Компьютер изнутри

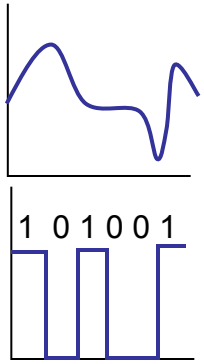
1. Основные принципы
2. Персональный компьютер
3. Хранение целых чисел
4. Битовые операции
5. Вещественные числа

Компьютер изнутри

Тема 1. Основные принципы

Определения

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



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

Hardware – аппаратное обеспечение, «железо».

Software – программное обеспечение, «софт».

Определения

Программа – это последовательность команд, которые должен выполнить компьютер.

Команда – это описание операции (1…4 байта):

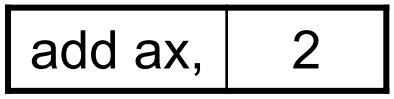
- **код команды**
- **операнды** – исходные данные (числа) или их адреса
- **результат** (куда записать).

Типы команд:

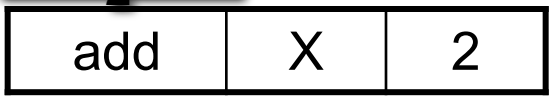
- **безадресные** (1 байт) **inc AX** – увеличить *регистр* AX на 1

  регистр – ячейка быстродействующей памяти, расположенная в процессоре

- **одноадресные** (2 байта) **add AX, 2** AX ← AX + 2



- **двухадресные** (3 байта)



X ← X + 2

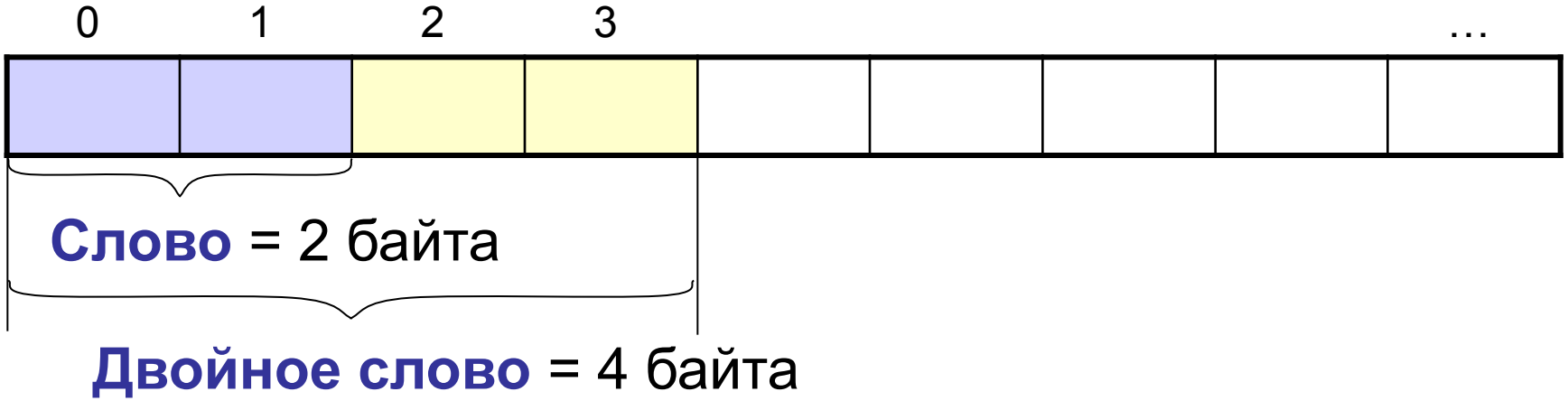
- **трехадресные** (4 байта)

Y ← X + 2

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).

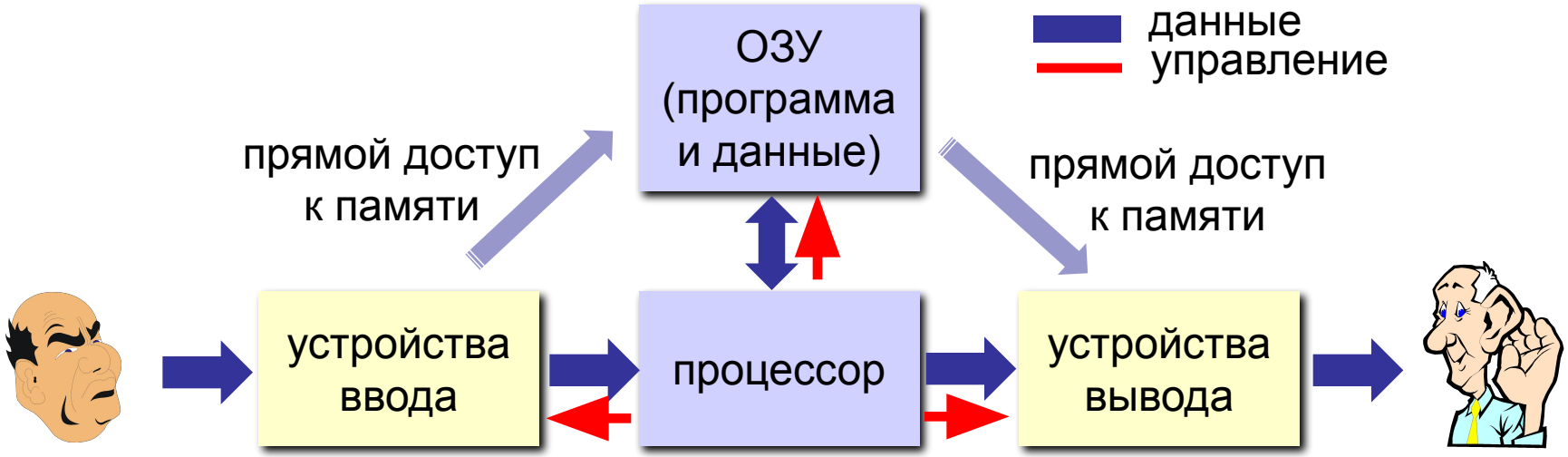
На современных компьютерах **1 байт = 8 бит**.



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

Принципы фон Неймана

«Предварительный доклад о машине EDVAC» (1945)

Джон фон Нейман

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.

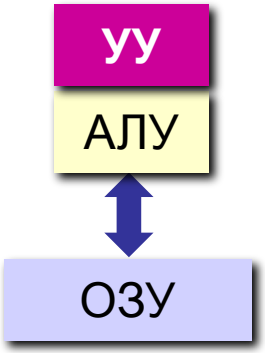
Выполнение программы

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

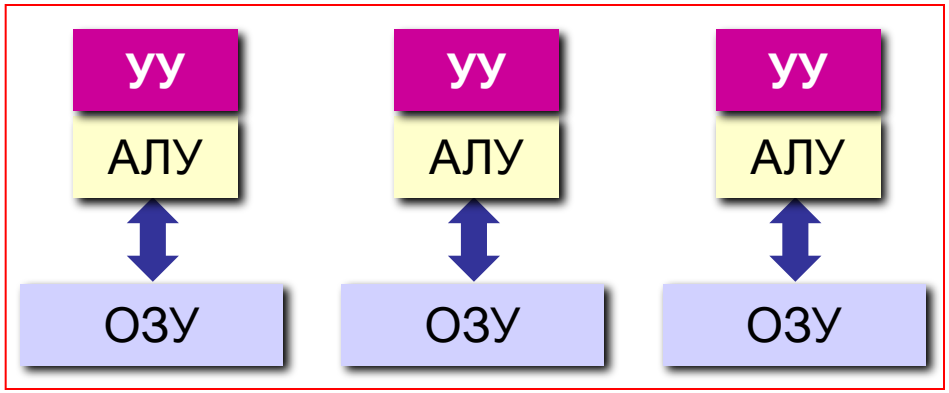
1. **Команда**, расположенная по этому адресу, передается **в УУ**. Если это не команда перехода, регистр **IP** увеличивается на длину команды.
2. УУ расшифровывает **адреса операндов**.
3. Операнды загружаются **в АЛУ**.
4. УУ дает команду АЛУ на **выполнение операции**.
5. **Результат** записывается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

Архитектуры компьютеров

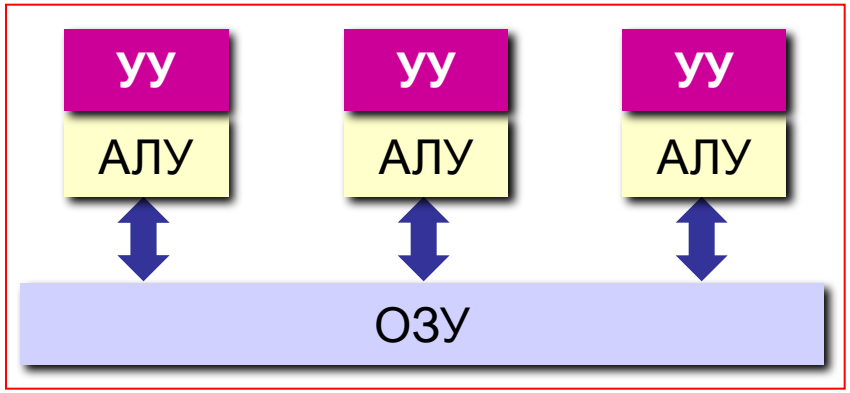
фон Неймана



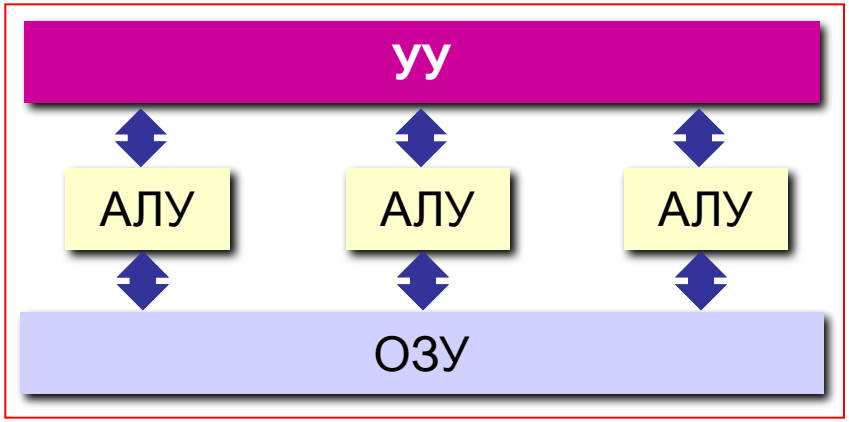
многомашинная
(независимые задачи)



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).

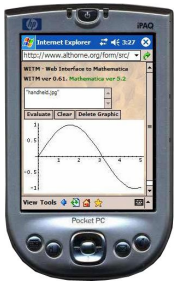
1977 Apple-II

1981 IBM PC
(*personal computer*)

***iMac* (1999)**

***PowerMac G4 Cube* (2000)**

EC-1841

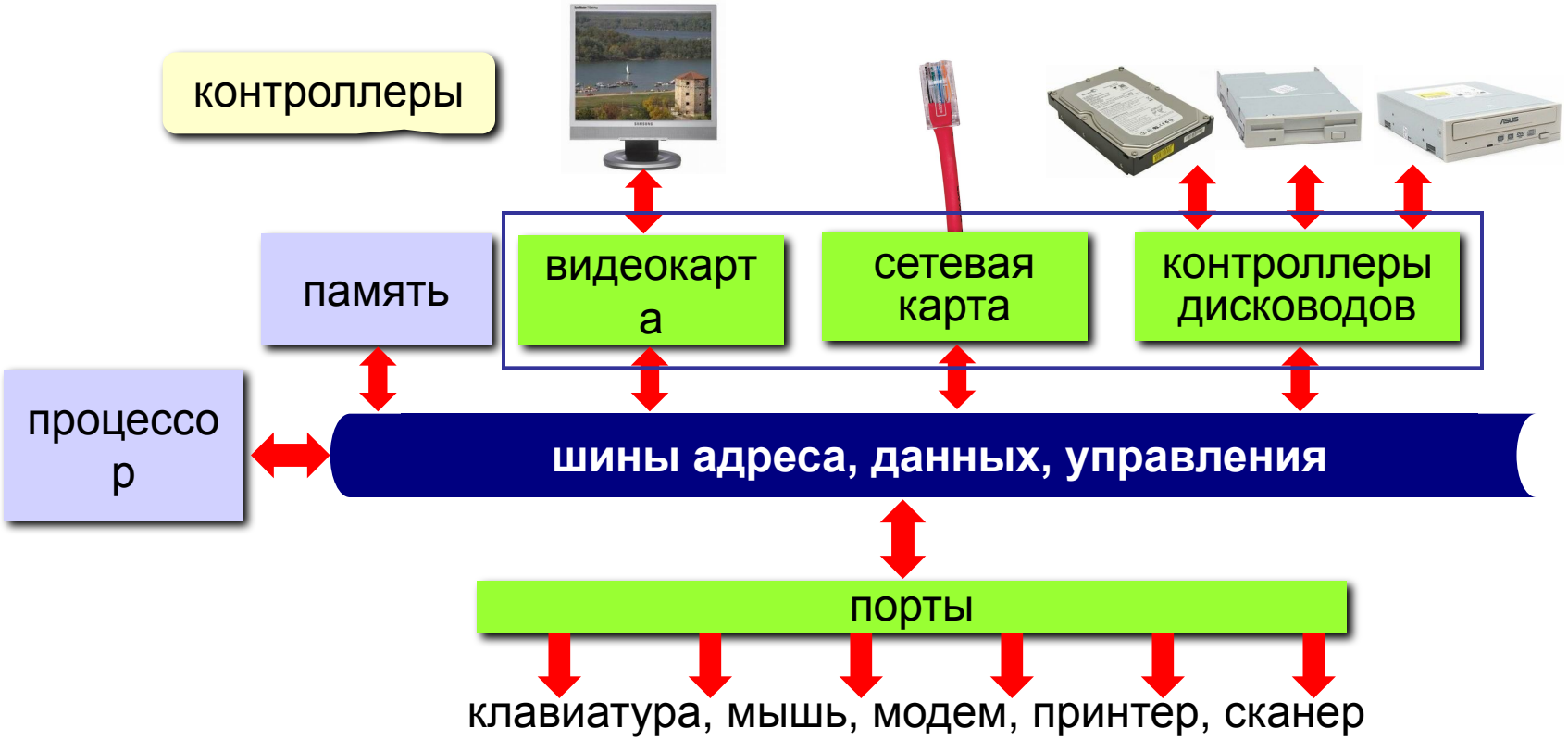


Принцип открытой архитектуры

- 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

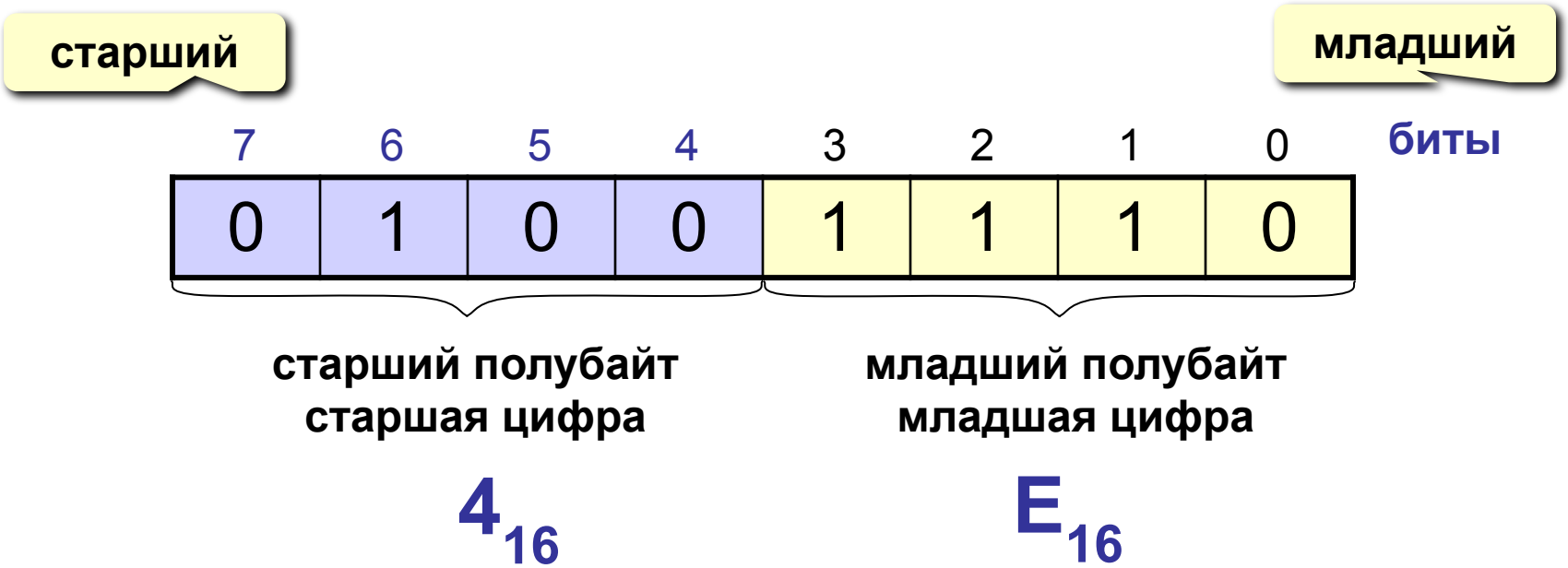
Беззнаковые данные – не могут быть отрицательными.

Байт (символ)

память: **1 байт = 8 бит**

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

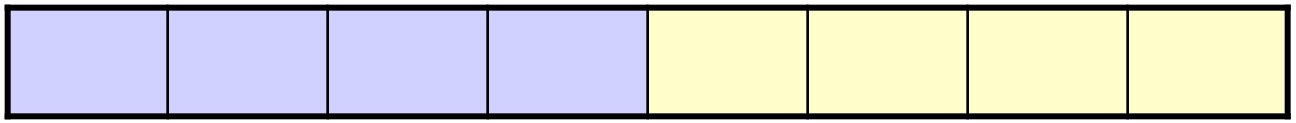
Си: ***unsigned char*** **Паскаль:** ***byte***



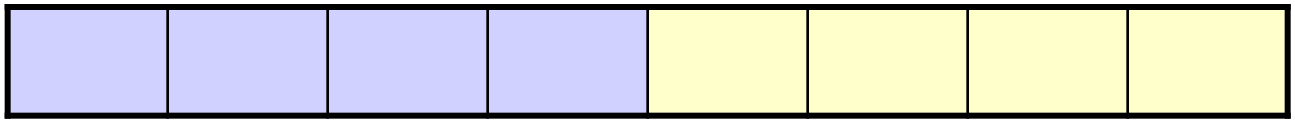
$$1001110_2 = 4E_{16} = \text{‘N’}$$

Примеры

78 =



115 =



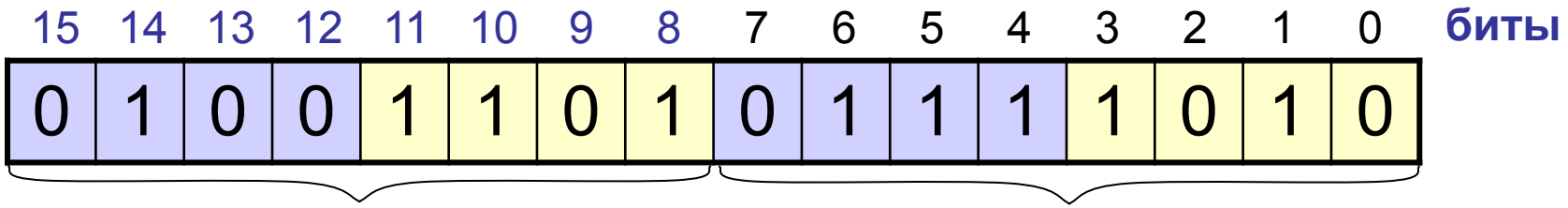
Целые беззнаковые числа

Целое без знака

память: **2 байта = 16 бит**

диапазон значений **0…65535,** **$0…FFFF_{16} = 2^{16}-1$**

Си: ***unsigned int*** **Паскаль:** ***word***



$4D_{16}$ **$7A_{16}$**

$100110101111010_2 = 4D7A_{16}$

Длинное целое без знака

память: **4 байта = 32 бита**

диапазон значений **$0…FFFFFFFF_{16} = 2^{32}-1$**

Си: ***unsigned long int*** **Паскаль:** ***dword***

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.

не помещается в 1 байт!

1 байт:

$FF_{16} + 1 = 1\,0\,0_{16}$

2 байта: $FFFF_{16} + 1 = 1\,0\,0\,0\,0_{16}$

4 байта: $FFFFFFFF_{16} + 1 = 1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0_{16}$

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.
6.

0	1	0	0	1	1	0	1

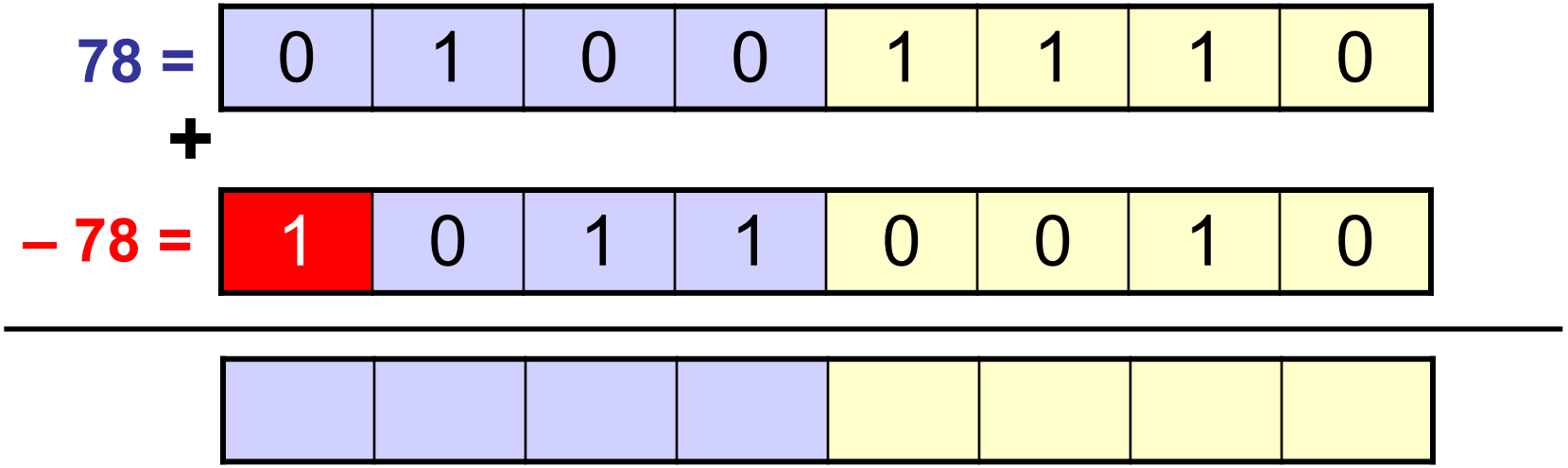
1	0	1	1	0	0	1	0

= – 78

знаковый бит

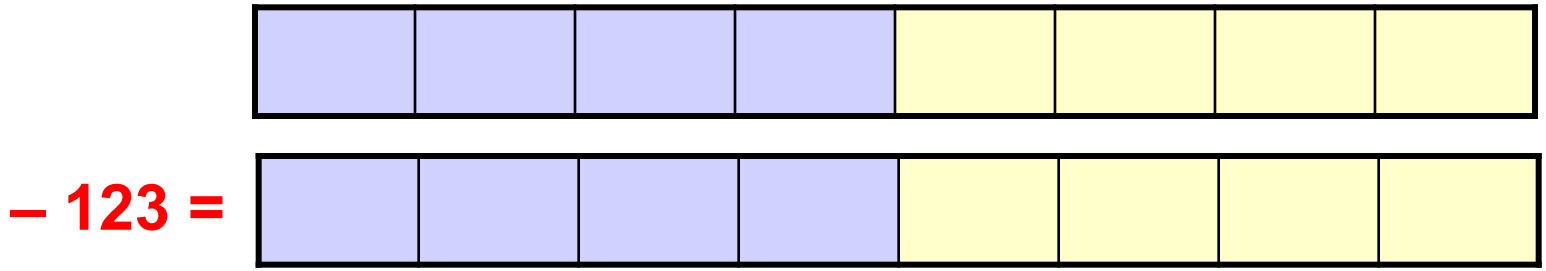
Двоичный дополнительный код

Проверка: 78 + (– 78) = ?



Пример

(– a) = – 123, сетка 8 бит

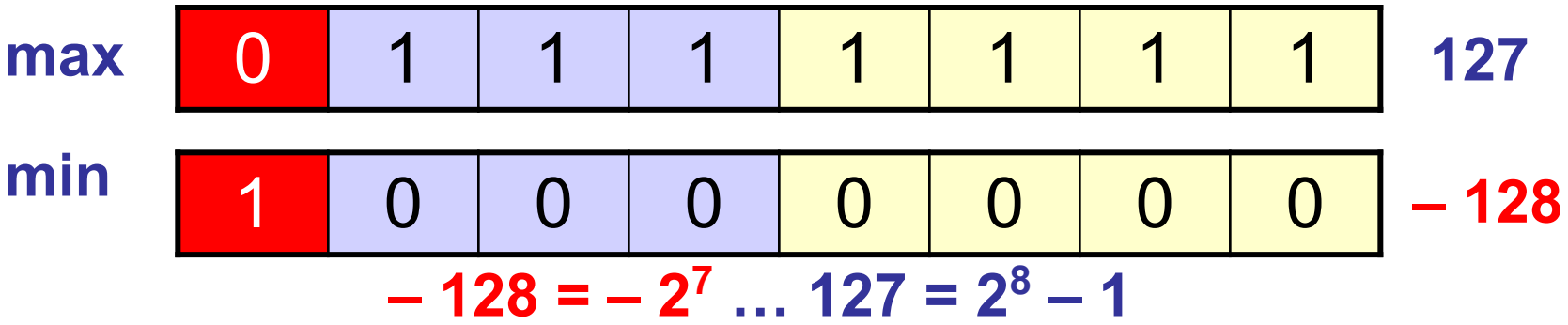


Целые числа со знаком

Байт (символ) со знаком

память: **1 байт = 8 бит**

диапазон значений:



Си: ***char*** **Паскаль: –**

можно работать с отрицательными числами

уменьшился диапазон положительных чисел

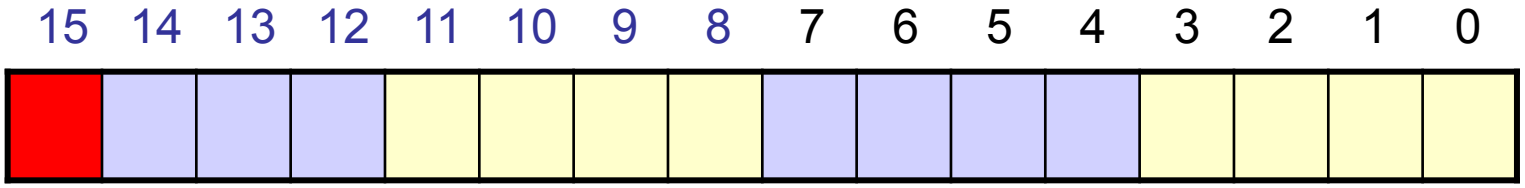
Целые числа со знаком

Слово со знаком

память: **2 байта = 16 бит**

диапазон значений

– 32768 … 32767



Си: ***int*** **Паскаль:** ***integer***

Двойное слово со знаком

память – **4 байта**

диапазон значений

– 2^{31} … 2^{31}-1

Си: ***long int*** **Паскаль:** ***longint***

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	64
+	0	1	0	0	0	0	0	0	64
	1	0	0	0	0	0	0	0	– 128

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
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

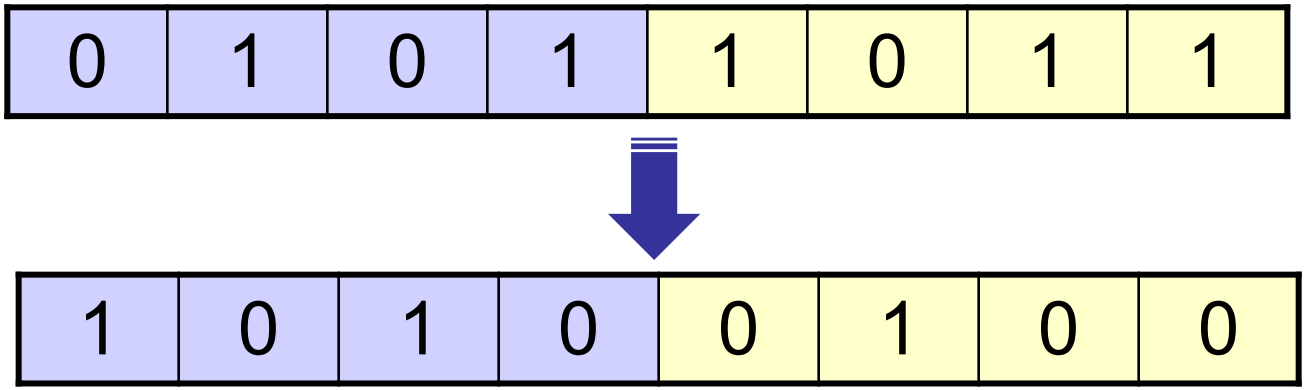
в специальный **бит переноса**

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;
```

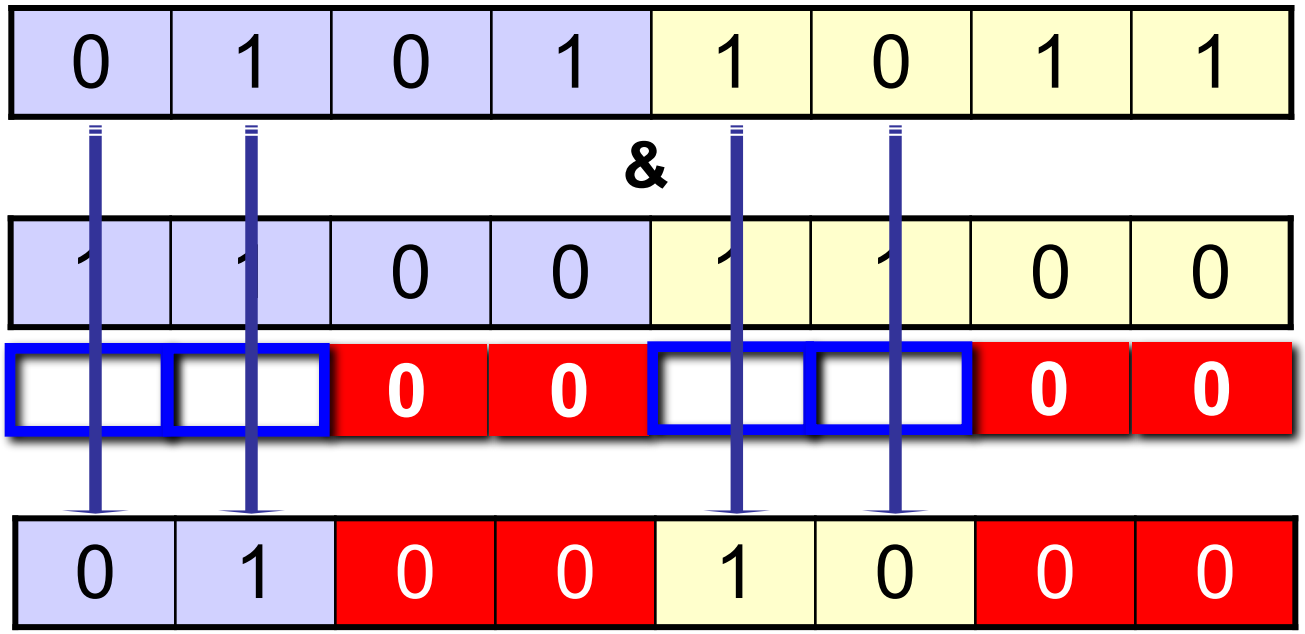
Операция И

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

Обозначения:

И, **∧**, **&** (Си), **and** (Паскаль)

x & 0 =**0**
x & 1 =**x**

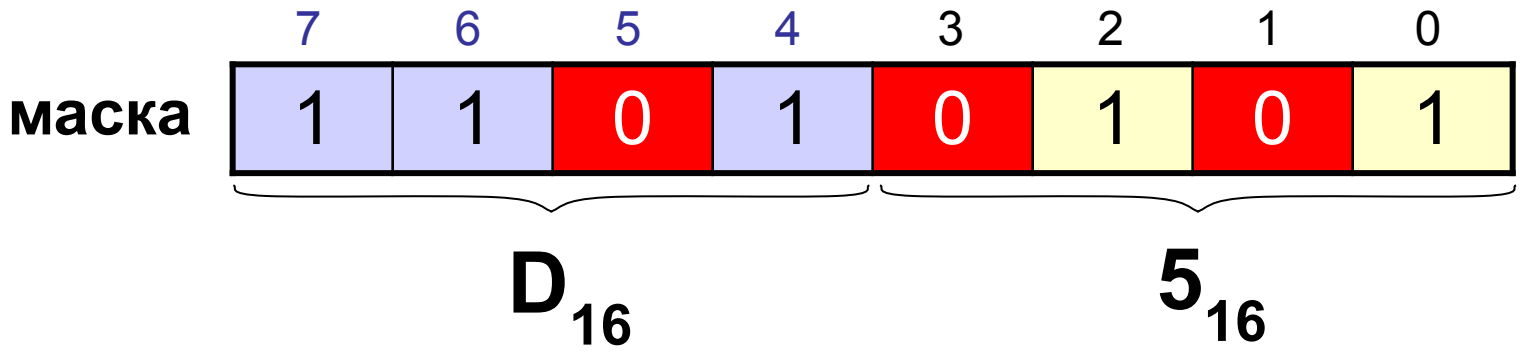


$5B_{16}$ & CC_{16} = 48_{16}

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:

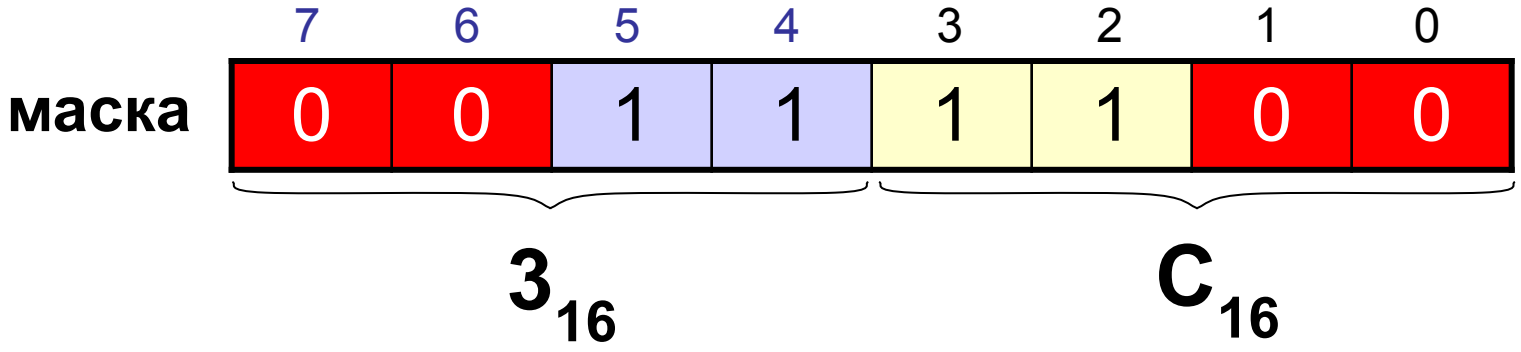
```
int n;
n = n & 0xD5;
```

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.");
```

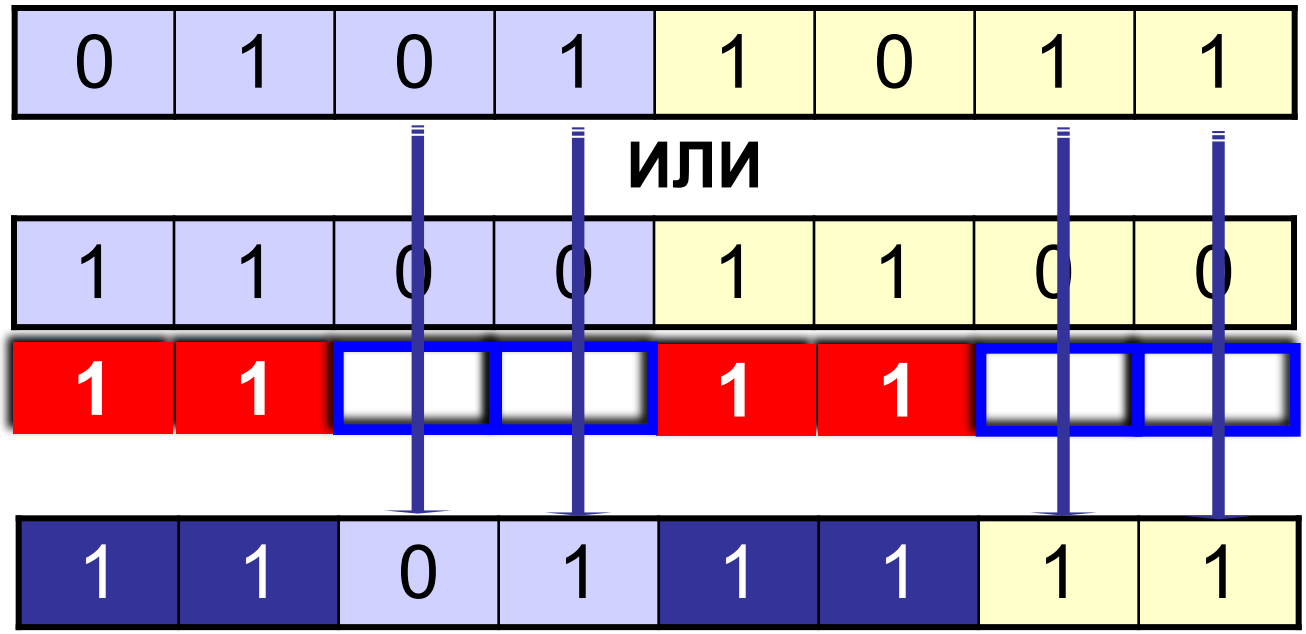
Паскаль:

```
if (n and $3C) = 1
      writeln ('Биты 2-5 нулевые.')
else writeln ('В битах 2-5 есть ненулевые.');
```

Операция ИЛИ

A	B	A или B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Обозначения:
ИЛИ, ∨, | (Си), **or** (Паскаль)



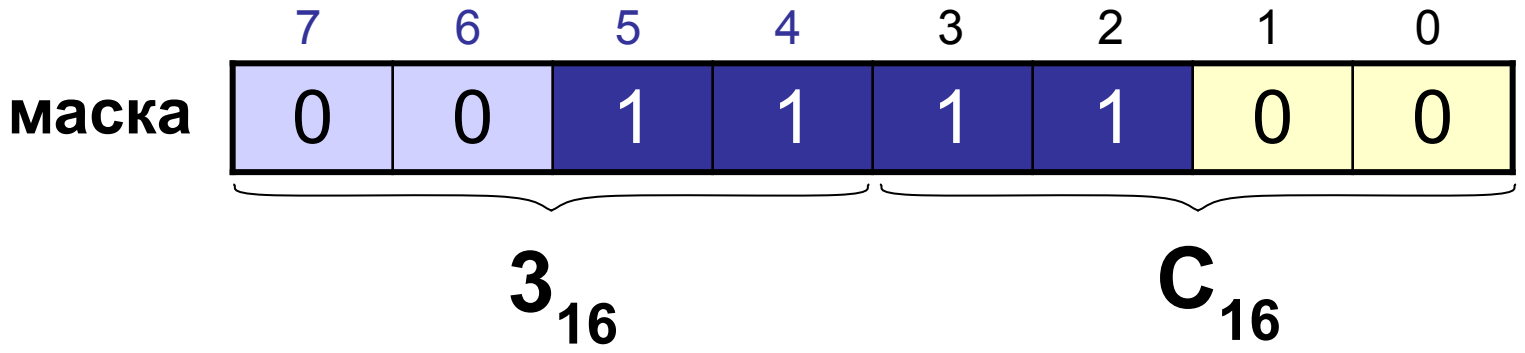
маска

x **ИЛИ** 0 =**x**
x **ИЛИ** 1 =**1**

$$5B_{16} \mid CC_{16} = DF_{16}$$

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»

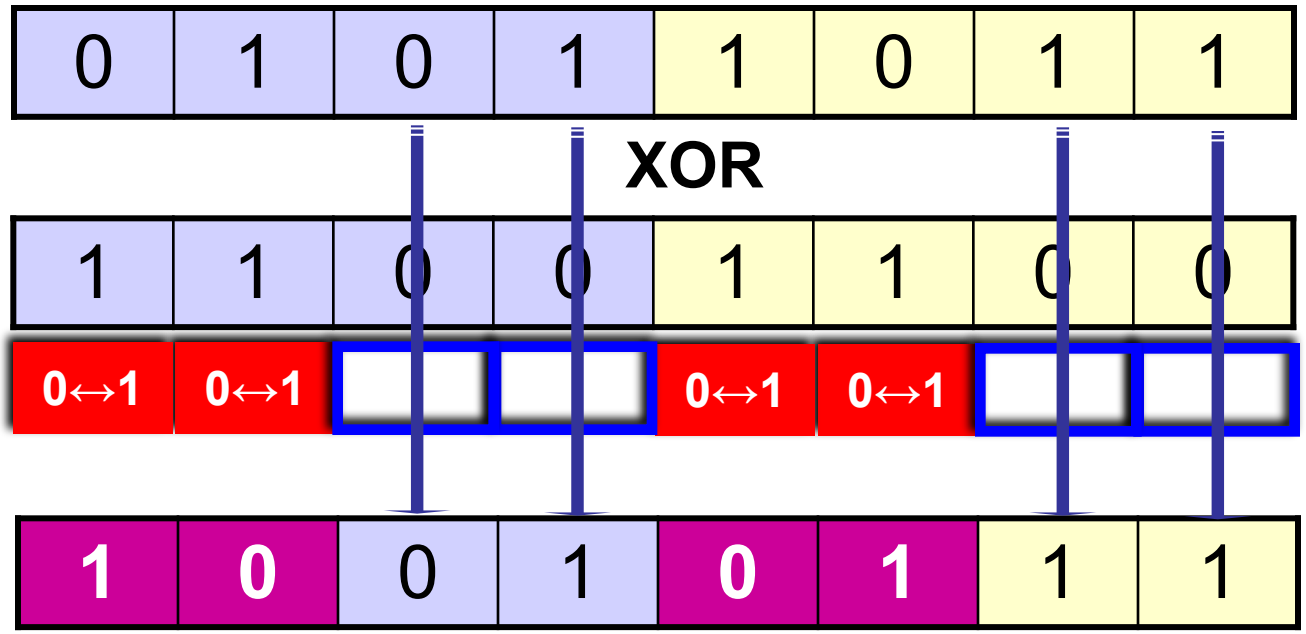
A	B	A xor B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Обозначения:

⊕, **^** (Си), **xor** (Паскаль)

x **XOR** 0 = **x**

x **XOR** 1 = **НЕ x**

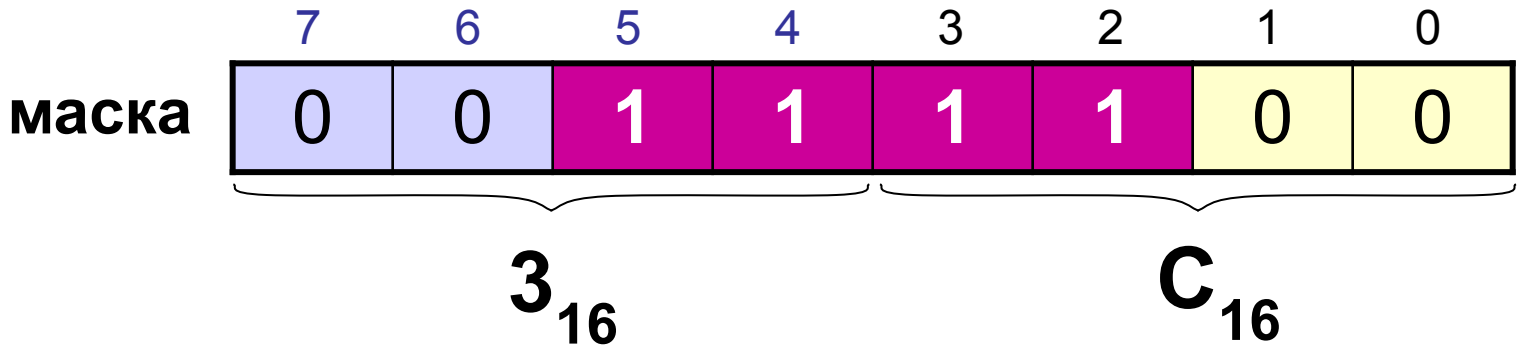


маска

$5B_{16}$ ^ CC_{16} = 97_{16}

«Исключающее ИЛИ» – инверсия битов

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



Си:

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

Паскаль:

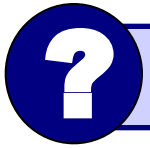
```
n := n xor $3C;
```

«Исключающее ИЛИ» – шифровка[35]

```
(0 xor 0) xor 0 = 0
(1 xor 0) xor 0 = 1
(0 xor 1) xor 1 = 0
(1 xor 1) xor 1 = 1
```

код (шифр)

```
(X xor Y) xor Y = X
```



«Исключающее ИЛИ» – обратимая операция.

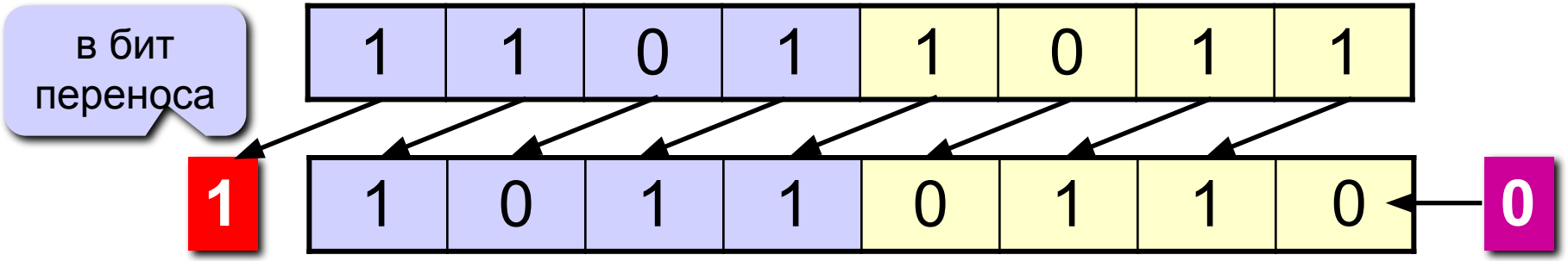
Шифровка:

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

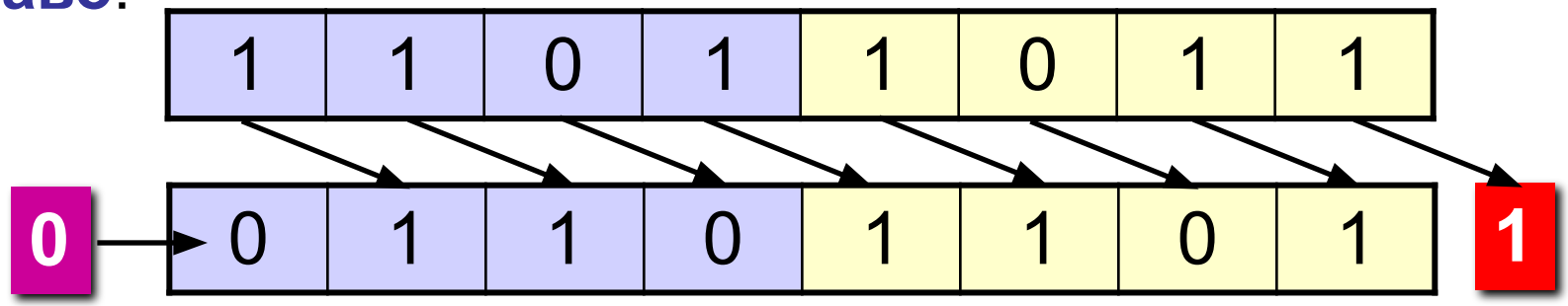
Расшифровка: сделать то же самое с **тем же** шифром.

Логический сдвиг

Влево:



Вправо:



Си:

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

Паскаль:

shift left

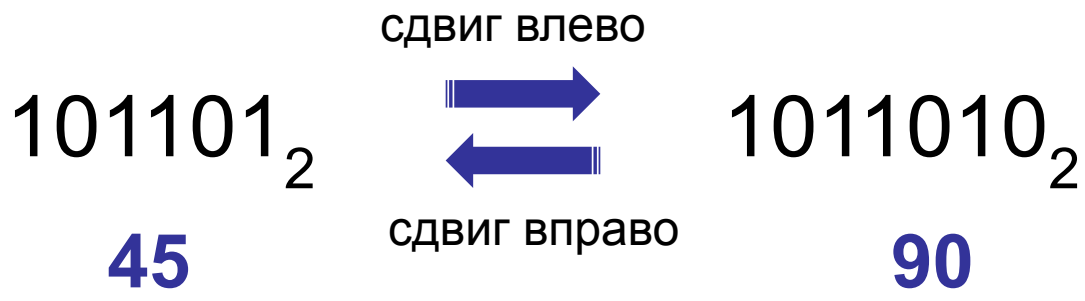
в бит переноса

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

shift right

Логический сдвиг

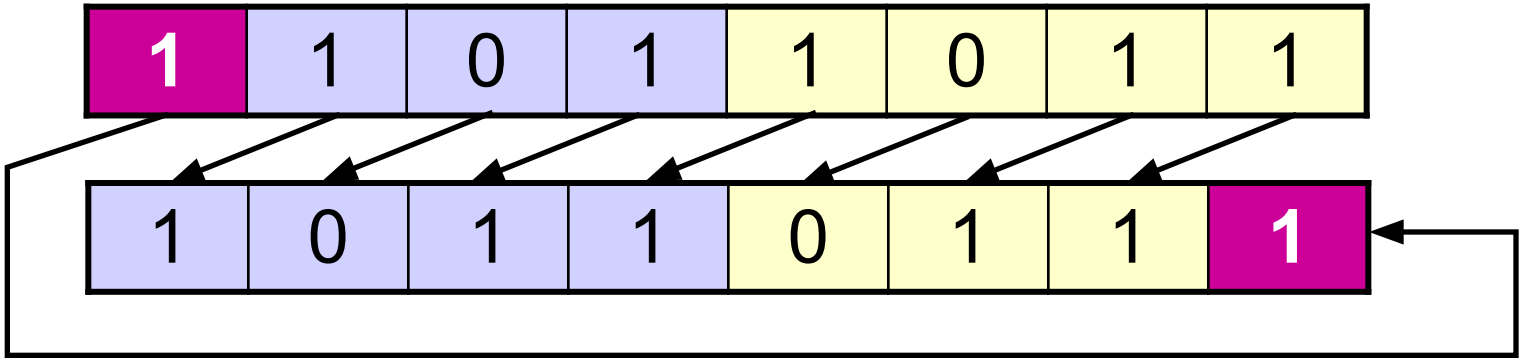
Какой арифметической операции равносилен логический сдвиг влево (вправо)? При каком условии?



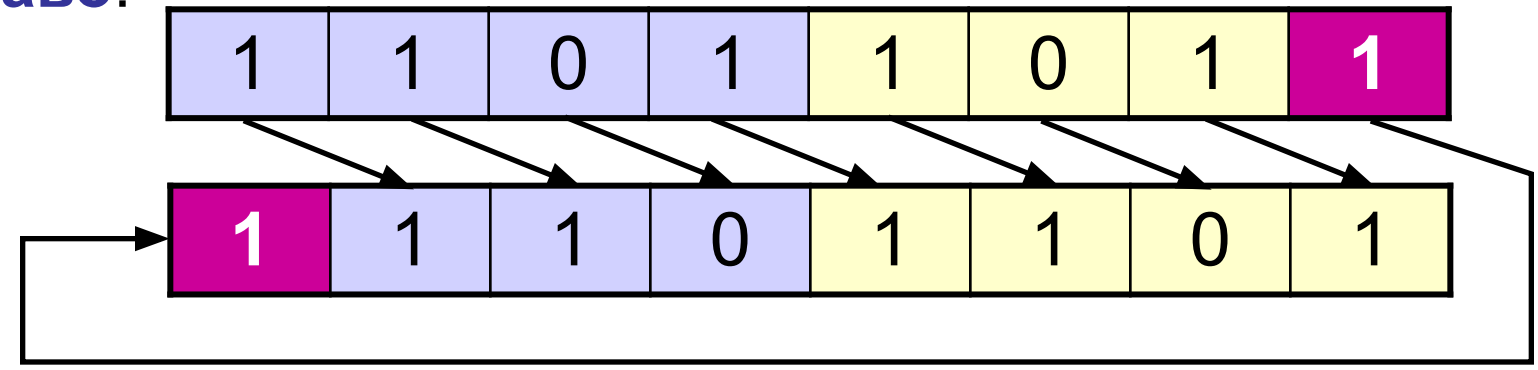
Логический сдвиг влево (вправо) – это быстрый способ **умножения** (деления без остатка) **на 2**.

Циклический сдвиг

Влево:



Вправо:

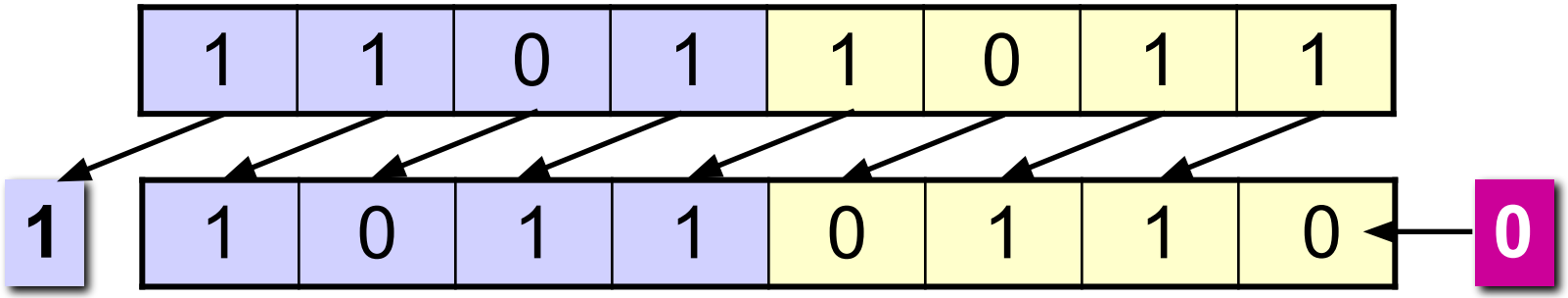


Си, Паскаль: –

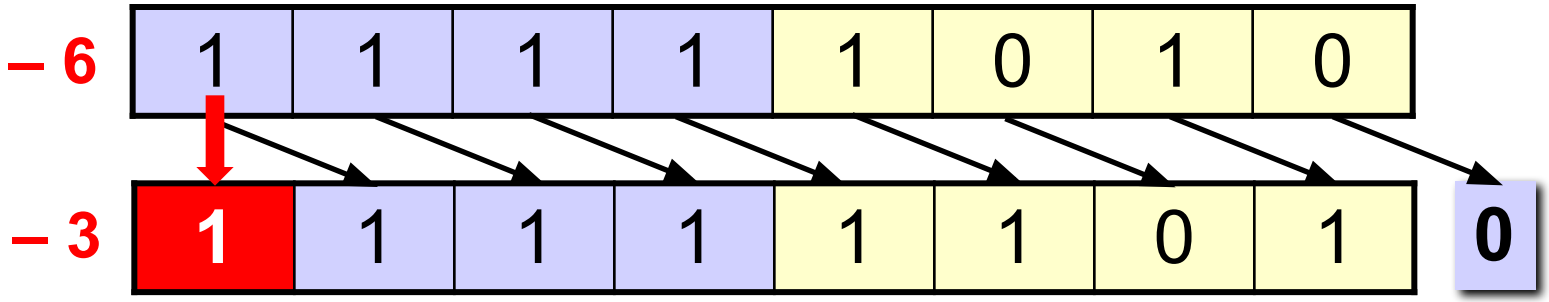
только через Ассемблер

Арифметический сдвиг

Влево (= логическому):



Вправо (знаковый бит не меняется!):



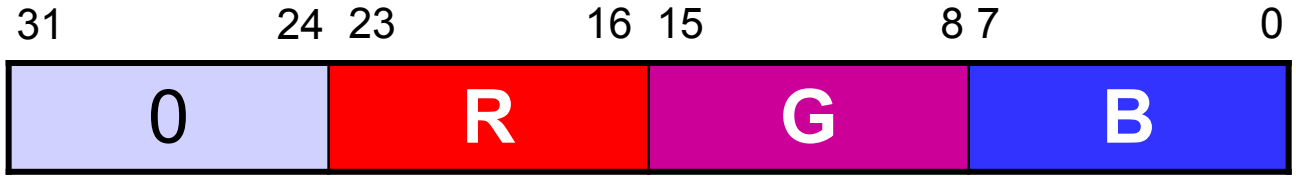
Си:

```
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?

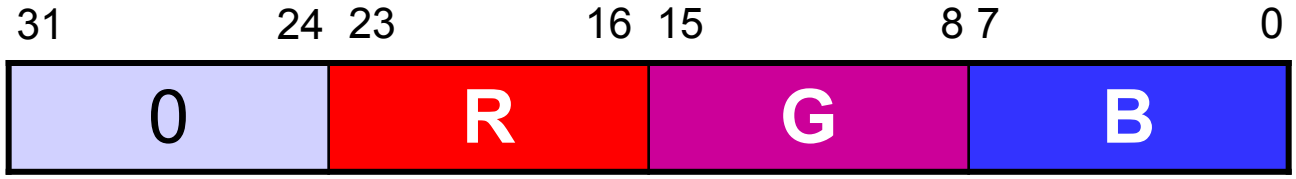
Си:

```
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**: **$000000FF_{16}$**

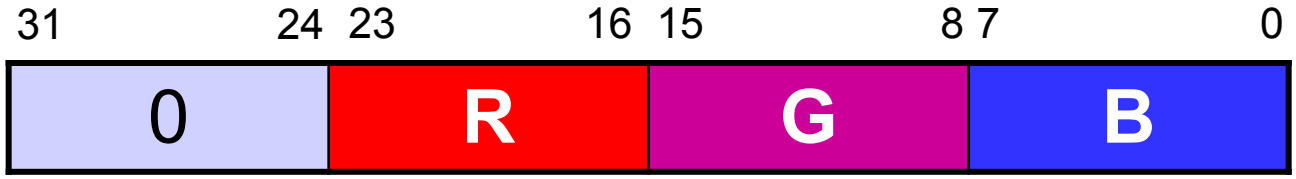
Си:

```
G = (n >> 8) & 0xFF;
```

Паскаль:

```
G := (n shr 8) and $FF;
```

Пример



Си:

```
R =

B =
```

Паскаль:

```
R :=

B :=
```

Компьютер изнутри

Тема 5. Вещественные числа

Нормализация двоичных чисел

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

s – **знак** (1 или -1)

M – **мантисса**, $M = 0$ или $1 \le M < 2$

e – **порядок**

Пример:

знак | мантисса | порядок

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

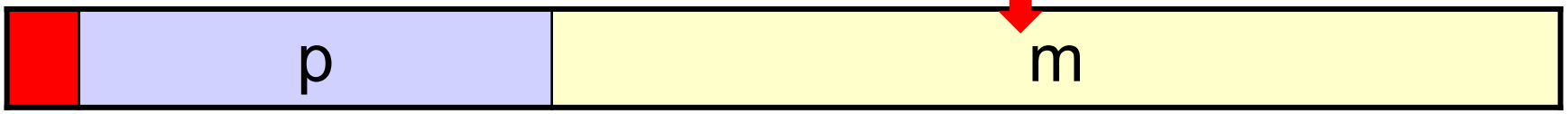
$$3{,}375 =$$

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 **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
float **single**	**4**	23	8	127	$3{,}4\cdot10^{-38}$ ... $3{,}4\cdot10^{38}$	**7**
double **double**	**8**	52	11	1023	$1{,}7\cdot10^{-308}$ ... $1{,}7\cdot10^{308}$	**15**
long double **extended**	**10**	64	15	16383	$3{,}4\cdot10^{-4932}$ ... $3{,}4\cdot10^{4932}$	**19**

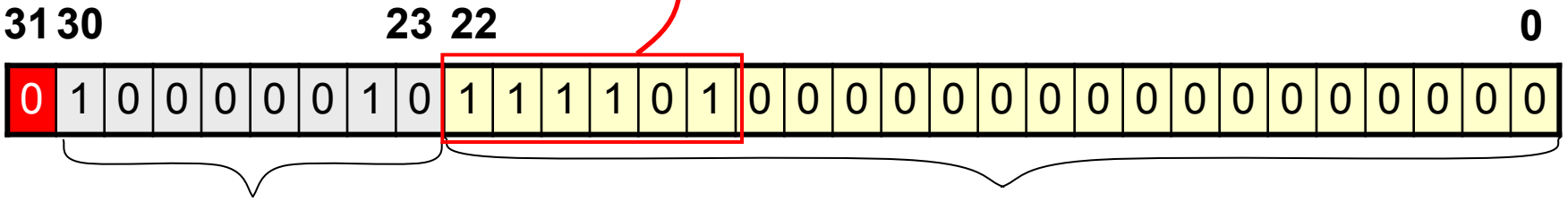
Типы данных для языков: **Си**

Паскаль

Вещественные числа в памяти

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

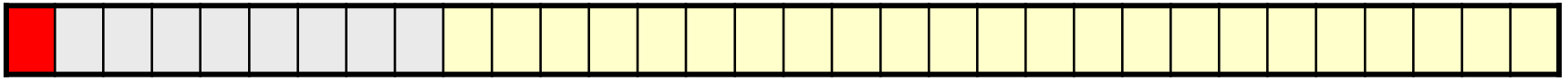
4 байта = 32 бита



$p = e + 127 = 130 = 10000010_2$

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

$3{,}375 =$



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. Мантиссы 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

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

1. Мантиссы умножаются

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

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

$$\begin{array}{r} 1{,}1\ 1_2 \\ \times\ \ 1{,}1_2 \\ \hline 1\ 1\ 1_2 \\ 1\ 1\ 1_2 \\ \hline 1\ 0{,}1\ 0\ 1_2 \end{array}$$

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)

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

Конец фильма