

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

Вещественные числа (конечные и бесконечные десятичные дроби) хранятся и обрабатываются в компьютере в формате с *плавающей запятой*.

В этом случае положение запятой в записи числа может изменяться.

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

Формат чисел *с плавающей запятой* базируется на экспоненциальной форме записи, в которой может быть представлено любое число. Так число  $A$  может быть представлено в виде:

$$A = m \times q^n$$

где  $m$  – мантисса числа

$q$  – основание системы счисления,

$n$  – порядок числа.

Для однозначности представления чисел *с плавающей запятой* используется нормализованная форма, при которой мантисса отвечает условию:

$$1/n \leq |m| < 1.$$

Это означает, что мантисса должна быть правильной дробью и иметь после запятой цифру, отличную от нуля.

## Пример 1.

Преобразуйте десятичное число 888,888, записанное в естественной форме, в экспоненциальную форму с нормализованной мантиссой.

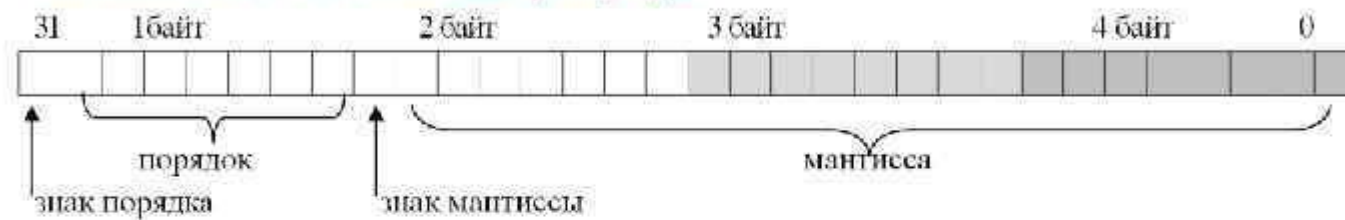
$$888,888 = 0,888888 \times 10^3$$

Нормализованная мантисса  $m = 0,888888$ ,  
порядок  $n = 3$ .

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

- Число в форме с плавающей запятой занимает в памяти компьютера четыре (число обычной точности) или восемь байт (число двойной точности).
- При записи числа с плавающей запятой выделяются разряды для хранения знака мантиссы, знака порядка, порядка и мантиссы.
- Диапазон изменения чисел определяется количеством разрядов, отведенных для хранения порядка числа, а точность (количество значащих цифр) определяется количеством разрядов, отведенных для хранения мантиссы.

**Пример 2.** Определить максимальное число и его точность для формата чисел обычной точности, если для хранения порядка и его знака отводится 8 разрядов, а для хранения мантиссы и ее знака 24 разряда.

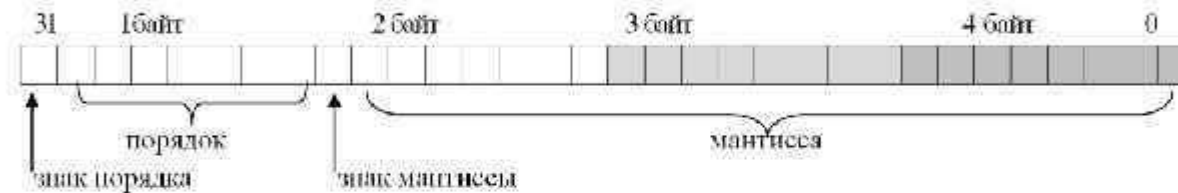


Максимальное значение порядка числа составит  
 $1111111_2 = 127_{10}$

Максимальное значение числа составит:

$$2^{127} = 1,7014118346046923173168730371588 \times 10^{38}$$

**Пример 2.** Определить максимальное число и его точность для формата чисел *обычной точности*, если для хранения порядка и его знака отводится 8 разрядов, а для хранения мантиссы и ее знака 24 разряда.



Точность вычислений определяется количеством разрядов, отведенных для хранения мантиссы чисел. Максимальное значение положительной мантиссы равно:

$$2^{23} - 1 \approx 2^{23} = 2^{(10 \times 2,3)} \approx 1000^{2,3} = 10^{(3 \times 2,3)} \approx 10^7$$

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

- При сложении и вычитании чисел в формате с *плавающей запятой* сначала производится подготовительная операция *выравнивания порядков*.
- Порядок меньшего (по модулю) числа увеличивается до величины порядка большего (по модулю) числа.
- Для того чтобы величина числа не изменилась, мантисса уменьшается в такое же количество раз (сдвигается в ячейке памяти вправо на количество разрядов, равное разности порядков чисел).

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

- После выполнения операции выравнивания одинаковые разряды чисел оказываются расположенными в одних и тех же разрядах ячеек памяти.
- Теперь операции сложения и вычитания чисел сводятся к сложению или вычитанию мантисс.



## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

- После выполнения арифметической операции для приведения полученного числа к стандартному формату с плавающей запятой производится нормализация, т.е. мантисса сдвигается влево или вправо так, чтобы ее первая значащая цифра попала в первый разряд после запятой.

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

- При умножении чисел в формате с *плавающей запятой* порядки складываются, а мантиссы перемножаются.
- При делении из порядка делимого вычитается порядок делителя, а мантисса делимого делится на мантиссу делителя.

**Пример 3.** Произвести сложение чисел  $0,1 \times 2^3$  и  $0,1 \times 2^4$  в формате с плавающей запятой.

Произведем выравнивание порядков и сложение мантисс:

$$\begin{array}{r} + \quad 0,01 \times 2^4 \\ \quad 0,10 \times 2^4 \\ \hline \quad 0,11 \times 2^4 \end{array}$$

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

```
double sum1(std::vector<double>& v)
{
    if (v.empty())
    {
        return 0.0;
    }
    for(size_t i = 0; i < v.size() - 1; ++i)
    {
        std::sort(v.begin()+i, v.end());
        v[i+1] += v[i];
    }
    return v.back();
}
```

## Представление чисел в формате с плавающей запятой.

```
const double x = 0.01;
double s = 1000000000.;
// initial sum
for (int i = 0; i < 10000; ++i )
{
    s = s + x;
}
const double e = 1000000100. - s;
std::cout << e << std::endl;
```

результат:  
9.53674e-05

# Представление чисел в формате с плавающей запятой.

IEEE 754

```
const double x = 0.01;
double c = 0; // для хранения ошибки
double s = 1000000000.; // начальная сумма
for (int i = 0; i < 10000; ++i )
{
    const double y = x - c;
    const double t = s + y;
    c = (t - s) - y; // Зависит от оптимизаций компиляторов!
    s = t;
}
const double e = 1000000100. - s;
std::cout << e << std::endl;
```

результат:

0