

# Компьютер изнутри

1. Основные принципы
2. Персональный компьютер
3. Хранение целых чисел
4. Битовые операции
5. Вещественные числа

# Компьютер изнутри

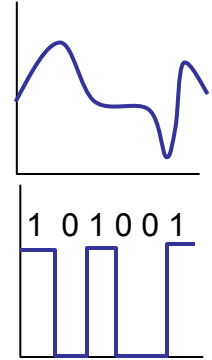
## Тема 1. Основные принципы

# Определения

---

**Компьютер** (*computer*) – это программируемое электронное устройство для обработки данных.

- **аналоговые** компьютеры – складывают и умножают аналоговые (непрерывные) сигналы
- **цифровые** компьютеры – работают с цифровыми (дискретными) данными.



**Hardware** – аппаратное обеспечение, «железо».

**Software** – программное обеспечение, «софт».

**Программа** – это последовательность команд, которые должен выполнить компьютер.

**Команда** – это описание операции:

- **код операции**
- **операнды** – исходные данные (числа) или их адреса
- **результат** (куда записать).



**Процессор** – микросхема, которая обрабатывает информацию и управляет всеми устройствами компьютера.

**АЛУ** – арифметико-логическое устройство

**УУ** – устройство управления

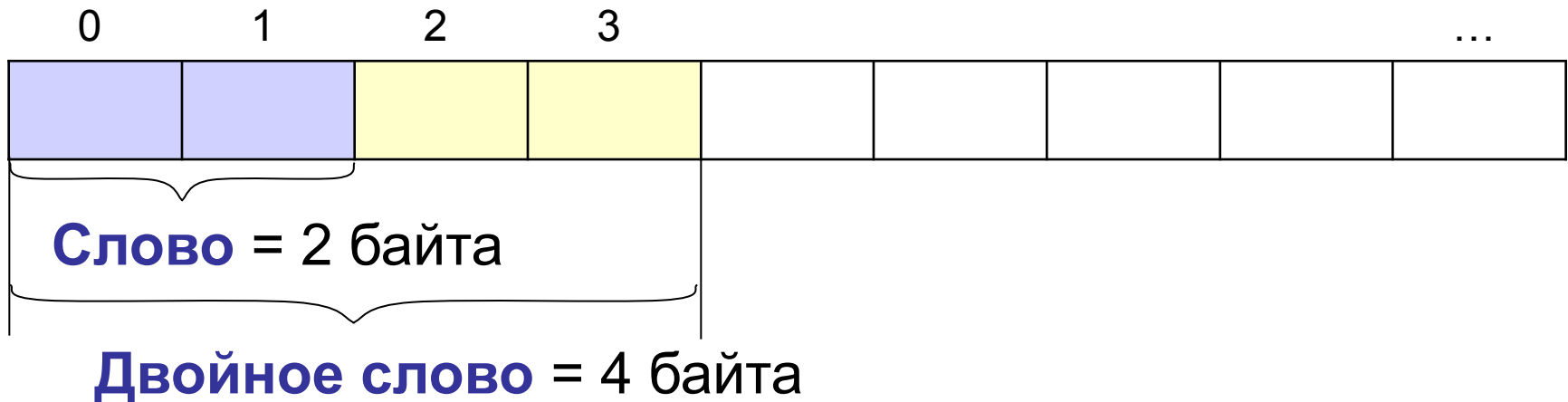
**Регистр** – ячейка быстродействующей оперативной памяти, расположенная внутри процессора.

# Структура памяти

---

- Память состоит из **нумерованных ячеек**.
- **Линейная структура** (адрес ячейки – одно число).
- **Байт** – это наименьшая ячейка памяти, имеющая собственный адрес (4, 6, 7, 8, 12 бит).

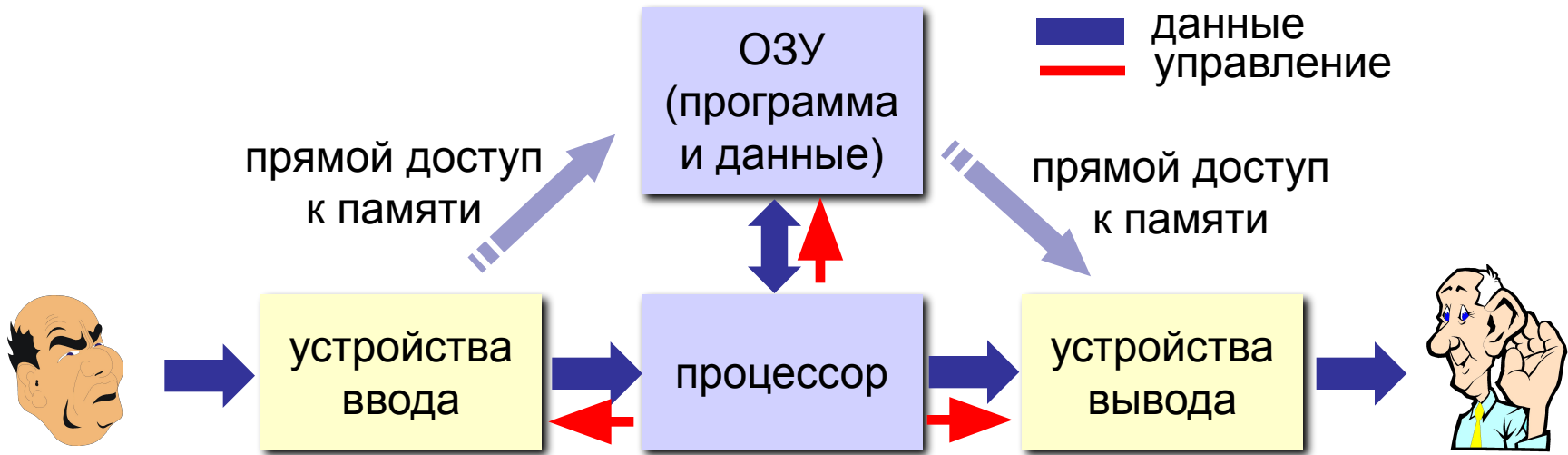
На современных компьютерах **1 байт = 8 бит**.



# Архитектура компьютера

**Архитектура** – принципы действия и взаимосвязи основных устройств компьютера (процессора, ОЗУ, внешних устройств).

## Принстонская архитектура (фон Неймана):



**Гарвардская архитектура** – программы и данные хранятся в разных областях памяти.

⊕ скорость (одновременно читаем команду и данные)

⊖ нужно больше контактов у процессора

*А. Беркс, Х. Голдстайн, Д. Нейман «Предварительный доклад о машине EDVAC» (1945)*

- 1. Принцип двоичного кодирования:** вся информация кодируется в двоичном виде.
- 2. Принцип программного управления:** программа состоит из набора команд, которые выполняются процессором автоматически друг за другом в определенной последовательности.
- 3. Принцип однородности памяти:** программы и данные хранятся в одной и той же памяти.
- 4. Принцип адресности:** память состоит из пронумерованных ячеек; процессору в любой момент времени доступна любая ячейка.



Джон фон Нейман

# Выполнение программы

---

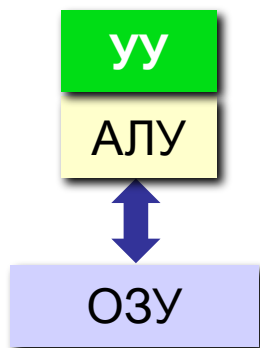
**Счетчик команд** (*IP = Instruction Pointer*) – регистр, в котором хранится адрес следующей команды.



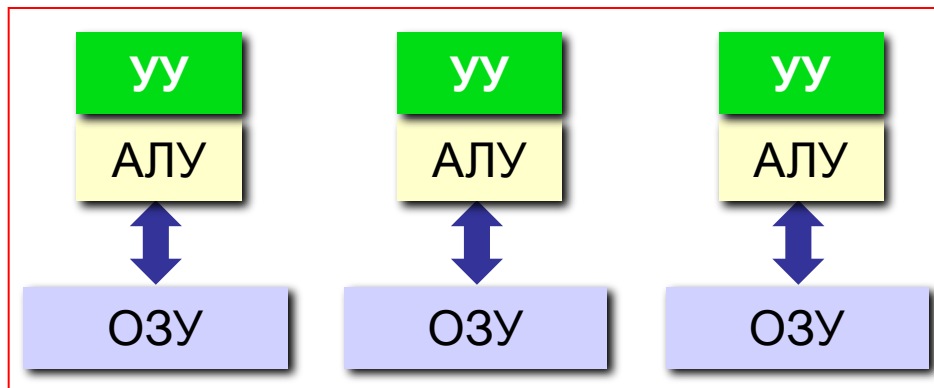
1. **Команда**, расположенная по этому адресу, передается в **УУ**. Если это не команда перехода, регистр **IP** увеличивается на длину команды.
2. УУ расшифровывает **адреса операндов**.
3. Операнды загружаются в **АЛУ**.
4. УУ дает команду АЛУ на **выполнение операции**.
5. **Результат** записывается по нужному адресу.
6. Шаги 1-5 повторяются до получения команды **«стоп»**.



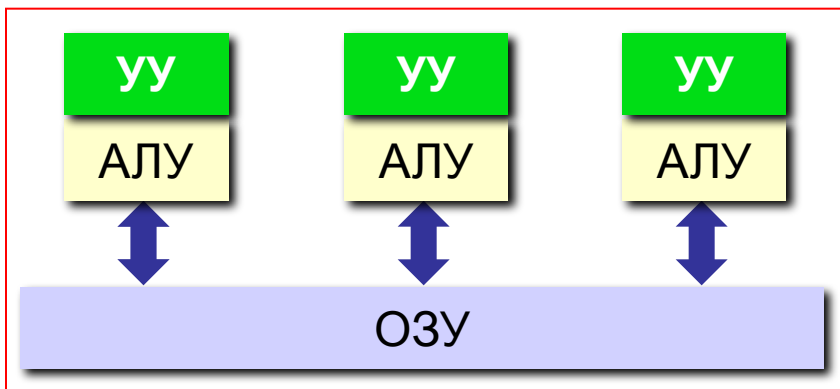
## фон Неймана



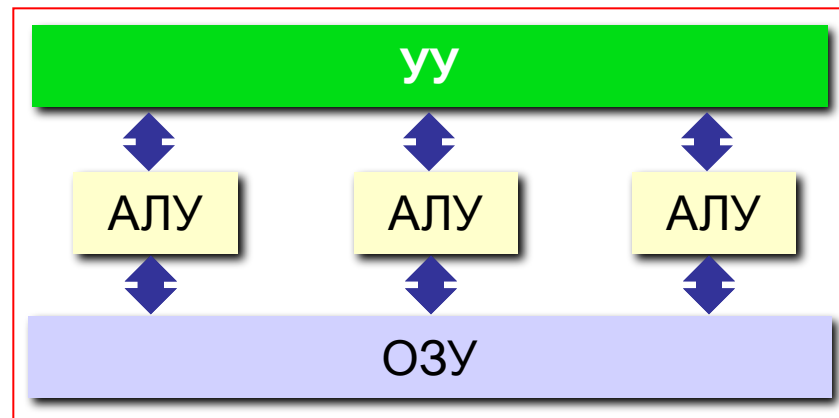
## МНОГОМАШИННАЯ (независимые задачи)



## многопроцессорная (части одной задачи, по разным программам)



## параллельные процессоры (части одной задачи, по одной программе)



# Компьютер изнутри

## Тема 2. Персональный компьютер

# Персональный компьютер (ПК)

**ПК** – это компьютер, предназначенный для личного использования (доступная цена, размеры, характеристики).



1977 Apple-II



1981 IBM PC  
(personal computer)



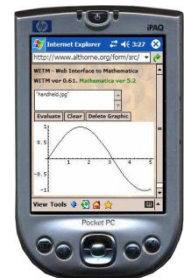
iMac (1999)



PowerMac G4  
Cube (2000)



EC-1841



# Принцип открытой архитектуры (IBM)

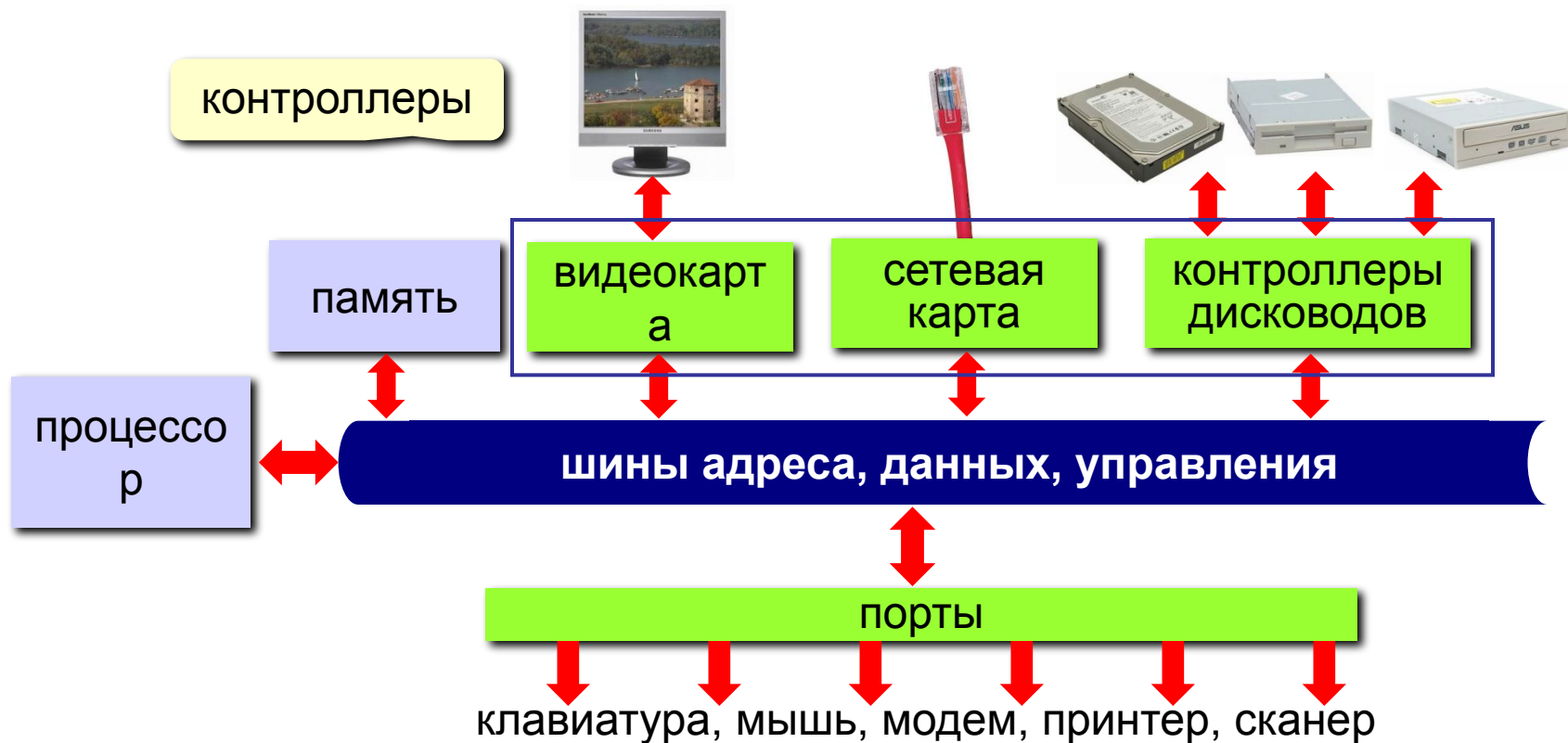
---

- на **материнской плате** расположены только узлы, которые обрабатывают информацию (процессор и вспомогательные микросхемы, память)
- схемы, управляющие другими устройствами (монитором и т.д.) – это отдельные **платы**, которые вставляются в **слоты расширения**
- **схема стыковки** новых устройств с компьютером общедоступна (стандарт)



- **конкуренция**, удешевление устройств
- производители могут изготавливать **новые** совместимые устройства
- пользователь может собирать ПК «**из кубиков**»

# Взаимосвязь блоков ПК



**Шина** – многожильная линия связи, доступ к которой имеют несколько устройств.

**Контроллер** – электронная схема, управляющая внешним устройством по сигналам процессора.

# Компьютер изнутри

## Тема 3. Хранение целых чисел

# Целые беззнаковые числа

**Беззнаковые данные** – не могут быть отрицательными.

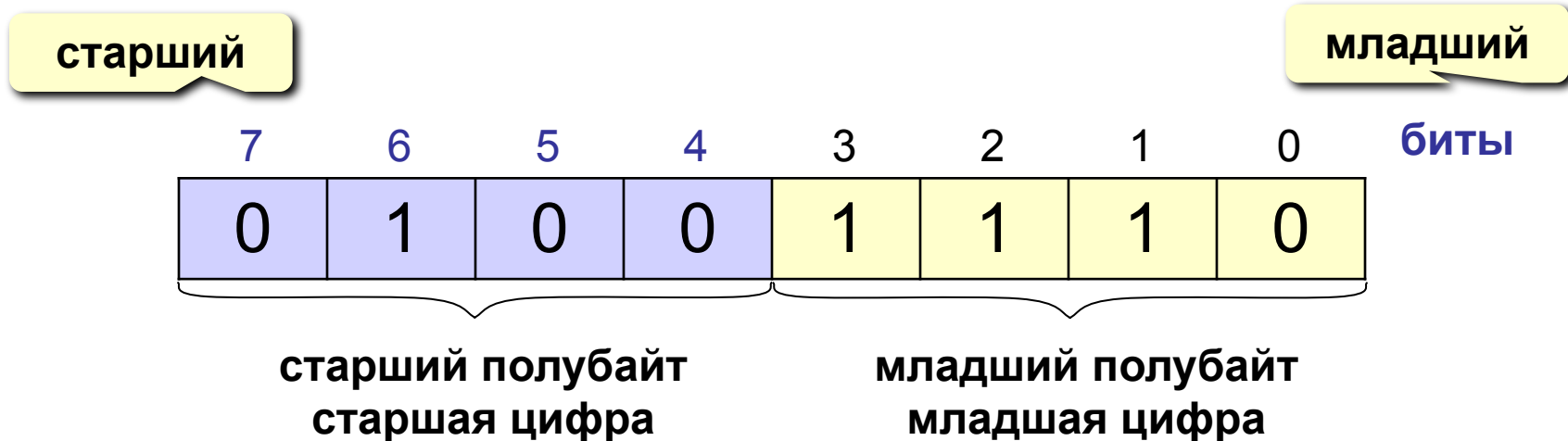
## Байт (символ)

память: **1 байт = 8 бит**

диапазон значений **0...255**,  $0...FF_{16} = 2^8 - 1$

Си: *unsigned char*

Паскаль: *byte*

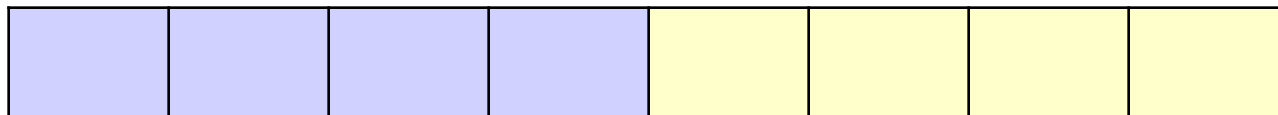


$4_{16}$

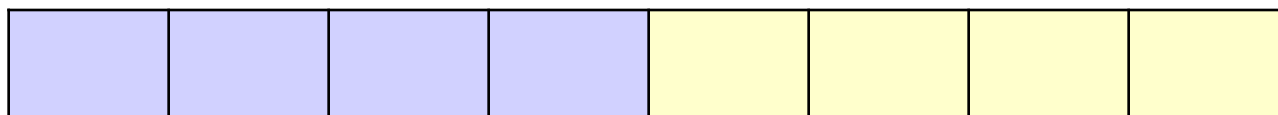
$E_{16}$

$$1001110_2 = 4E_{16} = 'N'$$

**78 =**



**115 =**





# Целые беззнаковые числа

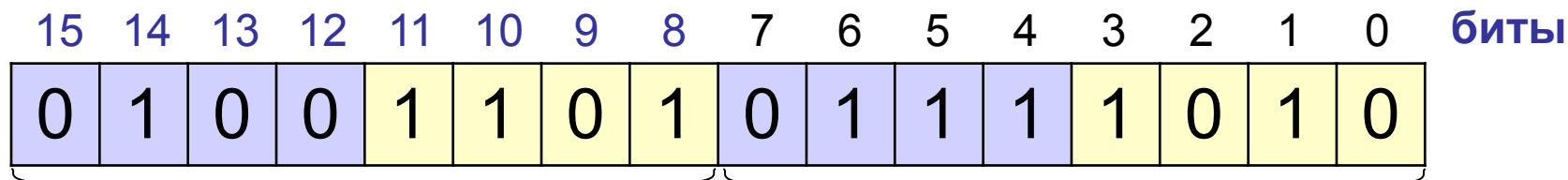
## Целое без знака

память: 2 байта = 16 бит

диапазон значений  $0 \dots 65535$ ,  $0 \dots \text{FFFF}_{16} = 2^{16} - 1$

Си: *unsigned short int*

Паскаль: *word*



старший байт

младший байт

$4D_{16}$

$7A_{16}$

$100110101111010_2 = 4D7A_{16}$

## Длинное целое без знака

память: 4 байта = 32 бита

диапазон значений  $0 \dots \text{FFFFFFFF}_{16} = 2^{32} - 1$

Си: *unsigned int*

Паскаль: *dword, longword*

# Целые числа со знаком



Сколько места требуется для хранения знака?

**Старший (знаковый) бит** числа определяет его знак. Если он равен 0, число положительное, если 1, то отрицательное.

«-1» – это такое число, которое при сложении с 1 даст 0.

1 байт:

-1

не помещается в 1 байт!

$$FF_{16} + 1 = 100_{16}$$

2 байта:  $FFFF_{16} + 1 = 10000_{16}$

4 байта:  $FFFFFFFF_{16} + 1 = 100000000_{16}$

-1

# Двоичный дополнительный код

**Задача:** представить отрицательное число  $(-a)$  в двоичном дополнительном коде.

**Решение:**

1. Перевести число  $a-1$  в двоичную систему.
2. Записать результат в разрядную сетку с нужным числом разрядов.
3. Заменить все «0» на «1» и наоборот (*инверсия*).

**Пример:**  $(-a) = -78$ , сетка 8 бит

4.  $a - 1 = 77 = 1001101_2$

5.

0	1	0	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

6.

1	0	1	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

**= -78**

знаковый бит

# Двоичный дополнительный код

Проверка:  $78 + (-78) = ?$

78 = 

0	1	0	0	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

+

-78 = 

1	0	1	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

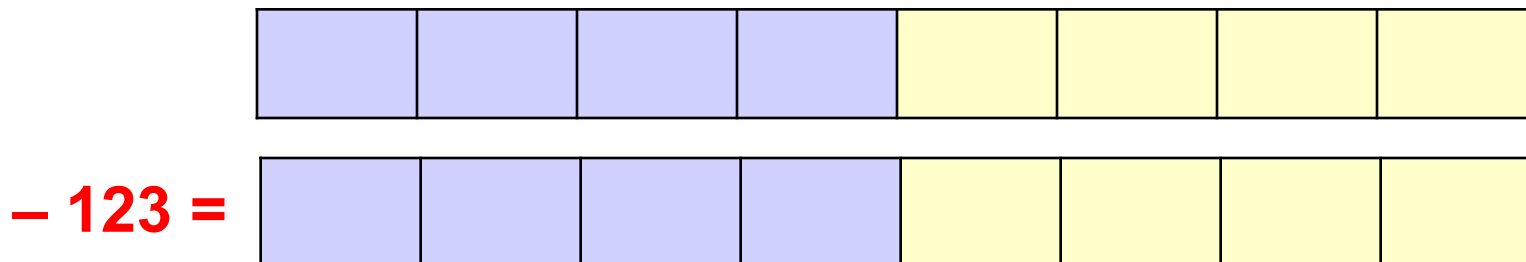
---

--	--	--	--	--	--	--	--

# Пример

---

$(-a) = -123$ , сетка 8 бит

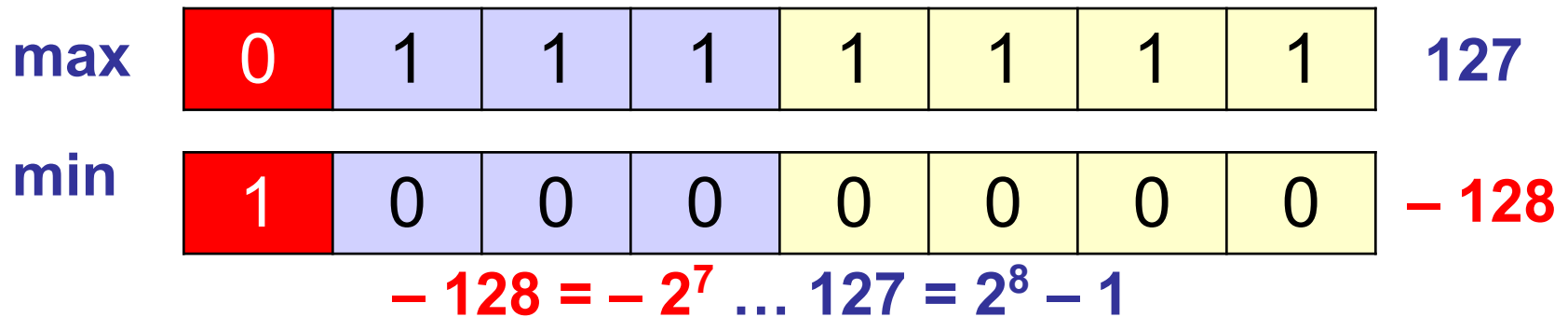


# Целые числа со знаком

## Байт (символ) со знаком

память: 1 байт = 8 бит

диапазон значений:



Си: *char*      Паскаль: *shortint*



можно работать с отрицательными числами



уменьшился диапазон положительных чисел

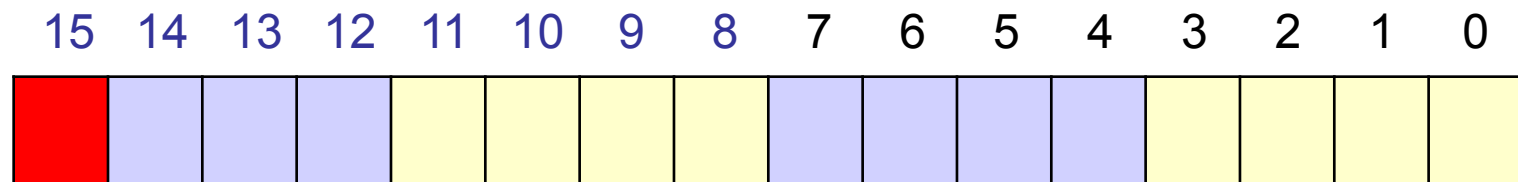
# Целые числа со знаком

## Слово со знаком

память: 2 байта = 16 бит

диапазон значений

– 32768 ... 32767



Си: *short int*

Паскаль: *smallint*

## Двойное слово со знаком

память – 4 байта

диапазон значений

–  $2^{31}$  ...  $2^{31}-1$

Си: *int*

Паскаль: *integer*

# Ошибки

**Переполнение разрядной сетки:** в результате сложения больших положительных чисел получается отрицательное (**перенос в знаковый бит**).

	7	6	5	4	3	2	1	0	
+	0	1	0	0	0	0	0	0	<b>64</b>
+	0	1	0	0	0	0	0	0	<b>64</b>
	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>- 128</b>



# Ошибки

**Перенос:** при сложении больших (по модулю) отрицательных чисел получается положительное (перенос за границы разрядной сетки).

	7	6	5	4	3	2	1	0	
+	1	0	0	0	0	0	0	0	- 128
	1	0	0	0	0	0	0	0	- 128
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1

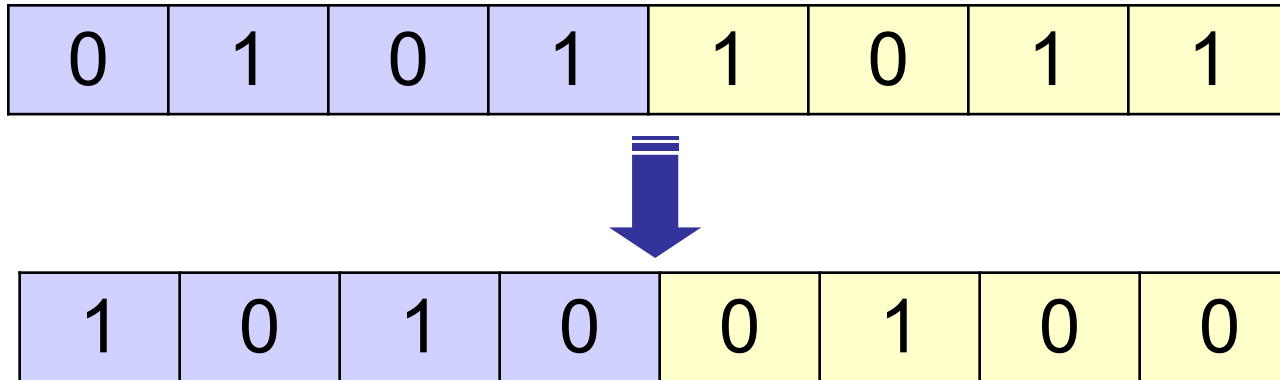
в специальный  
бит переноса

# Компьютер изнутри

## Тема 4. Битовые операции

# Инверсия (операция НЕ)

**Инверсия** – это замена всех «0» на «1» и наоборот.



**Си:**

```
int n;  
n = ~n;
```

**Паскаль:**

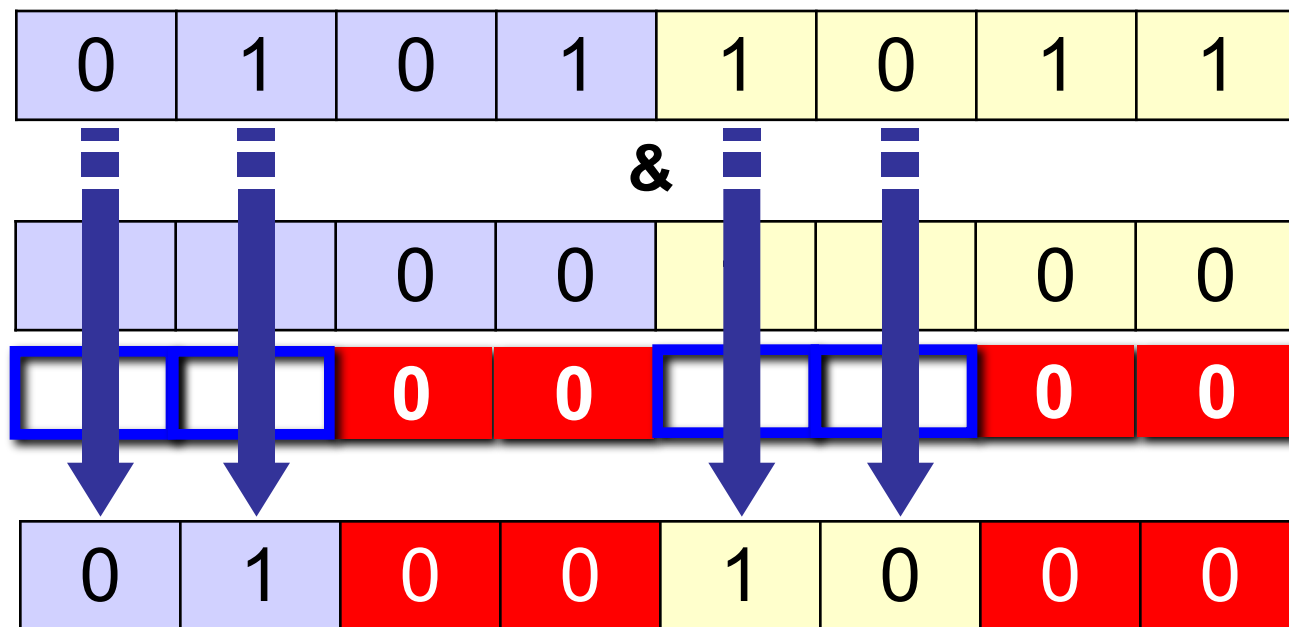
```
var n: integer;  
n := not n;
```

# Операция И

A	B	A & B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Обозначения:

И,  $\wedge$ , & (Си), and (Паскаль)



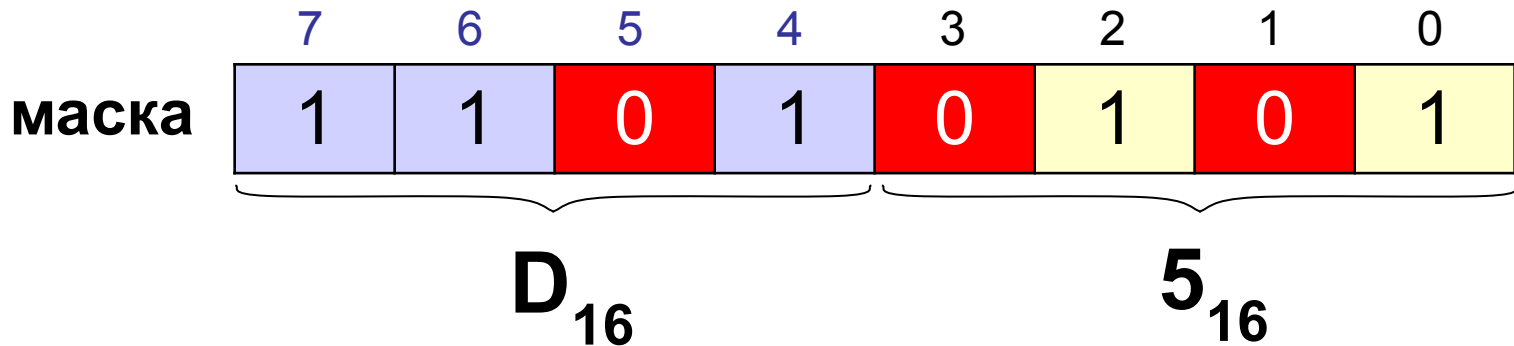
$x \& 0 = 0$   
 $x \& 1 = x$

$$5B_{16} \& CC_{16} = 48_{16}$$

# Операция И – обнуление битов

**Маска:** обнуляются все биты, которые в маске равны «0».

**Задача:** обнулить 1, 3 и 5 биты числа, оставив остальные без изменения.



**Си:**

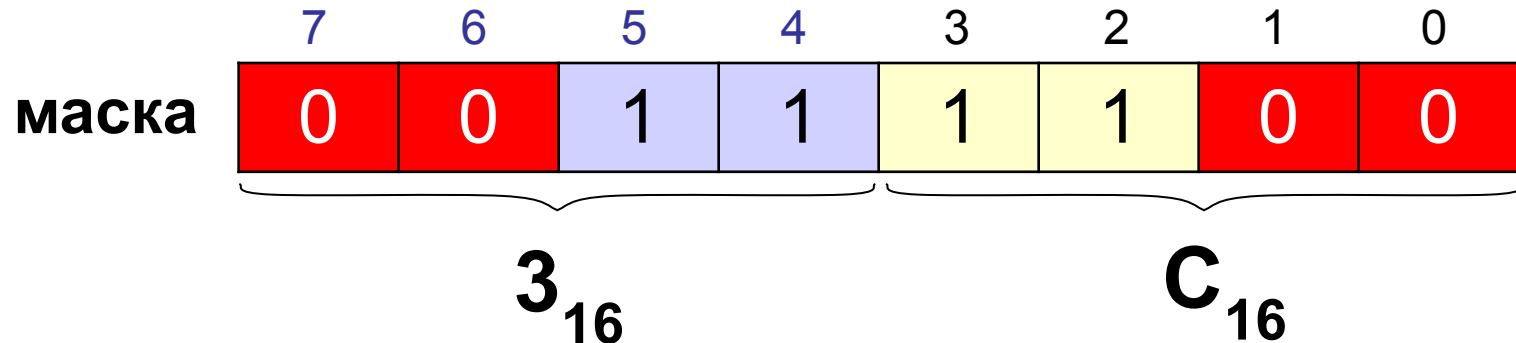
```
int n;
n = n & 0xD5;
```

**Паскаль:**

```
var n: integer;
n := n and $D5;
```

# Операция И – проверка битов

**Задача:** проверить, верно ли, что все биты 2...5 – нулевые.



**Си:**

```
if ( n & 0x3C == 0 )
    printf ("Биты 2-5 нулевые.");
else printf ("В битах 2-5 есть ненулевые.");
```

**Паскаль:**

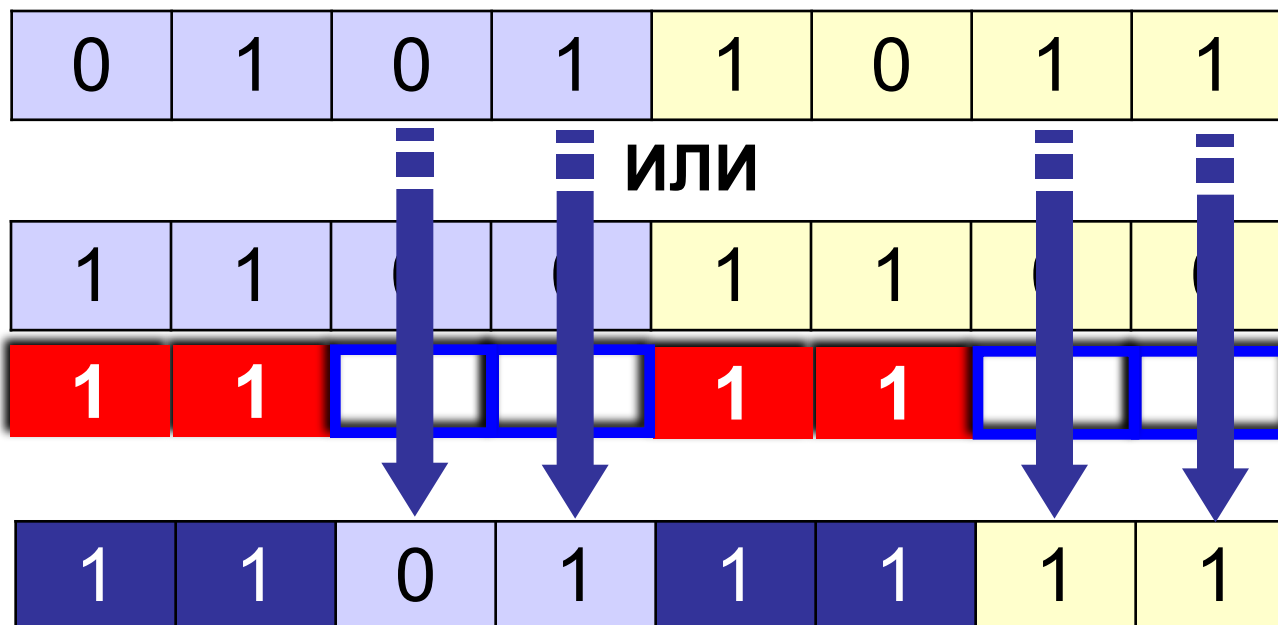
```
if (n and $3C) = 0
    writeln ('Биты 2-5 нулевые.')
else writeln ('В битах 2-5 есть ненулевые.');
```

# Операция ИЛИ

Обозначения:

ИЛИ,  $\vee$ ,  $|$  (Си), **or** (Паскаль)

A	B	A или B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



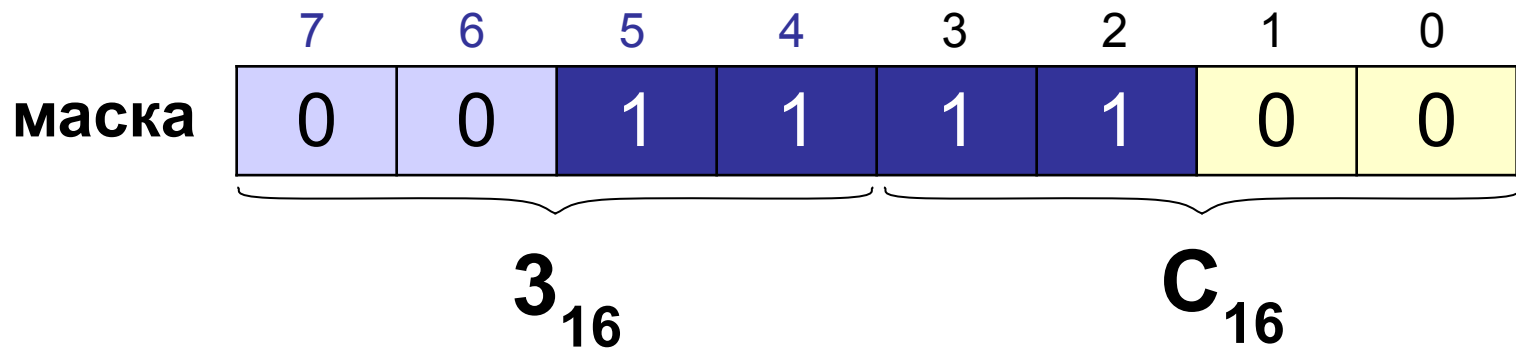
x ИЛИ 0 = x  
x ИЛИ 1 = 1

маска

$$5B_{16} | CC_{16} = DF_{16}$$

# Операция ИЛИ – установка битов в 1

**Задача:** установить все биты 2...5 равными 1, не меняя остальные.



Си:

```
n = n | 0x3C;
```

Паскаль:

```
n := n or $3C;
```



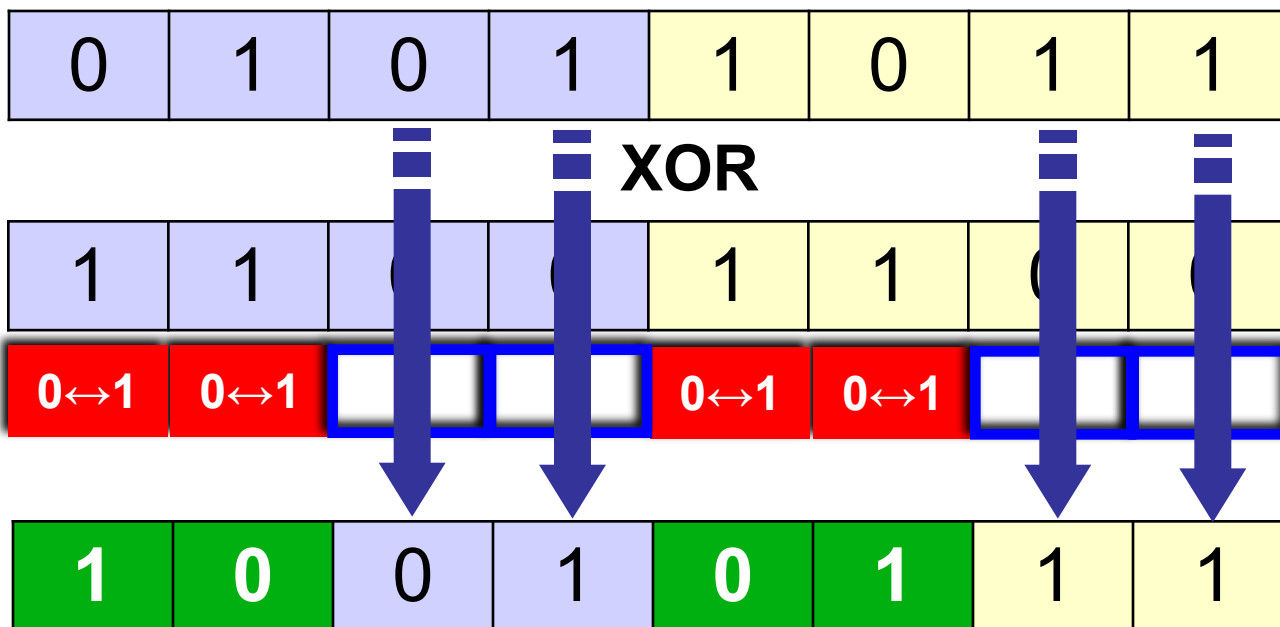
# Операция «исключающее ИЛИ»

Обозначения:

$\oplus$ ,  $\wedge$  (Си), **xor** (Паскаль)

A	B	A xor B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$x \text{ XOR } 0 = x$   
 $x \text{ XOR } 1 = \neg x$

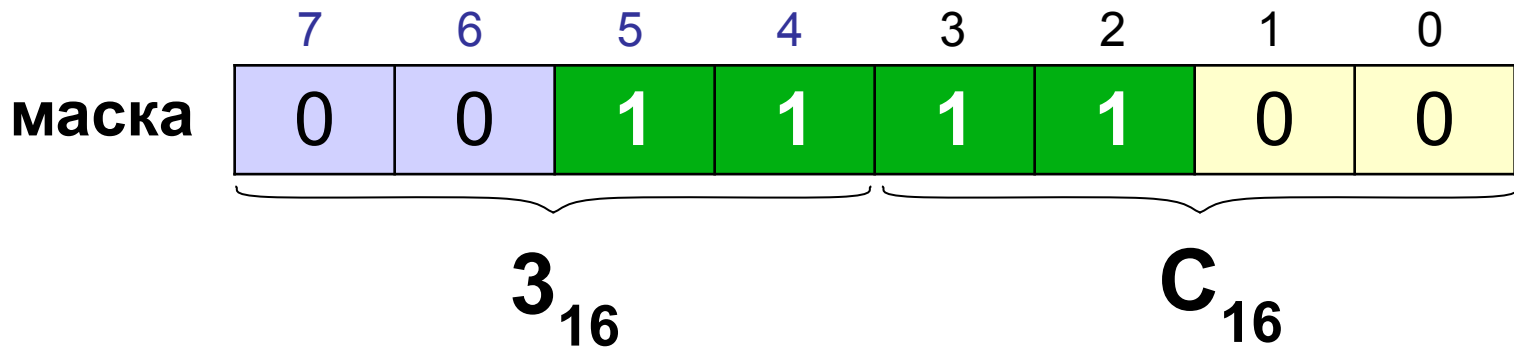


маска

$$5B_{16} \wedge CC_{16} = 97_{16}$$

# «Исключающее ИЛИ» – инверсия битов

**Задача:** выполнить инверсию для битов 2...5, не меняя остальные.



Си:

```
n = n ^ 0x3C;
```

Паскаль:

```
n := n xor $3C;
```

# «Исключающее ИЛИ» – шифровка

$$(0 \text{ xor } 0) \text{ xor } 0 = 0$$

$$(0 \text{ xor } 1) \text{ xor } 1 = 0$$

$$(1 \text{ xor } 0) \text{ xor } 0 = 1$$

$$(1 \text{ xor } 1) \text{ xor } 1 = 1$$

код (шифр)

$$(X \text{ xor } Y) \text{ xor } Y = X$$



«Исключающее ИЛИ» – обратимая операция.

## Шифровка:

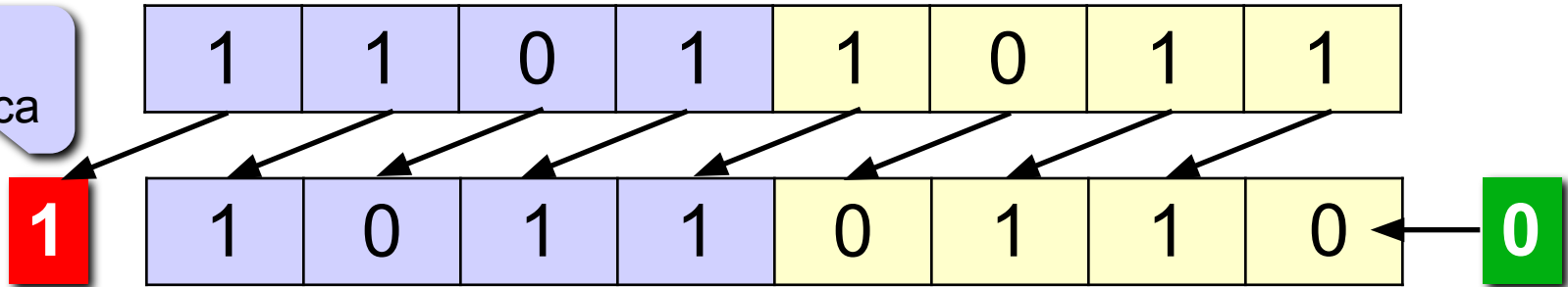
выполнить для каждого байта текста операцию **XOR** с байтом-шифром.

**Расшифровка:** сделать то же самое с тем же шифром.

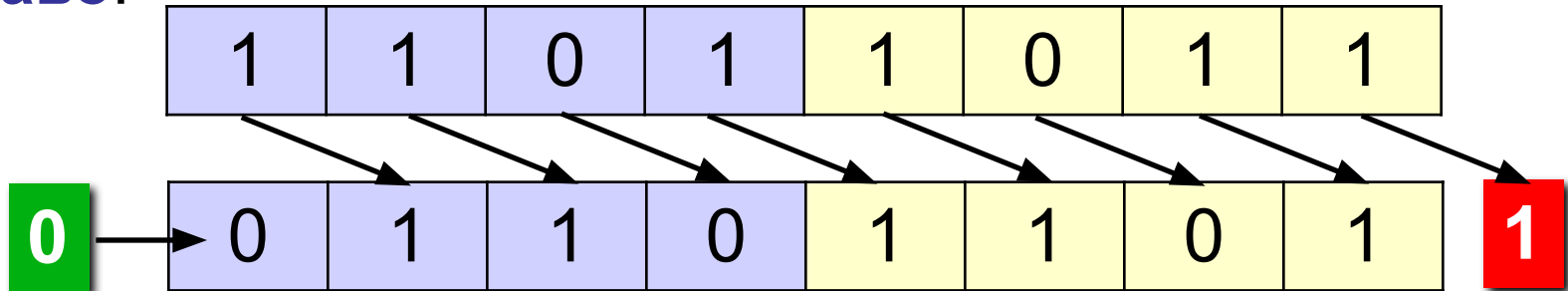
# Логический сдвиг

Влево:

в бит  
переноса



Вправо:



Си:

```
n = n << 1;
n = n >> 1;
```

Паскаль:

*shift left*

в бит  
переноса

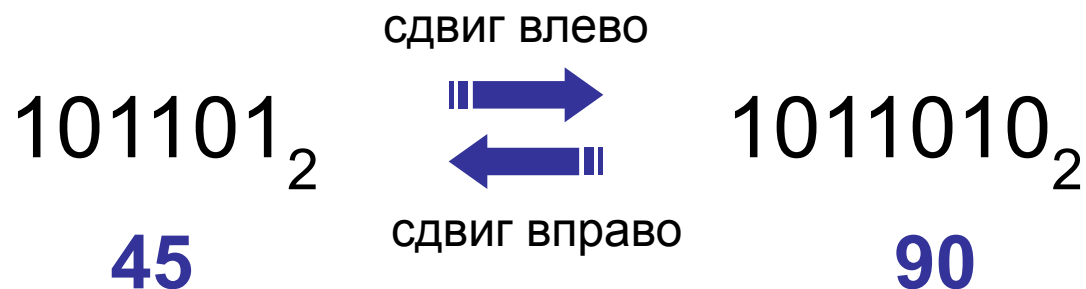
```
n := n shl 1;
n := n shr 1;
```

*shift right*

# Логический сдвиг



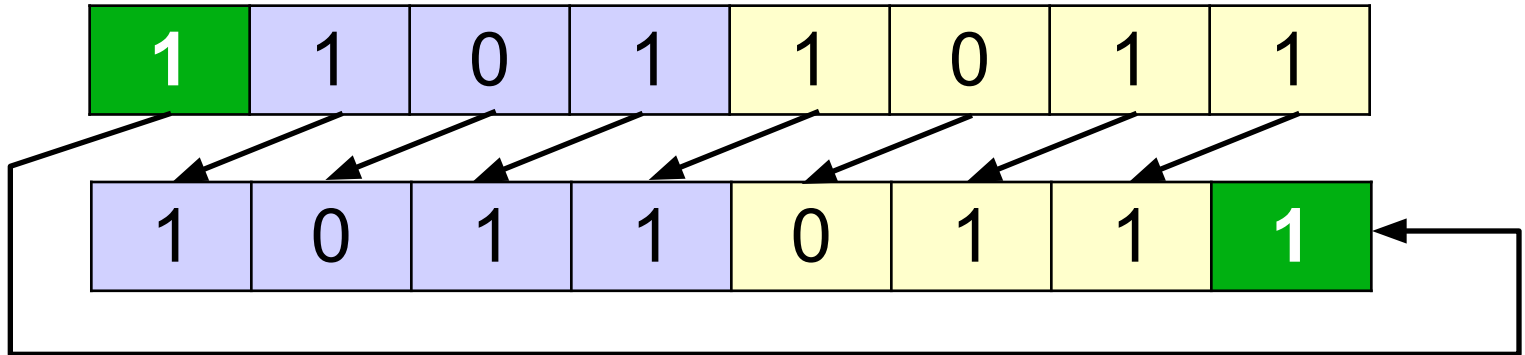
Какой арифметической операции равносильен логический сдвиг влево (вправо)? При каком условии?



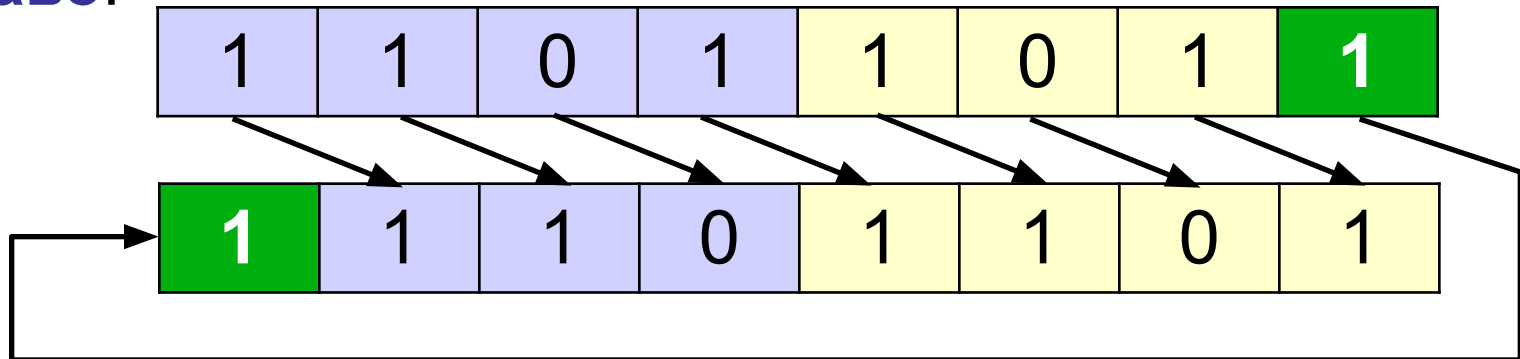
Логический сдвиг влево (вправо) – это быстрый способ **умножения** (деления без остатка) **на 2**.

# Циклический сдвиг

Влево:



Вправо:

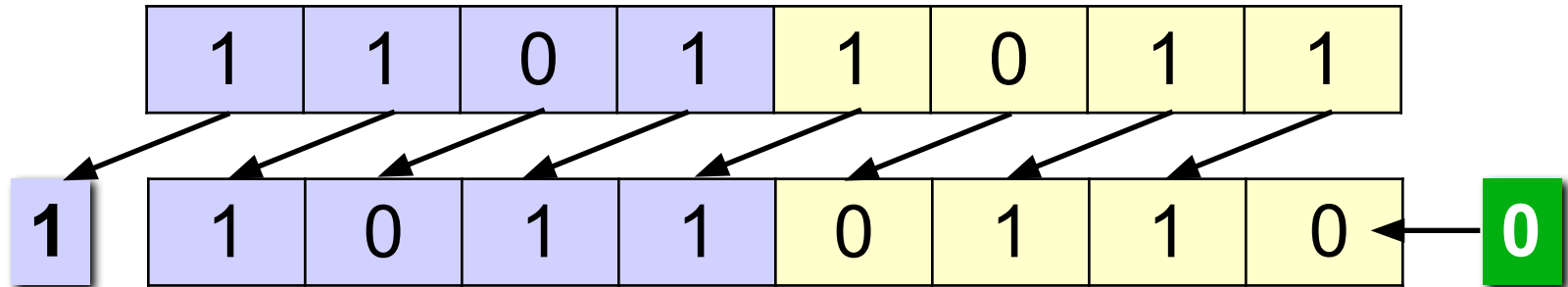


Си, Паскаль: –

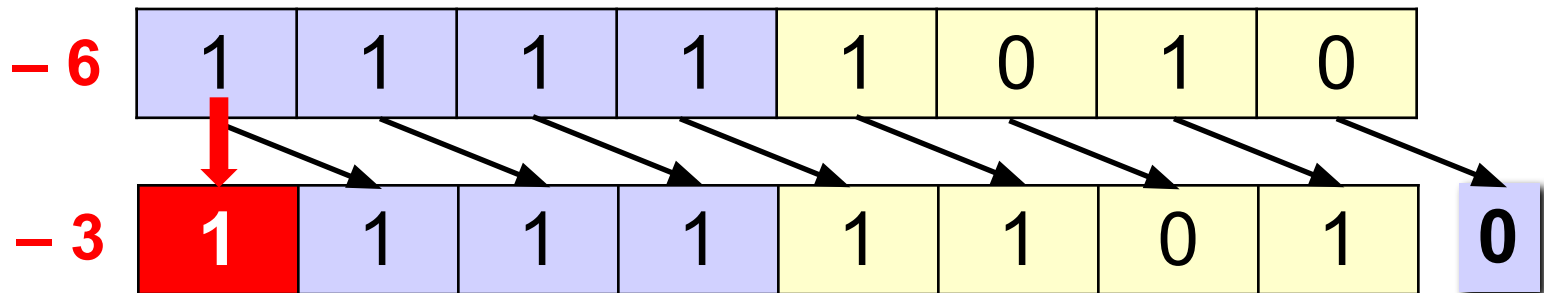
только через Ассемблер

# Арифметический сдвиг

Влево (= логическому):



Вправо (знаковый бит не меняется!):



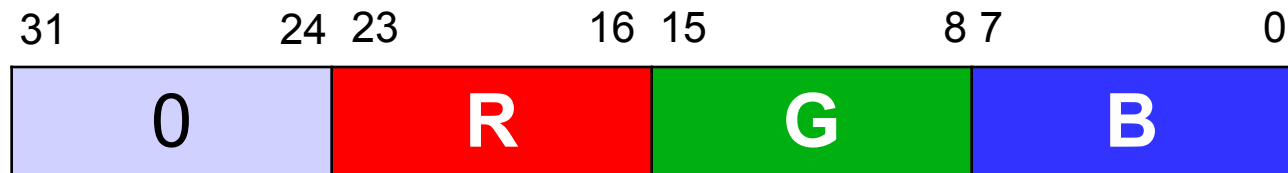
Си:

```
n = -6;
n = n >> 1;
```

Паскаль: –

# Пример

**Задача:** в целой переменной **n** (**32 бита**) закодирована информация о цвете пикселя в **RGB**:



Выделить в переменные R, G, B составляющие цвета.

## Вариант 1:

1. Обнулить все биты, кроме **G**.  
Маска для выделения **G**:  $0000FF00_{16}$
2. Сдвинуть вправо так, чтобы число **G** передвинулось в младший байт.



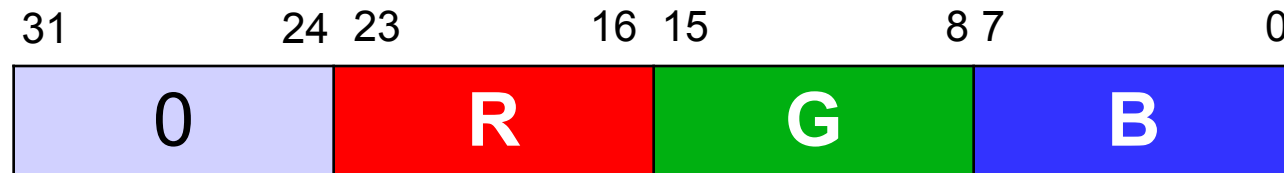
А надо ли  
обнулять?

**Си:** `G = (n & 0xFF00) >> 8;`

**Паскаль:** `G := (n and $FF00) shr 8;`



# Пример

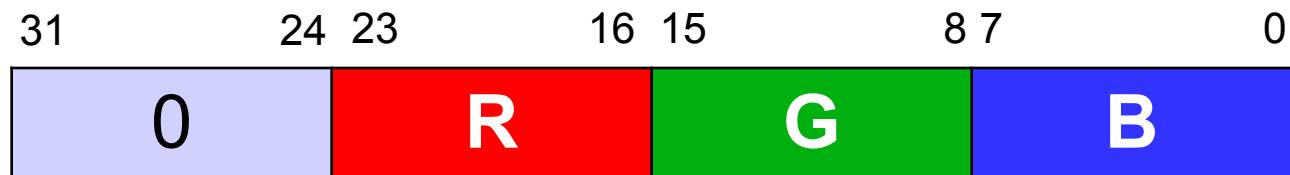


## Вариант 2:

1. Сдвинуть вправо так, чтобы число **G** передвинулось в младший байт.
2. Обнулить все биты, кроме **G**.  
Маска для выделения **G**: **000000FF**<sub>16</sub>

Си: `G = (n >> 8) & 0xFF;`

Паскаль: `G := (n shr 8) and $FF;`



Си: R =

B =

Паскаль: R :=

B :=

# Компьютер изнутри

## Тема 5. Вещественные числа

# Перевод дробных чисел

10 → 2

$$0,375 = 0,011_2$$

$$\times 2$$

$$\underline{0,750}$$

$$0,75$$

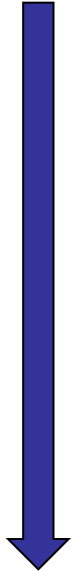
$$\times 2$$

$$\underline{1,50}$$

$$0,5$$

$$\times 2$$

$$\underline{1,0}$$



$$0,7 = ?$$

$$0,7 = 0,101100110\dots$$

$$= 0,1(0110)_2$$

Многие дробные числа нельзя представить в виде **конечных** двоичных дробей.

Для их точного хранения требуется **бесконечное** число разрядов.

Большинство дробных чисел хранится в памяти с ошибкой.

2 → 10

2 1 0 -1 -2 -3 разряды

$$101,011_2$$

$$= 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3}$$

$$= 4 + 1 + 0,25 + 0,125 = 5,375$$

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = 0,25$$

**Примеры:**

---

$$0,625 =$$

$$3,875 =$$

# Нормализация двоичных чисел

$$X = s \cdot M \cdot 2^e$$

**s** – знак (1 или -1)

**M** – мантисса,  $M = 0$  или  $1 \leq M <$

**e** – порядок  $2$

Пример:

знак

мантисса

порядок

$$15,625 = 1111,101_2 = \textcircled{1} \cdot \boxed{1,111101_2} \cdot \textcircled{2^3}$$

$$3,375 =$$

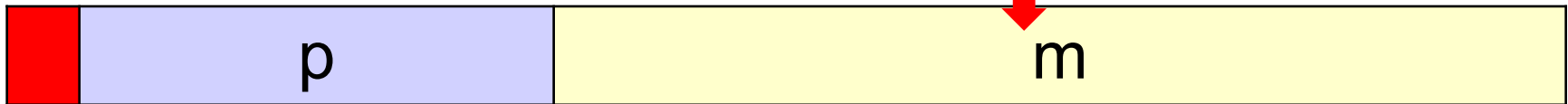
# Нормализованные числа в памяти

*IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic (IEEE 754)*

$$15,625 = 1 \cdot 1,111101_2 \cdot 2^3$$

$$s = 1 \quad e = 3$$

$$M = 1,111101_2$$



Порядок со сдвигом:  
 $p = e + E$  (сдвиг)

Дробная часть мантиссы:  
 $m = M - 1$

Знаковый бит:  
 0, если  $s = 1$   
 1, если  $s = -1$



Целая часть  $M$  всегда 1,  
 поэтому не хранится в памяти!

# Нормализованные числа в памяти

Тип данных	Размер, байт	Мантисса, бит	Порядок, бит	Сдвиг порядка, E	Диапазон модулей	Точность, десятичн. цифр
<b>float</b> <b>single</b>	4	23	8	127	$3,4 \cdot 10^{-38}$ ... $3,4 \cdot 10^{38}$	7
<b>double</b> <b>double</b>	8	52	11	1023	$1,7 \cdot 10^{-308}$ ... $1,7 \cdot 10^{308}$	15
<b>long</b> <b>double</b> <b>extended</b>	10	64	15	16383	$3,4 \cdot 10^{-4932}$ ... $3,4 \cdot 10^{4932}$	19

Типы данных для языков: **Си**

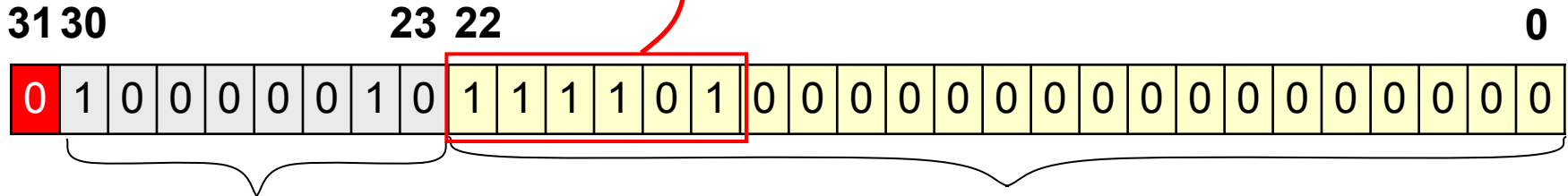
**Паскаль**



# Вещественные числа в памяти

$$15,625 = \cancel{1},111101_2 \cdot 2^3$$

4 байта = 32 бита

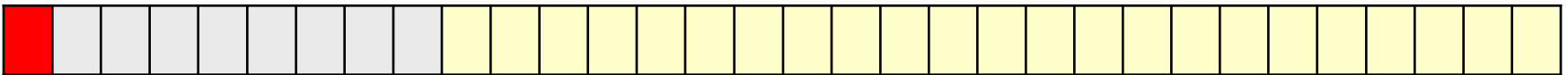


$$p = e + 127 = 130$$

$$= 10000010_2$$

$$m = M - 1 = 0,111101_2$$

3,375 =



# Арифметические операции

## сложение

$$5,5 + 3 = 101,1_2 + 11_2 = 8,5 = 1000,1_2$$

1. Порядок выравнивается до большего

$$5,5 = 1,011_2 \cdot 2^2$$

$$3 = 1,1_2 \cdot 2^1 = 0,11_2 \cdot 2^2$$

2. Мантиссы складываются

$$\begin{array}{r} 1,011_2 \\ + 0,110_2 \\ \hline 10,001_2 \end{array}$$

3. Результат нормализуется (с учетом порядка)

$$10,001_2 \cdot 2^2 = 1,0001_2 \cdot 2^3 = 1000,1_2 = 8,5$$

# Арифметические операции

## ВЫЧИТАНИЕ

$$10,75 - 5,25 = 1010,11_2 - 101,01_2 = 101,1_2 = 5,5$$

1. Порядок выравнивается до большего

$$10,75 = 1,01011_2 \cdot 2^3$$

$$5,25 = 1,0101_2 \cdot 2^2 = 0,10101_2 \cdot 2^3$$

2. Мантииссы вычитаются

$$\begin{array}{r} 1,01011_2 \\ - 0,10101_2 \\ \hline 0,10110_2 \end{array}$$

3. Результат нормализуется (с учетом порядка)

$$0,1011_2 \cdot 2^3 = 1,011_2 \cdot 2^2 = 101,1_2 = 5,5$$

# Арифметические операции

## умножение

$$7 \cdot 3 = 111_2 \cdot 11_2 = 21 = 10101_2$$

1. Мантиисы умножаются

$$7 = 1,11_2 \cdot 2^2$$

$$3 = 1,1_2 \cdot 2^1$$

$$\begin{array}{r} 1,11_2 \\ \times 1,1_2 \\ \hline 111_2 \\ 111_2 \\ \hline 10,101_2 \end{array}$$

2. Порядки складываются:  $2 + 1 = 3$

3. Результат нормализуется (с учетом порядка)

$$10,101_2 \cdot 2^3 = 1,0101_2 \cdot 2^4 = 10101_2 = 21$$

# Арифметические операции

## деление

$$17,25 : 3 = 10001,01_2 : 11_2 = 5,75 = 101,11_2$$

1. Мантиссы делятся

$$17,25 = 1,000101_2 \cdot 2^4$$

$$3 = 1,1_2 \cdot 2^1$$

$$1,000101_2 : 1,1_2 = 0,10111_2$$

2. Порядки вычитаются:  $4 - 1 = 3$

3. Результат нормализуется (с учетом порядка)

$$0,10111_2 \cdot 2^3 = 1,0111_2 \cdot 2^2 = 101,11_2 = 5,75$$

