



# Материалы для спинтроники Квантовые вычисления

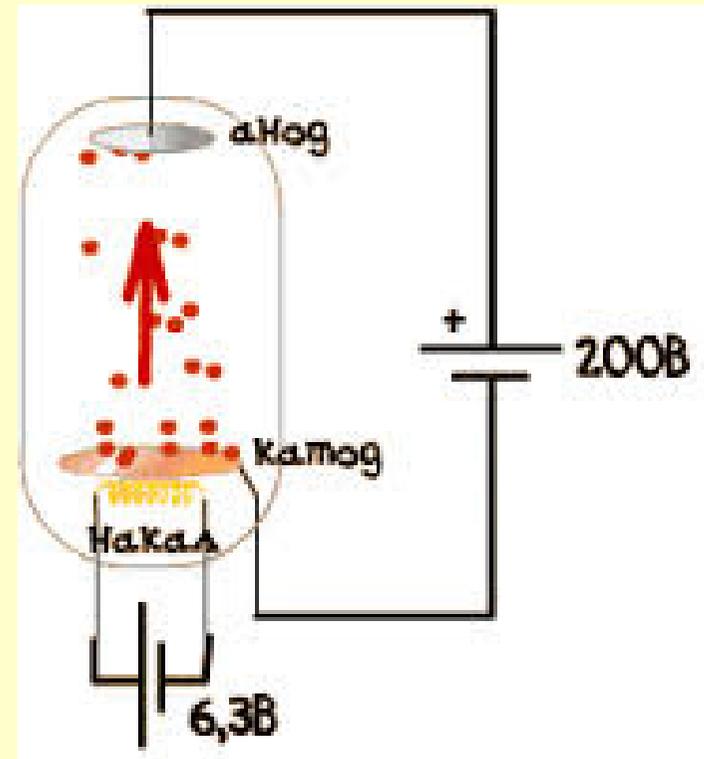


# Содержание

- Электроника
- Цифровая электроника
- От электроники к спинтронике
- Спинтроника
- Материалы для спинтроники
- Квантовые вычисления
- Квантовые компьютеры

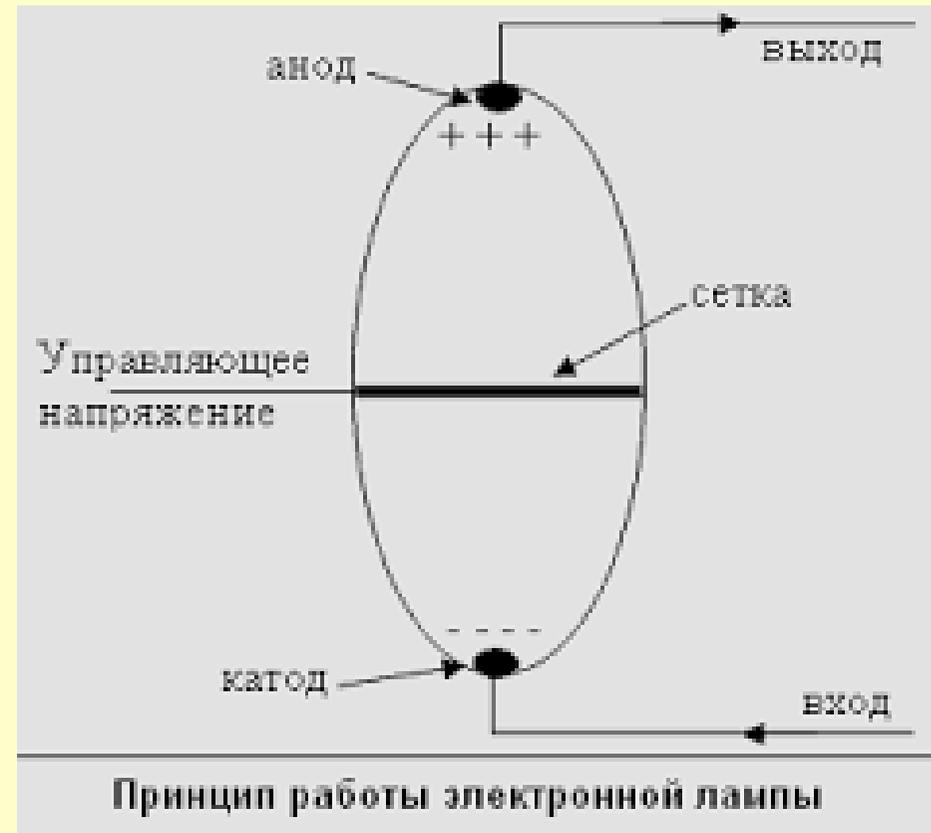
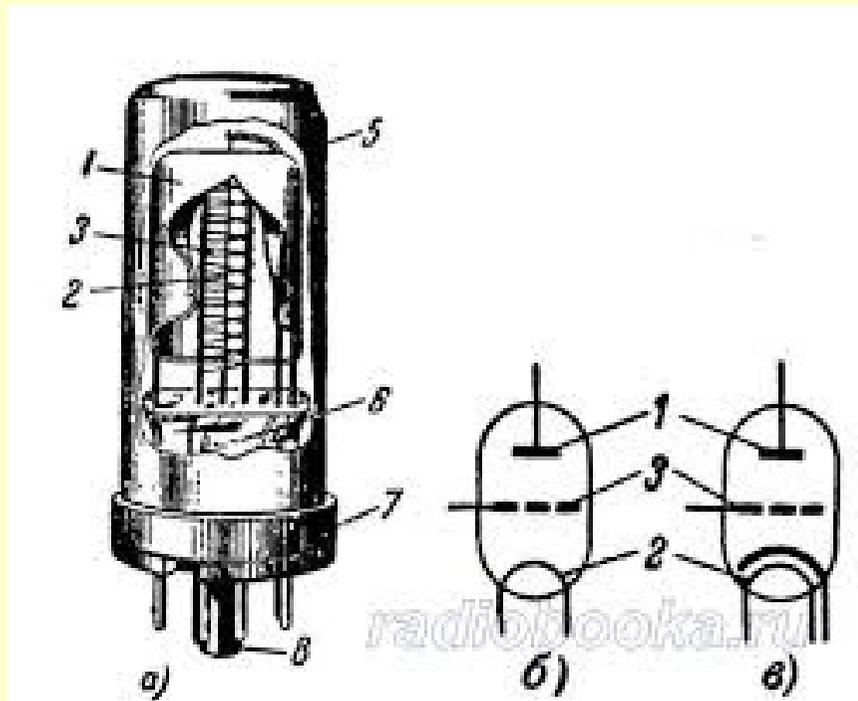


# радиолампа



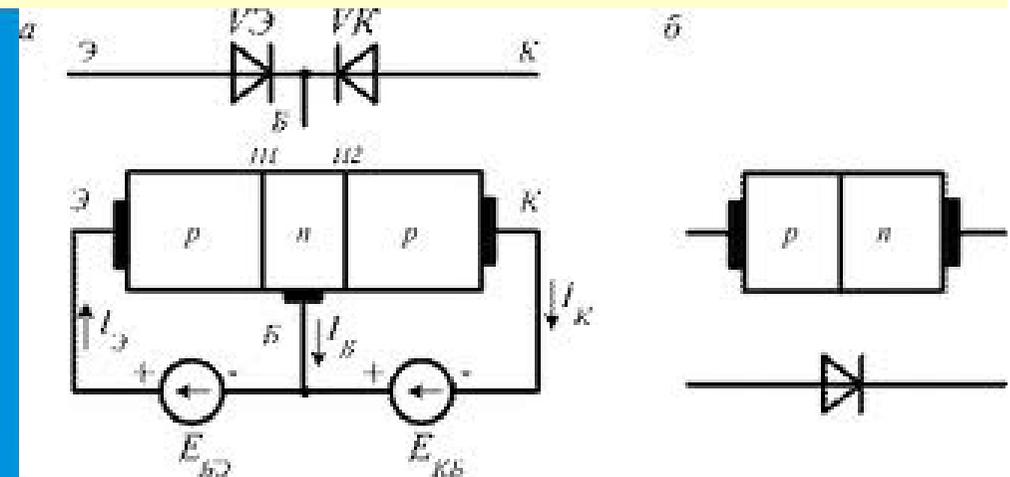
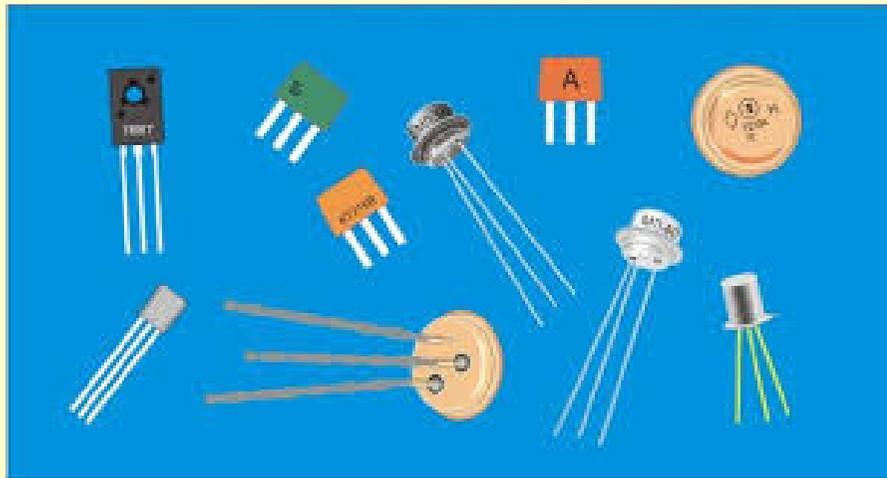


# радиолампа



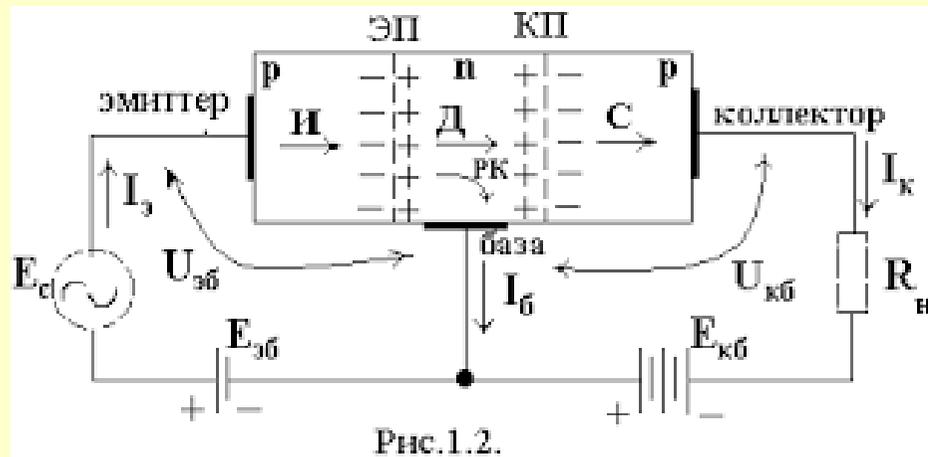


# Транзистор

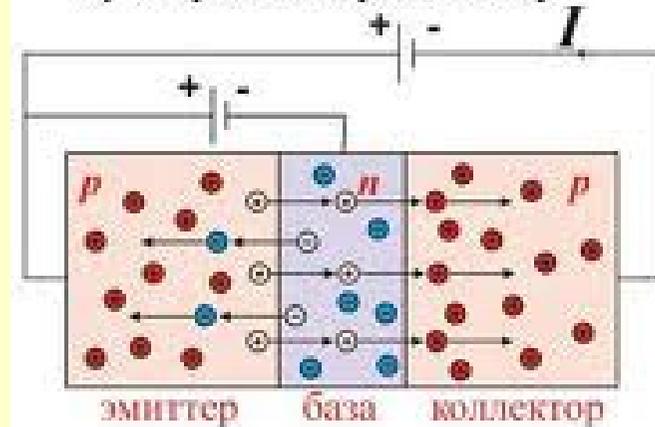




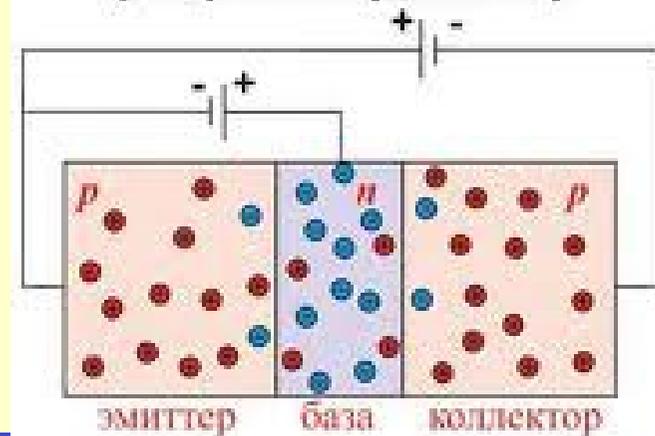
# Транзистор



а) открытый транзистор



б) закрытый транзистор



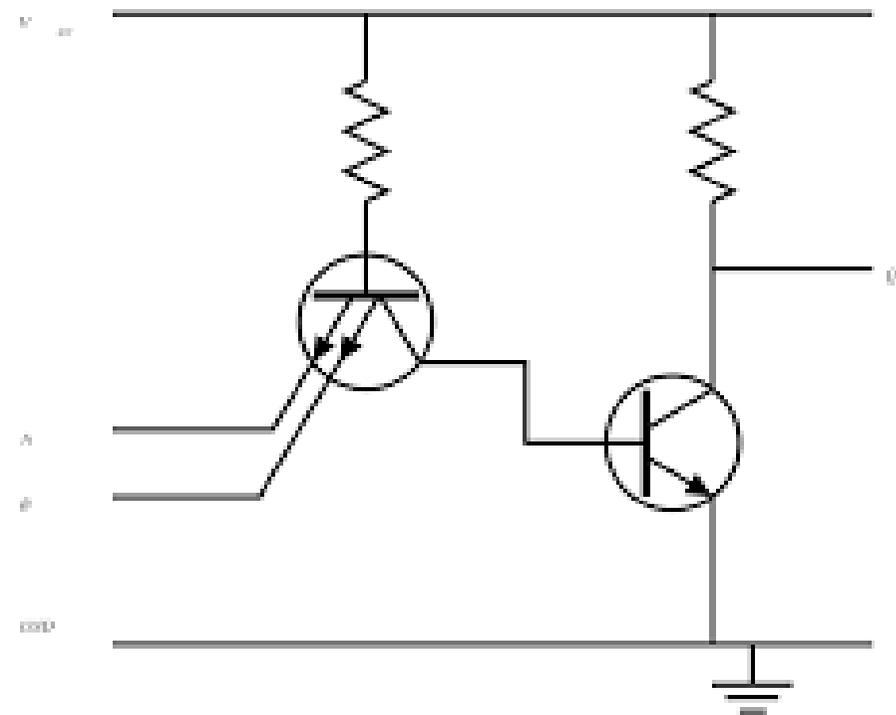
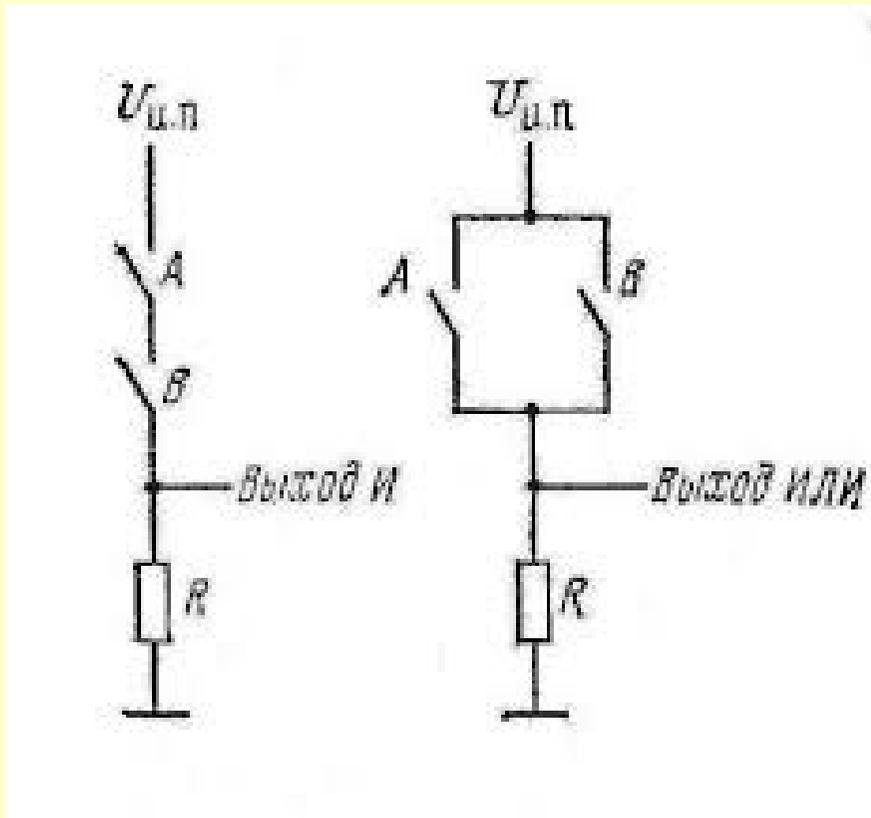
# Цифровая электроника



- Логические элементы «И»
- Логические элементы «ИЛИ»
- Триггер
- Регистр
- АЛУ (арифметико-логическое устройство)
- Процессор

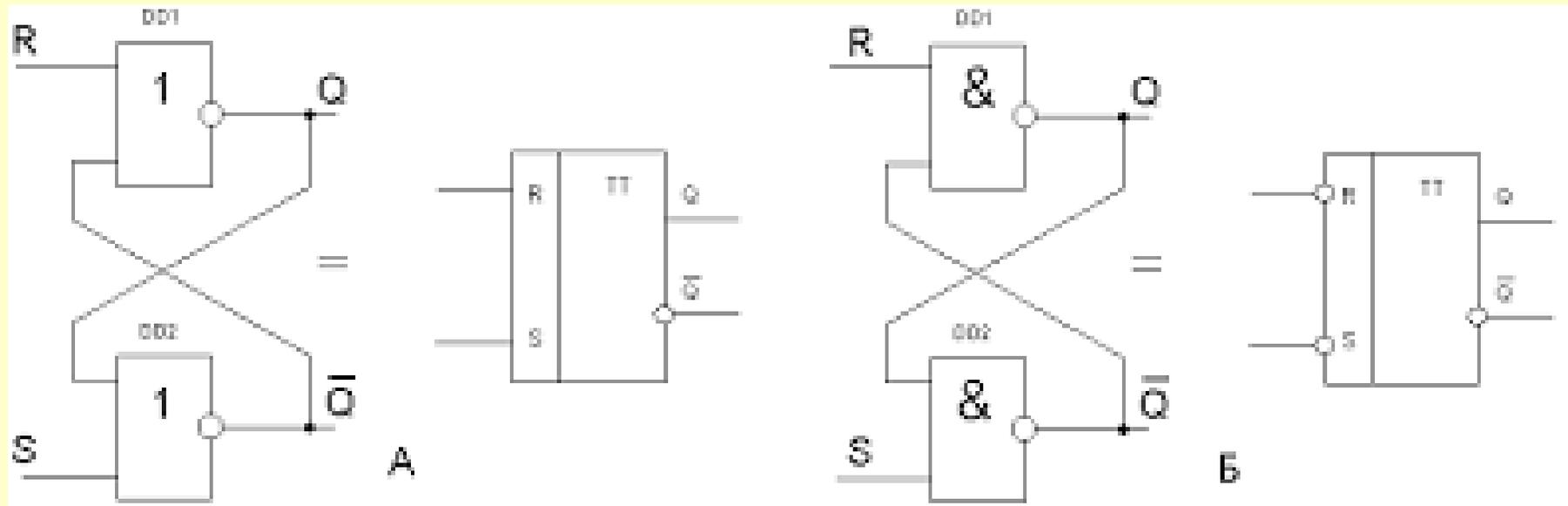


# Логические элементы





# Триггер



# АЛУ

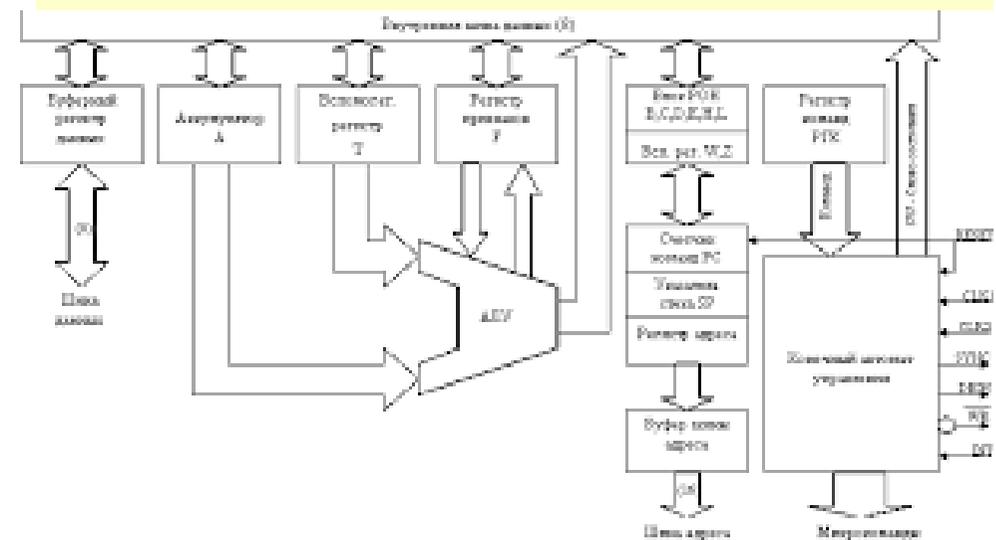
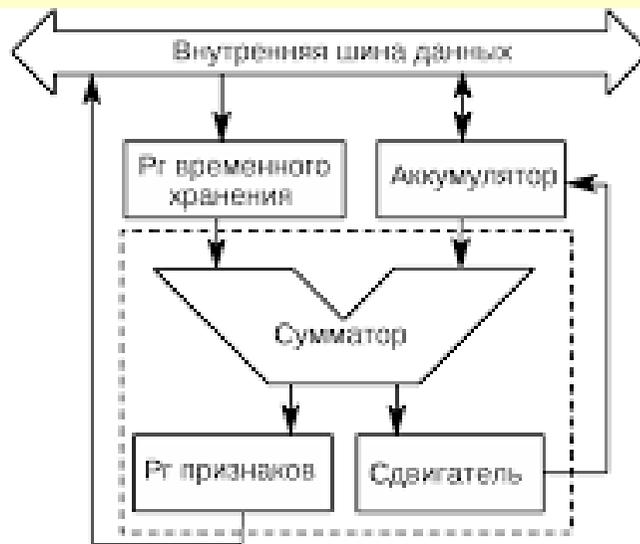
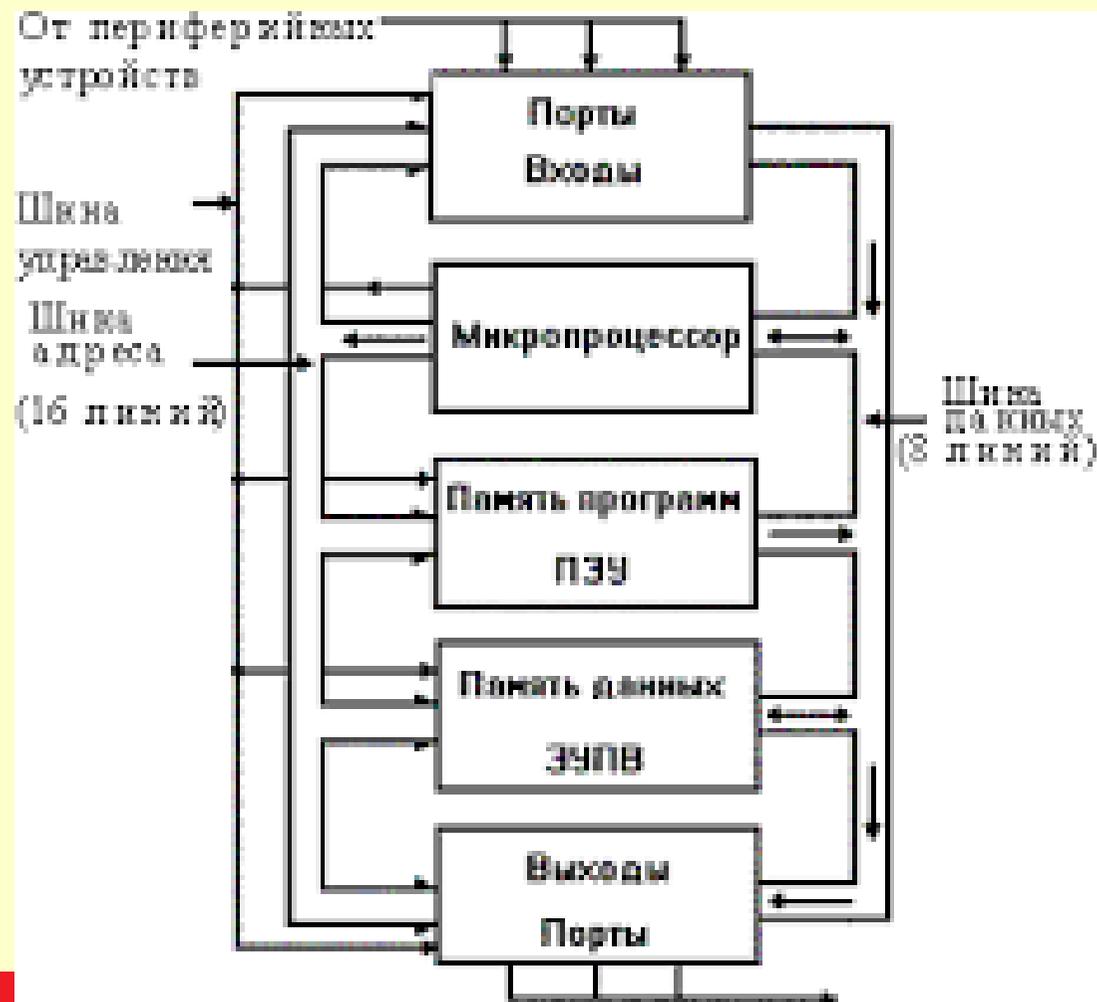


Рис. 3.4. Структурная схема простейшего АЛУ аккумуляторного типа



# Компьютер (ЭВМ)





От электронике

К спинтронике!



# Сравнение

- **Электроника:**
  - Движение зарядов
  - Скорость движения электронов
  - Потери энергии ( $I^2R$ )
  - Размеры устройств – десятки нанометров
- **Спинтроника:**
  - Движение спинов
  - Переворот спинов
  - Потери энергии ( $h\omega$ )
  - Размеры устройств – отдельные атомы и электроны



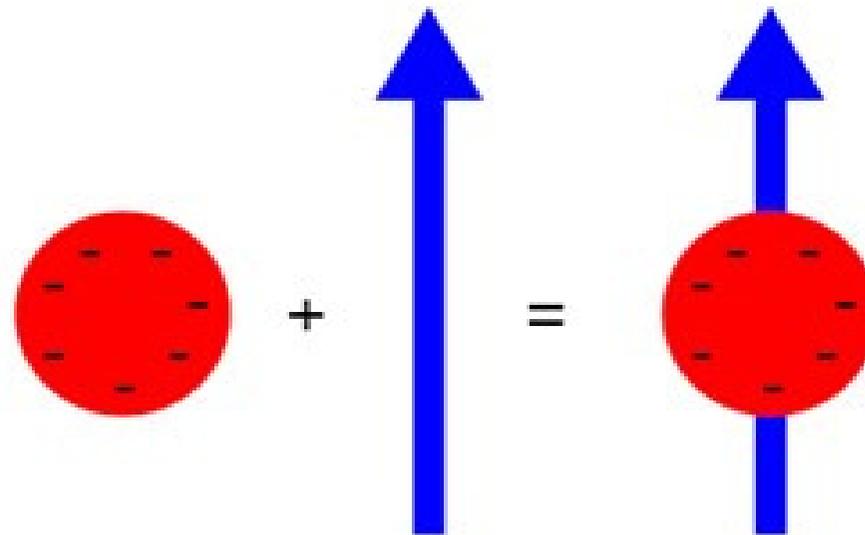
# Спинтроника

- Использует **спин** электрона, как активный элемент хранения и передачи информации
- Позволяет создавать устройства, которые могут заменить и дополнить традиционные электронные устройства
- Объединяет фундаментальные исследования (теория твердого тела, магнетизм) и новейшие технологии
- Имеет перспективы применения в квантовых вычислениях и квантовой передаче информации

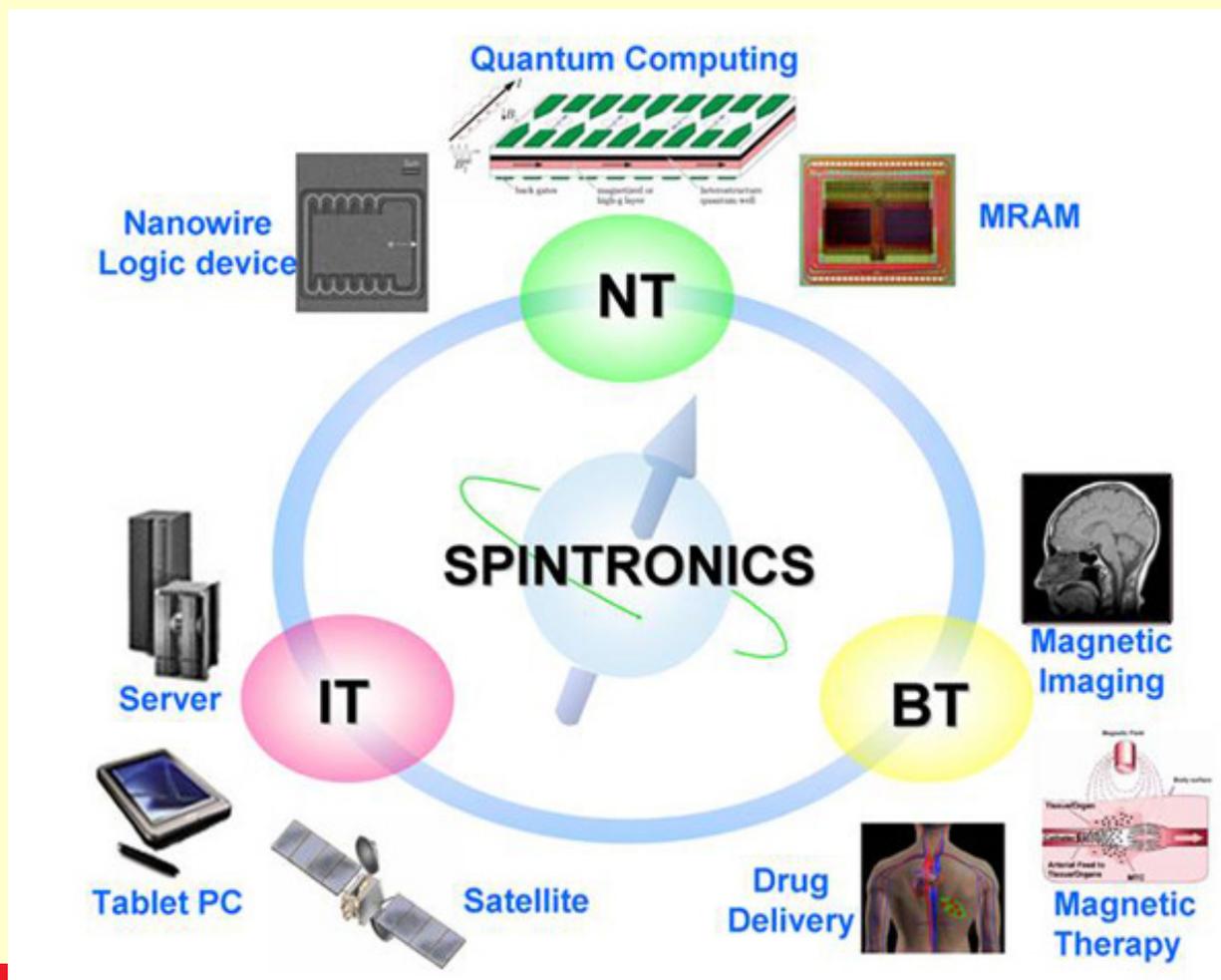
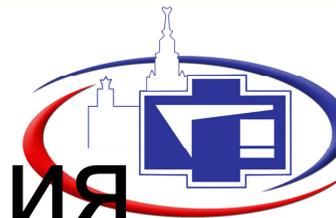


what is an electron ?

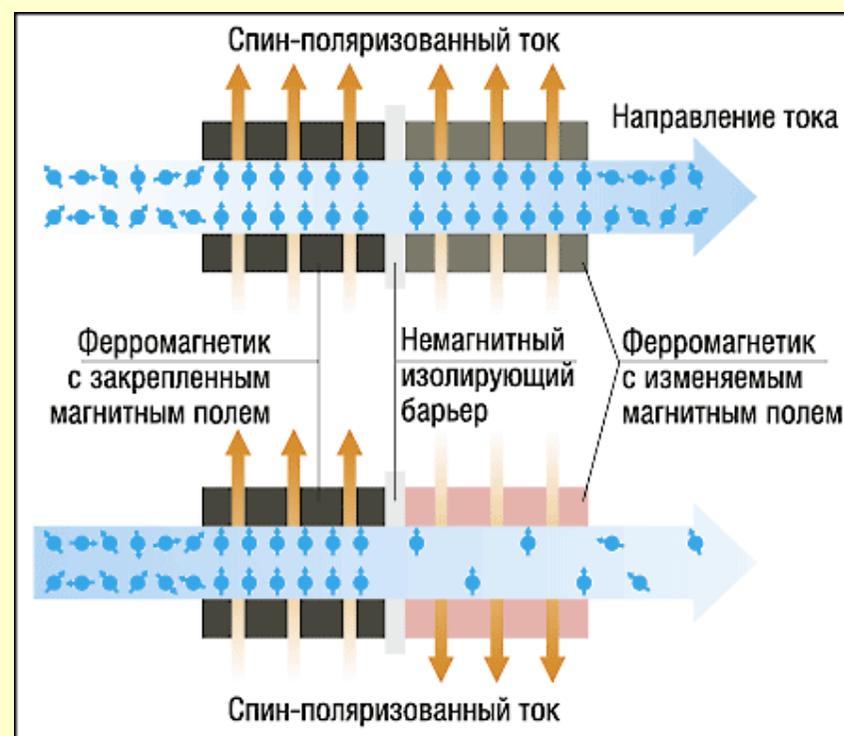
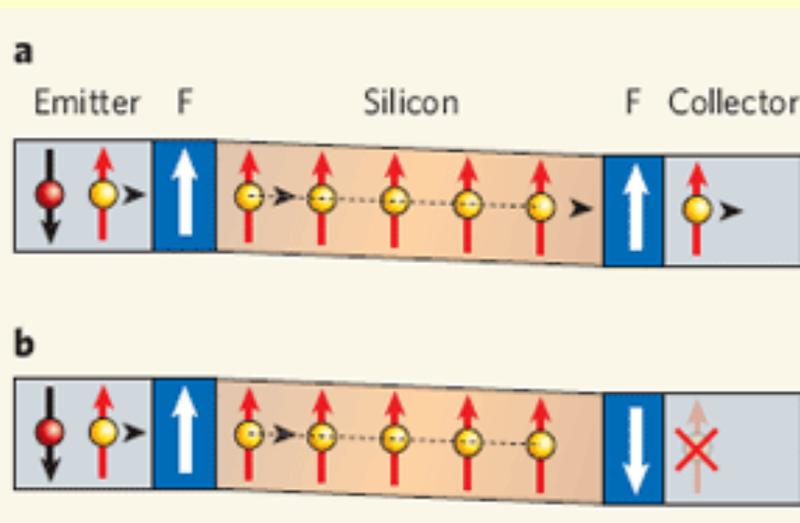
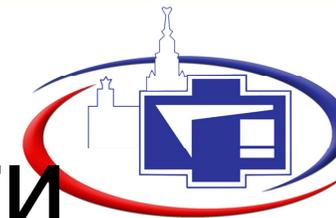
particle with **negative electric charge**  $q = -e$   
and **spin 1/2** (magnetic moment  $m = \mu_B$ )



# Перспективы применения



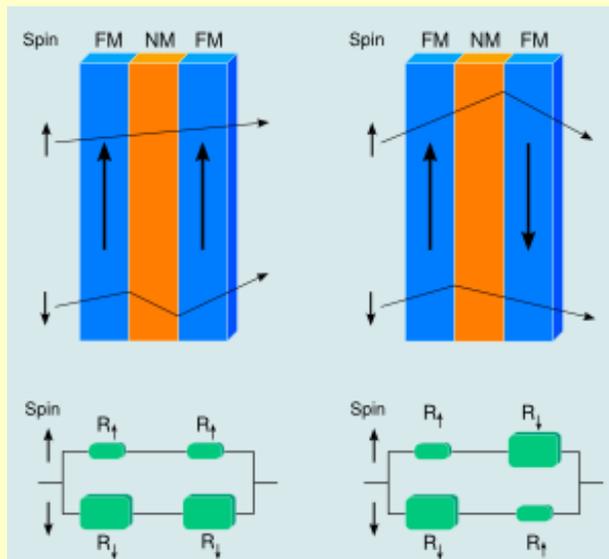
# Элементы спинтроники





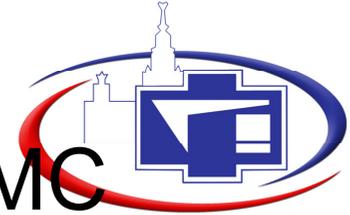
# Гигантское магнетосопротивление

- Пусть электрический ток протекает перпендикулярно плоскости слоев в  $(\text{Fe/Cr})_n$ :

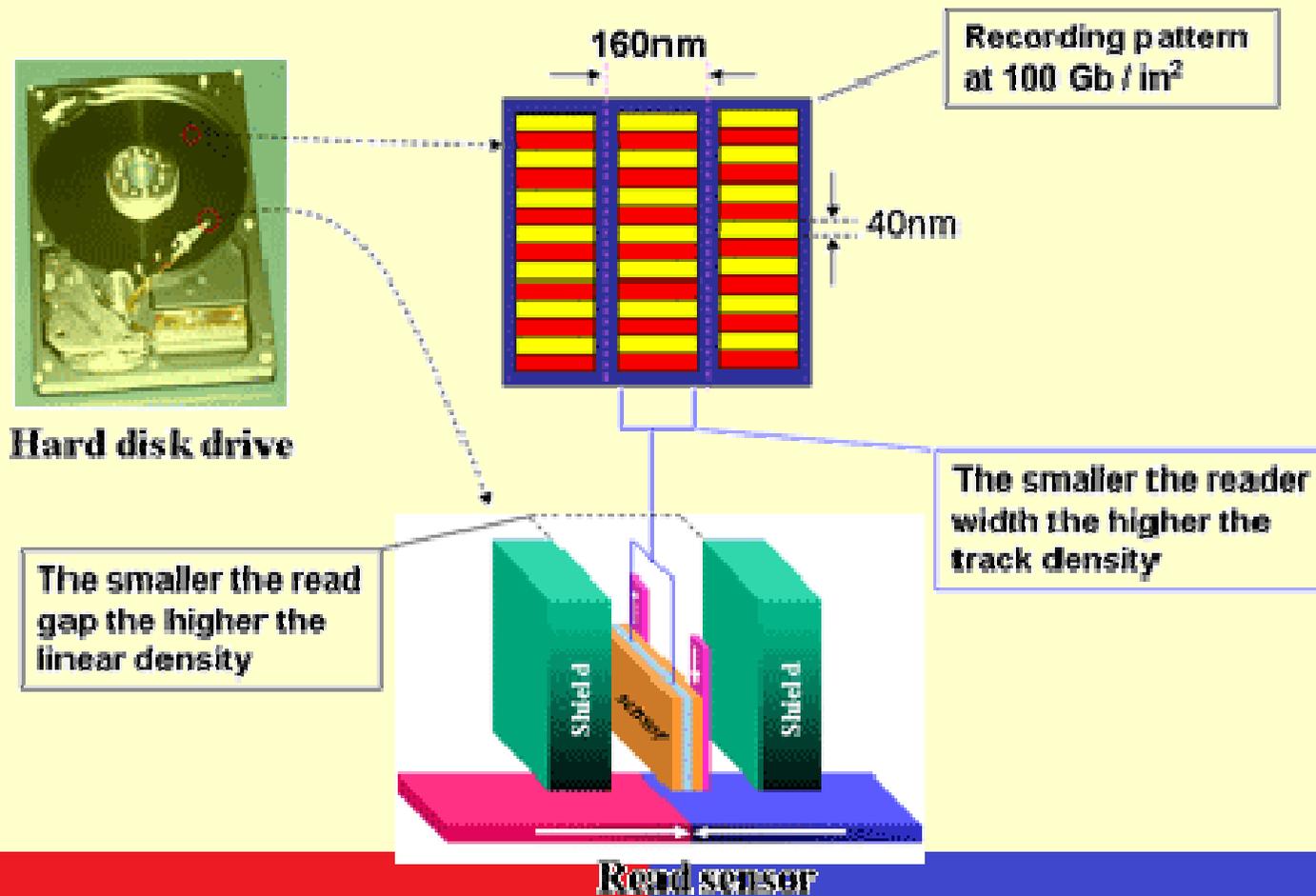


при параллельной ориентации намагниченностей ферромагнитных слоев (слева) сопротивление низкое, при антипараллельной ориентации (справа) – сопротивление возрастает

- Применения: магнитные сенсоры, считывающие головки жестких дисков (с 1997)
- Нобелевская премия по физике 2007 (А. Ферт, П. Грюнберг)



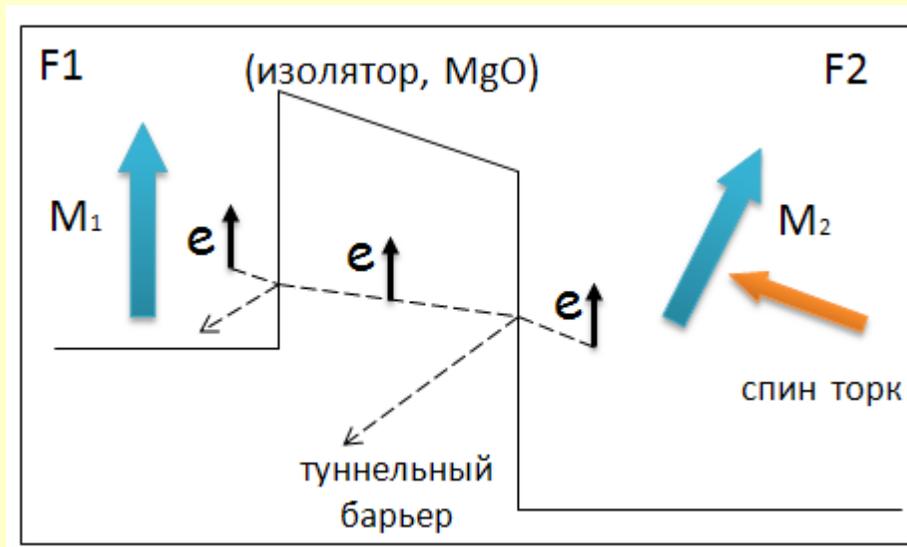
# Магнитная головка на основе ГМС





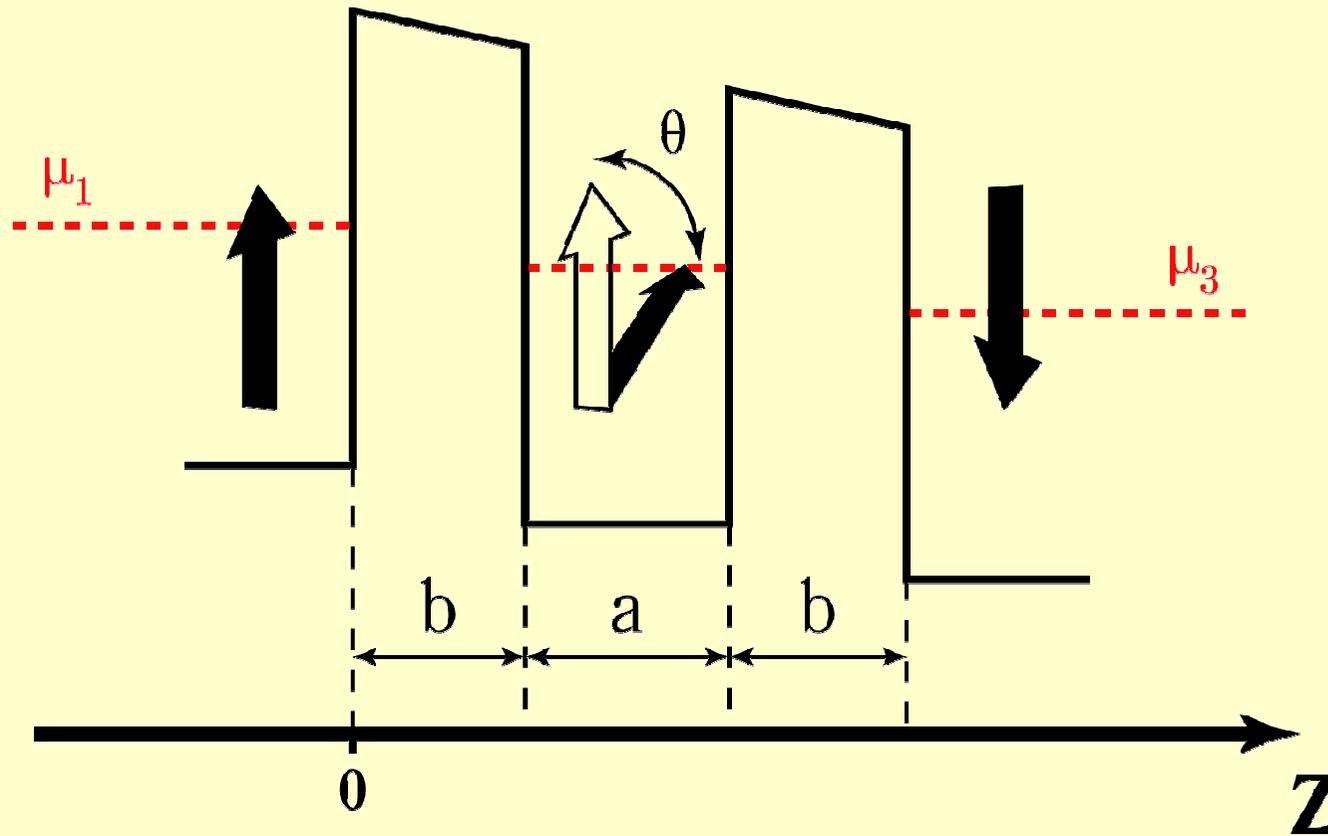
# Туннельное магнетосопротивление

- Магнетосопротивление в структуре F|O|F, O-изолятор
- Эффект достигает 30-50% при комнатной температуре



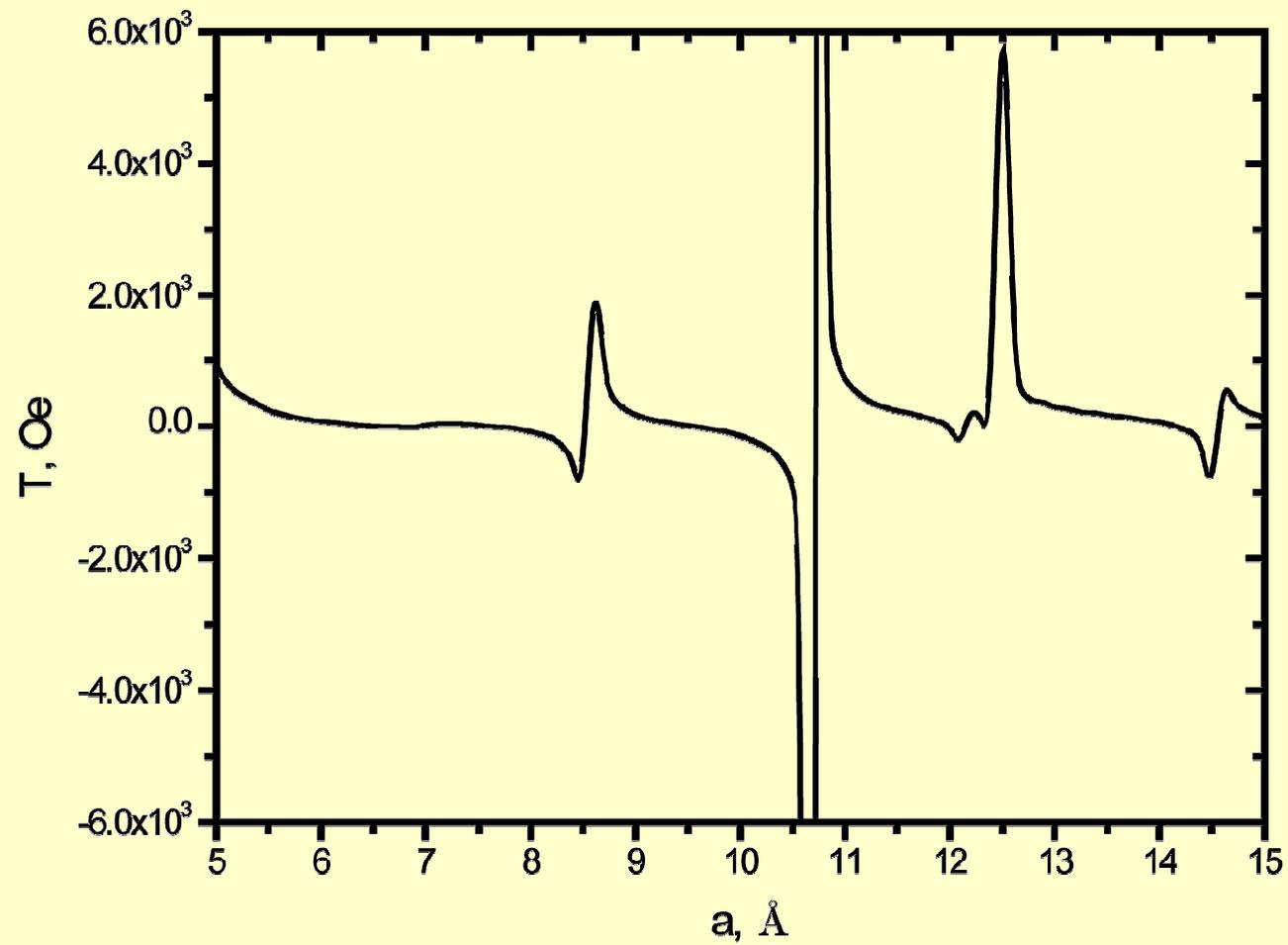


# Резонансные эффекты





# Резонансные эффекты



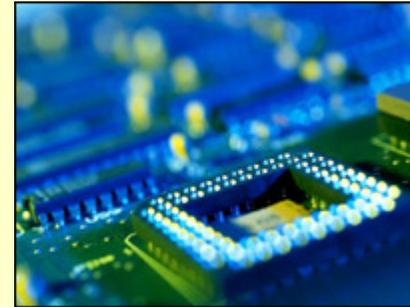


# MRAM

## Magnetic Random Access Memory

Преимущества:

- Энергонезависимость
- Быстродействие
- Высокая плотность записи
- Стабильность
- Простота изготовления



Ячейка MRAM  
Freescale, июль  
2006

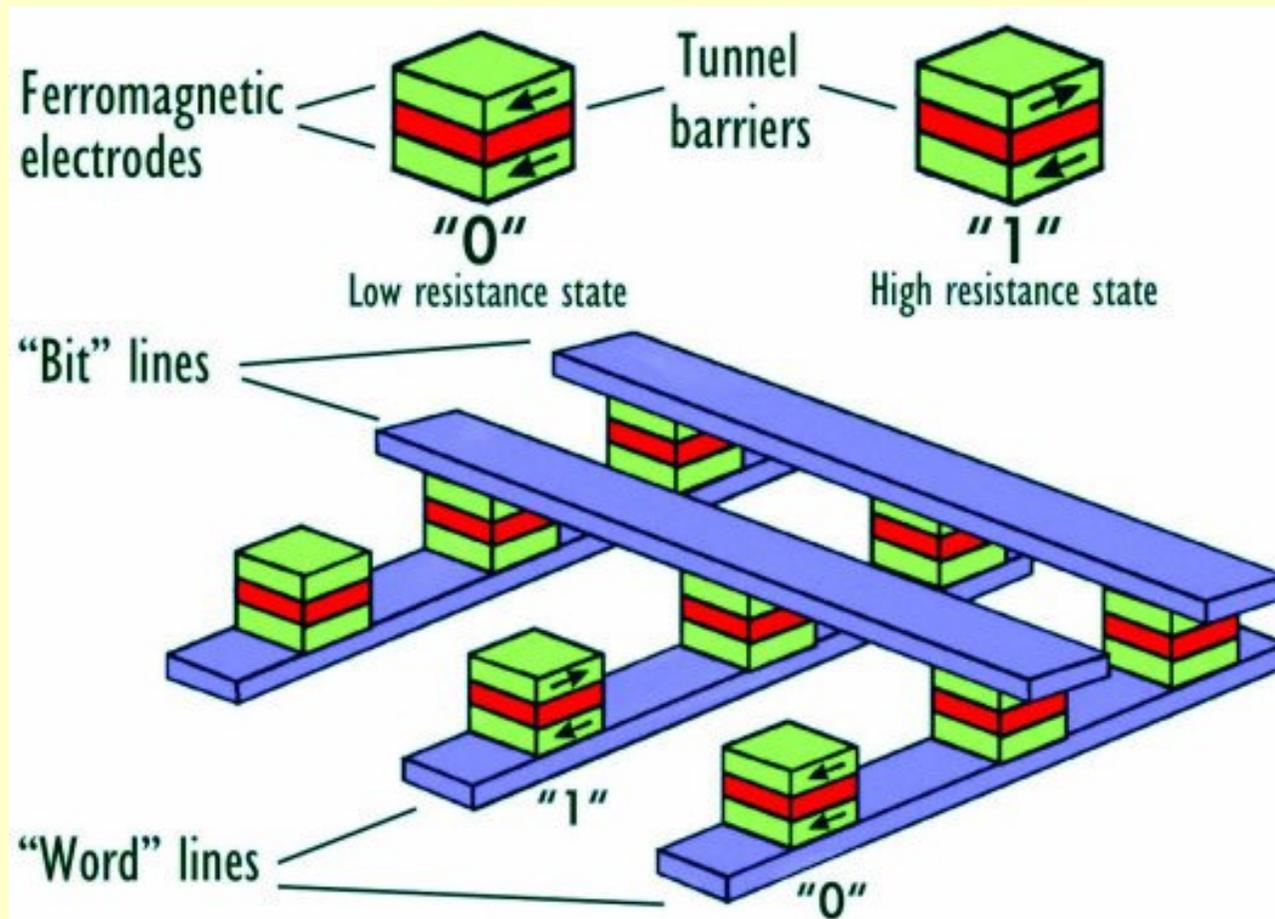
Может заменить память на полупроводниках  
(универсальная память)

Основана на:

- TMR
- перемагничивание спин-поляризованным током

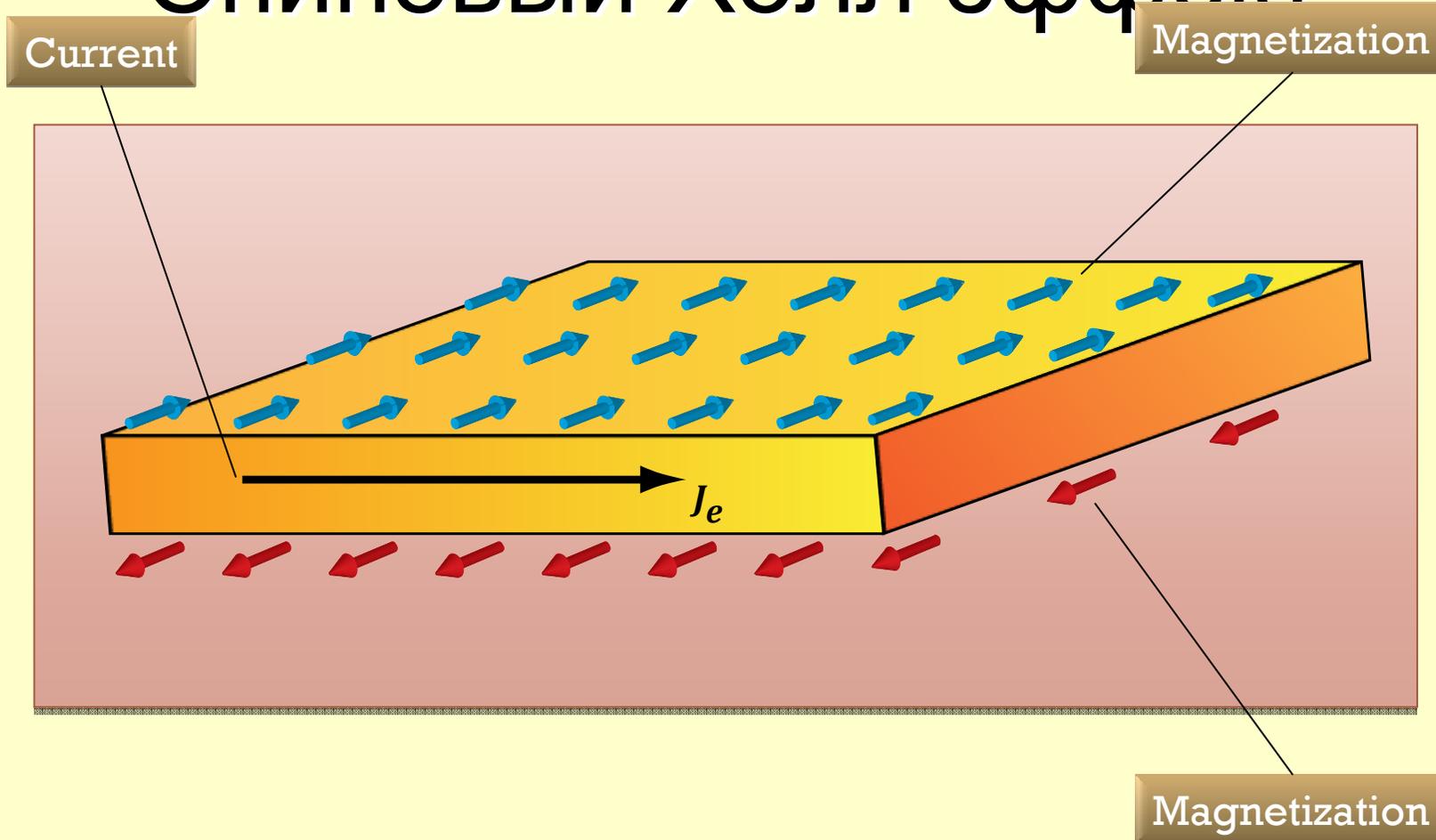


# MRAM





# Спиновый Холл эффект





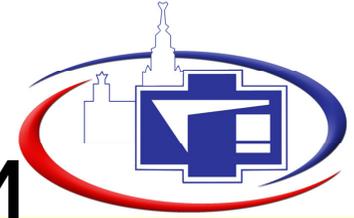
# Квантовый компьютер -

что это?

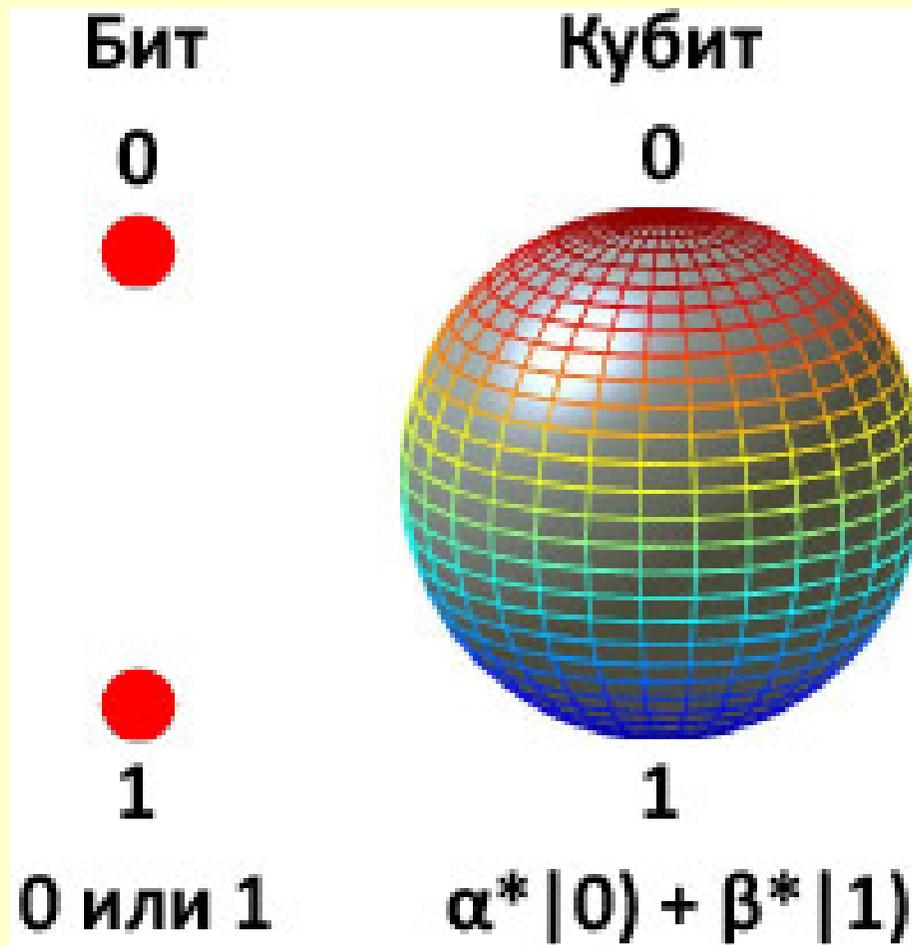
# Квантовый компьютер



- Гипотетическое вычислительное устройство, которое путем выполнения квантовых алгоритмов существенно использует при работе квантово-механические эффекты, такие как квантовый параллелизм и квантовая запутанность...



# Единица информации





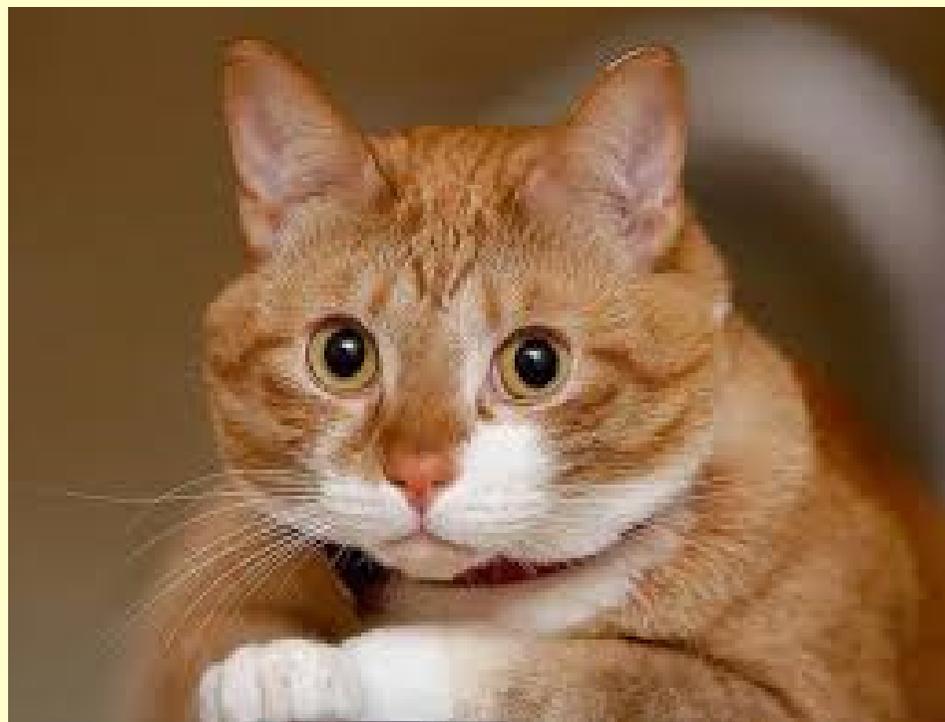
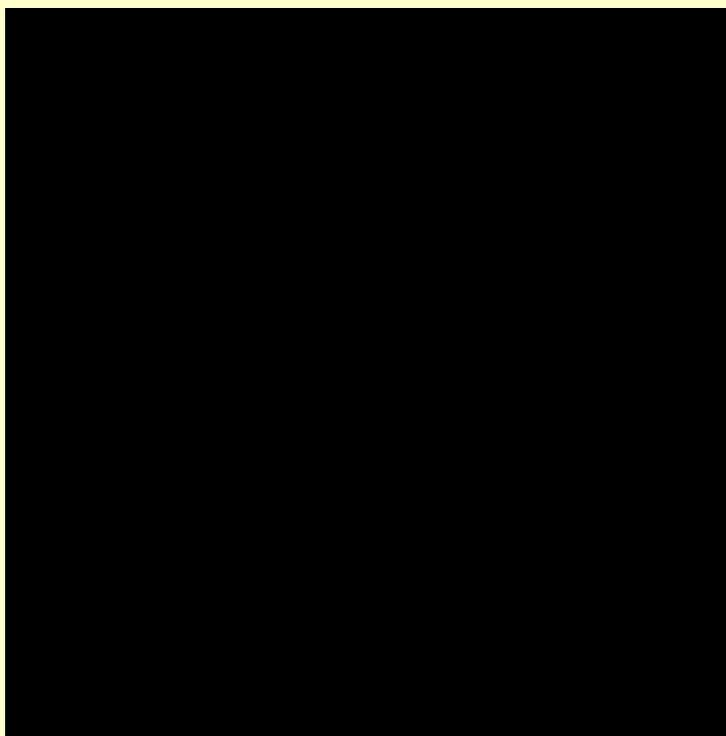
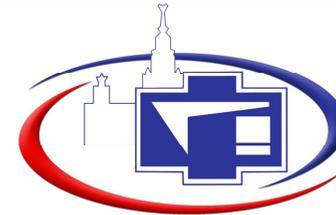
# Кубит

***Кубит* — это вектор состояния двухуровневой системы.**

$$|\Psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle,$$

**где  $a$  и  $b$  — комплексные числа (амплитуды), удовлетворяющие условию нормировки  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ .**

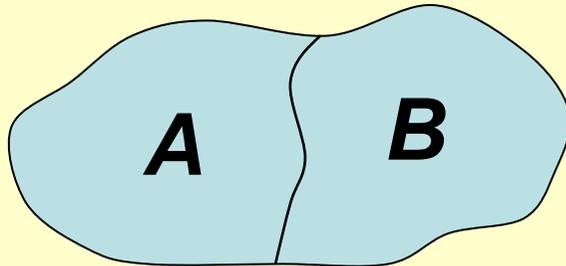
# Кот Шредингера



# Квантовые запутанные и сепарабельные состояния



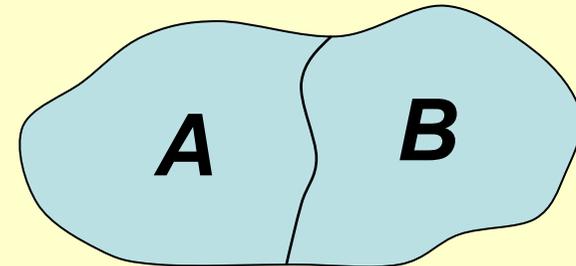
## Классические системы



Если известно состояние всей системы, тем самым однозначно определено состояние ее подсистем.

КАФЕДРА

## Квантовые системы



$$|\Psi_{AB}\rangle = |\uparrow\uparrow\rangle$$

$$|\Psi_{AB}\rangle = |\Psi_A\rangle \otimes |\Psi_B\rangle$$

$$|\Psi_{AB}\rangle = \frac{|\uparrow\uparrow\rangle + |\downarrow\downarrow\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$|\Psi_{AB}\rangle \neq |\Psi_A\rangle \otimes |\Psi_B\rangle$$

МАГНЕТИЗМА

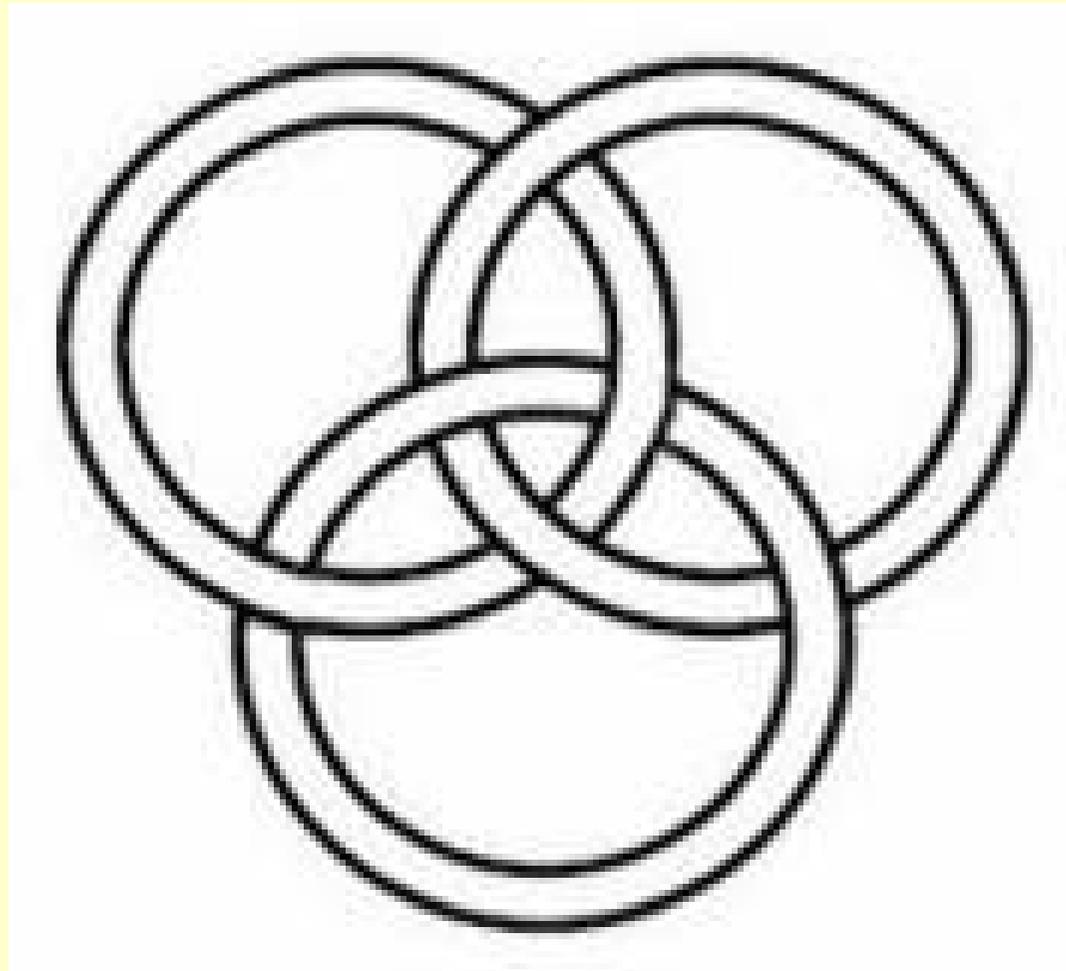
# Меры связанности



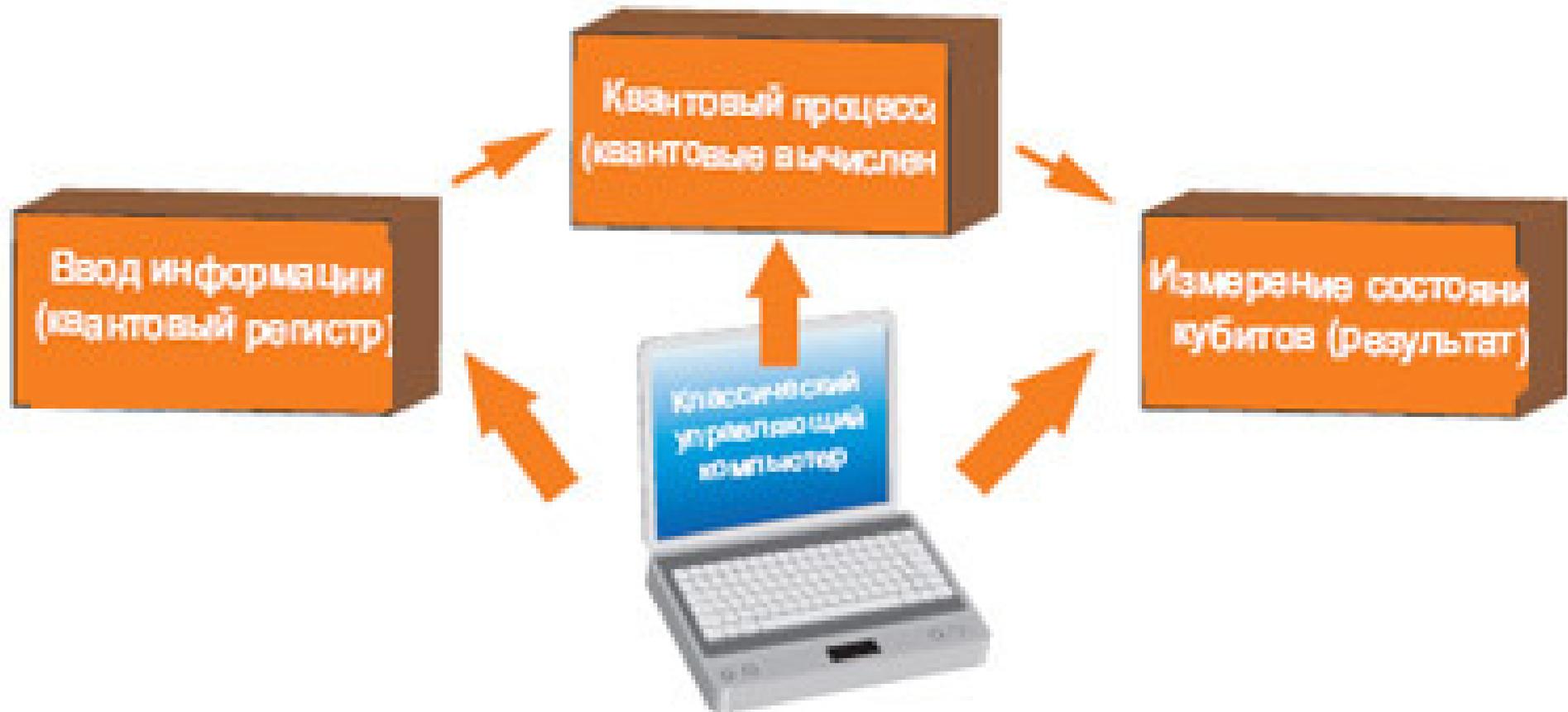
1. **Согласованность (concurrence).**
2. **PPT (positive partial transpose) критерий сепарабельности, и основанная на нем мера запутанности - отрицательность (negativity).**
3. **Относительная энтропия согласованности (relative entropy of entanglement).**
4. **CCN (computable cross-norm) критерий.**
5. **Мера согласованности, основанная на метрике гильбертова пространства (расстоянии Гильберта-Шмидта).**



# Меры связности



# Квантовые компьютеры



# Квантовые компьютеры



- Число контролируемых кубитов  $N > 100$ .
- Возможность инициализации регистра.
- Подавление декогеренции ( $t_{\text{dec}}/t_{\text{раб}}=10^4$ ).
- Возможность воздействия на каждый кубит.
- Возможность измерения выходных данных.

# Физическая реализация



- **Метод жидкофазного ЯМР.**
- **Ионы в ионных ловушках.**
- **Зарядовые состояния куперовских пар в квантовых точках.**
- **Кубиты на сверхпроводниковых мезоструктурах.**
- **С помощью линейных оптических элементов**

# Квантовые вычисления



- 1. Алгоритм факторизации

Классический  $\sim N^{1/3}$

Квантовый (Шора)  $\sim \log_2 N$

- 2. Поиск в базе данных

Классический  $\sim N$

Квантовый (Гровера)  $\sim \sqrt{N}$

И другие



Спасибо за внимание!