  $\square$

## Глава 2

# Принцип Дирихле

## Теоретический Листок. Принцип Дирихле

*Если у тебя в двух карманах три копейки, то в одном из них меньше 2 копеек.*

Народная мудрость

При решении самых различных задач часто бывает полезен так называемый «принцип Дирихле», названный в честь немецкого математика Петера Густава Лежена Дирихле (1805 – 1859); по-другому этот принцип еще называют «принципом ящиков» или «принципом голубятни». Этот принцип часто является хорошим средством при доказательстве важнейших теорем в теории чисел, алгебре, геометрии. Возможно, вы уже слышали про этот принцип. И скорее всего, в первый раз вы услышали его формулировку в таком шутиливом виде: "Пусть есть  $n$  клеток, в которых сидят не менее  $n + 1$  кроликов. Тогда найдется клетка, в которой сидит не меньше двух кроликов." Доказательство этого факта чрезвычайно просто. Предположим, что это не так. Т.е. в каждой клетке сидит не более одного кролика (один или ни одного). Тогда, так как клеток  $n$ , то в клетках сидит не более, чем  $n$  кроликов, что противоречит условию. Обратите внимание, что мы не можем указать, в какой именно клетке сидит больше одного кролика (даже не можем сказать, **НА** сколько больше), мы можем только утверждать, что такая клетка обязательно есть. Полученных сведений совсем мало, однако, и на основании таких, казалось бы, незначительных сведений можно делать значительные выводы. Разберем на примерах:

**Задача 2.1.** В коробке лежат шарики двух цветов. Сколько шариков достаточно наугад вынуть из коробки, чтобы среди них заведомо нашлись два одного цвета?

**Решение.** Понятно, что двух шариков недостаточно. Может оказаться один черный, другой белый. Вынем три шарика. Т.к. цвета всего два, то, очевидно, что два шарика будут одного цвета. Т.е. достаточно вынуть три шарика.<sup>1</sup> □

**Задача 2.2.** В лесу растет миллион ёлок. Известно, что на каждой из них не более 400 000 иголок. Докажите, что в лесу найдутся по крайней мере три ёлки с одинаковым числом иголок.

**Решение.** Будем рассаживать наших «кроликов-ёлок» по «клеткам» с номерами от 0 до 400 000. В одну «клетку» будем «сажать» те ёлки, у которых число иголок равно номеру клетки. Задача будет решена, если мы докажем, что найдет «клетка», в которой «сидит» не менее трех ёлок. Всего «клеток» 400 001 штука. И если бы в каждой из них сидело не более двух «кроликов – ёлок», то всего ёлок было бы не более, чем  $2 \times 400001 = 800002$  штук. А это не так. Следовательно, найдется хотя бы одна «клетка» в которой не менее 3 «кроликов». <sup>2</sup> □

Иногда принцип рассуждений, использованный в предыдущей задаче, еще называют *обобщенным принципом Дирихле*: Если в  $N$  клетках сидит не менее  $(k \times N) + 1$  кролик, то найдется клетка, в которой сидит не менее  $k + 1$  кролика.

Заметим, что при  $k = 1$  обобщенный принцип Дирихле превращается в обычный принцип Дирихле.

**Упражнение 12.** Закончите предложения:

- а) В пяти тарелках лежат шесть конфет. Тогда найдется тарелка, в которой лежит ...
- б) В 17 чуланах живут 19 привидений. Значит найдется чулан, в котором живет ...
- в) В 10 спичечных коробках лежит 21 монетка. Тогда найдется коробок, в котором лежит ...

**Упражнение 13.** 25 голубей рассадили по 7 клеткам. Укажите, какие из приведенных ниже утверждений всегда верны:

- а) «найдется клетка, в которой 4 голубя»; б) «найдется клетка, в которой не менее 4 голубей»; в) «найдется клетка, в которой больше 4 голубей»; г) «найдется клетка, в которой 3 голубя»;
- д) «найдется клетка, в которой меньше 3 голубей»; е) «найдется клетка, в которой не более 3 голубей».

<sup>1</sup>Вытаскивая три шарика, мы будем уверены, что сможем выбрать из них два одного цвета, но НЕ ЗНАЕМ, КАКОГО! – черного или белого.

<sup>2</sup>Мы доказали, что таких ёлок не менее трех, но мы не знаем точно, сколько их. Может быть, 5, может быть, 100, а может быть и весь миллион. Более того, мы не знаем, сколько конкретно, иголок на них. Может, 5, может, 400 000, а может и ни одной!



## Листок 1. Принцип Дирихле

*Если ты в своем кармане ни копейки не нашел,  
загляни в карман к соседу – очевидно, деньги там!*

Григорий Остер "Вредные советы"

**Задача 2.3.** ° В ящике лежат шары: 5 красных, 7 синих и 1 зеленый. Сколько шаров надо вынуть, не глядя, чтобы наверняка достать 2 шара одного цвета?

**Задача 2.4.** На Марс привезли 51 ящик с приборами пяти видов. Верно ли, что обязательно приборов какого-то вида было а) не более 10 ящиков, б) не менее 10 ящиков?

**Задача 2.5.** ° Вася в течение 3 дней съел 100 шоколадок. Обязательно ли найдется ли день, в который Вася съел а) не менее 34 шоколадок б) не более 33 шоколадок?

**Задача 2.6.** а) В темной комнате стоит шкаф, в ящике которого лежат 24 черных и 24 синих носка. Сколько носков следует взять из шкафа, чтобы из них заведомо можно было составить по крайней мере одну пару носков одного цвета? (речь идет о минимальном числе носок) б) Сколько надо взять носков, чтобы заведомо можно было составить хотя бы одну пару носков черного цвета? в) Как изменится решение задачи, если в ящике лежат 12 пар черных и 12 пар синих ботинок и требуется составить пару одного цвета (как в пункте а) и пару черного цвета (как в пункте б)?

**Задача 2.7.** Белых и черных кроликов рассаживали по клеткам. Белых было больше, чем черных. Докажите, что найдется клетка, в которой белых кроликов больше, чем черных.

**Задача 2.8.** В коробке лежат карандаши: 7 красных и 5 синих. В темноте берут карандаши. Сколько надо взять карандашей, чтобы среди них было не меньше 2-х красных и не меньше 3-х синих?

**Задача 2.9.** В ящике лежат цветные карандаши: 10 красных, 8 синих и 4 желтых. В темноте берем из ящика карандаши. Какое наименьшее число карандашей надо взять, чтобы среди них заведомо было: а) не менее 4-х карандашей одного цвета? б) не менее 6-ти карандашей одного цвета? в) хотя бы 1 карандаш каждого цвета? г) не менее 6-ти синих карандашей?

**Задача 2.10.** Докажите, что среди любых  $n$  чисел найдутся два, разность<sup>3</sup> которых делится на  $n - 1$ .

**Задача 2.11.** В классе 40 человек. В диктанте Степа сделал 13 ошибок, а остальные сделали меньше. Обязательно ли найдутся ли среди них а) 3 человека, б) 4 человека, сделавших одинаковое число ошибок?

**Задача 2.12.** У человека на голове не более 400000 волос, в Москве более 8 млн. жителей. Докажите, что найдутся 20 москвичей с одинаковым числом волос.

**Задача 2.13.** О населении города Поданк известно следующее:  
а) Среди жителей Поданка не найдется двух с равным числом волос на голове.  
б) Ни у одного жителя Поданка на голове не растет ровно 518 волос.  
в) Жителей в Поданке больше, чем волос на голове любого из них.  
Какова может быть наибольшая численность населения г. Поданка?

*Напоминаем, что получения задач следующего уровня необходимо выполнить проверочную работу, включающую задачи, похожие на приведенные выше. Задачи, отмеченные значком п, приниматься в устном форме не будут. В данном случае это единственная задача 2.5. Решение таких задач надлежит выполнять в письменном виде дома и принести на занятие спецматематики. Рекомендуем решать задачи по порядку, поскольку зачастую в решении следующей задачи можно использовать идею из предыдущей.*

*Желаем успеха!*

<sup>3</sup>Здесь вам понадобится понятие остатка при делении целых чисел.



### Листок 1. Принцип Дирихле. Проверочная работа.

**Задача 2.14.** Докажите, что среди любых шести человек всегда найдутся либо трое попарно знакомых, либо трое попарно незнакомых.

**Задача 2.15.** Каждый из 17 ученых переписывается с остальными. В их переписке речь идет лишь о трех темах. Каждая пара ученых переписывается друг с другом только по одной теме. Докажите, что не менее трех ученых переписываются друг с другом по одной и той же теме.

**Задача 2.16.** В погребе стоит 20 одинаковых банок с вареньем. В 8-ми банках клубничное варенье, в 7-ми – малиновое, в 5-ти – вишневое. Каково наибольшее число банок, которые можно в темноте вынести из погреба с уверенностью, что там осталось еще хотя бы 4 банки одного сорта варенья и 3 банки другого?

**Задача 2.17.** За круглым столом сидят 25 детей и 25 преподавателей и грустно смотрят друг на друга. а) Докажите, что есть ребенок, который сидит точно напротив преподавателя. б) Докажите, что есть несчастный, оба соседа которого – дети.

**Задача 2.18.** \*\*В классе 25 человек. Известно, что среди любых трех из них есть двое друзей. Докажите, что есть ученик, у которого не менее 12 друзей.



## Листок 2. Принцип Дирихле.

*«В три клетки нельзя посадить четырех зайцев так, чтобы в каждой клетке сидел ровно один заяц. Это следует из принципа Дирихле...»*

*Заменим ученых кроликами и посадим их в ящики...»*

Из школьных записей

В предыдущих задачах было ясно из условия, что именно надо считать «клетками», а что – «кроликами». Обычно угадать «кроликов» несложно. Скорее всего, это те объекты, про которые и надо что-то выяснить, хотя это и не всегда. Иногда надо рассматривать не все предложенные объекты, а только часть из них, или, наоборот, добавить к ним еще несколько и рассматривать все полученное множество. Перед решением каждой из следующих задач мы попросим вас указать, что именно вы считаете «клетками», а что – «кроликами»

**Задача 2.19.** Докажите, что равносторонний треугольник нельзя покрыть двумя меньшими равносторонними треугольниками.

**Задача 2.20.** <sup>n</sup> В спичечных коробках находятся 50 тараканов. Докажите, что либо в одном коробке живут 8 тараканов, либо для выкидывания коробков по одному в день потребуется больше недели.

**Задача 2.21.** По краю круглого стола расставлены таблички с фамилиями дипломатов, участвующих в переговорах о борьбе с мировым терроризмом. Оказалось, что дипломаты не посмотрели на таблички и каждый сел не на свое место. Можно ли повернуть стол так, чтобы хотя бы два дипломата сидели против своих табличек?

**Задача 2.22.** \*Докажите, что среди чисел, записываемых одними единицами, найдется число, делящееся на 2007.

**Задача 2.23.** \*Карабас Барабас пообещал Буратино открыть тайну Золотого ключика, если тот составит из чисел 0, 1, 2 волшебный квадрат  $6 \times 6$  так, что в каждой строке, каждом столбце и двух диагоналях сумма чисел была различна. Помогите Буратино!

**Задача 2.24.** \*Дано 11 различных натуральных чисел, не превосходящих 20. Докажите, что из них можно выбрать два, одно из которых делится на другое.

**Задача 2.25.** Докажите, что среди любых трех целых чисел найдется два, сумма которых четна.

**Задача 2.26.** \*\* Докажите, что среди любых 10 целых чисел найдутся одно или несколько, сумма которых делится на 10.

**Задача 2.27.** Докажите, что среди любого количества человек найдутся двое, имеющих одинаковое (возможно, нулевое) число знакомых среди этих человек.

**Задача 2.28.** Александр Кириллович предложил ученикам 7Ю класса написать два теста, за каждый из которых можно было получить оценку 1, 2, 3, 4 или 5. Верно ли, что обязательно найдутся два ученика получившие одинаковые оценки по обоим тестам, если в 7Ю учится 26 человек?

**Задача 2.29.** В ковре размером  $4 \times 4$  метра мошь проела 15 дырок. Докажите, что из него можно вырезать коврик размером  $1 \times 1$  метр, не содержащий внутри себя дырок. (Дырки считайте точечными.)

*Напоминаем, что получения задач следующего уровня необходимо выполнить проверочную работу, включающую задачи, похожие на приведенные выше. Задачи, отмеченные значком n, приниматься в устном форме не будут. В данном случае это единственная задача 2.20. Решение таких задач надлежит выполнить в письменном виде дома и принести на занятие спецматематики. Рекомендуем решать задачи по порядку, поскольку зачастую в решении следующей задачи можно использовать идею из предыдущей.*

*Желаем успеха!*

**Листок 2.2. Принцип Дирихле. Проверочная работа. Аналогии.**

И снова аналогии! В это раз в этом разделе нет оригинальных задач. Поэтому решать их вам не придется. Для выполнения этого задания вам нужно только найти задачи, аналогичные приведенным выше и описать соответствие.

**Задача 2.30.** В кружок ходит 17 школьников. На дом им задали 3 задачи. Как потом оказалось, каждые два школьника посоветовались друг с другом ровно по одной задаче. Докажите, что найдется три кружковца, посоветовавшиеся попарно друг с другом по одной и той же задаче.

**Задача 2.31.** На бумаге нарисованы шесть точек. Каждые две из них соединены либо красным отрезком, либо синим. Докажите, что найдется либо красный треугольник с вершинами в нарисованных точках, либо синий.

**Задача 2.32.** В соревнованиях по вольной борьбе участвовало 12 человек. Каждый участник должен был встретиться с каждым из остальных по одному разу. Докажите, что в любой момент соревнования имеются два участника, прошедшие одинаковое число схваток.

**Задача 2.33.** Мальчики танцевали вальс с девочками. После танца девочки встали в круг, и к каждой из них подошел мальчик. Оказалось, что не составила ни одна танцевальная пара. Могут ли мальчики так перейти по кругу, чтобы составились хотя бы две танцевальные пары?

**Задача 2.34.** В одной пещере живут шесть гномов. Каждый день каждые два из них либо ссорятся либо снова мирятся. Докажите, что в любой день найдутся либо трое попарно помирившихся гнома, либо трое попарно поссорившихся.

**Задача 2.35.** 17 кумушек обсуждают по телефону три темы. Причем любые две обсуждают всегда только одну неизменную тему. Докажите, что найдутся трое, обсуждающие одну и ту же тему.

**Задача 2.36.** В классе 25 человек. Докажите, что обязательно найдутся два человека, имеющих одинаковое количество друзей в этом классе.

**Задача 2.37.** Среди шести бульбозавров любые два могут договориться друг с другом на одном из двух языков: на бульбо-языке или на завро-языке. Докажите, что найдутся три бульбозавра, говорящих на одном и том же языке.

### Листок 3. Принцип Дирихле.

**Задача 2.38.** Докажите, что среди чисел, записываемых одними единицами, найдется число, делящееся на 2011.

**Задача 2.39.** Карабас Барабас пообещал Буратино открыть тайну Золотого ключика, если тот составит из чисел 0, 1, 2 волшебный квадрат  $6 \times 6$  так, что в каждой строке, каждом столбце и двух диагоналях сумма чисел была различна. Помогите Буратино!

**Задача 2.40.** Дано 11 различных натуральных чисел, не превосходящих 20. Докажите, что из них можно выбрать два, одно из которых делится на другое.

До сих пор мы рассматривали применение принципа Дирихле для дискретных величин (то есть величин, которые можно сосчитать). Однако этот принцип точно так же можно использовать и для непрерывных величин (то есть величин, которые можно измерить). Например:

*Если  $N$  кроликов съели  $M$  кг травы, то какой-то кролик съел не меньше  $\frac{M}{N}$  кг и какой-то съел не больше  $\frac{M}{N}$  кг.  
(А если кто-то съел больше среднего, то кто-то съел меньше среднего)*

Заметим, что в последней формулировке кролики играют роль клеток, а трава - роль кроликов, сидящих в этих клетках.

**Задача 2.41.** Пусть сумма  $N$  чисел равна  $A$ . Докажите<sup>4</sup>, что среди этих чисел найдется число а) не больше  $\frac{A}{N}$  б) не меньше  $\frac{A}{N}$ .

**Задача 2.42.** Семья из семи человек ела торт. Его разделили на 7 частей разного размера. Докажите, что кто-то съел не меньше  $\frac{1}{7}$  торта.

**Задача 2.43.** Четырехугольник площади  $S$  четырьмя прямыми разбили на 9 четырехугольников. Докажите, что найдется четырехугольник, площадь которого не меньше  $\frac{S}{9}$ .<sup>5</sup>

**Задача 2.44.** На плоскости проведено 12 прямых, проходящих через одну точку. Докажите, что какие-то две из них образуют угол не больше  $15^\circ$ .

**Задача 2.45.** Докажите, что у часов с часовой, минутной и секундной стрелкой в любой момент времени найдутся стрелки, угол между которыми не больше  $120^\circ$ .

**Задача 2.46.** \*На отрезке длиной 20 см отмечено 19 точек. Докажите, что найдется интервал длиной не меньше 1 см, не содержащий ни одной выделенной точки.<sup>6</sup>

**Задача 2.47.** \*На планете Зям-Лям в звездной системе Тау Кита суша занимает больше половины площади всей планеты. Докажите, что таукитяне могут прорыть туннель через центр планеты и соединяющий сушу с сушей.<sup>7</sup>

**Задача 2.48.** \*\*Пусть в предыдущей задаче планета не обязательно имеет форму шара. Верно ли тогда утверждение про туннель?

В предыдущих задачах только стоило догадаться, к чему именно надо применить принцип Дирихле и задача “решалась”. Но часто в одной задаче приходится применять этот принцип не один раз, а то и применять, используя разные “клетки”, т.е. разные способы разбиения на группы предметов, описываемых в задаче.

*В этот раз уровень 3 является не последним. Выполнение задач этого уровня дает возможность получить 4+ и возможность сдавать задачи четвертого уровня. Задача 2.48 не является обязательной для решения.*

*Желаем успеха!*

<sup>4</sup> Доказательство в этой задаче как раз и является доказательством непрерывного принципа Дирихле.

<sup>5</sup> Огромная просьба: не нужно сводить решение этой задачи к фразе: «все следует из принципа Дирихле». Хотелось бы услышать доказательство.

<sup>6</sup> интервал – это «отрезок без концов»

<sup>7</sup> Будем считать, что техника у них для этого достаточно развита, а планета имеет форму шара.



## Листок 2.4. Принцип Дирихле. Проверочная работа.

**Задача 2.49.** \*Докажите, что среди любых 10 целых чисел найдутся одно или несколько, сумма которых делится на 10.

**Задача 2.50.** \*\*Две вершины выпуклого 2005-угольника будем называть далекими, если диагональ, соединяющая их, делит этот 2005-угольник на 1004-угольник и 1003-угольник. Докажите, что если все вершины исходного 2005-угольника раскрасить в 3 цвета, то найдутся либо 2 одноцветные соседние вершины, либо 2 одноцветные далекие вершины.

**Задача 2.51.** \*Какое наименьшее количество карточек «Спортлото – 6 из 49» нужно купить, чтобы наверняка хоть на одной из них был угадан хоть один номер? <sup>8</sup>

**Задача 2.52.** \*Каждая клетка таблицы  $2007 \times 2007$  покрашена в один из 2006 цветов. За ход можно взять строку или столбец и, если там есть две клетки одного цвета, перекрасить эту строку или столбец в этот цвет. Можно ли за несколько ходов покрасить всю таблицу в один цвет?

**Задача 2.53.** \*В клетках шахматной доски  $8 \times 8$  записаны числа 1, 2, 3, ..., 62, 63, 64. Докажите, что найдутся две такие соседние клетки, что числа, записанные в них, отличаются не меньше, чем на 9. (Соседними считаются клетки, имеющие общую сторону или вершину).

**Задача 2.54.** \*\*В лесу живут 20 гномов, каждый из которых дружит по крайней мере с 14-ю другими гномами. Обязательно ли найдутся 4 гнома, которые все дружат между собой?

**Задача 2.55.** \*\*На столе лежат 50 правильно идущих часов со стрелками. Докажите, что в некоторый момент сумма расстояний от центра стола, до концов минутных стрелок будет больше, чем сумма расстояний от центра стола до центров часов.

**Задача 2.56.** \*\*Комиссия из 60 человек провела 40 заседаний, причем на каждом присутствовало ровно 10 членов комиссий. Докажите, что какие-то два члена комиссии встречались на её заседаниях по крайней мере дважды.

**Задача 2.57.** \*\*На плоскости отмечены 6 точек так, что любые три из них образуют треугольник со сторонами разной длины. Докажите, что найдутся два треугольника таких, что наименьшая сторона первого одновременно является наибольшей стороной второго.

**Задача 2.58.** \*\* Узлы бесконечной клетчатой бумаги раскрашены в два цвета. Докажите, что существуют две вертикальные и две горизонтальные прямые, на пересечении которых лежат точки одного цвета.

---

<sup>8</sup>Игра «Спортлото» состоит в том, что в таблице чисел от 1 до 49 следует зачеркнуть 6 любых номеров, после чего происходит розыгрыш – объявляются выигрышными какие-то 6 номеров, если происходит совпадение – этот номер угадан.

## Ответы к упражнениям

- 12 а) ... не менее двух конфет; б) не менее двух привидений; в) не менее трех монеток.  
13. всегда верны только б) и е).

## Решения некоторых задач

**Задача 2.20** <sup>n</sup> В спичечных коробках находятся 50 тараканов. Докажите, что либо в одном коробке живут 8 тараканов, либо для выкидывания коробков по одному в день потребуется больше недели.

**Решение.** Предположим противное: в каждом коробке живут не более 7 тараканов и таких коробков не более семи (поскольку в неделе семь дней). Тогда в этих коробках живет максимум  $7 \times 7 = 49$  тараканов, но у нас их больше. Противоречие. Следовательно, наше предположение неверно и либо в одном коробке живут 8 или более тараканов, либо для выкидывания коробков по одному в день потребуется больше недели.  $\square$

**Задача 2.5** <sup>n</sup> Вася в течение 3 дней съел 100 шоколадок. Обязательно ли найдется ли день, в который Вася съел а) не менее 34 шоколадок б) не более 33 шоколадок?

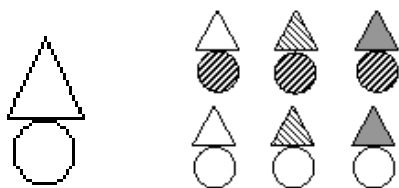
**Решение.** а) Предположим противное: такого дня не найдется. Это означает, что в каждый из трех дней Вася съедал менее 34 шоколадок, то есть 33 или менее. Тогда за три дня он мог съесть максимум  $3 \times 33 = 99$  шоколадок, а он съел больше – 100. Противоречие. Следовательно, наше предположение неверно и такой день найдется.

б) Предположим противное: такого дня не найдется. Это означает, что в каждый из трех дней Вася съедал более 33 шоколадок, то есть 34 или более. Тогда за три дня он мог съесть минимум  $3 \times 34 = 102$  шоколадок, а он съел меньше – 100. Противоречие. Следовательно, наше предположение неверно и такой день найдется.  $\square$

## Глава 3

# Комбинаторика

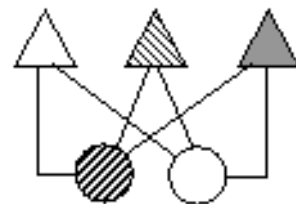
## Теоретический Листок. Комбинаторика.



Раз, два, три, четыре, пять, шесть, семь, восемь, девять, десять – можно все пересчитать, или же измерить, взвесить...

Считалка из учебника математики для 1 класса

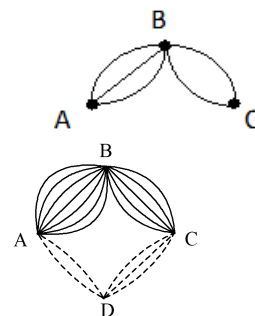
Пусть у нас есть три треугольника и два круга. Мы хотим составить фигурку такую как на рисунке сверху. Сколькими способами мы можем это сделать? Понятно, что выбор круга и выбор треугольника никак не зависят друг от друга. С любым из кругов можно выбрать любой из треугольников. Возможные комбинации приведены на рисунке справа. Итого 6 вариантов. Этот же факт можно проиллюстрировать по-другому – см. второй рисунок справа. Те фигурки, которые можно поставить в пару, соединены линией. Сколько линий, столько и вариантов. И наконец третья иллюстрация – треугольник мы можем выбрать тремя способами, а круг – двумя, следовательно, всего  $3 \times 2 = 6$  вариантов. Итак, окончательный ответ: 6 способов.



**Задача 3.1.** Из города А в город В ведут 3 дороги, а из города В в город С – 2 дороги. Сколькими способами можно проехать из А в С?

**Решение.** Из города А в город В ведут 3 дороги, а из города В в город С – 2 дороги. Сколькими способами можно проехать из А в С? Решение. Понятно, что выбор дороги между А и В никак не связан с выбором дороги между В и С. Поэтому из А в В мы можем доехать тремя способами, а из В в С – двумя способами. Поэтому всего способов –  $3 \times 2 = 6$ . Ответ: 6 способов.<sup>1</sup> □

**Упражнение 14.** а) Из города А в город В ведут 7 дорог, а из города В в город С – 5 дорог. Сколькими способами можно проехать из А в С?  
б) Построили новый город D и из него 2 дороги ведут в А и 3 в С. Сколькими способами теперь можно проехать из А в С?



**Упражнение 15.** Кощей Бессмертный, желая сделать Бабе Яге подарок на Новый Год, приобрел кучу метелок трех сортов, ступы 5 сортов и головные платки 7 расцветок. Он хочет каждый Новый Год дарить Яге 1 метлу, 1 ступу и 1 платок, но так, чтобы ни один год наборы подарков не совпадали. На сколько лет ему хватит приобретенных товаров?<sup>2</sup>

### Основное правило комбинаторики.

Если какое-то действие можно разбить на два, и первое из них можно осуществить  $n$  способами, а второе –  $m$  способами, то все действие можно осуществить  $m \times n$  способами.

**Упражнение 16.** Переформулируйте предыдущее упражнение как задачу про дороги.

**Задача 3.2.** Монету бросают трижды. Сколько различных последовательностей орлов и решек можно получить?

**Решение.** Для каждого из трех бросков имеется только два варианта: «орел» или «решка». Результат каждого броска не зависит друг от друга. Поэтому Всего вариантов последовательностей восемь.<sup>3</sup>

Ответ: 8 последовательностей. □

<sup>1</sup>Заметим, что эта задача полностью аналогична предыдущей задаче про выбор треугольников и кружков: можно, например, считать, что дороги из А в В помечены одним из треугольников и выбор дороги означает выбор треугольника, а дороги из В в С помечены кругами и выбор дороги означает выбор одного из двух кругов.

<sup>2</sup>Считайте, что количество приобретенных предметов сколь угодно велико.

<sup>3</sup>При желании их все можно выписать

**Упражнение 17.** Переформулируйте предыдущую задачу как задачу про дороги.

**Упражнение 18.** А если монету в предыдущей задаче бросать сто раз?

**Задача 3.3.** Назовем число симпатичным, если в его записи встречаются только нечетные цифры. Сколько существует симпатичных пятизначных чисел?

**Решение.** Если цифры могут быть только нечетные, то вариантов для каждой позиции пять (1, 3, 5, 7 и 9). Выбор каждой цифры независим. Поэтому вариантов  $5^5$ .

Ответ: Всего  $5^5$  симпатичных чисел. □

**Задача 3.4.** Сколько всего пятизначных чисел, которые не симпатичные, но и не неинтересные?

**Решение.** Число симпатичное, если в его записи встречаются только нечетные цифры, число неинтересное, если в его записи присутствуют только четные цифры. Поскольку каждая цифра либо четная, либо нечетная, то число не может быть одновременно симпатичным и неинтересным. Поэтому, если мы из общего количества пятизначных чисел вычтем количество симпатичных и количество неинтересных, то получим искомое. Всего пятизначных чисел 90000. Это можно сосчитать двумя способами: 1) всего натуральных чисел от 1 до 99999 (последнее пятизначное число) – 99999, однако числа от 1 до 9999 (всего 9999 штук) – не более, чем четырехзначные;

2) в пятизначном числе на первом месте может стоять любая цифра кроме 0, поэтому вариантов – 9, а на каждом из оставшихся четырех местах – любая из 10 цифр, поскольку выбор каждой цифры осуществляется независимо, то всего  $9 \times 10^4 = 90000$  вариантов.

Сосчитаем теперь количество симпатичных чисел. Поскольку имеется пять нечетных цифр – 1, 3, 5, 7, 9 и любая из них может стоять на любом из пяти мест, то всего симпатичных пятизначных чисел  $5^5$ . Неинтересные числа: имеется также пять четных цифр – 0, 2, 4, 6, 8, но на первом месте может стоять лишь одна из четырех (число не может начинаться с нуля). Поэтому вариантов неинтересных пятизначных чисел  $4 \times 5^4$ . Итак, искомое количество равно  $90000 - 5^5 - 4 \times 5^4 = 90000 - 5^4 = 90000 - 9 \times 625 = 90625 - 6250 = 83275$  □

Во многих комбинаторных задачах для записи результата потребуется понятие *факториала*:

*Факториалом натурального числа  $N$  называется произведение всех целых чисел от 1 до  $N$ , читается “эн факториал”.*

$$N! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times \cdots \times (N-1) \times N$$

Хотя факториал определен только для натуральных  $N$ , удобно ввести понятие  $0!$  – будем считать его равным единице.

**Упражнение 19.** Чему равно а)  $19! \times 20$ ; б)  $6! \times 56$ ; в)  $N! \times (N+1)$ ?

**Упражнение 20.** Чему равно а)  $\frac{101!}{99!}$ ; б)  $\frac{N!}{(N-1)!}$ ;

**Задача 3.5.** Сколькими способами можно расположить а) 11 человек в шеренгу; б) 11 разноцветных бусин по кругу? в) Укажите отличия между пунктами а) и б).

В предыдущей задаче рассматривается число способов, которыми можно расставить в шеренгу 11 человек. Такое расположение называется *перестановкой*. Таким образом, в этой задаче ищется число перестановок 11 человек. Число перестановок из  $N$  предметов обозначается  $P_N$ .

**Задача 3.6.** Выведите формулу для  $P_N$ .

**Листок 1. Комбинаторика.**

*В этот раз задачи листочка каждого уровня рассчитаны на одно занятие. Другими словами, сдавшие 1 уровень и решающие второй, имеют времени только одно занятие – сегодняшнее. Сдающие также и первый имеют в своем распоряжении два занятия – это и еще следующее. После чего все задачи обоих уровней будут разобраны.*

**Задача 3.7.** Сколько диагоналей и сторон у выпуклого а) 23-угольника; б)  $n$ -угольника?

**Задача 3.8.** Сколько есть возможностей поставить на шахматную доску

а) белую и черную б) две черных ладьи так, чтобы они не били друг друга? в) Укажите отличия между пунктами а) и б).

**Задача 3.9.** Сколько существует шестизначных чисел с разными цифрами?

**Задача 3.10.** У нас есть 13 шариков – 12 черных и 1 зеленый. Найдите число а) всех перестановок; б) всех различных перестановок.<sup>4</sup>

**Задача 3.11.** Та же задача, что и предыдущая, но не один зеленый шарик, а два (всего получается 11 черных и 2 зеленых).

**Задача 3.12.** Шася знает 14 дебютов, 11 миттельшпилей и 13 эндшпилей. Сколь разнообразна Шашина игра в шахматы?<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup>Одинаковыми считаются те, при которых шары с одинаковым номерами одного цвета.

<sup>5</sup>Дебют – начало партии, миттельшпиль – середина, эндшпиль – окончание.

### Листок 1. Комбинаторика. Проверочная работа.

**Задача 3.13.** Будем считать число неинтересным, если в его записи присутствуют только четные цифры. Сколько всего неинтересных пятизначных чисел?

**Задача 3.14.** В алфавите племени Мумба–Бумба всего три буквы: Б, У и М. Словом считается любая не пустая последовательность не более чем из четырех букв. Сколько всего слов в языке племени Мумба–Бумба?

**Задача 3.15.** 22 лампочки расположены в ряд. Сколькими способами мы можем зажечь две из них?

**Задача 3.16.** Сколькими способами можно выбрать в племени 7Ю класса из 20 человек а) вождя и его советника; б) двух дозорных?

**Задача 3.17.** В Доминандии, как и у нас, есть игра в домино, только точек на домино не от 0 до 6, а от 0 до 2011. Сколько всего доминошек в этой игре?

**Задача 3.18.** Сколько в мире десятизначных чисел, у которых все цифры разные?

**Задача 3.19.** Чему равно а)  $17! \times 18$ ; б)  $8! \times 90$ ; в)  $(N-2)! \times (N-1)$ ?

**Задача 3.20.** Вычислите а)  $\frac{2011!}{2010!}$ ; б)  $\frac{(N+1)!}{(N-1)!}$ ; в)  $\frac{(N+1)!-N!}{N}$

**Задача 3.21.** Может ли число  $N!$  оканчиваться а) одной пятеркой; б) одной восьмеркой; в) семью нулями?

### Решение некоторых задач проверочной

**Задача 3.20** Вычислите а)  $\frac{2011!}{2010!}$ ; б)  $\frac{(N+1)!}{(N-1)!}$ ; в)  $\frac{(N+1)!-N!}{N}$

**Решение.** в)  $\frac{(N+1)!-N!}{N} = \frac{N! \times (N+1) - N!}{N} = \frac{((N+1)-1)N!}{N} = \frac{N \times N!}{N} = N!$  □

**Задача 3.21** Может ли число  $N!$  оканчиваться а) одной пятеркой; б) одной восьмеркой; в) семью нулями?

**Решение.** а) Если число оканчивается пятеркой, то по признаку делимости на 5 оно должно делиться на 5. Следовательно, если какой-то факториал оканчивается на 5, то среди его множителей должна быть пятерка. Поэтому это не может быть менее, чем  $5!$ . Но  $5!$  оканчивается нулем и, соответственно, последняя цифра равна нулю во всех последующих факториалах.

б) Из пункта а) следует, что все факториалы больше  $5!$  не могут быть искомыми, так как не оканчиваются на 8. Поэтому достаточно проверить оставшиеся первые 5 факториалов:  $0! = 1$ , не подходит;  $1! = 1$  – не подходит;  $2! = 2$  – не подходит;  $3! = 6$  – не подходит;  $4! = 24$  – не подходит. Тем самым доказано, что такого быть не может. в) Заметим, что ноль на конце дает произведение 5 и 2. Поскольку в разложении любого факториала пятерок меньше, чем двоек, то количество нулей на конце совпадает с количеством пятерок в разложении. Посмотрим, какие числа могут давать эти пятерки: 5; 10; 15; 20 – по одной пятерке; 25 – две пятерки. Поэтому факториалы от  $0!$  до  $24!$  имеют на конце не более 4 нулей, а от  $25!$  до  $29!$  – ровно 6. Факториалы от  $30!$  до  $34!$  имеют ровно 7 нулей, что требовалось выяснить. □

**Листок 2. Комбинаторика.**

**Задача 3.22.** Пусть теперь дано 9 черных и 4 зеленых шарика. Выясните, сколько существует перестановок, при которых первые 3 шарика зеленые?

**Задача 3.23.** а) Сколько всего существует различных перестановок 13 шариков из предыдущей задачи? б) А сколькими способами можно выбрать 3 шарика из 13-ти, разложенных в ряд, шариков? в) Укажите отличия между пунктами а) и б).

**Задача 3.24.** Давайте, заменим 10 черных шариков из задачи 3.10 на 10 разноцветных (получится 13 шариков, среди которых 2 зеленых и 11 других цветов). Вопрос: сколько теперь различных перестановок?

**Задача 3.25.** Теперь добавим 3 синих шарика к 13-ти из задачи 3.14 (будет 16 шариков 12-ти цветов). Тот же вопрос: сколько теперь различных перестановок?

**Задача 3.26.** Возьмем 10 шариков, среди которых 3 зеленых, 2 черных, 2 белых и 3 других различных цветов. Как много разных перестановок в этом случае?

**Задача 3.27.** Сколько различных слов (не обязательно осмысленных) можно получить, переставляя буквы в слове МАТЕМАТИКА?

**Задача 3.28.** Есть на свете некто, кого зовут Словак Разнобукевич. Если взять его фамилию, и стереть несколько букв<sup>6</sup>, сколько различных фамилий может получиться?

**Задача 3.29.** На бумажной полоске написано слово АБВГДЕЙКА. Сколькими способами можно разрезать эту полоску на три слова? <sup>7</sup>

**Задача 3.30.** Дана полоска АБВ ... ЮЯ. (всего 33 буквы). Сколько способов разрезать эту полосу на 3 слова?<sup>8</sup>

**Аналогии**

**Задача 3.31.** <sup>9</sup>Сколькими способами можно разложить 17 одинаковых шаров в четыре ящика? (в каждый ящик нужно положить хотя бы один шар)

**Задача 3.32.** Сколькими способами можно представить число 17 в виде 4 натуральных слагаемых, если способы, отличающиеся порядком слагаемых, различны?<sup>9</sup>

**Задача 3.33.** Дана шахматная доска  $33 \times 33$ , причем левая нижняя клетка черная. Тогда такой вопрос: сколько есть вариантов положить 3 черные шашки на белые поля в самой верхней горизонтали доски?

**Задача 3.34.** Гадкий Миша решил испортить всем новый год – он хочет разорвать елочную гирлянду, состоящую из 22 лампочек, на 4 части (в каждой части должна быть хотя бы одна лампочка, иначе Мише будет неинтересно!) А мы хотим узнать, сколькими способами с такой затеей он может испортить праздник?

**Задача 3.35.** Маленькая Шура решила устроить праздник своим родителям. Для этого она выгребла все монеты из свинки-копилки, пошла в магазин, где продавались воздушные шары, но обнаружила, что ей не хватает денег, чтоб купить весь магазин, а хватает ровно на 4 шарика. И вот проблема: всего шариков 22 и все разных цветов.... Итак, сколько вариантов у Шуры выбрать 4 шарика из 22 шариков на прилавке?

**Упражнение 21.** Найдите все аналогии из вышеприведенных задач.

<sup>6</sup>Как минимум одну, но не все!

<sup>7</sup>Не обязательно осмысленных

<sup>8</sup>Смысл слов не важен.

<sup>9</sup>Например:  $4 + 4 + 4 + 5$  и  $4 + 5 + 4 + 4$  – разные случаи.





## Листок 2. Комбинаторика. Проверочная работа

1. В 7Ю учится 20 человек.
  - a. Сколькими способами их можно выстроить в ряд?
  - b. Сколькими способами их можно выстроить в ряд, если Лиза и Катя хотят стоять рядом?
  - c. если Лиза хочет стоять правее Кати (не обязательно рядом)?
  - d. если Ваня хочет стоять правее Глеба, а Глеб правее Миши?
2. В 7Ю учится 20 человек. Сколькими способами можно разбить их на две равные команды
  - a. если эти команды называются Фениксы и Сфинксы.
  - b. если мы не различаем эти команды?
  - c. Если в Сфинксах и Фениксах может быть не равное число участников.
3. В 7Ю учится 20 человек – 10 мальчиков и 10 девочек.
  - a. Сколькими способами они могут разбиться на пары?
  - b. если в паре должны быть мальчик и девочка?
  - c. В классе 12 парт. Сколькими способами они могут рассесться в классе?
  - d. если они должны сидеть по двое?
  - e. если они должны сидеть по двое – мальчик с девочкой?
4. В 7Ю учится 20 человек. Иван Андреевич хочет выставить им четвертные оценки.
  - a. Сколькими способами он это может сделать, если он ставит 2, 3, 4 и 5?
  - b. если он не хочет ставить 2?
  - c. Если он хочет поставить не больше трех двоек?

## Листок 3. Комбинаторика.

**Задача 3.36.** \* Сколькими способами можно представить число  $n$  в виде нескольких натуральных слагаемых, если а)  $n = 3$ ; б)  $n = 33$ ; в)  $n$  – произвольное натуральное число?

**Задача 3.37.** \* Сколькими способами можно представить а) число 11 в виде 3 целых положительных слагаемых? б) число  $n$  в виде 3 целых положительных слагаемых? в\*\*) число  $n$  в виде  $k < n$  целых положительных слагаемых?<sup>10</sup>

**Задача 3.38.** \* Сколькими способами можно расставить на шахматной доске восемь а) разноцветных б) черных ладей, чтобы они друг друга не били?

**Задача 3.39.** \* Докажите формулу:  $(n + 1)! - n! = n! \times n$

**Задача 3.40.** \* Сколькими способами можно поставить на шахматную доску а) белого и черного б) двух белых королей так, чтобы они не били друг друга?

**Задача 3.41.** \*\* “Распался коллектив музыкального ансамбля племени Мумба-Бумба! На седьмом костре состоится формирование нового музыкального ансамбля из 37 аборигенов!...” – звучали Мумб-Бумбские новости, переведенные лингвистами на наш язык. Также ученые выяснили, что в племени Мумба-Бумба были аборигены 7 различных расцветок (в каждой деревне жили аборигены своей расцветки, это как разные флаги в разных странах): Белые, Черные, Красные, Желтые, Синие, Зеленые и Серо-буро-малиновые в крапинку (или в горошек, ученые точно не установили). Возникает весьма интересный и высоко научный вопрос: сколько предстояло тогда Мумб-Бумбскому жюри перебрать различных вариантов составления нового ансамбля, если считать, что аборигены одной расцветки все на одно лицо и что

- а) в ансамбле должны присутствовать аборигены всех расцветок?  
б) допускается отсутствие в ансамбле аборигенов какой-либо расцветки?

**Задача 3.42.** Каких семизначных чисел больше: тех, в записи которых есть семерка или остальных?

**Задача 3.43.** \*\* Сколькими способами можно разбить 7А класс (25 человек) на две не обязательно равные группы?

**Задача 3.44.** \*\* В левом нижнем углу шахматной доски стоит ладья. Сколькими способами она может пройти в правый верхний угол, если она может ходить только вверх и вправо?<sup>11</sup>

<sup>10</sup>Способы, отличающиеся порядком слагаемых, считаются различными

<sup>11</sup>Одними и теми же способами считаются те, когда их пути совпадают.

## Ответы к упражнениям

14. а) 35; б) 41. 15. на 105 лет. 16. Например, так: из города А в город Б ведет 3 дороги, из города Б в город В 5 дорог, а из города В в город Г – 7 дорог. Сколькими способами можно проехать из города А в Г? 17.  $2^{100}$ . 18. Между городами А и В, В и С и С и Д по две дороги. Сколькими способами можно проехать из А в Д? 19. а)  $20!$ ; б)  $8!$ ; в)  $(N + 1)!$  20. а)  $\frac{101!}{99!} = \frac{99! \times 100 \times 101}{99!} = 100 \times 101 = 10100$ ; б)  $\frac{N!}{(N-1)!} = \frac{(N-1)! \times N}{(N-1)!} = N$ . **Задача 3.6**  $P_N = N!$

## Решения некоторых задач

**Задача 3.29** На бумажной полоске написано слово АБВГДЕЙКА. Сколькими способами можно разрезать эту полоску на три слова? <sup>12</sup>

**Решение.** Резать полоску можно только между буквами, поэтому по сути дела задача сводится к выбору промежутков между букв, где нужно поставить перегородки. Так как требуется разрезать на три слова, то надо выбрать два промежутка. Букв всего девять, следовательно, промежутков восемь. Таким образом, задача свелась к задаче о том, сколькими способами можно выбрать два предмета из восьми. Первый предмет можно выбрать восьмью способами, а второй уже только семью. Всего  $8 \times 7 = 56$  способов. Но каждый из способов мы сосчитали дважды (например, выбор предмета №6 и №8 можно осуществить так: выбрать сначала №6, а потом №8, или наоборот – сначала №8, а затем №6). Поэтому мы должны полученный результат разделить на два. Итак, окончательный ответ: 28 способов.  $\square$

---

<sup>12</sup>Не обязательно осмысленных

## Глава 4

# Теория Чисел

#### Листок 4. Теория чисел.



– Мы поделим их поровну: 7 тебе и 7 мне, – сказал Карлсон.

– Но так не получится, – возразил Малыш. –  $7+7=14$ , а у нас только 10 плюшек.

– В нынешних школах как-то по-дурацки считают, – ответил тот. – но я из-за этого страдать не намерен. По крайней мере, свои я уже взял, – добавил он и прикрыл пухлой ладошкой дымящуюся горку.

Астрид Линдгрен «Три повести о Малыше и Карлсоне».

По определению целое число  $a$  делится на не равное нулю целое число  $b$ , если существует целое число  $q$  такое, что  $a = bq$ . В этом случае число  $a$  называется делимым,  $b$  – делителем, а  $q$  – частным. В дальнейшем, речь будет идти только о целых числах.

**Упражнение 22.** Запишите общий вид чисел, делящихся а) на 2; б) на 17; в) на 2012.

В литературе существует несколько способов обозначить делимость:

Если целое число  $a$  делится на целое число  $b$ , то говорят, что  $a$  кратно  $b$ , пишут  $a : b$ . Соответственно запись  $a \nmid b$  означает, что  $a$  не делится на  $b$ , или  $a$  не кратно  $b$ .

Наряду с такими обозначениями используются запись  $b \mid a$ , означающая, что  $a$  делит  $b$ , т.е.  $a$  является делителем  $b$ . Запись  $b \nmid a$ , что означает, что  $a$  не делит  $b$ , т.е.  $a$  не является делителем  $b$ .

Делимость целых чисел обладает несколькими основными свойствами:

**Свойство 1.** Если  $a$  и  $b$  делятся на  $c$ , то их сумма и произведение тоже делятся на  $c$ .

**Доказательство.** Поскольку  $a : c$  и  $b : c$ , то  $a = cq_1$  и  $b = cq_2$ , где  $q_1$  и  $q_2$  – целые числа. Следовательно,  $a + b = c(q_1 + q_2)$  и  $ab = c_2(q_1q_2)$ . Что означает по определению, что  $(a + b) : c$  и  $(ab) : c$ , поскольку если  $q_1$  и  $q_2$  – целые числа, то их сумма и произведение также являются целыми числами.  $\square$

**Свойство 2.** Если  $a : c$ , но  $b \nmid c$ , то  $(ab) : c$ , и  $(a + b) \nmid c$ .

**Доказательство.** 1) Поскольку  $a : c$ , то  $a = cq$ , где  $q$  – целое число. Следовательно,  $ab = c(qb)$ , т.е.  $(ab) : c$ .

2) Доказательство того, что  $(a + b) \nmid c$ , будем проводить методом «от противного». Предположим, что  $(a + b) : c$ , тогда из доказанного выше свойства следует, что  $(a + b) + (-a) : c$ ,<sup>1</sup> т.е.  $b : c$ , но  $b \nmid c$  по условию, значит мы пришли к противоречию. Итак, наше предположение, что  $(a + b) : c$ , было неверно, следовательно,  $(a + b) \nmid c$ .<sup>2</sup>  $\square$

Пользуясь основными свойствами, решите следующие задачи:

**Задача 4.1.** Докажите, что, если  $a : b$ , и  $b : c$ , то  $a : c$ .

**Задача 4.2.** Пусть  $a : c$ , и  $b : d$ . Докажите, что  $(ab) : (cd)$ .

<sup>1</sup>Здесь одно из слагаемых равно  $(a + b)$ , а другое  $(-a)$ . Вообще говоря, здесь в неявном виде используется утверждение, что «если  $a$  делится на  $c$ , то и  $(-a)$  делится на  $c$ ». Докажите это утверждение самостоятельно!

<sup>2</sup>При доказательстве теоремы методом «от противного» сначала допускают, что утверждение этой теоремы неверно. Затем посредством некоторых рассуждений стараются получить либо заведомо неверное утверждение, либо утверждение, противоречащее условию теоремы. При правильных рассуждениях противоречие может получиться только за счет того, что неверным было первоначальное допущение о том, что теорема неверна. Отсюда делают вывод, утверждение теоремы верно.



**Задача 4.3.** Даны два числа  $a$  и  $b$  такие, что  $a \vdots b$ . Можно ли утверждать, что  $a^n \vdots b^n$  при любом натуральном  $n$ ?

**Примечание.** Эти задачи входят в листок по теории чисел уровня 1.

**Упражнение 23.** Запишите условия предыдущих задач и свойств, используя вместо символа  $\vdots$  символ  $|$ .

### Деление с остатком.

*Действительность никогда не делится на разум без остатка.*

Автор неизвестен

Отметим на числовой оси точки, соответствующие целым числам. Пусть  $b$  – некоторое натуральное (целое положительное) число. Выделим на рисунке все целые числа, кратные  $b$ . Они расположены на оси на равном расстоянии  $b$  друг от друга (Рис. 4.1a). Каждое из этих чисел имеет общий вид  $bt$ , где  $t$  – некоторое целое число.



Рис. 4.1

Как было определено в начальной школе, если  $a = qb$ , то  $q$  – это частное от деления  $a$  на  $b$ . Будем считать, что остаток в данном случае равен 0. Попробуем ввести понятие остатка, если целое число  $a$  не делится на  $b$ . Раз  $a$  не кратно  $b$ , то оно попадает между двумя выделенными числами, пусть эти числа  $qb$  и  $(q+1)b$  (Рис. 4.1b). Тогда число  $r = a - qb$  есть целое число, удовлетворяющее неравенству  $0 < r < b$ . В этом случае назовем частным число  $q$ , а остатком число  $r$ .

Теперь сформулируем общее утверждение:

Если  $a$  и  $b$  – целые числа, причем  $b$  больше нуля, то существуют такие целые числа  $q$  и  $r$ , что  $a = bq + r$ , где  $r$  удовлетворяет неравенству  $0 \leq r < b$ . Эти числа  $q$  и  $r$  определяются по данным  $a$  и  $b$  единственным образом. Частным называется число  $q$ , а остатком число  $r$ .

Чтобы найти частное  $q$  и остаток  $r$ , не нужно, конечно, рисовать отрезок длины  $a$  на числовой оси и «укладывать» на нем много раз отрезок длины  $b$ . Для этого существует более рациональный способ. Это – известное всем правило деления одного числа  $a$  на другое число  $b$  «столбиком». Это деление можно производить до тех пор, пока остаток не станет меньше, чем делитель. Например, если делить 1999 на 17, то при делении получается частное 117 и остаток 10.

**Примечание.** В утверждении, обведенном в рамочку, сказано, что делитель  $b$  – положительное число, и остаток таков, что  $0 \leq r < b$ , но делимое  $a$  при этом может быть как положительное, так и отрицательное или вообще равное 0. Например,  $a = -22$ ,  $b = 7$ , тогда  $(-22) = (-4) \cdot 7 + 6$ , где  $0 \leq 6 < 7$ , т.е. остаток при делении  $(-22)$  на 7 равен 6.

**Упражнение 24.** Какой остаток дает число  
а)  $-1$  при делении на 7;      б)  $(-150)$  при делении на 19;      в)  $(-54321)$  при делении на 4?

**Упражнение 25.** Докажите, что числа а)  $10^4$  и  $10^6$ ;    б)  $10^5$  и  $-1$ ;    в)  $-123456789$  и  $9876543210$  дают одинаковые остатки при делении на 11.

Докажем основные свойства остатков:

**Свойство 3.** Если к произвольному целому числу  $x$  прибавить число  $y$ , делящееся на  $c$ , то остаток при делении  $x$  на  $c$  не изменится.

**Доказательство.** Пусть  $x = cq + r$ ,  $y = cs$ , тогда  $x$  будет равен  $c(q + s) + r$ , где  $0 \leq r < c$ ,<sup>3</sup> т.е.

<sup>3</sup>Объясните, почему это неравенство верно.

остаток не изменился. □

**Свойство 4.** Если при делении на  $c$  целые числа  $a$  и  $b$  дают остатки  $r_1$  и  $r_2$  соответственно, тогда суммы  $(a + b)$  и  $(r_1 + r_2)$  при делении на  $c$  дают одинаковые остатки.

*Доказательство.* Пусть  $a = cq_1 + r_1$ ,  $b = cq_2 + r_2$ , тогда  $(r_1 + r_2) = (a + b) - c(q_1 + q_2)$ . Из доказанного выше свойства 0 следует, что  $(a + b)$  и  $(r_1 + r_2)$  при делении на  $c$  дают одинаковые остатки. □

**Свойство 5.** Если при делении на  $c$  целые числа  $a$  и  $b$  дают остатки  $r_1$  и  $r_2$ , тогда произведения  $(ab)$  и  $(r_1 r_2)$  при делении на  $c$  дают одинаковые остатки.

*Доказательство.* Пусть  $a = cq_1 + r_1$ ,  $b = cq_2 + r_2$ , тогда  $(r_1 r_2) = (ab) - c(q_1 q_2 c + q_1 r_2 + r_1 q_2)$ , т.е.  $(ab)$  и  $(r_1 r_2)$  при делении на  $c$  дают одинаковые остатки, т.к. отличаются на число, кратное  $c$ . □

С помощью этих свойств очень легко находить остатки.<sup>4</sup>

**Пример.** 16131 при делении на 13 дает остаток 2. Действительно,  $16131 = 131 + 16 \cdot 10 \cdot 10$ , где 131 дает остаток 1, а у числа  $16 \cdot 10 \cdot 10$  такой же остаток, как и у числа  $3 \cdot (-3) \cdot (-3)$ . Остаток у 16131 такой же, как остаток у числа  $(1 + 27)$ , значит, он равен 2.

---

<sup>4</sup>По существу мы с вами доказали, что если нам интересуют только остатки, то на любом шаге вычислений мы можем рассматривать только остатки, пренебрегая целой частью.