

Как устроен КОМПЬЮТЕР

- § 29. Современные компьютерные системы
- § 30. Принципы устройства компьютеров
- § 31. Магистрально-модульная организация компьютера
- § 32. Процессор
- § 33. Память
- § 34. Устройства ввода и вывода

Как устроен компьютер

§ 29. Современные компьютерные системы

Стационарные компьютеры

настольный



моноблок



моноблок с
сенсорным экраном



промышленный
компьютер



суперкомпьютер



Мобильные компьютеры

ноутбук



планшетные компьютеры



смартфоны



GPS-навигатор



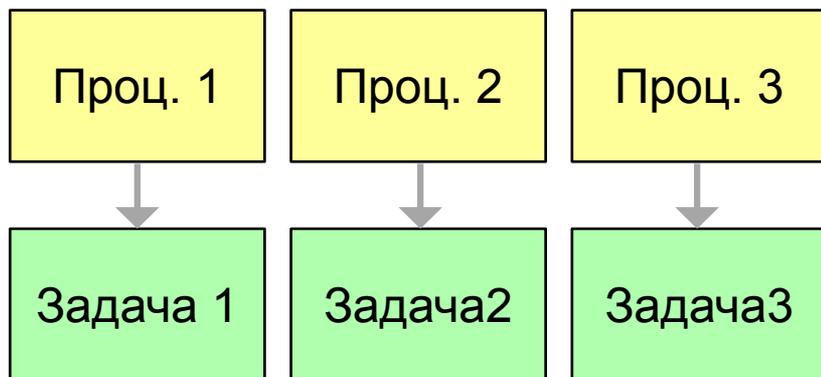
Встроенные компьютеры



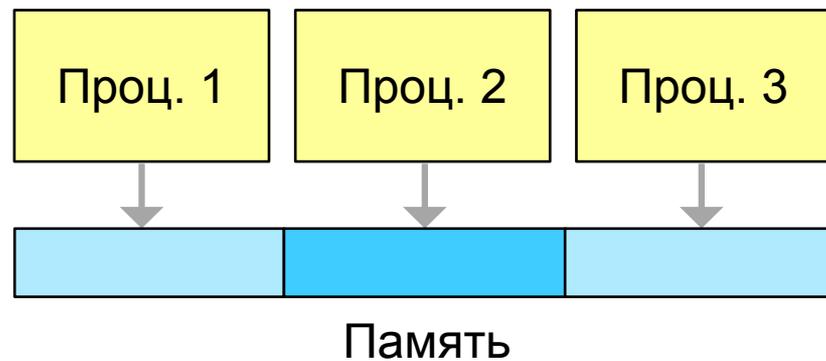
Параллельные вычисления

Параллельные вычисления — это вычисления на многопроцессорных системах, при которых одновременно выполняются многие действия, необходимые для решения одной или нескольких задач.

Параллельное выполнение задач



Параллельная работа с данными



Суперкомпьютеры

- исследование климата
- создание математических моделей молекул
- синтез новых материалов и лекарств
- расчёт процессов горения и взрыва
- моделирование обтекания летательных аппаратов
- моделирование ситуаций в экономике
- расчёты процессов нефте- и газодобычи
- проектирование новых электронных устройств

Суперкомпьютеры

1976. Cray-1 (США)

- 166 млн. оп/с
- память 8 Мб
- векторные вычисления

2009. «Ломоносов» (Россия)



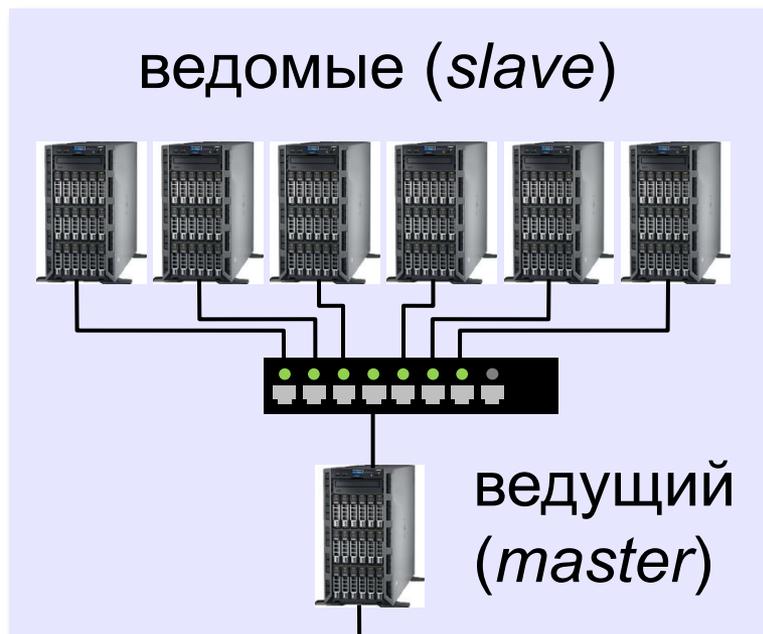
2018. «Summit» (IBM)

- 2 282 544 ядер
- 122 Пфлопс
- 1-е место в рейтинге TOP-500 (2018 г.)



Распределённые вычисления

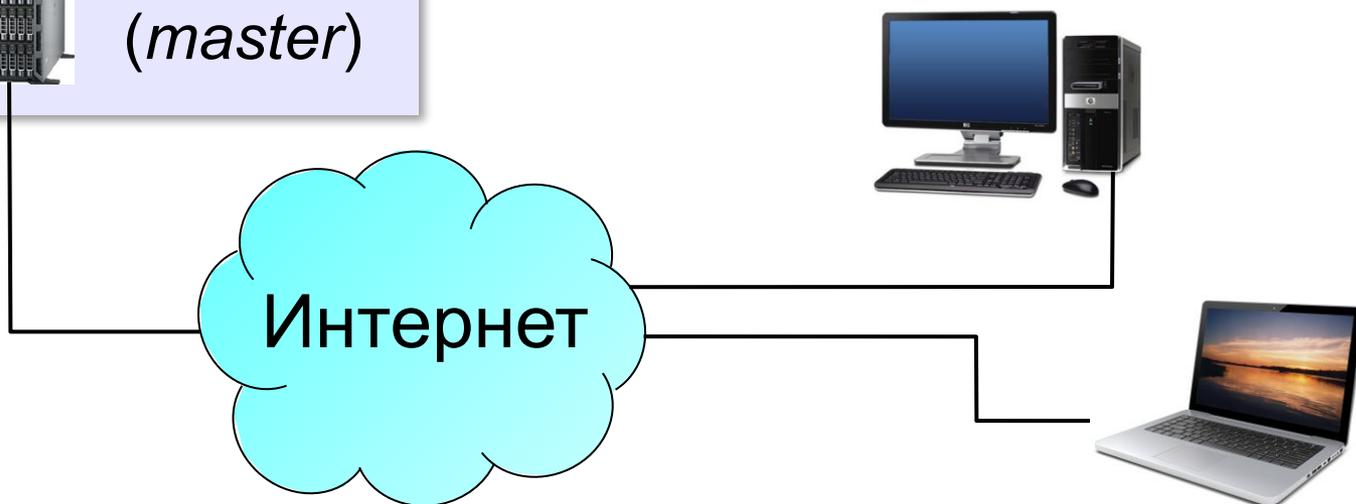
Кластер



Специальное ПО
«под задачу»!

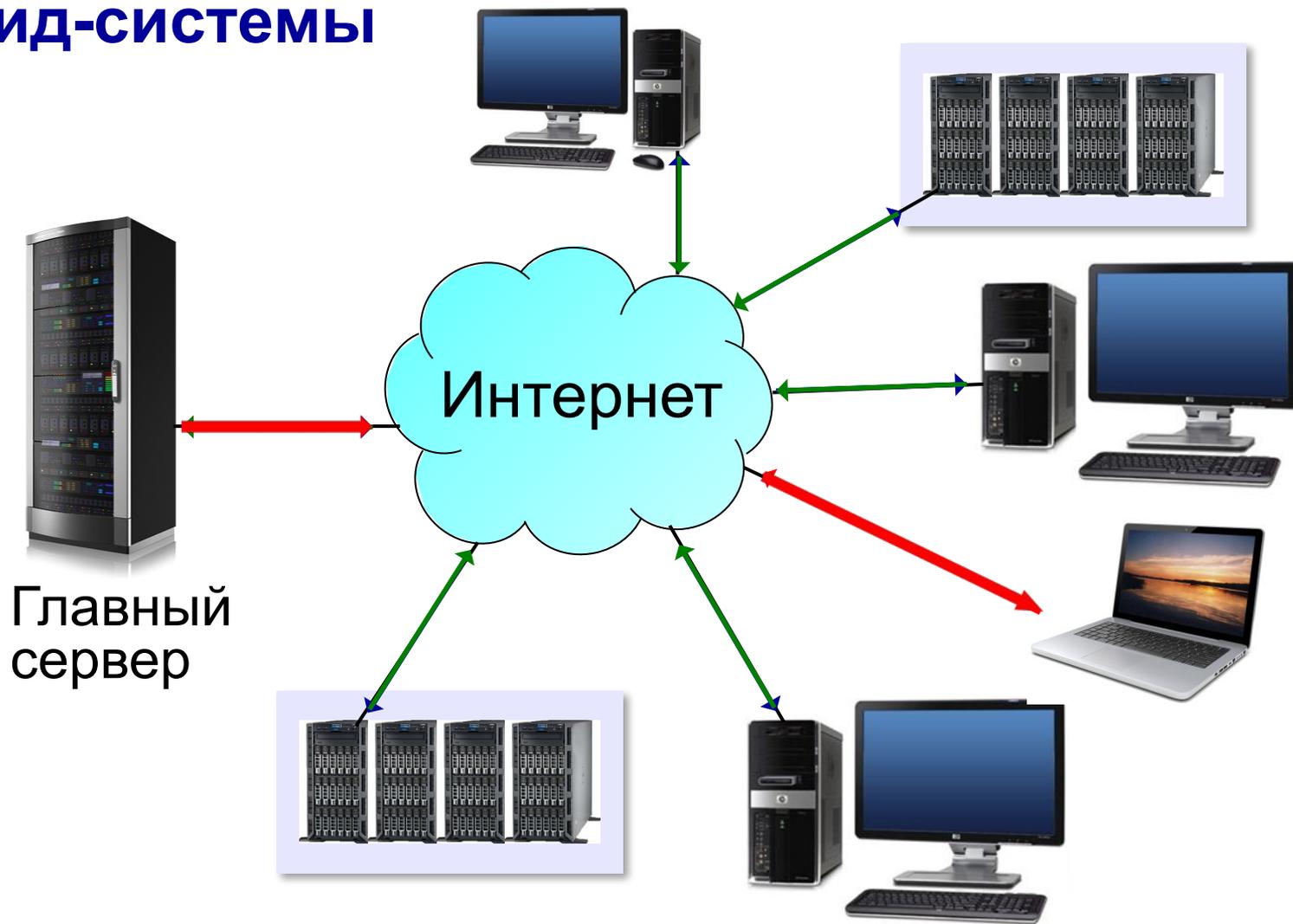
ОС *Linux*

- параллельные вычисления
- много маленьких задач



Распределённые вычисления

Грид-системы



Распределённые вычисления

У 90% пользователей процессор загружен **менее, чем на 40%**.

BOINC (*Berkeley Open Infrastructure for Network Computing*) – открытая инфраструктура для сетевых вычислений

<https://boinc.berkeley.edu> <https://boinc.berkeley.edu>,

<http://www.boinc.ru>

- математика (простые числа)
- биология (модели мозга)
- медицина (борьба с малярией,)
- материалы (свойства сплавов)
- изменение климата
- поиск внеземных цивилизаций

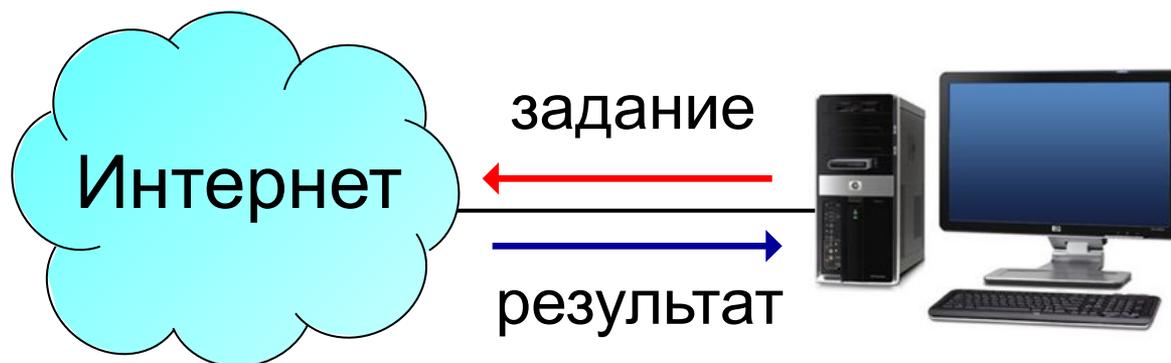


Каждый может участвовать!

Облачные вычисления

Облачные вычисления (англ. *cloud computing*) — технология обработки данных, при которой компьютерные ресурсы предоставляются пользователю как Интернет-сервис.

«облако», «облачные вычисления» —
Эрик Шмидт, глава компании Google (2006)



Облачные вычисления

- программное обеспечение как услуга (англ. **SaaS** – *Software as a Service*):
 - ✓ программное обеспечение Adobe Photoshop
Microsoft Office 365
- платформа как услуга (англ. **PaaS** – *Platform as a Service*)
 - ✓ средства разработки программ
- инфраструктура как услуга (англ. **IaaS** – *Infrastructure as a Service*)
 - ✓ операционные системы
 - ✓ средства для установки и выполнения любых нужных программ

Облачные вычисления



- данные доступны везде, где есть Интернет
- данные надёжно хранятся в центрах обработки данных (ЦОД) крупных компаний
- большие вычислительные мощности для хранения и обработки данных
- уменьшаются затраты



- потеря контроля над данными

Компьютеры V поколения

Япония, 1982-1992

Цель – создание суперкомпьютера с функциями искусственного интеллекта

- обработка *знаний* с помощью логических средств
- сверхбольшие базы данных
- использование параллельных вычислений
- распределенные вычисления
- голосовое общение с компьютером
- постепенная замена программных средств на аппаратные

Проблемы:

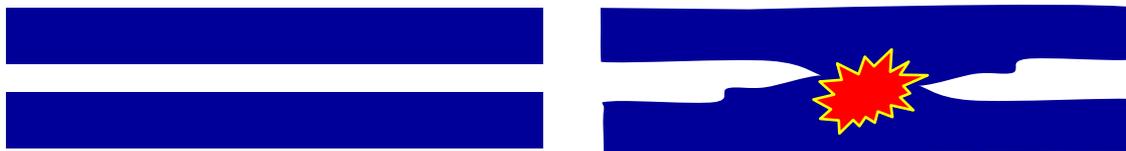
- идея саморазвития системы провалилась
- неверная оценка баланса программных и аппаратных средств
- традиционные компьютеры достигли большего
- ненадежность технологий
- израсходовано 50 млрд. йен

Проблемы



Чтобы увеличить быстродействие, нужно уменьшать размеры!

- чем мельче детали, тем сложнее изготовит
- чем мельче детали, тем труднее охладить
- чем меньше зазор, тем больше шансов на короткое замыкание



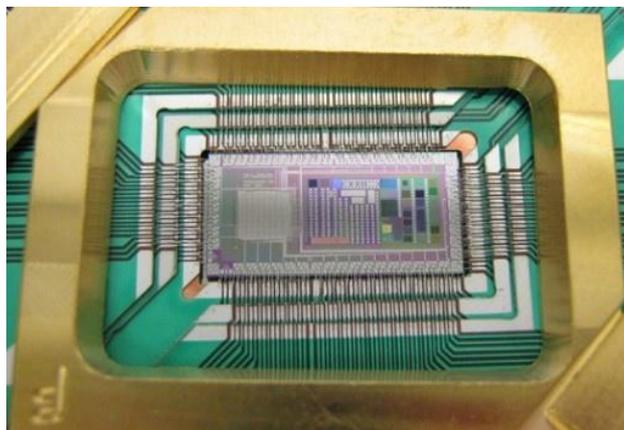
Многоядерные процессоры:

- задачи сложно распараллеливать
- пересылка данных между ядрами – замедление

Перспективы развития компьютеров

Квантовые компьютеры

- эффекты квантовой механики
- биты → «**кубиты**» (квантовые биты)
- параллельность вычислений
- 2013 – компьютер *D-Wave Two*, 512 кубит, в 3600 раз быстрее обычных компьютеров



D-Wave Two (2013)

Перспективы развития компьютеров

Оптические компьютеры

- источники света – лазеры, свет проходит через линзы
- параллельная обработка (все пиксели изображения одновременно)
- военная техника и обработка видео
- *Enlight256* (2003) – 8 Тфлопс



Enlight256 (2003)

Биокомпьютеры

- ячейки памяти – молекулы сложного строения (например, ДНК)
- обработка = химическая реакция с участием ферментов
- 330 трлн. операций в секунду



Как устроен компьютер

§ 30. Принципы устройства компьютеров

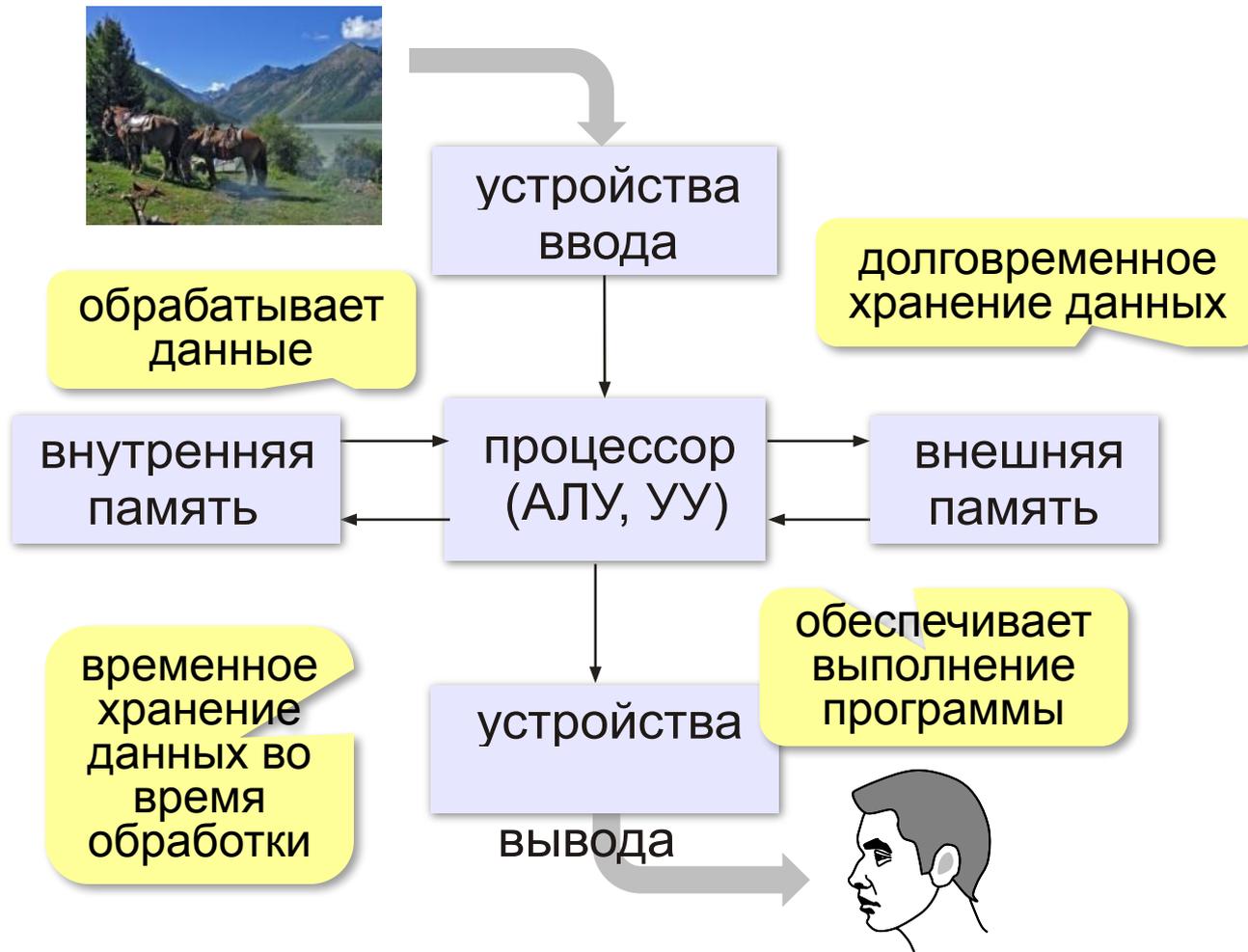
Принципы устройства компьютеров

А. Беркс, Г. Голдстайн и Дж. фон Нейман:

«Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства» (1946)

- СОСТАВ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ
- принцип двоичного кодирования
- принцип адресности памяти
- принцип иерархической (многоуровневой) организации памяти
- принцип хранимой программы
- принцип программного управления

Архитектура фон Неймана



Джон фон Нейман
(1903-1957)

Принцип двоичного кодирования

Все данные хранятся в двоичном коде.

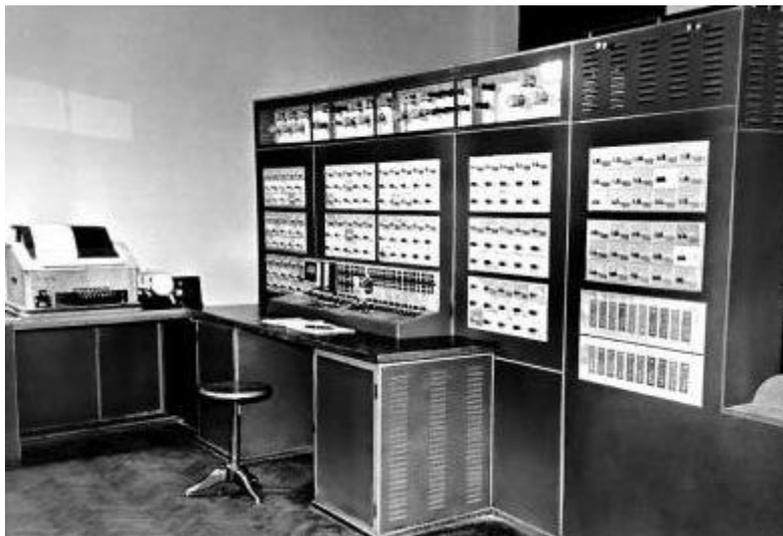


→ 1001010100...



проще устройства для хранения и обработки данных

Троичная ЭВМ «Сетунь» (1959)



Н.П. Брусенцов

Принцип адресности памяти

- оперативная память состоит из отдельных битов
- группы соседних битов объединяются в ячейки
- каждая ячейка имеет свой адрес (номер)
- нумерация ячеек начинается с нуля
- за один раз можно прочитать или записать только целую ячейку

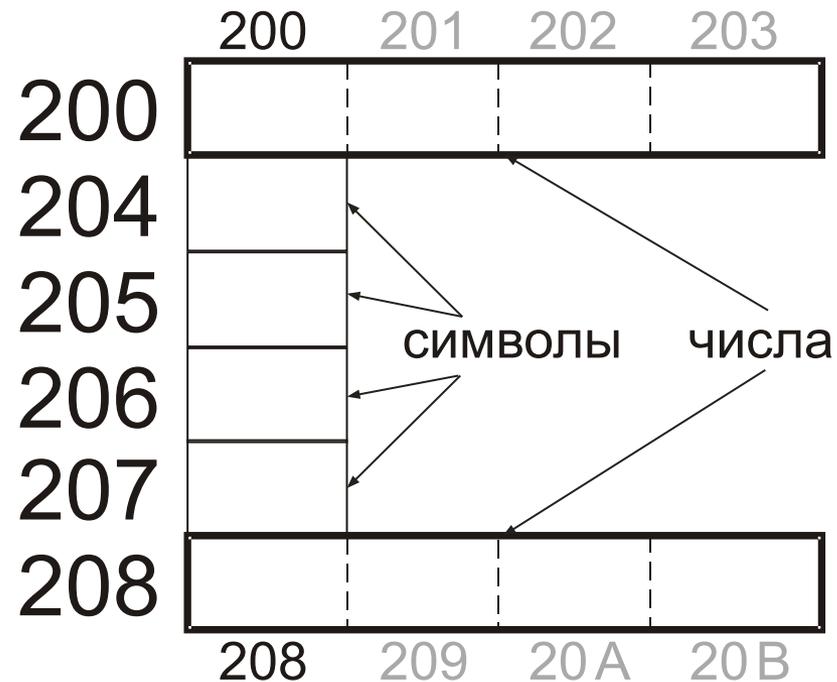
Принцип адресности памяти

- размеры ячеек:
у первых ЭВМ – 36, 48, 60 битов
сейчас – **8 битов**

Первые ЭВМ (I и II поколения)



III и IV поколения



Память с произвольным доступом

RAM = *Random Access Memory*

чтение данных из ячеек и запись в них в произвольном порядке

- **ОЗУ** – оперативное запоминающее устройство (оперативная память)

- **ПЗУ** – постоянное запоминающее устройство

ROM = *Read Only Memory*

- содержит программное обеспечение для загрузки и тестирования компьютера
- запись запрещена

Иерархическая организация памяти

Требования к памяти:

- большой объём
- высокая скорость доступа



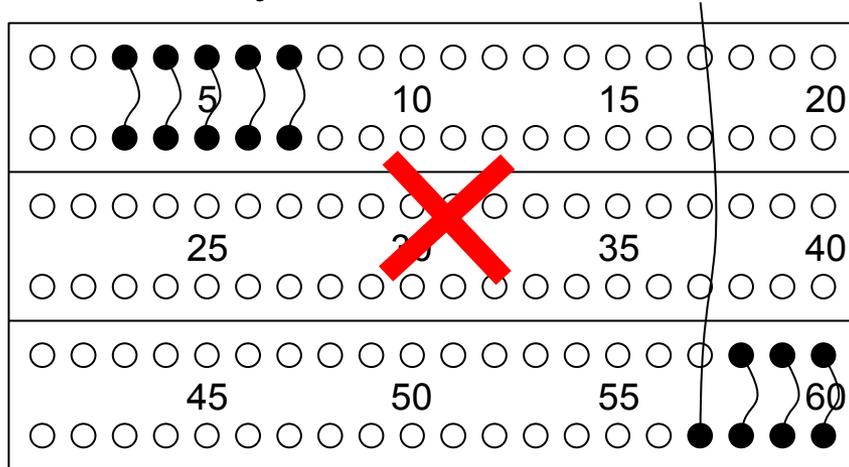
Эти требования противоречивы!

Использование нескольких уровней памяти:

- **внутренняя** память (небольшой объём, высокое быстродействие)
- **внешняя память** (большой объём, низкое быстродействие)
- ...

Принцип хранимой программы

Фрагмент коммутационной панели IBM-557



Код программы хранится в ПЗУ или во внешней памяти и загружается в ОЗУ для решения задач.



Программа хранится в единой памяти вместе с данными!

В гарвардской архитектуре есть отдельные области памяти для программ и данных!

Принцип программного управления

- программа – это набор команд
- команды выполняются процессором автоматически в определённом порядке



Счётчик адреса команд – это регистр процессора, в котором хранится адрес следующей команды.

IP (*Instruction Pointer*) в процессорах *Intel*

Основной алгоритм работы процессора

- 1) выбрать команду
- 2) записать в счётчик команд адрес следующей команды
- 3) выполнить команду
- 4) перейти к п. 1



Что будет при включении компьютера?

Начальный адрес может заноситься

- **вручную** (в первых ЭВМ)
- **из ПЗУ**, аппаратно (тестирование, потом передача управления загрузчику операционной системы)

Что такое архитектура?

Архитектура компьютера – это общие принципы построения конкретного семейства компьютеров (PDP, ЕС ЭВМ, Apple, IBM PC, ...).

- принципы построения системы команд и их кодирования
- форматы данных и особенности их машинного представления
- алгоритм выполнения команд программы
- способы доступа к памяти и внешним устройствам
- возможности изменения конфигурации оборудования

К архитектуре НЕ относятся особенности конкретного компьютера: набор микросхем, тип жёсткого диска, ёмкость памяти, тактовая частота и т.д.

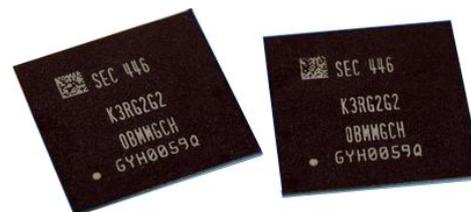
Особенности мобильных компьютеров



процессор



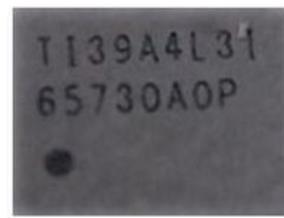
память



аккумулятор



контроллер
дисплея



SIM-карта (*Subscriber
Identification Module*)



Адаптер Bluetooth



→ беспроводные
наушники
и микрофон

Особенности мобильных устройств

Требования:

- уменьшенные размеры и вес
- специальные функции (приём и передача речи)
- экономия заряда аккумулятора
- геолокация (GPS)

Особенности мобильных устройств

Архитектура ARM = *Advanced RISC Machine* – усовершенствованная RISC-машина

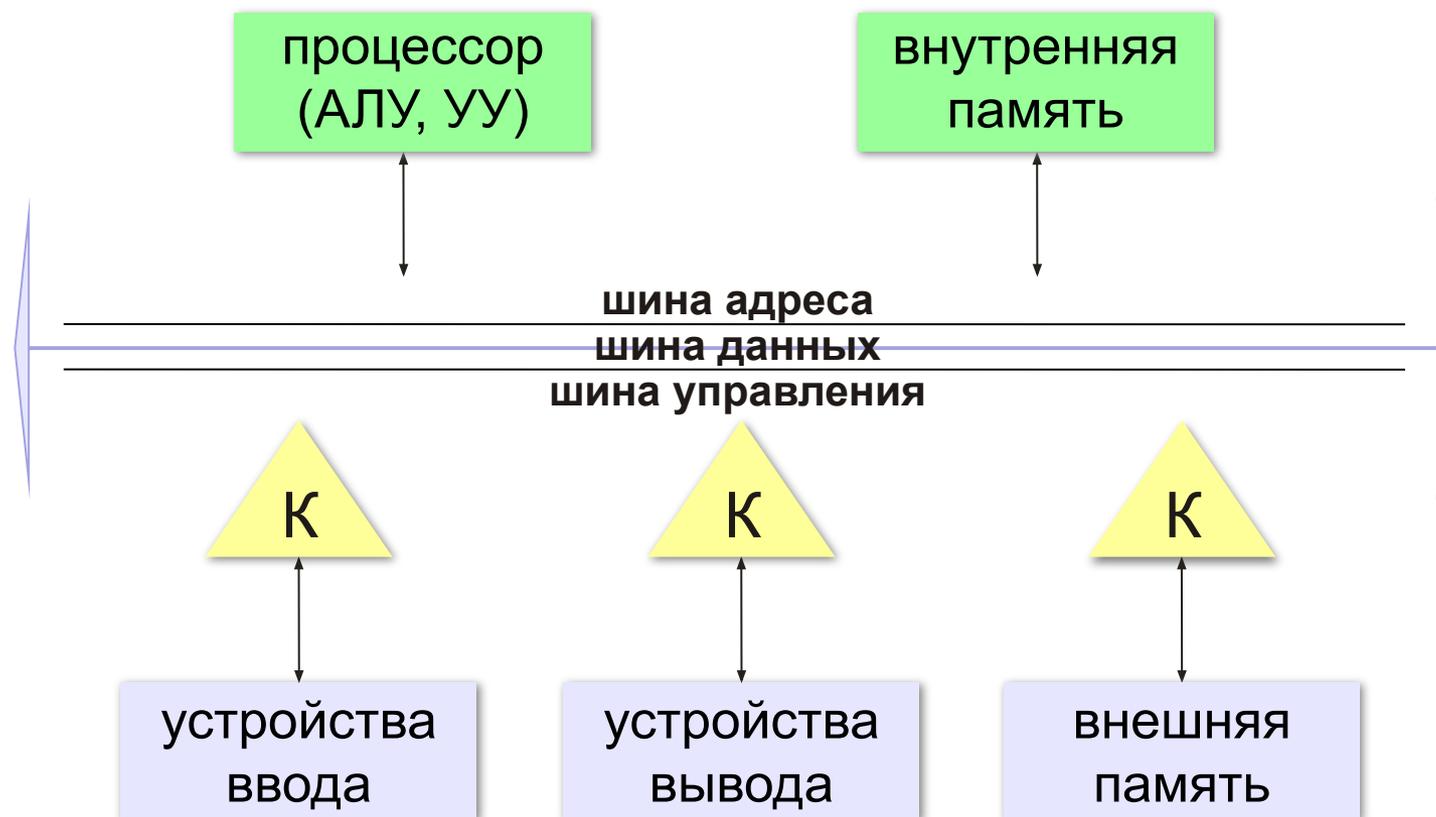
- процессор + ОЗУ + модули беспроводной связи на одном кристалле
- уменьшенное потребление энергии
- экономичные («спящие») режимы
- команды для цифровой обработки звука

Как устроен компьютер

§ 31. Магистрально-модульная организация компьютера

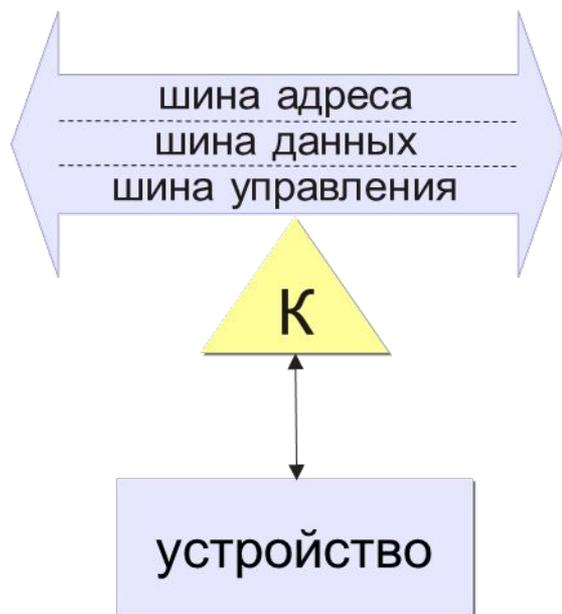
Взаимодействие устройств

Шина (или магистраль) – это группа линий связи для обмена данными между несколькими устройствами компьютера.



Контроллеры

Контроллер — это электронная схема для управления внешним устройством и простейшей предварительной обработки данных.



контроллер клавиатуры



контроллер диска



сетевая карта



видеокарта

Архитектура современных компьютеров

Магистрально-модульная архитектура: набор устройств (**модулей**) легко расширяется путём подключения к шине (**магистрала**).

Принцип открытой архитектуры (IBM):

- **спецификация** на шину (детальное описание всех параметров) опубликована
- производители могут выпускать **новые** совместимые устройства
- на материнской плате есть стандартные **разъёмы**
- нужны **драйвера** (программы управления) для каждого устройства

Обмен данными с внешними устройствами

Программно-управляемый обмен – все операции ввода и вывода предусмотрены в программе, их полностью выполняет процессор.

-  простота
-  не нужно дополнительное оборудование
-  процессор долго ждёт медленные устройства



Идея: пусть устройство само сообщит, что данные готовы (или оно готово к приёму данных)!

Обмен данными с внешними устройствами

Обмен по прерываниям – внешнее устройство передаёт процессору запрос на обслуживание (*прерывание*).

- процессор прерывает выполнение программы и ...
- переходит на программу обработки прерывания и ...
- возвращается к прерванной программе

Контроллер прерываний – использует приоритет различных типов прерываний



▪ процессор не ждёт устройства



▪ всю работу выполняет процессор

Обмен данными с внешними устройствами

Прямой доступ к памяти (ПДП)

DMA = *Direct Memory Access*

обмен данными выполняет внешнее устройство по команде центрального процессора.

- процессор готовит обмен:
программирует **контроллер ПДП**
- **контроллер ПДП** пересылает данные



▪ процессор загружен минимально



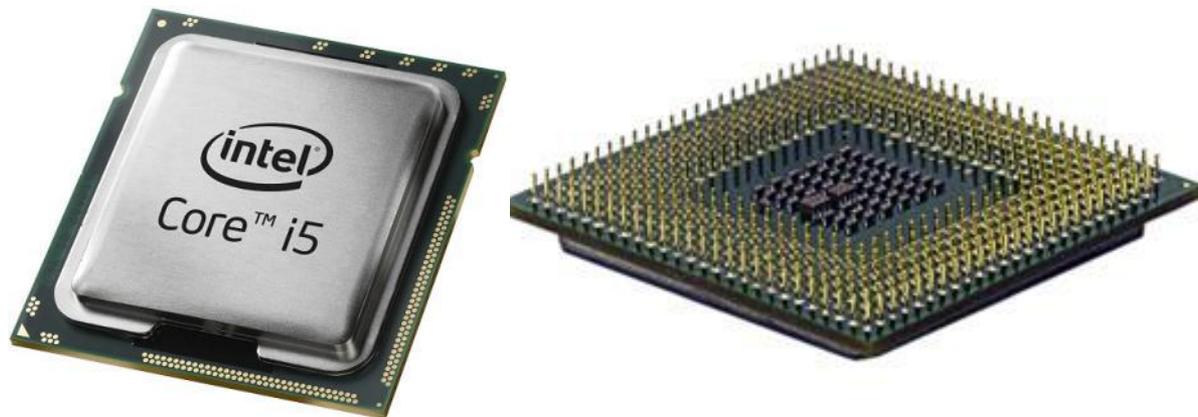
▪ сложность (нужен контроллер ПДП)

Как устроен компьютер

§ 32. Процессор

Что такое процессор?

Процессор – это устройство, предназначенное для автоматического считывания команд программы, их расшифровки и выполнения.



- **АЛУ** = арифметико-логическое устройство, выполняет обработку данных
- **УУ** = устройство управления, которое управляет выполнением программы и обеспечивает согласованную работу всех узлов компьютера

АЛУ

- 2 регистра
- сумматор
- схема управления операциями

Регистр состояния процессора – биты

устанавливаются по результату **R** последней операции

бит **Z** (zero) – установлен, если **R = 0**

бит **N** (negative) – установлен, если **R < 0**

бит **C** (carry) – установлен, если произошел перенос

$R \leq 0$:

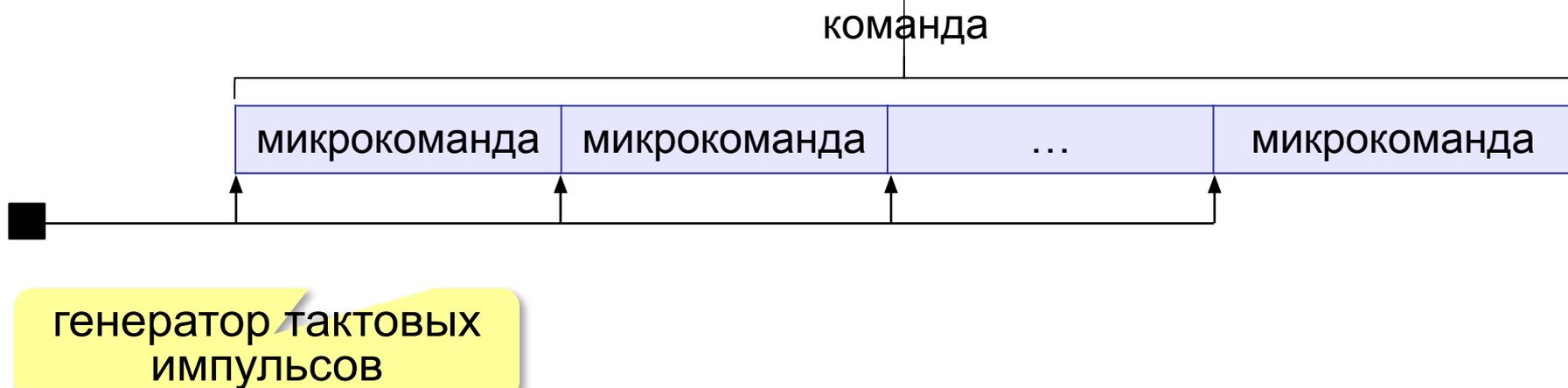
$R \geq 0$:



АЛУ работает с целыми числами, **математический сопроцессор** – с вещественными!

Устройство управления

- извлечение из памяти очередной команды
- расшифровка команды, определение необходимых действий
- определение адресов ячеек памяти, где находятся исходные данные
- занесение в АЛУ исходных данных
- управление выполнением операции
- сохранение результата

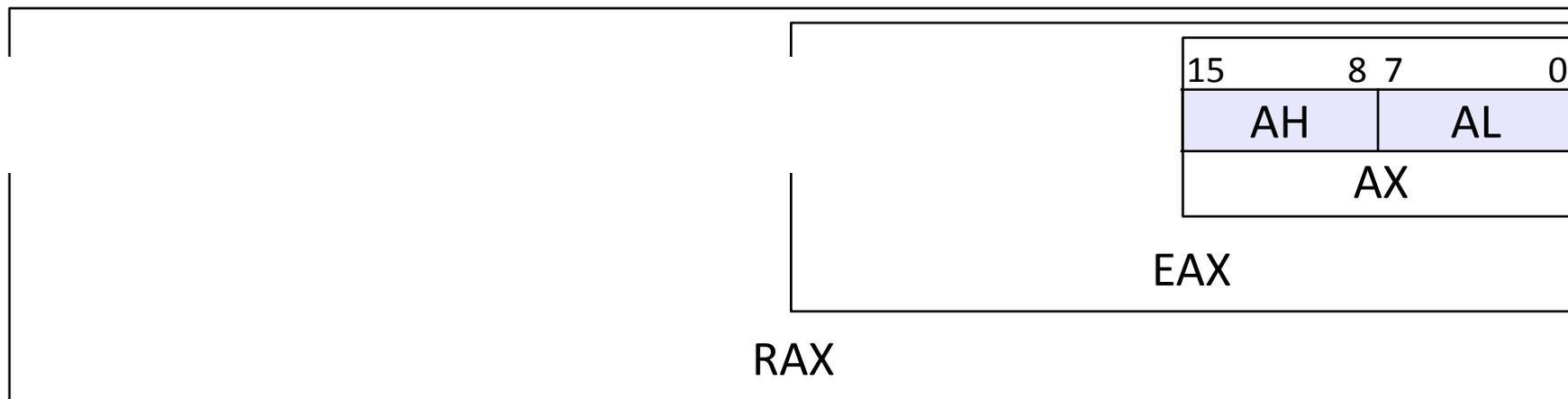


Регистры общего назначения (РОН)

Для процессоров *Intel*:

H = High
(старший
байт)

L = Low
(младший
байт)



Обработка 8-, 16-, 32- и 64-битовых данных.

Есть **RBX**, **RCX**, **RDX** и др...

Основные характеристики процессора

Тактовая частота — количество тактовых импульсов в секунду.

1 ГГц (гигагерц) = 1 млрд герц



Недостаточно для сравнения быстродействия!

Разрядность — это максимальное количество двоичных разрядов, которые процессор способен обработать за одну команду.

- разрядность **регистров**
- разрядность **шины данных**
- разрядность **шины адреса R**

Величина адресного пространства 2^R байтов

Система команд процессора

- **команды передачи** (копирования) данных
- **арифметические** операции
- **логические** операции, например «НЕ», «И», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ»
- **команды ввода и вывода**
- **команды переходов** (условного, безусловного)



Совместимость: новые модели поддерживают все команды предыдущих!

Intel 8080 → Pentium III → Core i7

Система команд процессора

81 C2 01 01

число 101_{16}

код операции
ADD (сложить
регистр и число)

код регистра **DX**

на языке
ассемблера

ADD DX, 101h

операнды – данные, с
которыми выполняется
операция

DX := DX + 101_{16}

Система команд процессора

CISC = *Complex Instruction Set Computer*, компьютер с набором сложных команд

- команды разной длины
- есть сложные команды (умножение, деление, ...)
- команды выполняются за разное число тактов
- есть операции с данными в памяти
- мало регистров



▪ удобство программирования



- сложно проектировать процессор
- ниже быстродействие



Многие сложные команды используются редко!

Система команд процессора

RISC = *Reduced Instruction Set Computer*, компьютер с набором упрощённых команд

- команды одинаковой длины (32 бита, ...)
- только простые команды (сложение и т.п.)
- команды в  А умножение?
- только две операции с памятью – чтение (LOAD) в регистр и запись (STORE) из регистра
- много регистров (32, ...)



- проще аппаратура
- выше быстродействие



- сложнее писать программы



Современные процессоры: CISC-команды выполняются RISC-ядром!

Как устроен компьютер

§ 33. Память

Что такое компьютерная память?

Память — это Как устроен компьютер, которое используется для записи, хранения и выдачи по запросу команд программы и данных.

- **внутренняя** или **основная** (для хранения программ и данных в момент решения задачи), ОЗУ и ПЗУ
- **внешняя** или **долговременная** (... на длительный срок)

Внутренняя память

RAM = *Random Access Memory*, обращение к ячейкам в любом порядке.

ОЗУ = оперативное запоминающее устройство

- 1) на электронно-лучевых трубках
- 2) на магнитных сердечниках

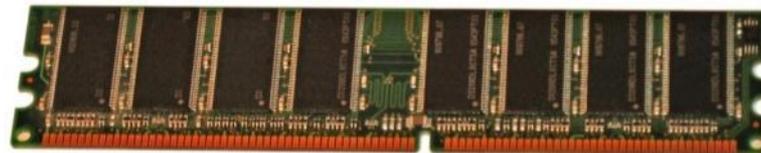
сейчас:

- 3) на триггерах (**статическая**):
регистры, кэш-память



- 4) на полупроводниковых конденсаторах (**динамическая**):

- большая ёмкость
- меньшая стоимость
- меньшее быстродействие
- потребляет больше электроэнергии



Внутренняя память – ПЗУ

ПЗУ = постоянное запоминающее устройство

первые: информация заносится только **на заводе**

затем **программируемые ПЗУ**

затем **перепрограммируемые ПЗУ** (флэш-память)

Минимальный набор программ:

- тестирование компьютера
- программа начальной загрузки
- программы для обмена данными с клавиатурой, монитором, принтером

В компьютерах IBM PC:

BIOS = *Basic Input/Output System*



Внешняя память

Внешняя память — часть памяти компьютера, которая используется для долговременного хранения программ и данных.

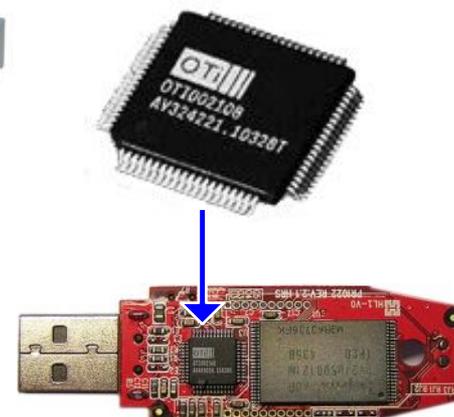
Устройства внешней памяти = **накопители**:

- на магнитных дисках
- на оптических дисках
- флэш-память
- ...

контроллер

К

носитель

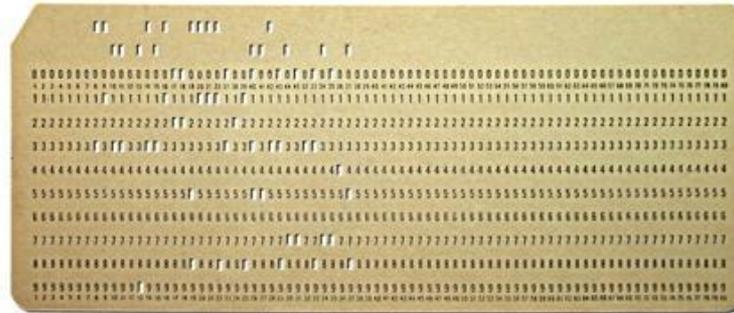
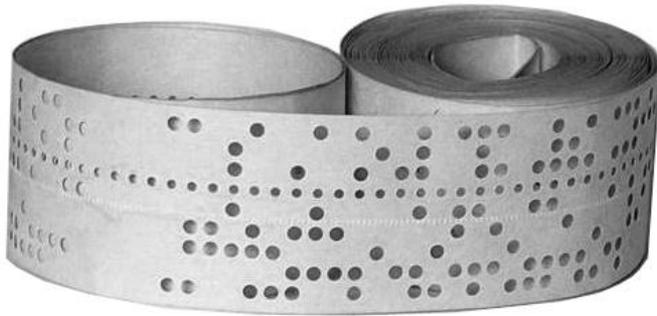


Внешняя память

- данные располагается **блоками** (на дисках – *сектора*)
- блок данных читается и пишется как единое **целое**;
работать с частью блока невозможно
- прежде чем процессор сможет использовать программу или данные, их нужно **загрузить** из внешней памяти в ОЗУ
- обменом данными управляют **контроллеры**

Виды внешней памяти

- перфоленты, перфокарты



- магнитные ленты, магнитные диски



Файловые системы!

Виды внешней памяти

- оптические диски

CD (*Compact Disk*)



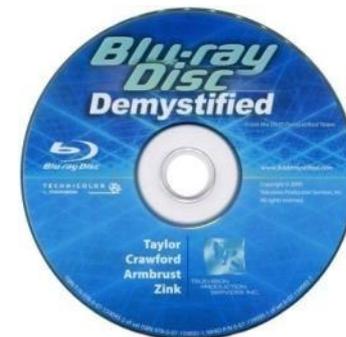
до 700 Мбайт

DVD (*Digital Versatile Disk*)



до 17,1 Гбайт

Blu-ray Disk



до 500 Гбайт

- флэш-память



флэш-карты



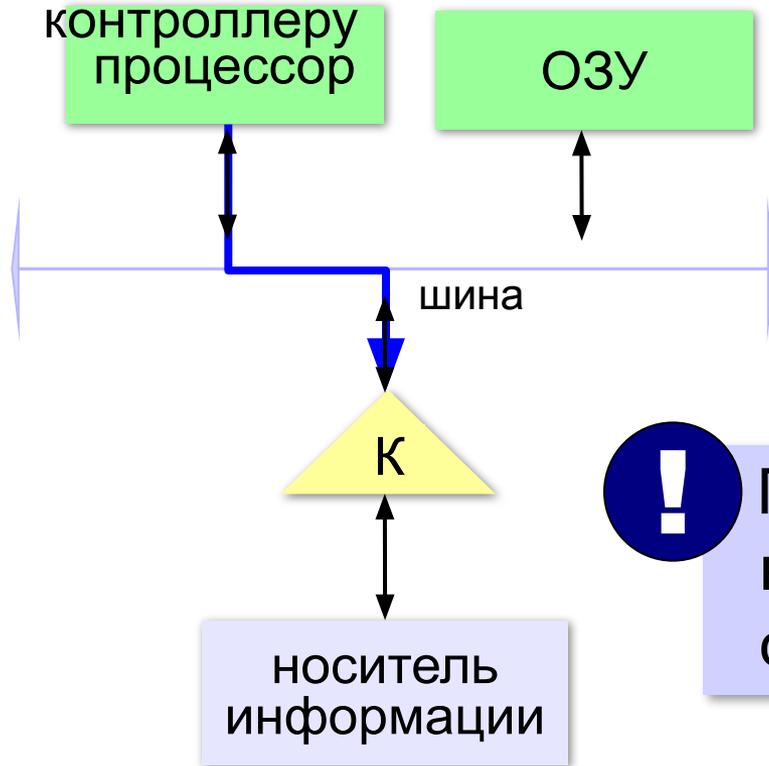
флэш-накопители



SSD
(*Solid State Drive*)

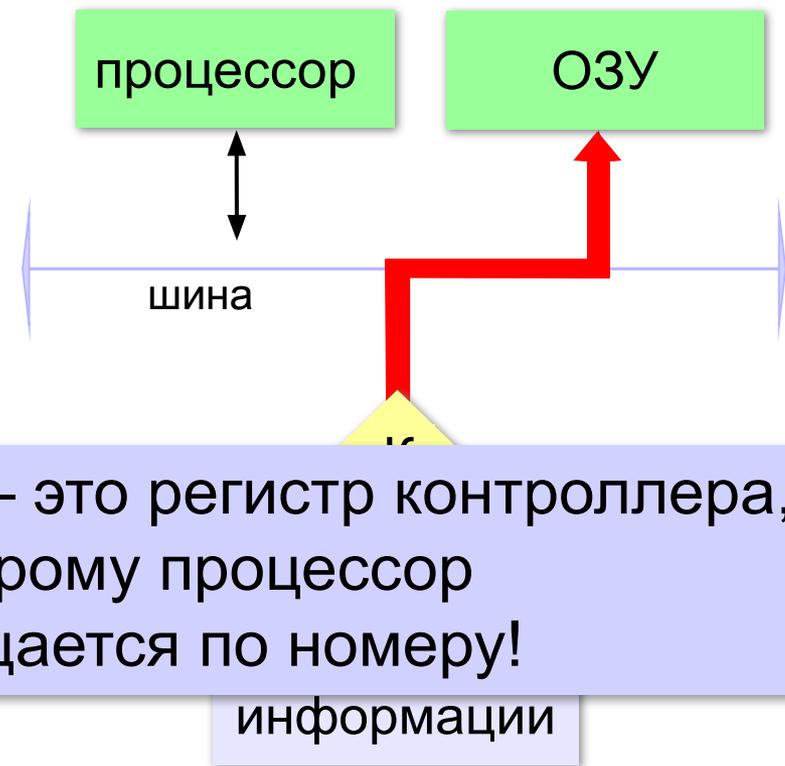
Чтение данных в ОЗУ

1. Передача «задания» контроллеру процессор



↔ линия не
 задействована
 → передача
 управления

2. Ввод данных в ОЗУ



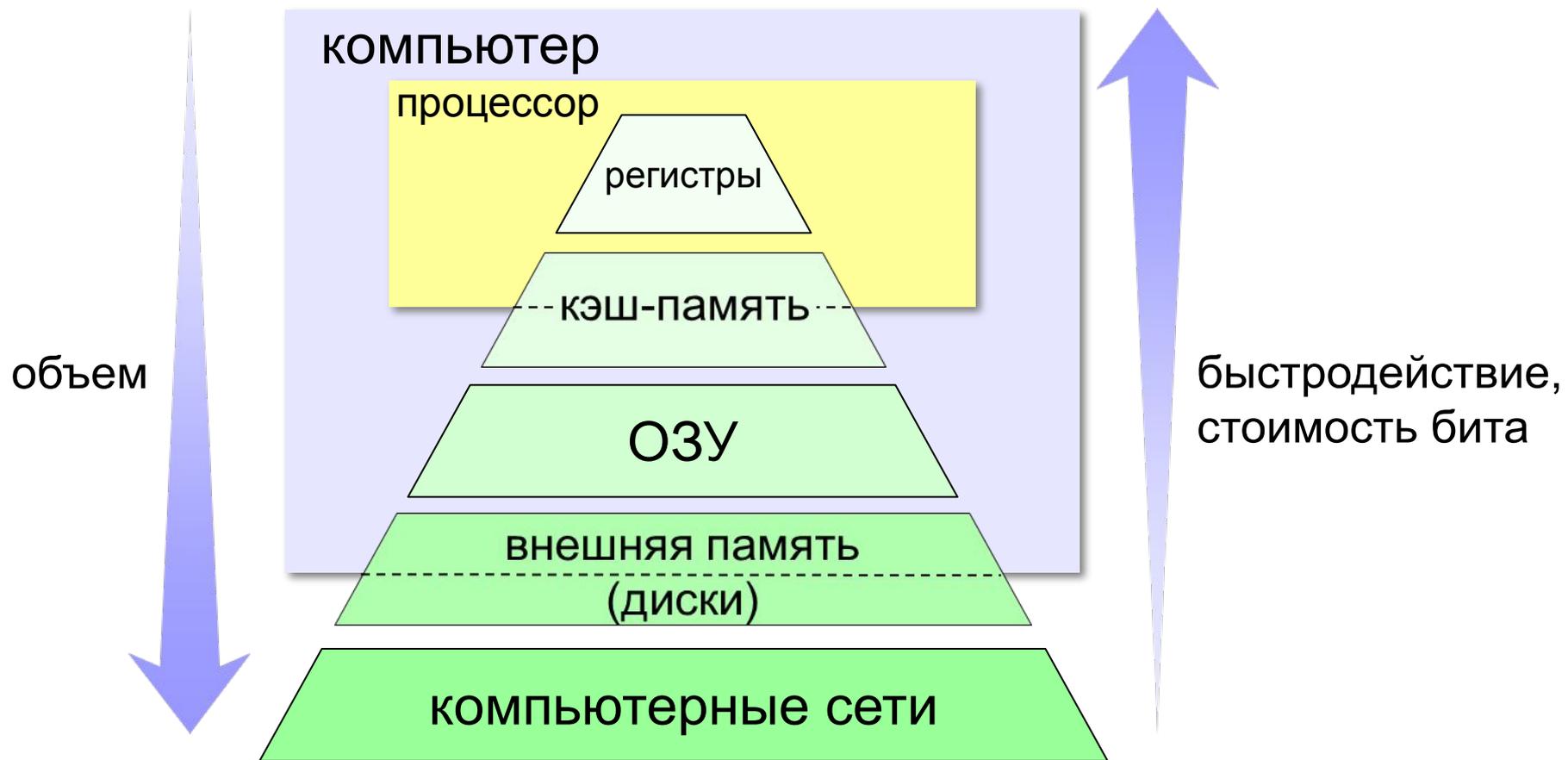
→ передача данных
 ! Ещё участвует
 контроллер ПДП!



Порт – это регистр контроллера, к которому процессор обращается по номеру!



Иерархия памяти

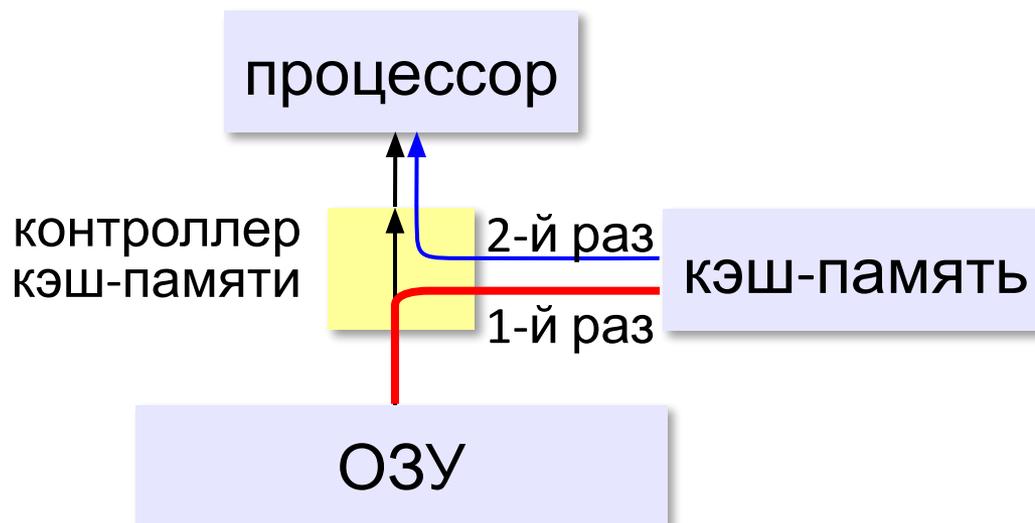


?? Где расположить ОЗУ? Бра?

Кэш-память

Кэш-память — это память, ускоряющая работу другого (более медленного) типа памяти, за счёт сохранения прочитанных данных на случай повторного обращения к ним.

- статическая память (на триггерах)
- нет собственных адресов ячеек
- кэш программ и данных отдельно



Кэш-память

Проблемы:

- небольшой объём, быстро заполняется
- при изменении данных в регистрах нужно обновлять кэш

Решаются **контроллером кэш-памяти**.

Виртуальная память

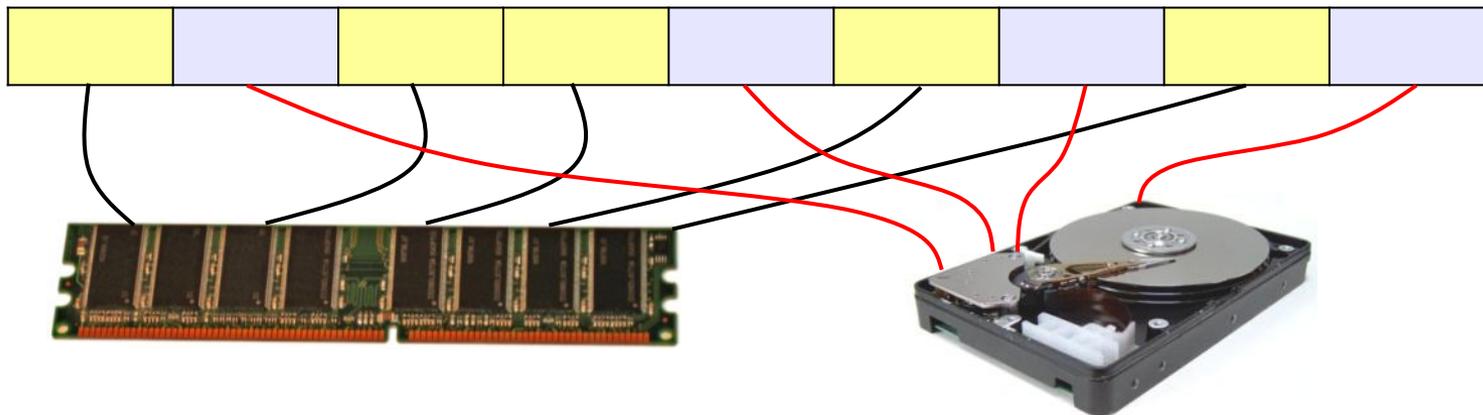
- использование сред быстрой разработки программ (RAD) – увеличение размера программы
- увеличение объема обрабатываемых данных (до Тбайтов)
- запуск нескольких программ одновременно



Требуется больше ОЗУ, чем реально установлено на компьютере!

страницы
виртуальной
памяти

адресное пространство процессора



Основные характеристики памяти

Информационная ёмкость — это максимально возможный объём данных, который может сохранить данное устройство памяти (Гбайт, Тбайт, ...).

Для **дисков** – форматированная («полезная») ёмкость и неформатированная (+ место для служебной разметки)

Время доступа — интервал времени от момента отправки запроса информации до момента получения результата на шине данных.

ОЗУ – наносекунды ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$)

жёсткие диски — миллисекунды ($1 \text{ мс} = 10^{-3} \text{ с}$).

Основные характеристики памяти

Средняя скорость передачи данных — это количество передаваемых за единицу времени данных после непосредственного начала операции чтения (Мбайт/с).

- + для дисков – частота вращения
- + стоимость 1 бита или стоимость 1 Гбайта

Как устроен компьютер

§ 34. Устройства ввода и вывода

Что такое устройство ввода?

Устройством ввода называется устройство, которое: позволяет человеку отдавать компьютеру команды и/или выполняет первичное преобразование данных в форму, пригодную для хранения и обработки в компьютере.



Что не относится к устройствам ввода?

сенсорная панель
(*touchpad*) флэш-диск ~~X~~

сканер

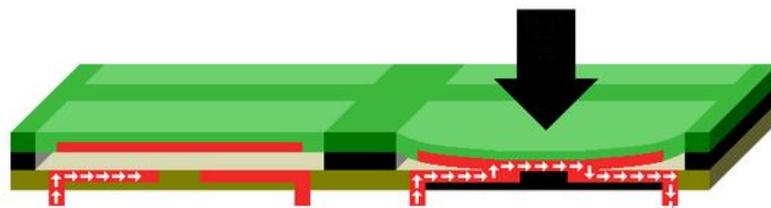
жесткий диск ~~X~~ микрофон

мышь графический планшет джойстик

датчики сетевая карта ~~X~~

Клавиатура

Мембранная

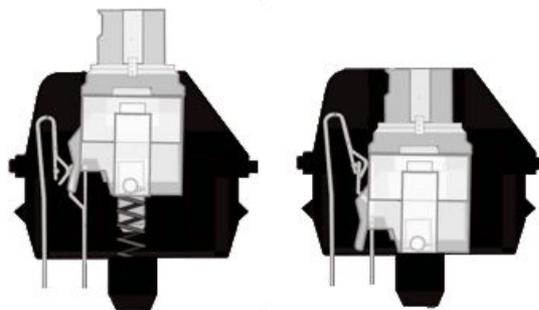


- простая и дешёвая



- недолговечна (1-10 млн нажатий)
- со временем свойства ухудшаются (залипание, нужны бóльшие усилия)

Механическая



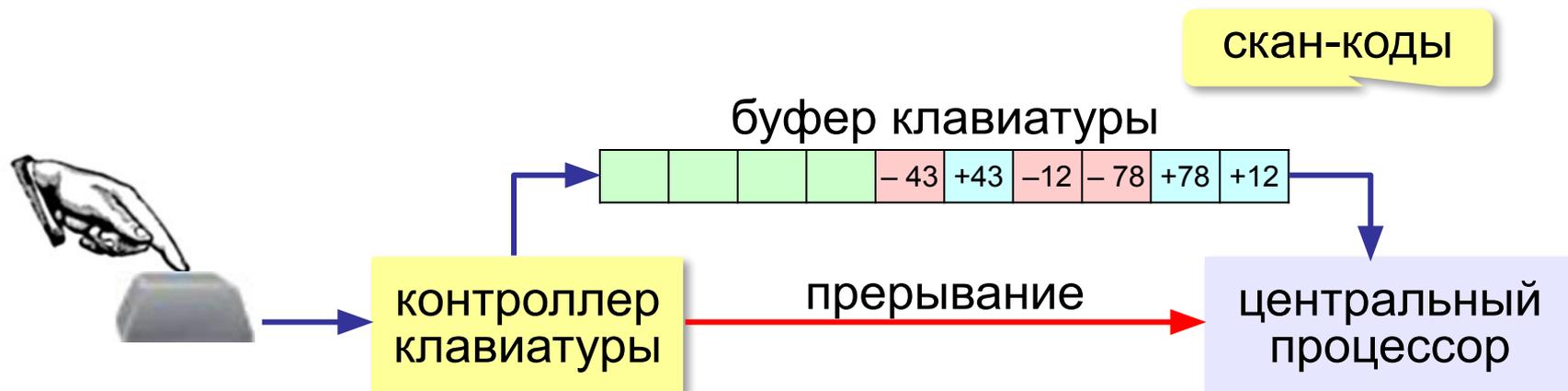
- реакция быстрее
- 20-50 млн нажатий
- характеристики не меняются



- дороже
- тяжелее

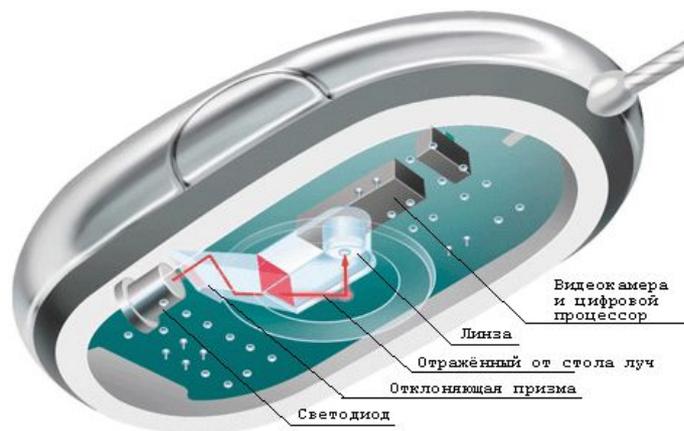
Контроллер клавиатуры

- **опрашивает** клавиши; фиксирует их нажатие или отпускание;
- **хранит *скан-коды*** нескольких последних нажатых или отпущенных клавиш;
- посылает требование **прерывания** центральному процессору, передаёт ему скан-коды;
- управляет **индикаторами** клавиатуры;
- диагностика **неисправностей** клавиатуры



Манипуляторы

Мышь (оптическая)



приемное устройство
(адаптер, USB)



Характеристики:

- разрешение ≈ 1000 dpi
- количество кадров в секунду (до 10000)
- размер кадра (16×16 , 32×32)



Лазерные мыши:

- подсветка лазером
- более контрастное изображение
- точность выше



Манипуляторы

Трекбол



Сенсорная панель (тачпад)



мультикас – реакция на касание в нескольких местах одновременно

Трекпоинт



Джойстик



Игровые манипуляторы



Сканеры

Сканер – устройство для ввода изображений.

ручные



планшетные



барабанные



со слайд-модулем



рулонные



Сканеры

на бумаге

1 дюйм = 2,54 см

в компьютере

пиксель



Разрешающая способность — это максимальное количество точек на единицу длины, которые способен различить сканер.

ppi = *pixels per inch*, пиксели на дюйм

150-300 ppi – низкое разрешение

300 ppi – сканирование любительских фото

до 5400 ppi – сканирование фотопленки

планшетные – до 5400 ppi *рулонные* – до 800 ppi

барабанные – до 14400 ppi

Сканеры

Ввод текста



Сканер вводит текст как изображение!

Для редактирования в текстовом редакторе, нужно **распознать символы** с помощью специальной программы (**> 300 ppi!**):

OCR = *Optical Character Recognition*, оптическое распознавание символов

ABBYY FineReader, CuneiForm

Сканирование

	Разрешение, ppi
Сканирование в отраженном свете:	
иллюстрации для веб-страниц	75-150
сканирование текста без распознавания	150-200
сканирование текста для распознавания	300-400
цветное фото для печати на струйном принтере	200
цветное фото для типографской печати	не менее 300
Сканирование в проходящем свете:	
35-мм пленка, для веб-страниц	200-600
35-мм пленка, для печати на струйном принтере	600-2000

Устройства ввода

Микрофоны



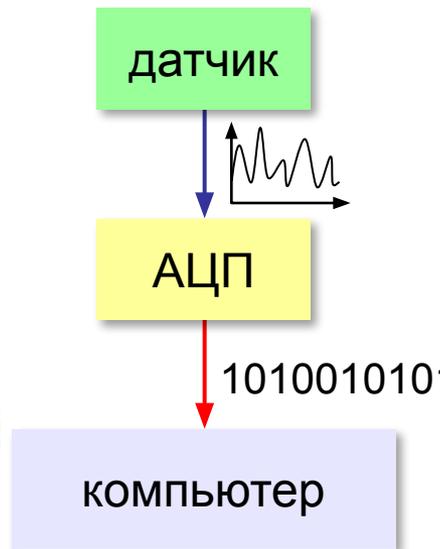
Веб-камера



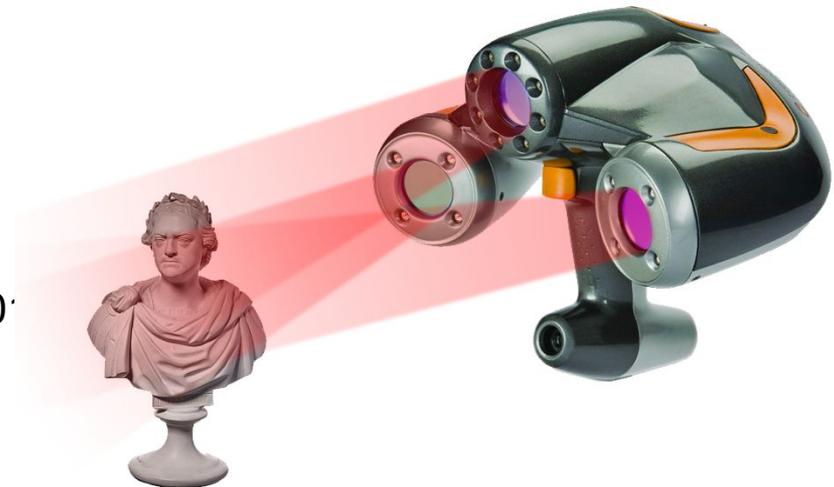
Графический планшет



Датчики



3D-сканер



Что такое устройства вывода?

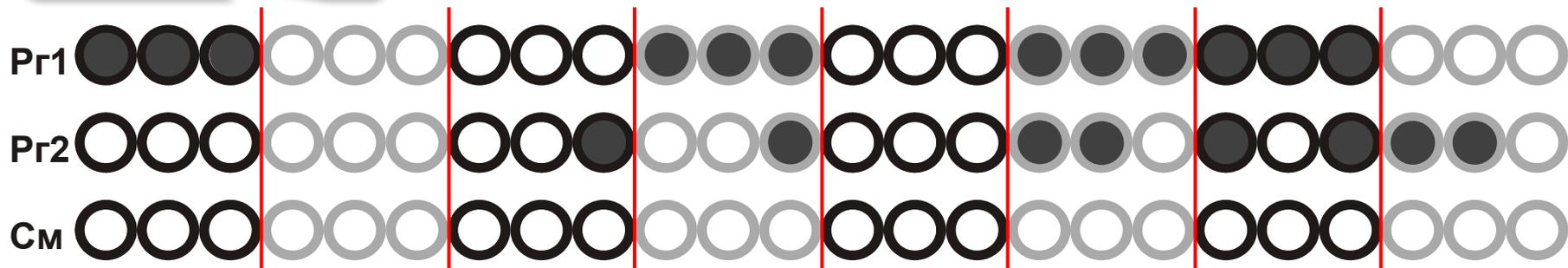
Устройства вывода — это устройства, которые представляют компьютерные данные в форме, доступной для восприятия человеком.

? Что не относится к устройствам вывода?

сенсорный экран флэш-диск
принтер колонки
жесткий диск МФУ
монитор плоттер
датчики сетевая карта

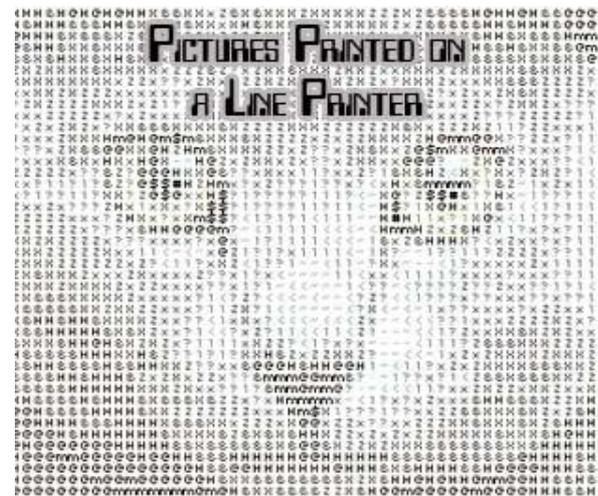
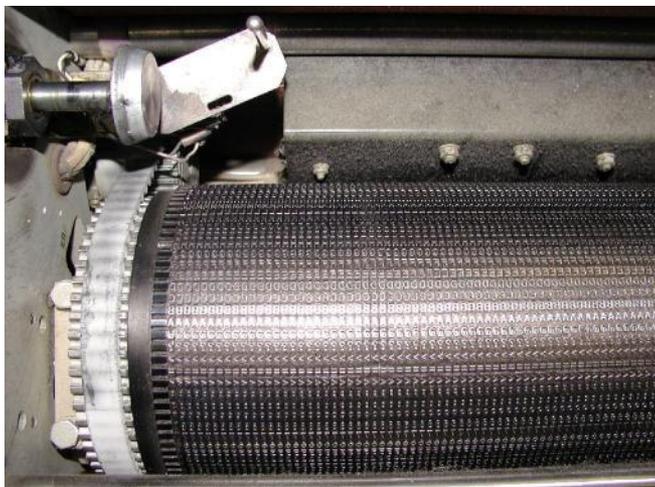
Первые устройства вывода

70070770₈

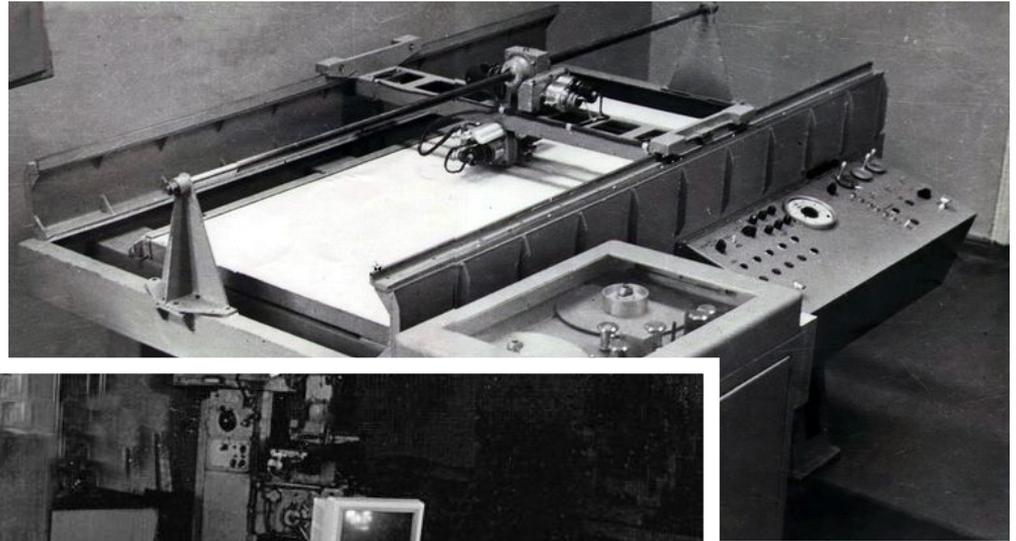
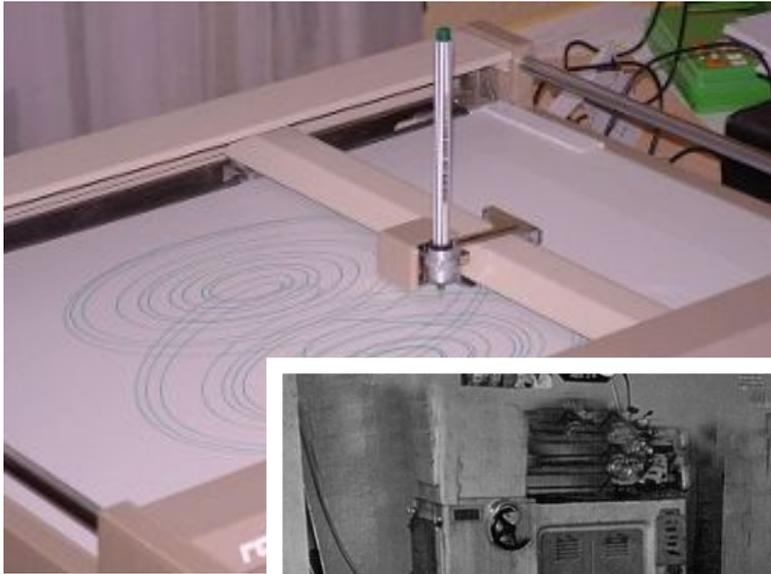


Pr2 = ?

АЦПУ = алфавитно-цифровые печатающие устройства



Плоттеры (графопостроители)



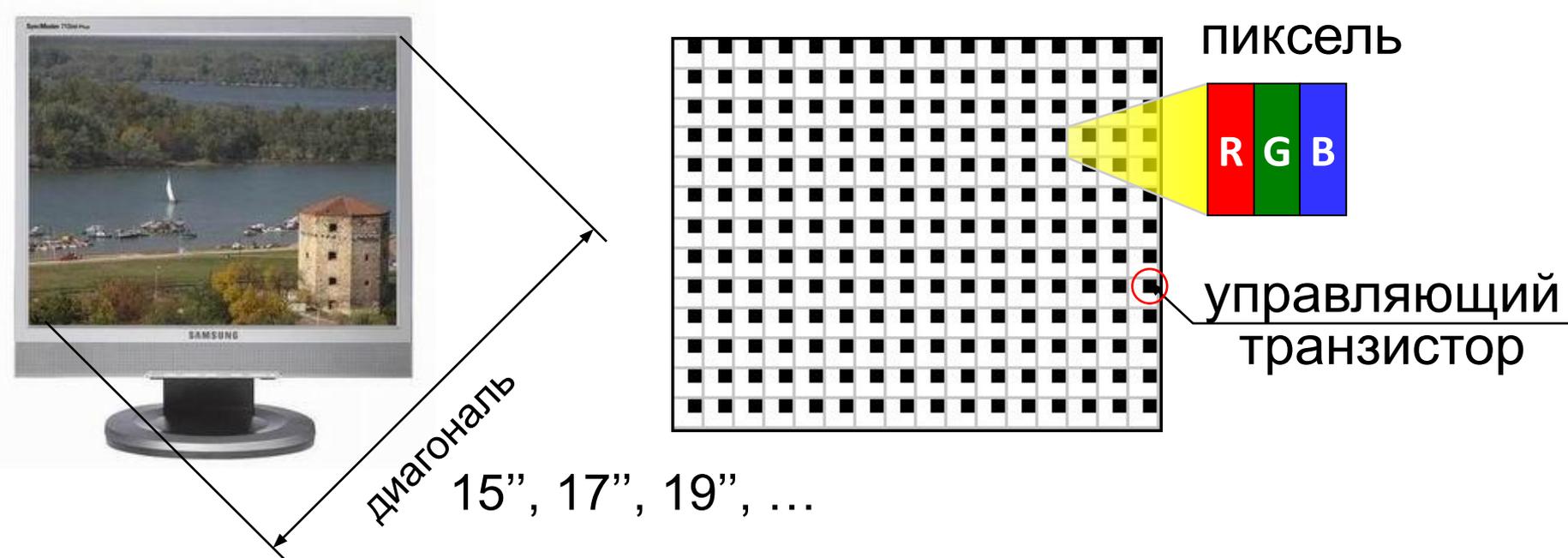
Мониторы

Монитор = дисплей + электронные схемы управления
жидкокристаллические (ЖК) электронно-лучевые



- | | |
|---|--|
| <p></p> <ul style="list-style-type: none"> • очень малое излучение • малые размеры и вес • потребляют мало электроэнергии (40 Вт) • нет искажений изображения | <p></p> <ul style="list-style-type: none"> • хуже цветопередача (чёрный цвет?) • изображение зависит от угла зрения • смазывание изображения • «битые пиксели» • только одно разрешение |
|---|--|

Мониторы



Разрешение — это количество точек экрана по ширине и по высоте. 1280×1024, 1440×900, 1366×768, ...

Соотношение сторон 4:3, 5:4, 16:9

Углы обзора 160° ... 178°

Время отклика 2...8 мс

Принтеры

Принтер – устройство для вывода информации на бумагу или пленку.

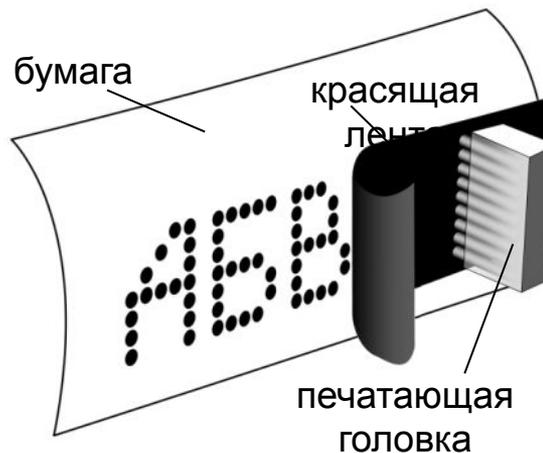
Разрешающая способность

dpi = *dots per inch*, точки на дюйм
обычно 300 – 600 dpi
1200 dpi (типографское качество)

Виды принтеров

- матричные (красящая лента)
- струйные (чернила)
- лазерные (порошок)
- сублимационные (красящая лента)

Матричные принтеры



Качество печати:
72...300 dpi

текст: до 337 символов в
минуту

графика: до 5 мин на
страницу!!!

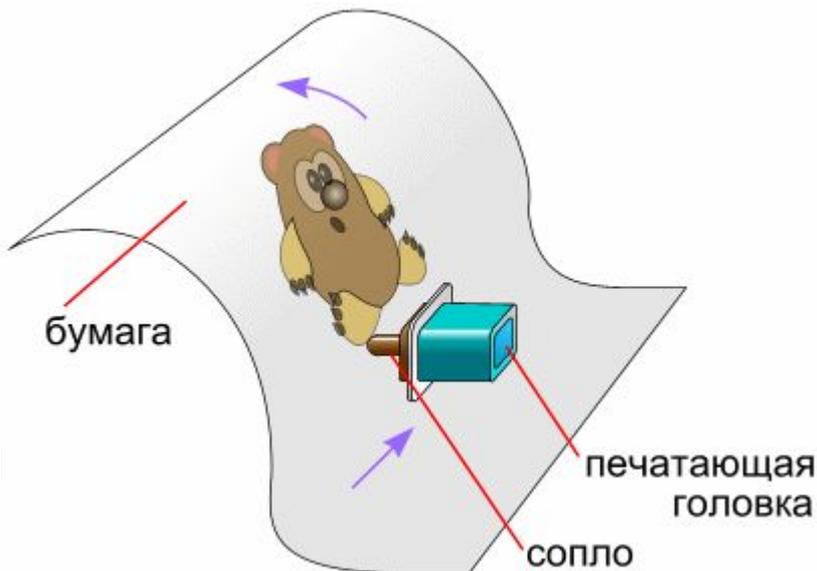


- дешевые принтеры и ленты
- нетребовательны к бумаге



- невысокое качество
- низкая скорость печати графики
- шумят
- черно-белые (почти все)

Струйные принтеры



вет: CMYK

Cyan

Magenta

Yellow

Key color

Качество печати:

300...4800 dpi

ч/б: до 30 стр/мин

цвет: до 30 стр/мин

фото 10×15:

от 10 сек

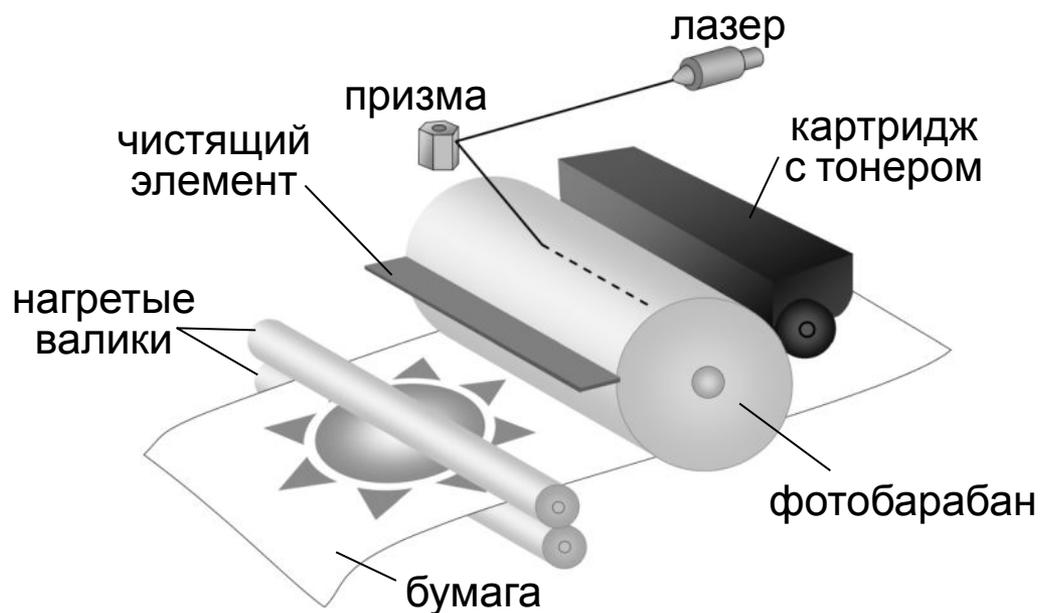


- относительно дешевые
- качественная печать
- мало шумят
- большинство – цветные



- требовательны к бумаге
- дорогие катриджи
- чернила расплываются от воды

Лазерные принтеры



Качество печати:
600...1200 dpi

ч/б: до 50 стр/мин

цвет: до 25 стр/мин



- становятся все дешевле
- очень качественная печать
- мало шумят
- есть цветные



- требовательны к бумаге
- дорогие катриджи
- потребляют много электроэнергии
- цветные дорогие

Сублимационные принтеры

Сублимация – быстрый переход вещества из твердого состояния в газообразное.



- твердые красители:

Сян

Magenta

Yellow

- 256 оттенков каждого цвета, всего 16,7 млн. цветов
- печать при нагреве
- верхний защитный слой

качество печати:

300 dpi
(= 4800 dpi)



- очень качественная печать фото
- не выцветает 100 лет
- печать прямо с фотоаппарата

фото 10×15:

около 1 мин



- специальная бумага и пленки с красками

3D-принтеры

3D = *3-dimensions*, трёхмерный

3D-принтер — устройство, которое создает физический объект по слоям на основе его цифровой трёхмерной модели.



Устройства ввода и вывода

Сенсорный экран



мультитач – реакция на касание экрана в нескольких местах одновременно