

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Нас окружают разнообразные цифровые устройства: компьютеры, смартфоны, планшеты и т. п. И «последний оплот» аналоговой техники — телевидение, тоже недавно перешло на цифровой формат. Почему же цифровые схемы получили такое развитие? Каковы принципы их действия и как их проектируют? В этой книге наглядно, без сложных формул алгебры логики, изложены основы проектирования цифровых схем.

Цифровые схемы очень просты. Это — мир, в котором нет ничего, кроме 0 и 1. Также просто устроены их «кирпичики» — логические элементы. В главе 1 я познакомлю вас с цифровыми схемами, окружающими нас в повседневной жизни, в главе 2 объясню, почему они так быстро развились и вытеснили аналоговую технику, в главе 3 опишу простые и доступные каждому методы проектирования схем комбинационной логики, в которых состояние выходов определяется только текущим состоянием входов. Глава 4 посвящена упрощению схем. Преобразование схем с помощью алгебры логики — это самый сложный раздел университетского курса, но здесь я познакомлю вас с интуитивно понятными методами, доступными даже неискущённым в математике читателям. В главе 5 речь пойдёт о проектировании элементов памяти и схем последовательной логики, а в заключение вы узнаете о новейших методах проектирования схем: языках описания аппаратуры, о высокоуровневом синтезе и др.

Формат манги лучше, чем обычная книга, подходит для описания мира цифровых схем, наполненного графикой: таблицами истинности, чертежами логических схем, картами Карно, диаграммами состояний и т. п. Материал изложен по возможности простым языком, но при этом описано и внутреннее устройство логических схем на основе множества примеров проектирования, а разделы «Дополнительная информация» содержат также знания довольно высокого уровня о современных технологиях проектирования и др. Надеюсь, что эта манга будет полезной как для интересующихся электроникой, так и для людей с другой специализацией, занятых в этой области.

В работе над книгой мне очень помогли художник Мэгуро Кодзи и ответственная за оформление г-жа Савада Савако, предложив такие наглядные рисунки и глубокие примеры, каких ещё не было в учебниках по цифровой технике. Хочу поблагодарить также коллектив издательства Ohmsha за предоставленную возможность взяться за перо и за ценные советы, которые очень помогли мне в работе.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Глава 1

### ЧТО ТАКОЕ ЦИФРОВЫЕ СХЕМЫ?..... 1

- Цифровые интегральные схемы..... 21
- Программируемая пользователем вентильная матрица..... 22
- Объяснение терминов главы 1..... 24

## Глава 2

### ЦИФРОВЫЕ И АНАЛОГОВЫЕ СХЕМЫ..... 25

#### 1. Цифровая и аналоговая техника..... 26

- От аналоговых схем к цифровым..... 26
- Представление об аналоговой и цифровой технике..... 28

#### 2. Почему цифровые схемы победили?..... 33

- Что такое логические схемы?..... 33
- Логические вентили работают просто..... 35
- Цифровые схемы побеждают числом!..... 37
- В чём преимущество цифровых схем?..... 39
- Проектировать цифровые схемы — просто!..... 44
- Что такое алгебра логики?..... 49
- Объяснение терминов главы 2..... 52



## Глава 3

### **СТРОИМ КОМБИНАЦИОННУЮ СХЕМУ** ..... 53

- 1. Таблица истинности, нотация MIL** ..... **54**
  - Мажоритарные цифровые схемы ..... 54
  - Строим таблицу истинности из L и H ..... 58
  - Что такое нотация MIL? ..... 64
  - Активный низкий и активный высокий ..... 68
  - Законы де Моргана ..... 72
  - Базовые логические вентили в нотации MIL ..... 75
- 2. Строим мажоритарную схему** ..... **78**
  - Строим схему по таблице истинности (порядок проектирования ДНФ) ..... 79
  - Что такое КМОП? ..... 85
  - Принцип работы полевого МОП-транзистора ..... 88
  - Объяснение терминов главы 3 ..... 91

## Глава 4

### **КАК УПРОСТИТЬ СХЕМУ?** ..... **93**

- 1. Используем карты Карно** ..... **94**
  - Нерациональные схемы ..... 94
  - Исследуем карту Карно ..... 98
  - Выделяем группы единиц ..... 102
  - Важные моменты выделения групп ..... 106
  - Усложняем задачу выбора ресторана ..... 108
- 2. Безразличное состояние** ..... **111**
  - Идентифицируем длинные месяцы ..... 111
  - Десятичные и двоичные числа ..... 114
  - Проектируем схему идентификации длинных месяцев ..... 118
  - Безразличное состояние ..... 120

<b>3. А если выходов несколько?</b> .....	<b>124</b>
• Объединяем выходы .....	125
• Проектируем схему индикатора электронного кубика .....	129
• Сумматоры и вычитатели .....	137
• Объяснение терминов главы 4 .....	143

## **Глава 5**

### **СТРОИМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ .....**

<b>1. Что такое последовательные схемы?</b> .....	<b>146</b>
• У последовательных схем есть память .....	148
<b>2. D-триггеры</b> .....	<b>153</b>
• Триггер — это качели .....	153
• D-триггер и тактовый сигнал .....	155
• Что такое регистр? .....	167
<b>3. Проектируем электронный кубик</b> .....	<b>171</b>
• Электронный кубик — последовательная схема .....	171
• (1) Чертим диаграмму состояний .....	174
• (2) Назначаем состояниям двоичные числа .....	177
• (3) Проектируем комбинационную схему .....	181
• Устройство D-триггера .....	187
• Различные триггеры .....	190
• Объяснение терминов главы 5 .....	193
<b>Послесловие. Проектирование цифровых схем с помощью HDL</b> .....	<b>208</b>
<b>Список литературы</b> .....	<b>211</b>
<b>Предметный указатель</b> .....	<b>212</b>

# ГЛАВА 1

## ЧТО ТАКОЕ ЦИФРОВЫЕ СХЕМЫ?







ХОРОШО!

АИСАКА ЦЦУМО,  
2 КЛАСС СТАРШЕЙ  
ШКОЛЫ\*  
ПРОШУ ЛЮБИТЬ И  
ЖАЛОВАТЬ!

\* Примерно соответствует 11-му классу в России.



ТАК... АИСАКА...  
ЦЦУМО-САН...  
ШКОЛЬНИЦА?

ПРО НЕГО  
Я НЕ  
СПРАШИВАЛА...

А ЭТО-  
ПАМБО\*!



А ТЯЖЁЛУЮ  
ФИЗИЧЕСКУЮ  
РАБОТУ ВЫПОЛНЯТЬ  
СМОЖЕШЬ?

\* Шапка в форме панды.



СМОГУ!  
Я ОЧЕНЬ СИЛЬНАЯ!

ВАН!



ВОТ ЭТО ДА...  
ДУМАЛ, КАКНЕ-  
НИБУДА ЖАДНЫЕ  
ТИПЫ ПРИПРУТСЯ,  
А ТУТ — ДЕВУШКА!

И КРАСАВИЦА,  
К ТОМУ ЖЕ....



ДИРЕКТОР!  
БЕРЁМ!!!

НЕ СУАИ ПО  
ВНЕШНОСТИ!

К ТОМУ ЖЕ  
ЗАЕСЬ  
РЕШАЮ Я!!





...ОБОЖАЮ  
ОТКРУЧИВАТЬ  
ТУГIE ВИНТЫ...

...НЕ СЛИШКОМ  
СТАРЫХ,  
КРАСИВЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ...



...ОТКРЫВАТЬ  
КОРПУС И  
СМОТРЕТЬ, ЧТО  
ВНУТРИ.



У СЕБЯ  
ДОМА  
ПОЧТИ  
ВСЁ  
РАЗОБРАЛА...



ПОДОЖДИ...  
ЗНАЧИТ, ТЫ  
У СЕБЯ ДОМА  
ЧИНИШЬ  
И СОБИРАЕШЬ  
РАЗЛИЧНЫЕ  
ЭЛЕКТРО-  
ПРИБОРЫ?



ЧИНЮ?

СОБИРАЮ?

ДА  
НЕТ ЖЕ!



Я ЛЮБЛЮ  
РАЗОБРАТЬ И  
СМОТРЕТЬ НА  
ТО, ЧТО  
ОСТАЛОСЬ. ♥

ТИПА... ВОТ  
КАКИЕ ОНИ  
ТЕПЕРЬ...

МОЖЕТ, ТУТ  
БОЛЬШЕ  
ПОДХОДИТ  
СЛОВО  
"ЛОМАТЬ"?!



ДИРЕКТОР,  
ЭТА ДЕВУШКА  
ОПАСНА!  
ОТКАЖЕМ ЕЁ!!

КАК БЫСТРО  
ТЫ МЕНЕ  
ИЗМЕНИЛ!





...В ПОСЛЕДНЕЕ  
ВРЕМЯ МНЕ ЭТОГО  
УЖЕ МАЛО.  
ВЕДЬ РАЗОБРАТЬ МОЖНО  
ТОЛЬКО ДО КАКОГО-ТО  
ПРЕДЕЛА.

ТАМ МНОГО КАКИХ-ТО  
ЧЁРНЫХ КВАДРАТИКОВ НА  
ЗЕЛЁНЫХ ПЛАСТИНАХ...

И МНЕ ХОЧЕТСЯ  
УЗНАТЬ, ЧТО ЭТО ТАКОЕ,  
ЧТО У НИХ ВНУТРИ.

КАКОЕ-ТО  
СТРАННОЕ  
ЧУВСТВО  
ОБУРЕВАЕТ.

ВОТ  
Я РАЗБИРАЮ,  
СМОТРЮ, ЧТО  
ВНУТРИ,  
НО ВСЁ РАВНО  
НИЧЕГО  
НЕ ПОНИМАЮ...

ЧТОБЫ ПОНЯТЬ,  
ЧТО ВНУТРИ  
ЭЛЕКТРОННЫХ  
УСТРОЙСТВ,  
ТЕБЕ НАДО ИЗУЧИТЬ  
ЦИФРОВЫЕ  
СХЕМЫ.

ЦИФРОВЫЕ...  
СХЕМЫ!

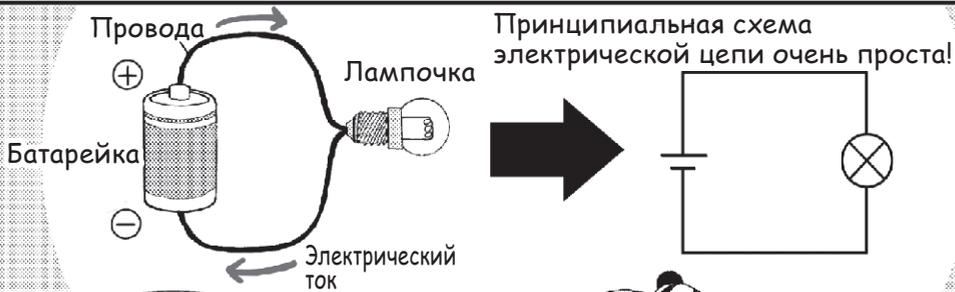


0110  
100110  
01010110  
01011010  
11001101  
101011  
1011

Ничего, кроме  
0 и 1!

ТАК... КОМПЬЮТЕР -  
ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО,  
ТО ЕСТЬ МИР НУЛЕЙ И  
ЕДИНИЦ?

МЫСЛИШЬ  
ПРАВИЛЬНО.



ПРО ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ  
НАМ ОБЪЯСНЯЛИ В ШКОЛЕ.  
ЭТО ПУТЬ ПРОТЕКАНИЯ  
ТОКА ЧЕРЕЗ РАЗЛИЧНЫЕ  
УСТРОЙСТВА?

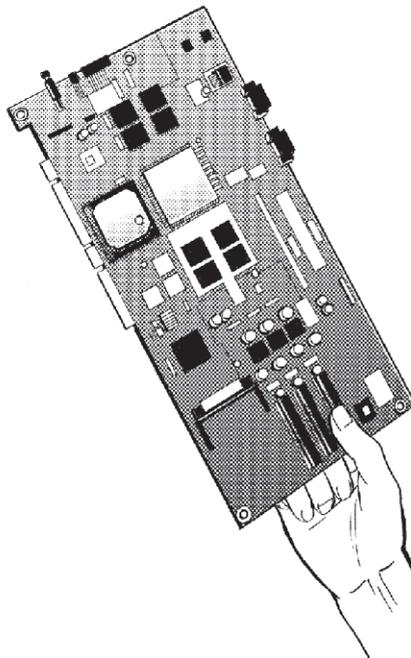
НО КАК ЭТО  
СВЯЗАНО  
С "ЦИФРОВЫМИ  
СХЕМАМИ"?

ТАКАБА, ТЫ ВЕДЬ  
ЭТО В ИНСТИТУТЕ  
ИЗУЧАЕШЬ,  
НЕ ТАК ЛИ?

НУ-КА,  
РАССКАЖИ.

ЧТО?!  
Я?!

НУ,  
В ОБЩЕМ...



ПОГОВОРИМ О КОНКРЕТНЫХ  
ИЗДЕЛИЯХ. ВНУТРИ КОМПЬЮ-  
ТЕРОВ, БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРО-  
НИКИ ЕСТЬ "ПЕЧАТНЫЕ  
ПЛАТЫ".



АА, АА.  
ЕСТЬ!

А НА ПЛАТАХ  
УСТАНОВЛЕНЫ РАЗЛИЧНЫЕ  
ЭЛЕКТРОННЫЕ ДЕТАЛИ.

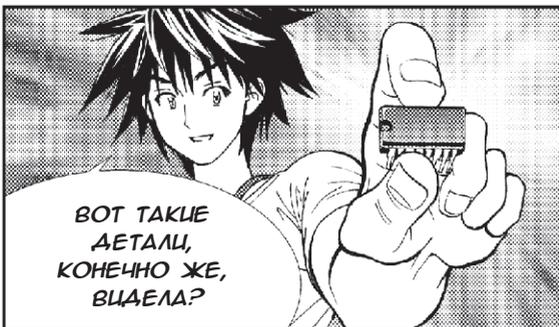


И ОНИ ПОДКЛЮЧЕНЫ  
К ПРОВОДНИКАМ,  
ПО КОТОРЫМ  
ТЕЧЁТ ТОК.

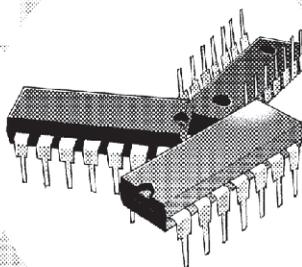
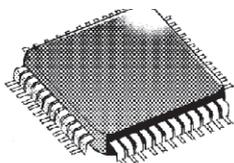
ГМ... АА,  
И ВСЁ ЭТО  
ВЫГЛЯДИТ ТАК  
ЗАПУТАННО.



ВОТ ТАКИЕ  
ДЕТАЛИ,  
КОНЕЧНО ЖЕ,  
ВЩАЕЛА?



ВНУТРИ НОВЕЙШИХ УСТРОЙСТВ  
ОНИ ВОТ ТАКИЕ - ТОНКИЕ И  
МАЛЕНЬКИЕ.



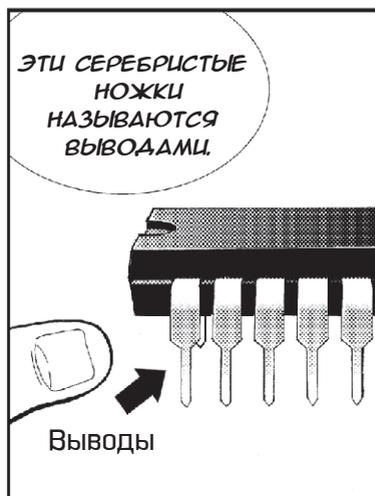
А ВНУТРИ  
УСТАРЕВШИХ - ВОТ ТАКИЕ.

АА. Я ЧАСТО ИХ ВЩАЕЛА И  
УДИВЛЯЛАСЬ!!  
КВАДРАТЫ И  
ПРЯМОУГОЛЬНИКИ, ПОХОЖИЕ  
НА ЧЁРНЫХ ЖУКОВ  
С СЕРЕБРИСТЫМИ  
НОЖКАМИ!!



это!  
это!

ЧЁРНЫХ  
ЖУКОВ  
.....?



\* Сравнительно большие интегральные схемы иногда называют БИС.





ЛО... ЛОГИЧЕСКИЕ?!

Ток-шоу «Споры до утра»\*



ОБЪЯСНЯЙСЯ ЛОГИЧНЕЕ!

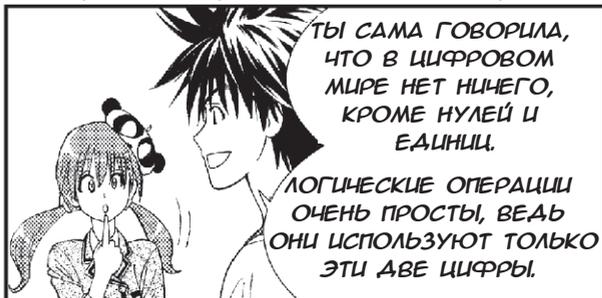
ЭТО ТЫ НЕЛОГИЧЕН!

ШУМ-ГАМ

ЧТО-ТО ВРОДЕ ЭТОГО?

ВЫБРОСЬ ИЗ ГОЛОВЫ ЭТУ ЧЕПУХУ!

\* Непереводимая игра слов с названием телепередачи и словом «логический». — прим. перев.



ТЫ САМА ГОВОРИЛА, ЧТО В ЦИФРОВОМ МИРЕ НЕТ НИЧЕГО, КРОМЕ НУЛЕЙ И ЕДИНИЦ.

ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ОЧЕНЬ ПРОСТЫ, ВЕДЬ ОНИ ИСПОЛЬЗУЮТ ТОЛЬКО ЭТИ ДВЕ ЦИФРЫ.



ЭТО ЧТО-ТО ВРОДЕ КОНСТРУКТОРА ИЗ ПРАВИЛ.



КОНСТРУКТОРА...?

ИЗ ПРАВИЛ...?

ого...



ДА. НАПРИМЕР, ЕСТЬ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАЗНЫХ ТИПОВ, У КАЖДОГО ИЗ КОТОРЫХ - СВОИ ПРАВИЛА.

СОСТАВИВ ИЗ НИХ КОМБИНАЦИЮ, МЫ МОЖЕМ ПОСТРОИТЬ СХЕМУ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КАКИХ-ЛИБО ЗАДАЧ.

AND (И)

OR (ИЛИ)

NOT (НЕ)

ДА?!

СПРОЕКТИРОВАТЬ СХЕМУ -  
ЗНАЧИТ СОЗДАТЬ  
ЭЛЕКТРОННОЕ  
УСТРОЙСТВО,  
РАБОТАЮЩЕЕ ТАК,  
КАК ТЫ ЗАДУМАЛА.



СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРО-  
ПРИБОРОВ, КОТОРЫМИ  
МЫ ПОЛЬЗУЕМСЯ,  
ТОЖЕ НАЧИНАЕТСЯ  
С ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СХЕМ.

ВСЁ ЭТО  
ИЗУЧАЕТСЯ  
В РАЗДЕЛЕ  
ЭЛЕКТРОНИКИ...



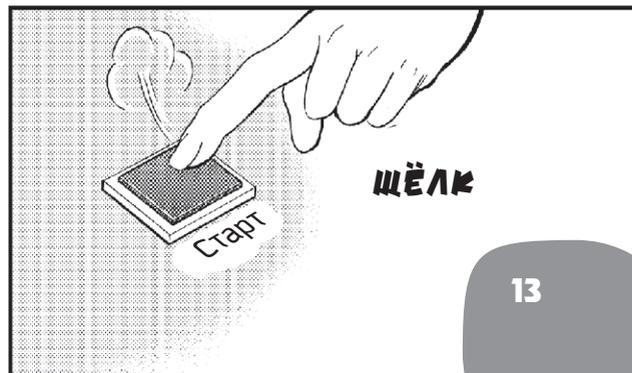
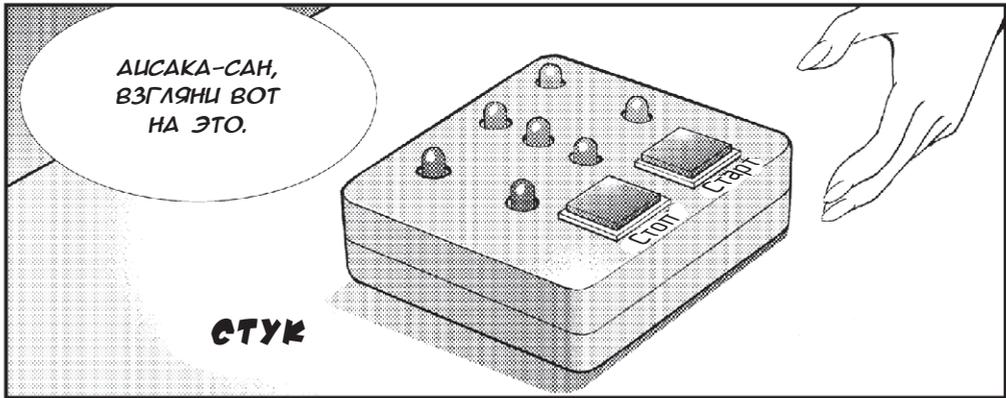
...ПОД НАЗВАНИЕМ  
"ЦИФРОВЫЕ СХЕМЫ!"

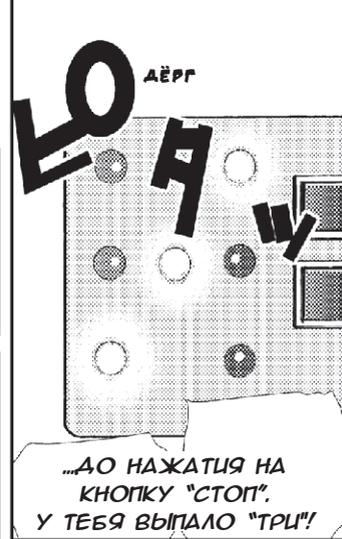
КАК ИНТЕРЕСНО!

НАУКА О  
ЭЛЕКТРОННЫХ  
УСТРОЙСТВАХ,  
КОТОРЫЕ ЕСТЬ  
ПОВСЮДУ!



ЗАРОБОСО!

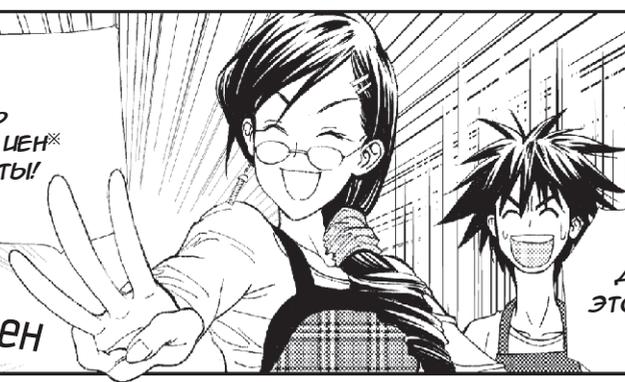




ЛАМПЫ  
БЫСТРО  
ЗАГОРАЮТСЯ  
И ГАСНУТ...

ИТАК!  
ТЫ БУДЕШЬ  
ПОЛУЧАТЬ 300 ИЕН\*  
ЗА ЧАС РАБОТЫ!

300 иен



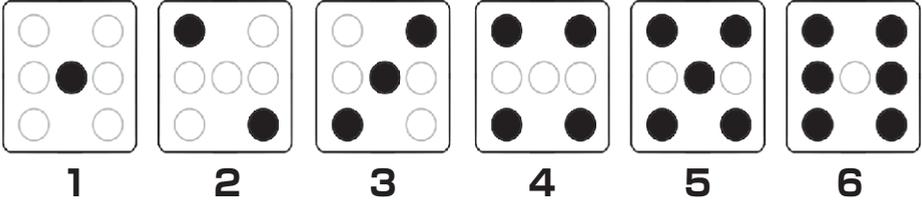
ДИРЕКТОР,  
ЭТО УЖАСНО!!

\* Около 150 рублей.



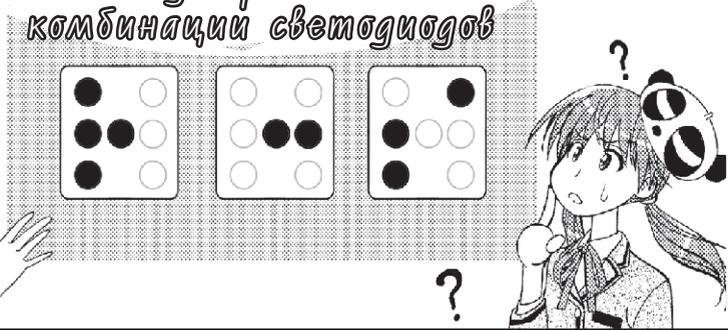
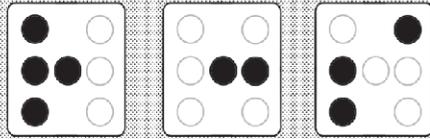
КОНЕЧНО,  
Я ПОШУТИЛА.  
ОБРАТИ ВНИМАНИЕ,  
ЧТО КОМБИНАЦИИ  
ГОРЯЩИХ ЛАМПОЧЕК  
ВСЕГДА БУДУТ  
СООТВЕТСТВОВАТЬ  
ГРАНЯМ НАСТОЯЩЕГО  
КУБИКА.

## Допустимые комбинации светодисков



ВОТ ТАКОГО  
НЕ БУДЕТ  
НИКОГДА.

## Недопустимые комбинации светодисков



Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)