

Что такое оптоинформатика?

«оптоинформатика» -область науки и техники, связанная с исследованием, разработкой, созданием и эксплуатацией новых материалов, технологий, приборов и устройств, направленных на передачу, прием, обработку, хранение и отображение информации на основе оптических технологий.

учебный курс

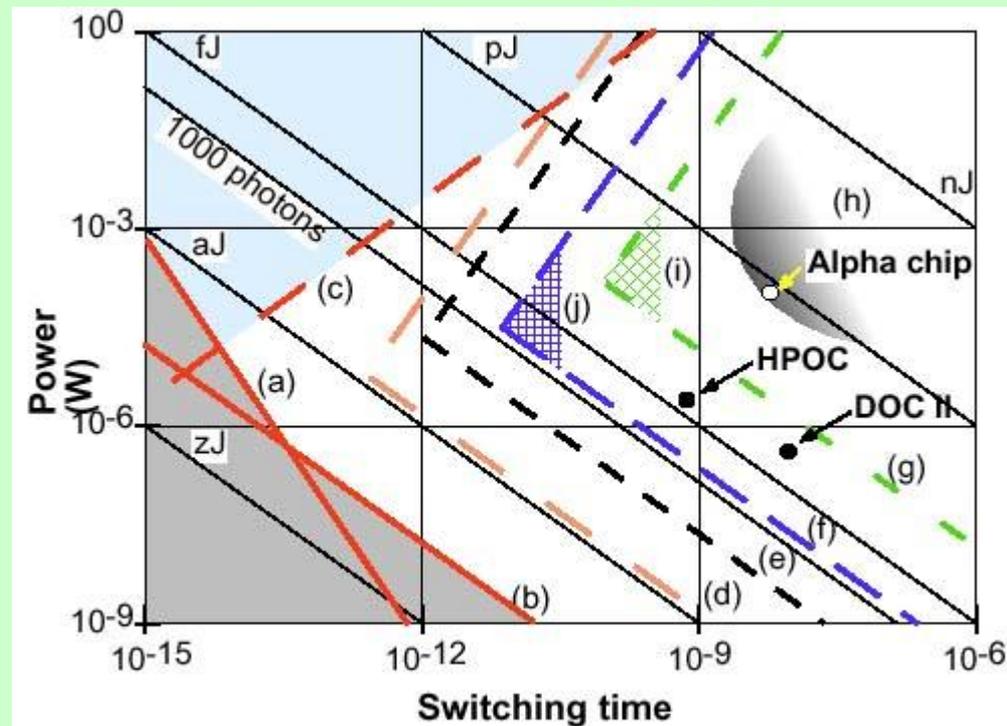
ОПТОИНФОРМАТИКА

пути развития информационных технологий: пределы электронной техники и их преодоление на основе оптических альтернатив; *основные источники излучения в оптоинформатике:* принципы работы полупроводниковых лазеров, лазеры на гетероструктурах, лазеры и усилители на основе квантоворазмерных эффектов, вертикально-излучающие полупроводниковые лазеры, волоконные лазеры и усилители, планарные лазеры и усилители; *передача информации в оптических линиях связи:* формирование, распространение, поглощение и дисперсия световых импульсов в волоконно-оптических линиях, спектральное и временное уплотнение информационных потоков, элементная база оптических линий связи, передача оптических сигналов в атмосфере и космосе;

Лекция 1.

Перспективы развития компьютерных и информационных технологий

Фундаментальные физические пределы кремниевой технологии.
Пределы электронной компьютерной техники.



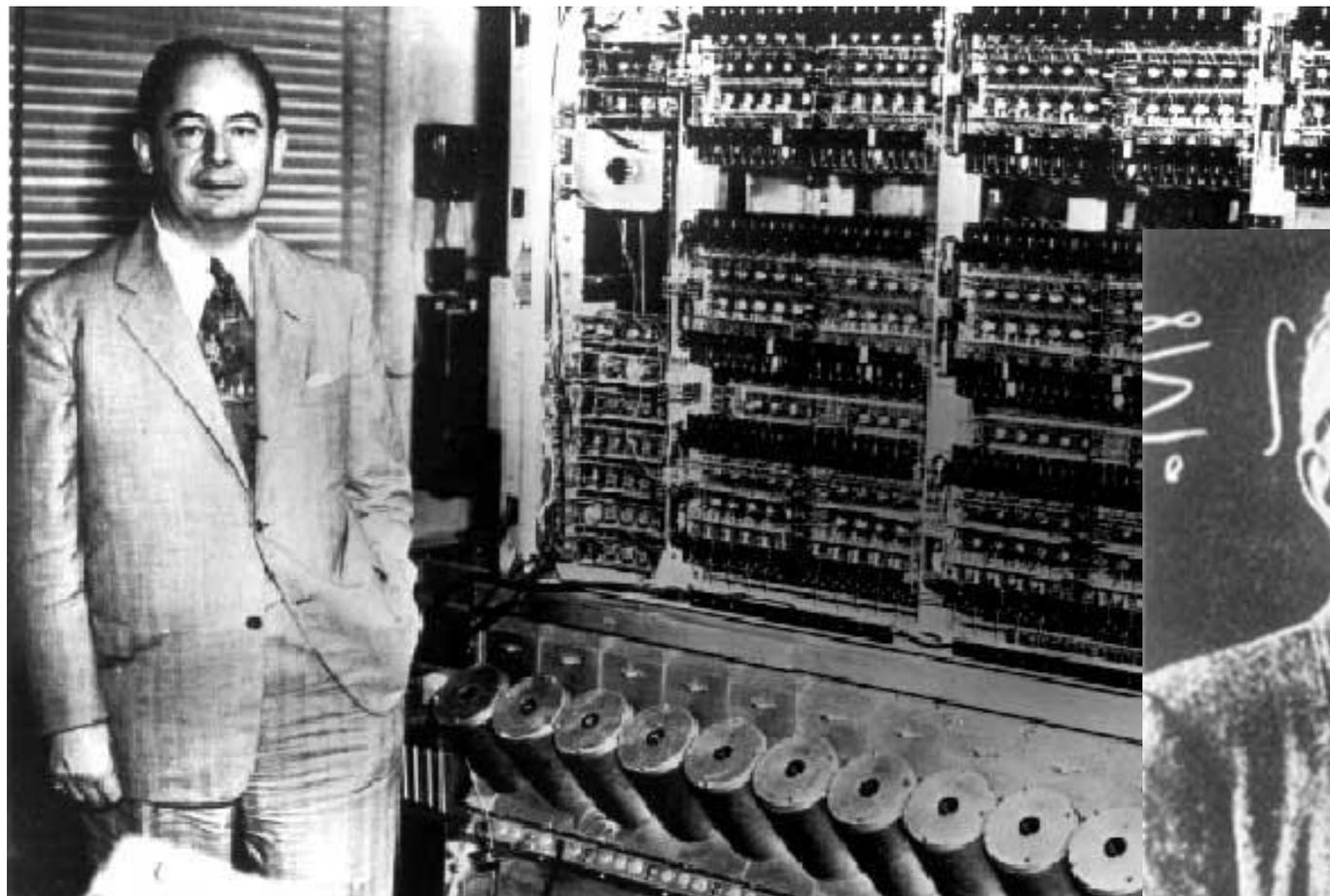
Первый компьютер



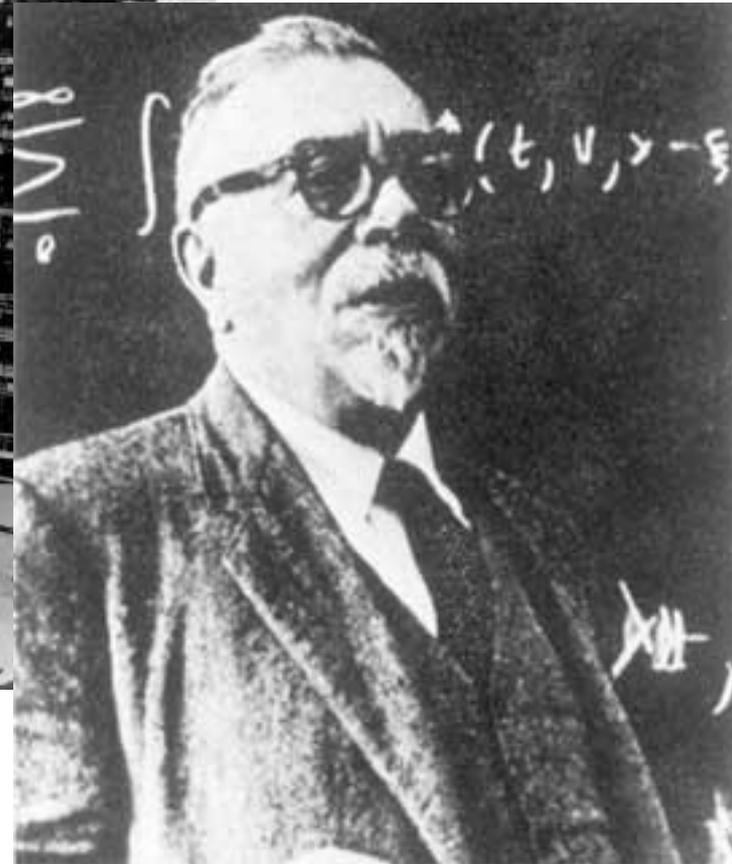
1834 г.
Машина Баббиджа
25 тыс. деталей
17470 ф.с.

Чарлз Баббидж (1791-1871)

Основатели цифровой компьютерной техники



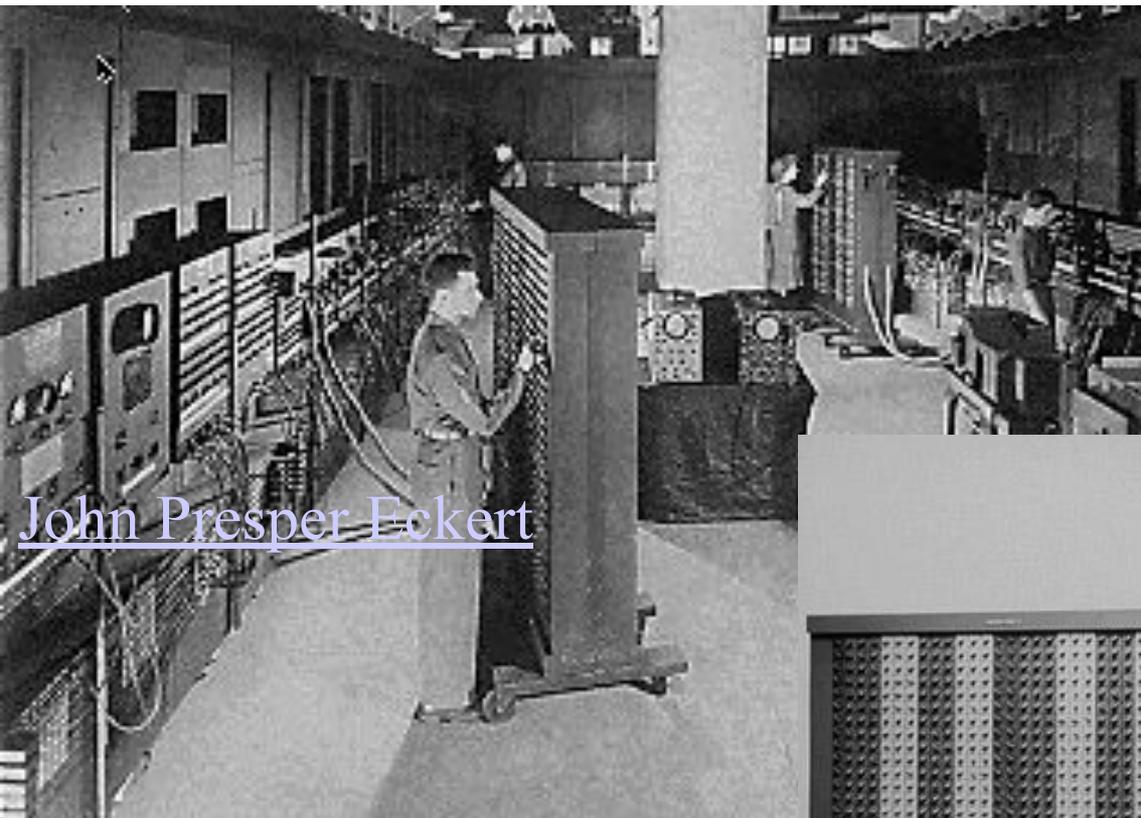
Джон Фон Нейман (1903-1957)
Electronic Discrete Variable
Automatic Computer ([EDVAC](#))



Норберт Винер (1894 – 1964)

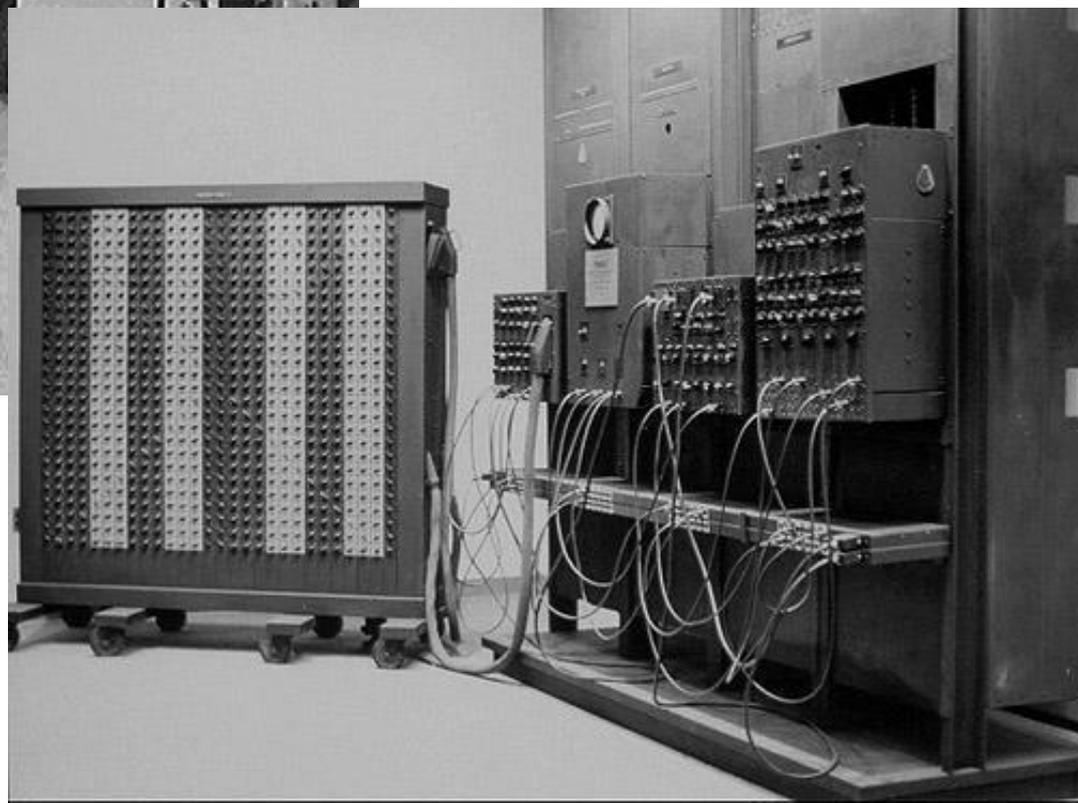
ENIAC – первый цифровой ламповый компьютер

Electronic Numerical Integrator and Computer 1944



18000 электронных ламп
70000 резисторов
160 кВт потребляемая
мощность

John Presper Eckert



John Presper Eckert

(1919-1995)

John W. Mauchly

(1907-1980),

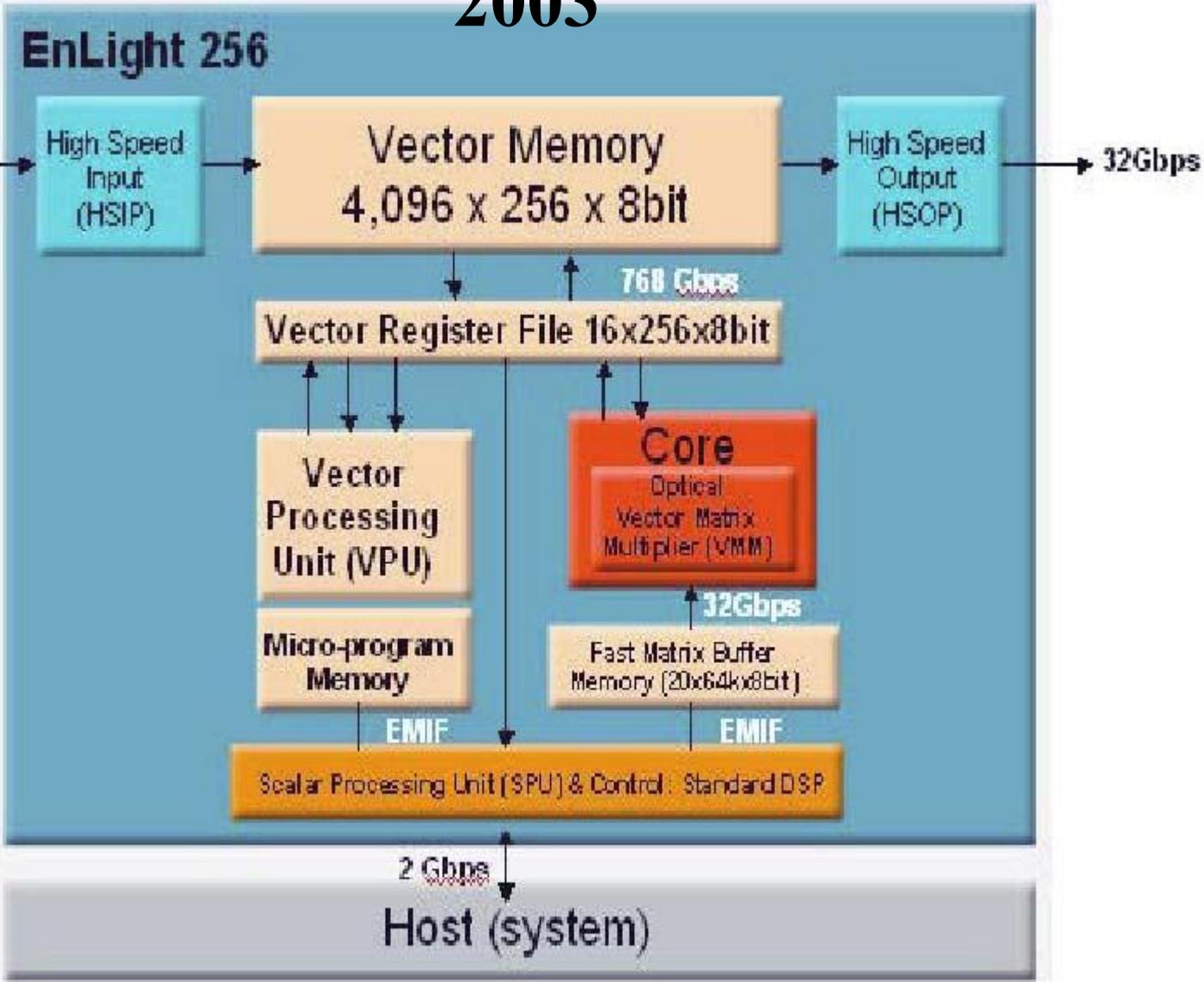
Итаниум2 (2003)



220 000 000 транзисторов 1.7 ГГц

Цифровой оптический процессор EnLight – 256 2003

8000
GMAC



Поколения компьютерной техники

- **Механические машины (до 1940 г.)**
- **Компьютеры на вакуумных электронных лампах (1943 – 1959 г.г.)**
- **Транзисторные компьютеры (1959 – 1968 г.г.)**
- **Компьютеры на интегральных схемах (1969 – 1977 г.г.)**
- **Компьютеры на больших интегральных схемах (1978 – 2003 г.г.)**
- **Цифровые оптические компьютеры (1990 г. – до наст. времени)**
- **Фотонно-кристаллические компьютеры?**
- **Биокомпьютеры?**

Основные даты элементной базы компьютерной техники

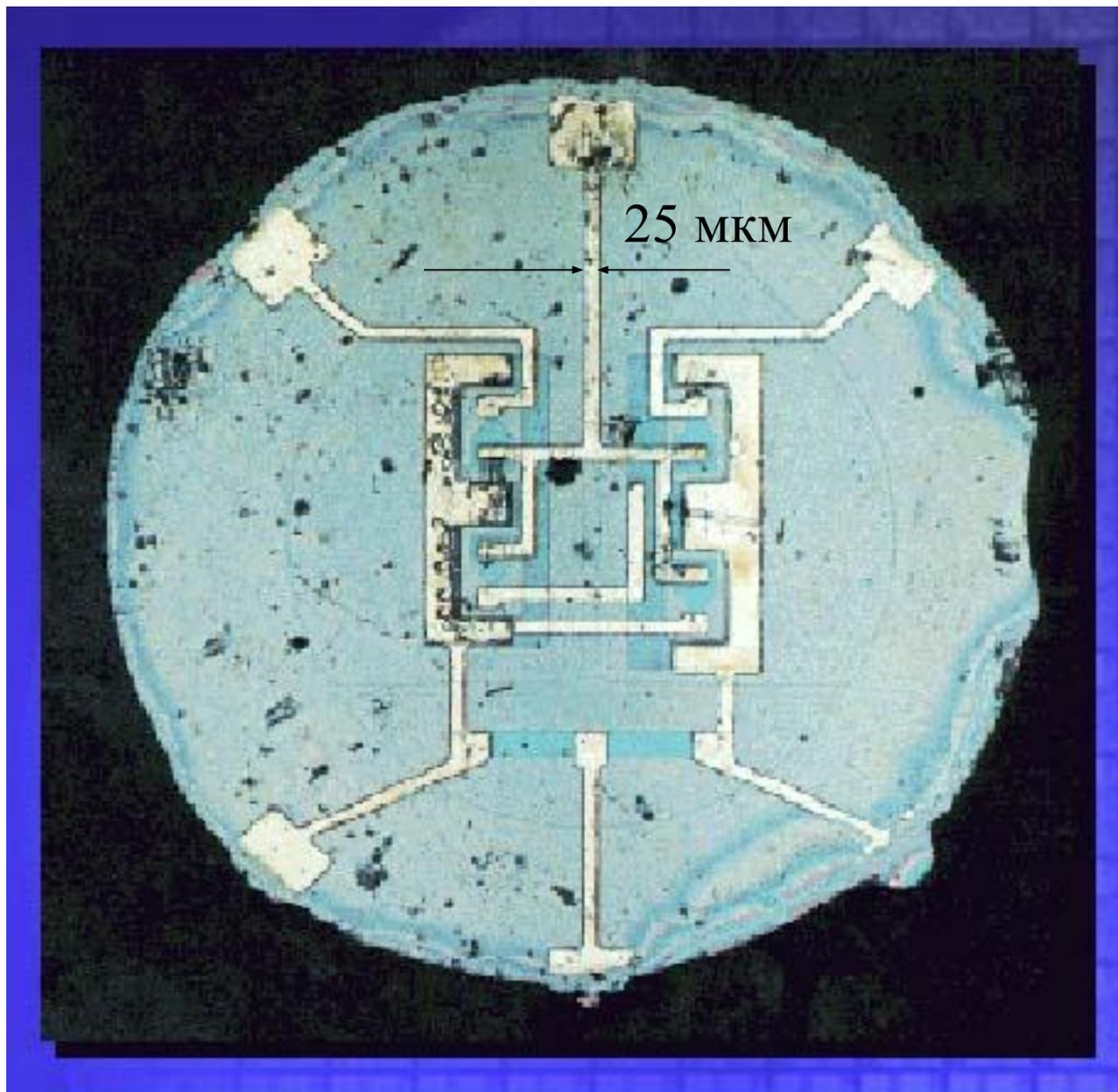
Электронный компьютер

- 1947 – открытие транзистора (Бардин, Браттейн, Шокли)
- 1958 – интегральная схема (Джек Килби)
- 1978 – большая интегральная схема (Интел)

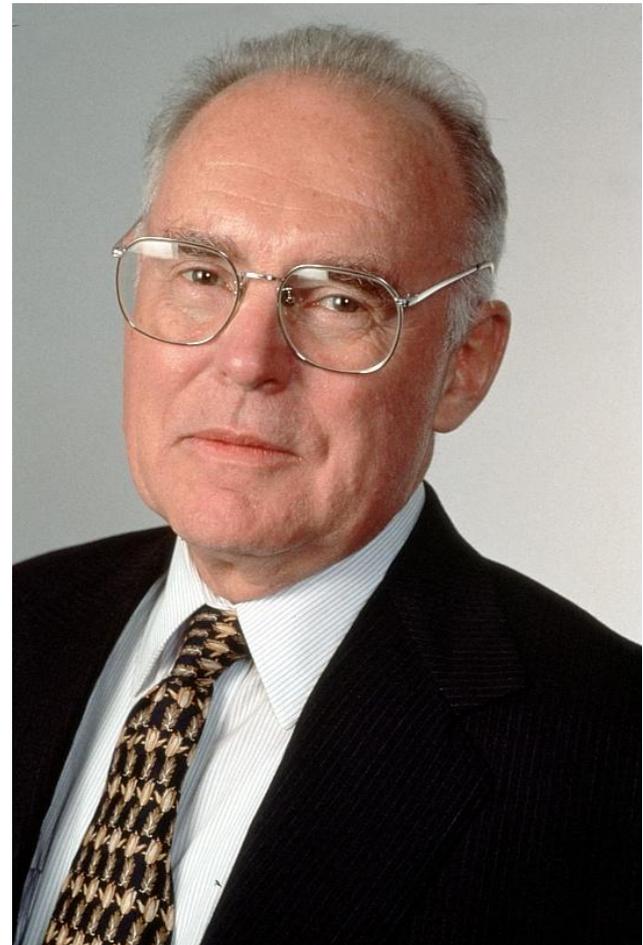
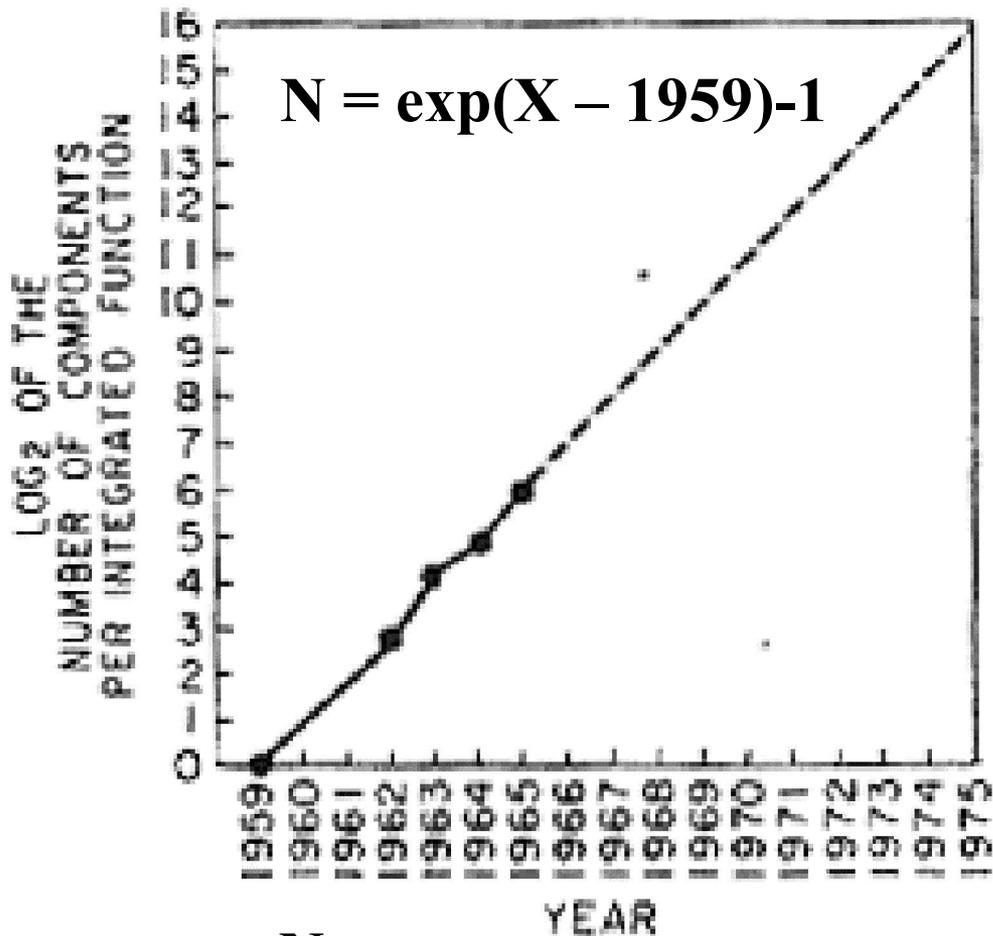
Цифровой оптический компьютер

- 1984 – оптоэлектронная логическая ячейка (Белл)
- 1994 – акусто-оптическая матрица (Оптиком)

Первая планарная интегральная схема 1961 г.



Прогноз Гордона Мура в 1965 г.



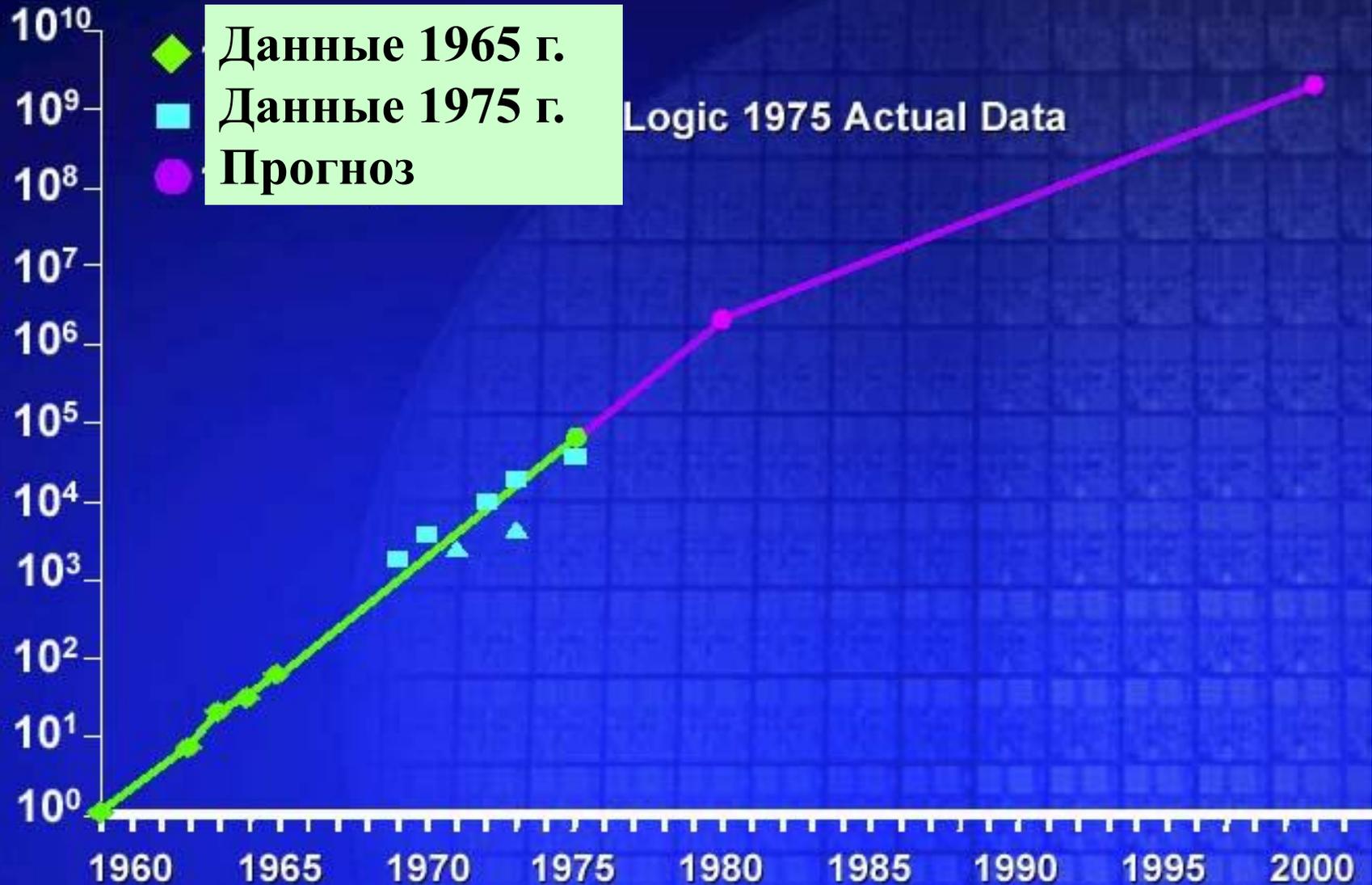
N – число компонентов на интегральной схеме

X – года

Удвоение числа компонентов каждый год

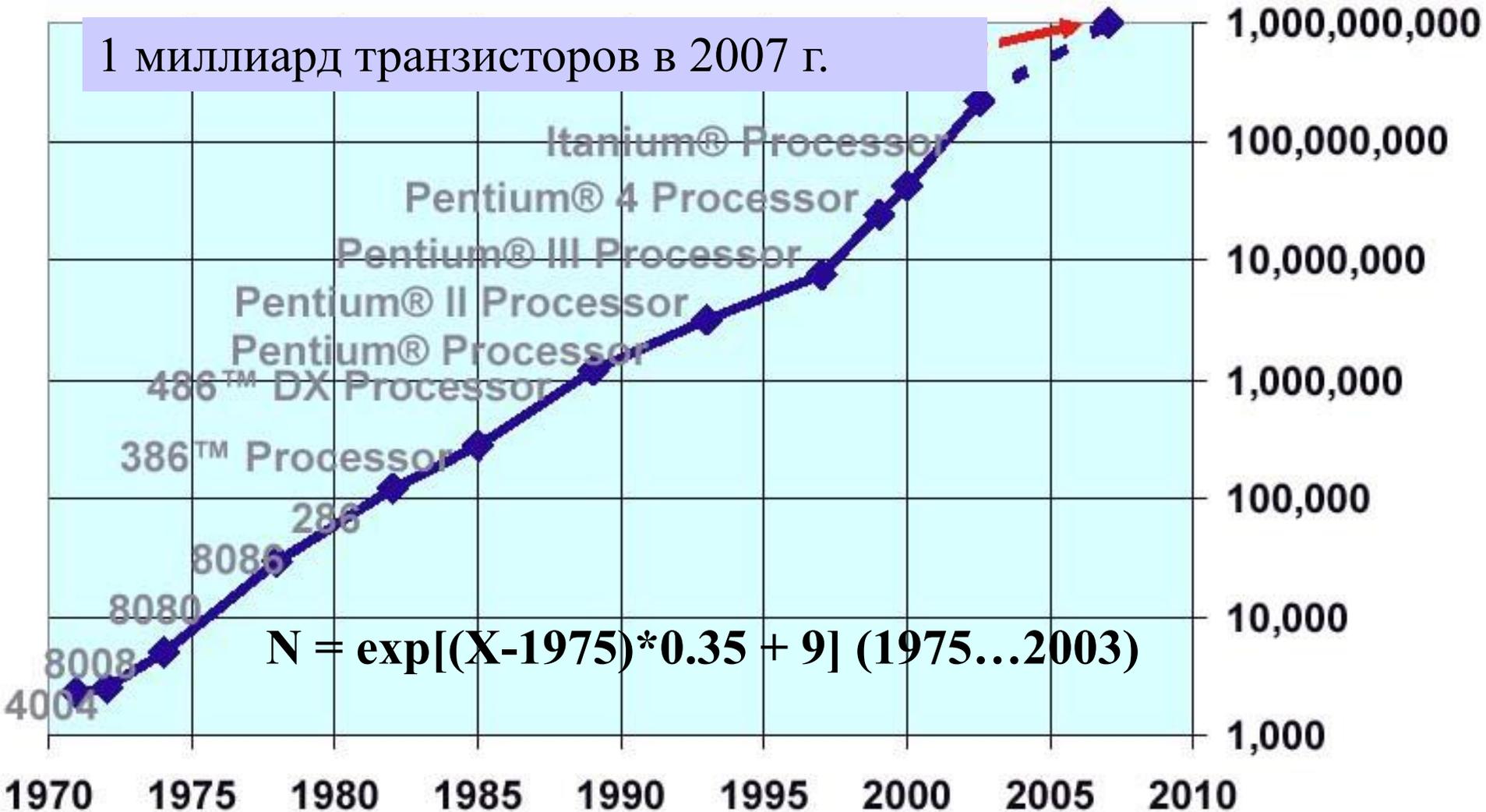
Прогноз Гордона Мура в 1975 г.

Число транзисторов

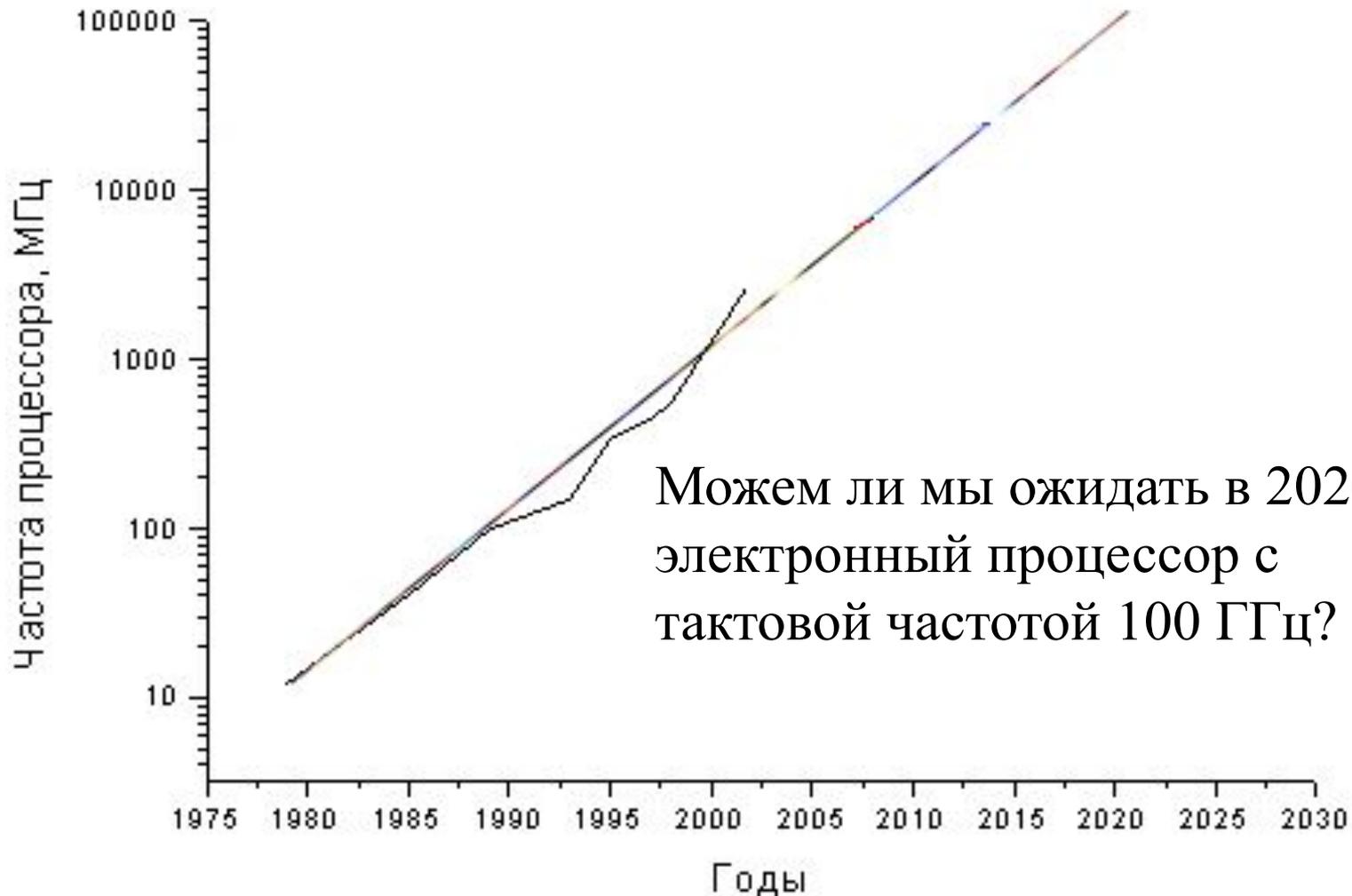


Закон Мура для числа транзисторов с 1970 по 2007 г.г.

1 миллиард транзисторов в 2007 г.

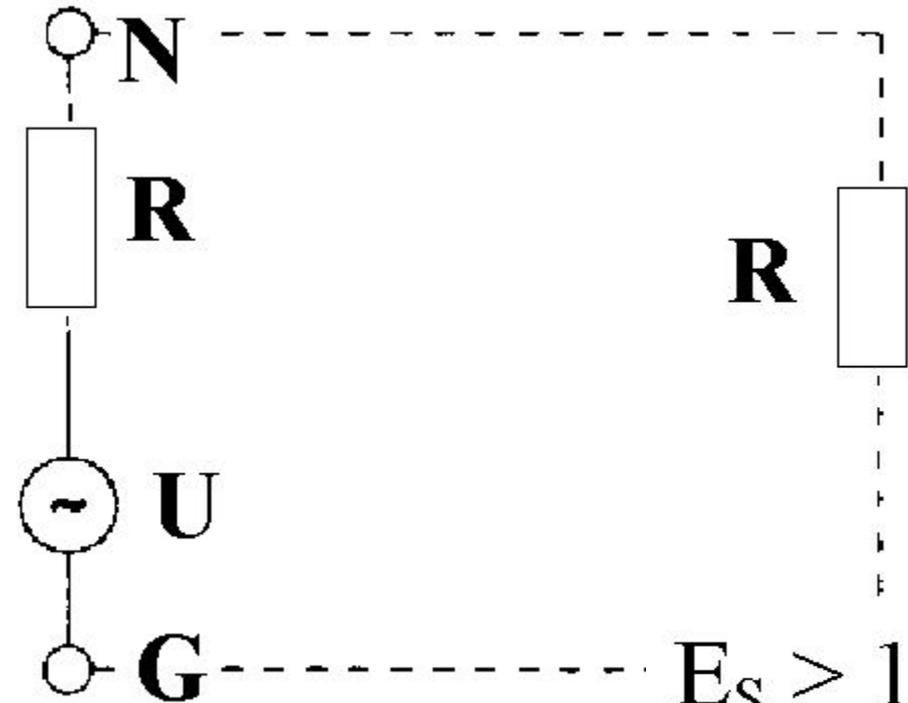


Закон Мура для тактовой частоты



Можем ли мы ожидать в 2020 г. электронный процессор с тактовой частотой 100 ГГц?

Термодинамический предел по мощности элементарной логической ячейки



$$P_N = kT\Delta f \quad E_N = kT$$

$$E_s > \gamma E_N = \gamma kT$$

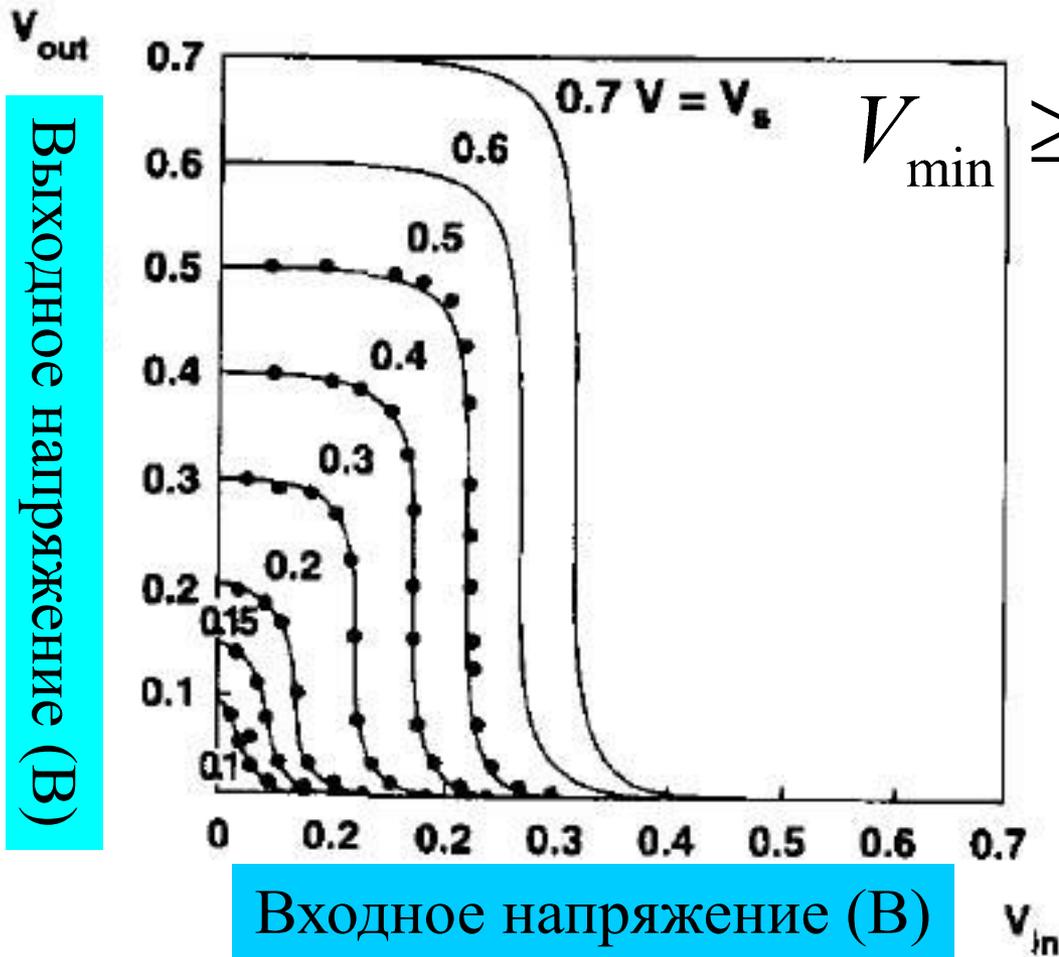
$$T = 300\text{K} \quad \gamma \geq 4$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$E_s > 1,66 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} = 0,104 \text{ eV}$$

$$Pr(E_n > E_s) = \exp(-E_s/kT)$$

Передаточная кривая КМОП транзистора



Выходное напряжение (В)

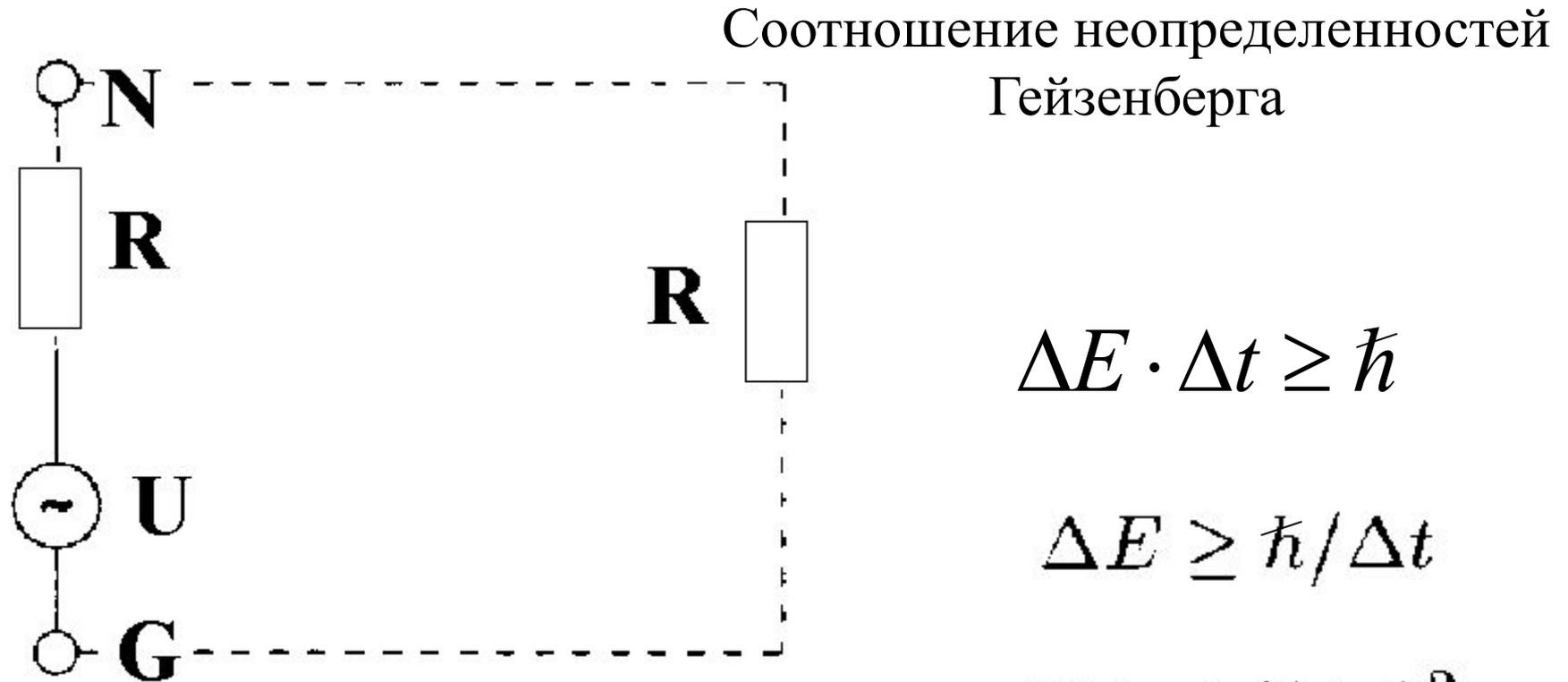
Входное напряжение (В)

$$V_{min} \geq \frac{\gamma kT}{e} \approx 0.1 V$$

•••• Эксперимент

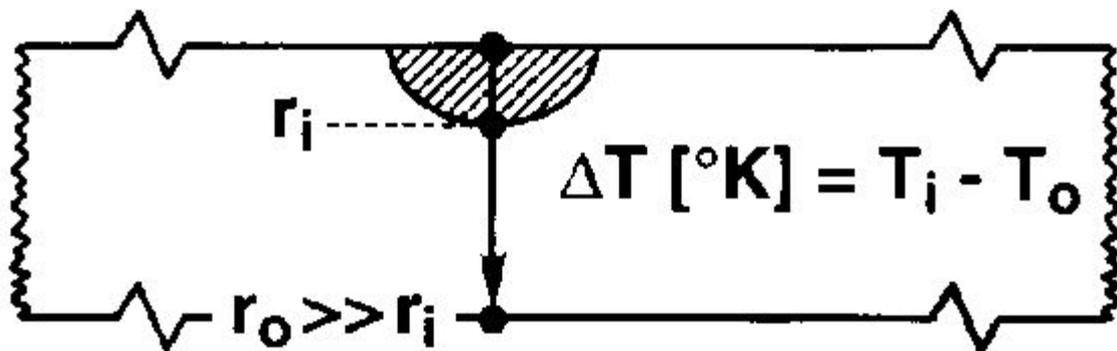
— Теория

Квантовый предел по мощности элементарной логической ячейки



$$\hbar = 1.055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Ограничение, связанное с отводом тепла от элементарной ячейки



Q – тепловой поток,
Дж/с

A – площадь

K – коэффициент теплопроводности

$$\frac{t_s}{P_s} = \frac{1}{\pi K v_s \Delta T}$$

$$Q = -KA \frac{dT}{dx}$$

$$A = \pi r_i^2 = \pi (v_s t_d)^2 \quad P = \pi K v_s \Delta T t_d$$

v_s – скорость носителей, t_d – время переключения

P – мощность, отводимая от ячейки

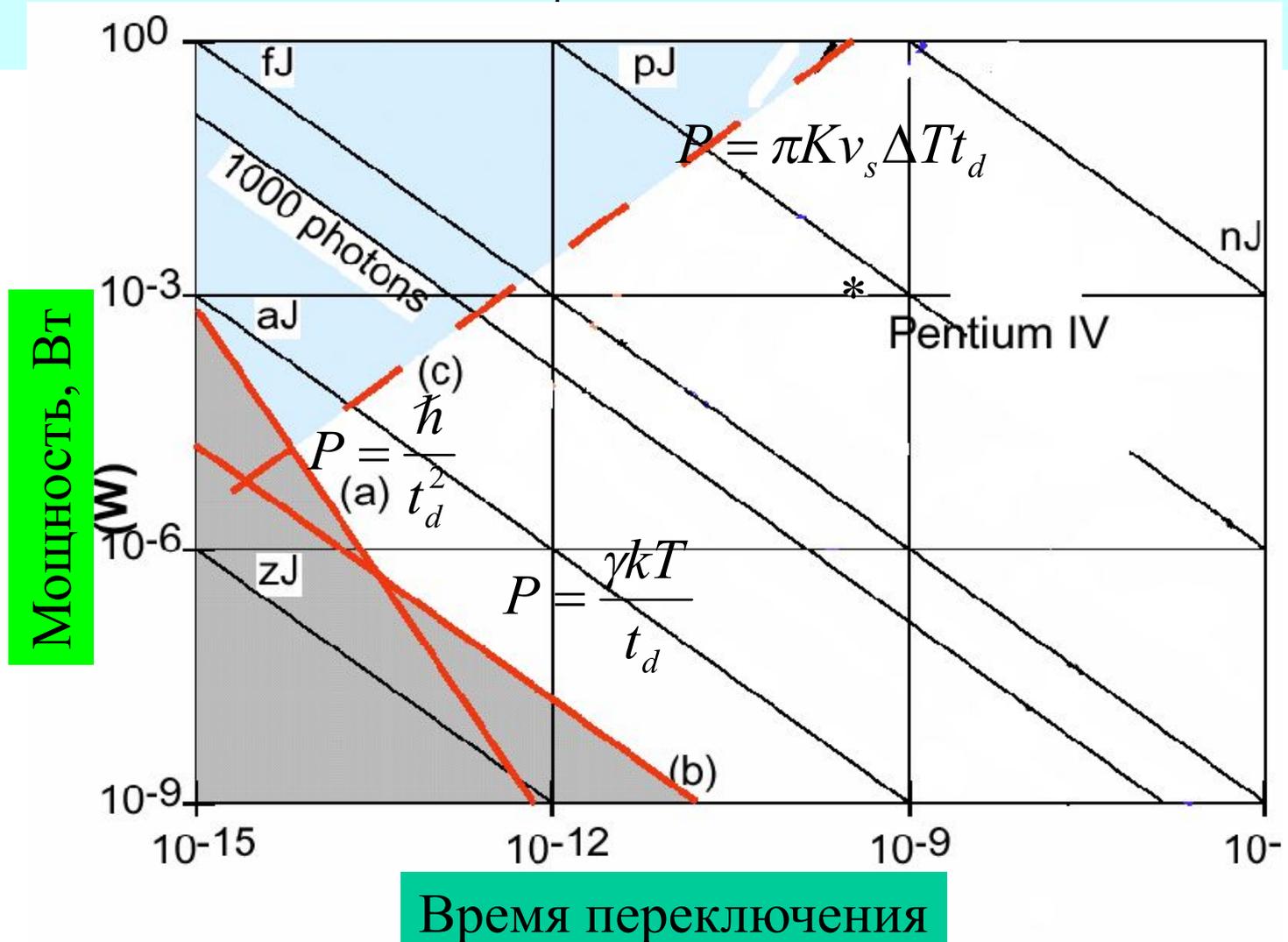
$$K_{Si} \approx 1 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$$

$$\Delta T \approx 100^{\circ}\text{C}$$

$$v_s \sim 10^7 \text{ см/с}$$

Фундаментальные пределы современной компьютерной техники.

Зависимость мощности, затрачиваемой на одно переключение, от времени переключения



ВЛИЯНИЕ ЕМКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВОГО МИКРОЧИПА

Энергия на зарядку
емкости микрочипа

$$E = \frac{CU^2}{2}$$

Время на зарядку
RC цепи микрочипа

$$\tau = R_{\Sigma}C$$

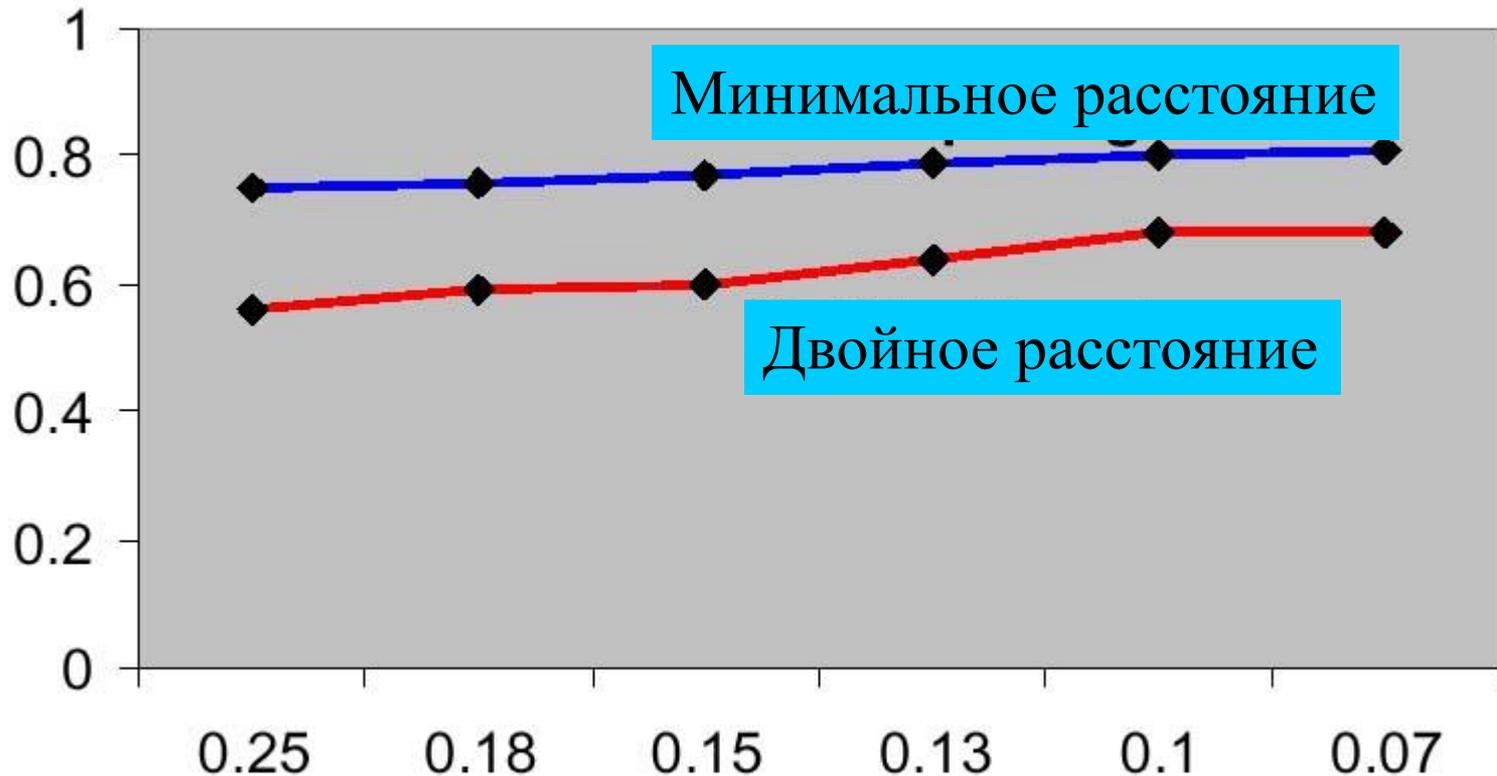
C – емкость остается практически неизменной от технологии
 U – напряжение на микрочипе не может быть меньше 0.1 В (0.5...1 В)

R – сопротивление увеличивается с уменьшением характерного размера микрочипа и ростом тактовой частоты

**Рассеиваемая мощность будет расти с уменьшением
характерного размера микрочипа**

Технологическая зависимость относительной величины емкости между двумя проводящими структурами микрочипа

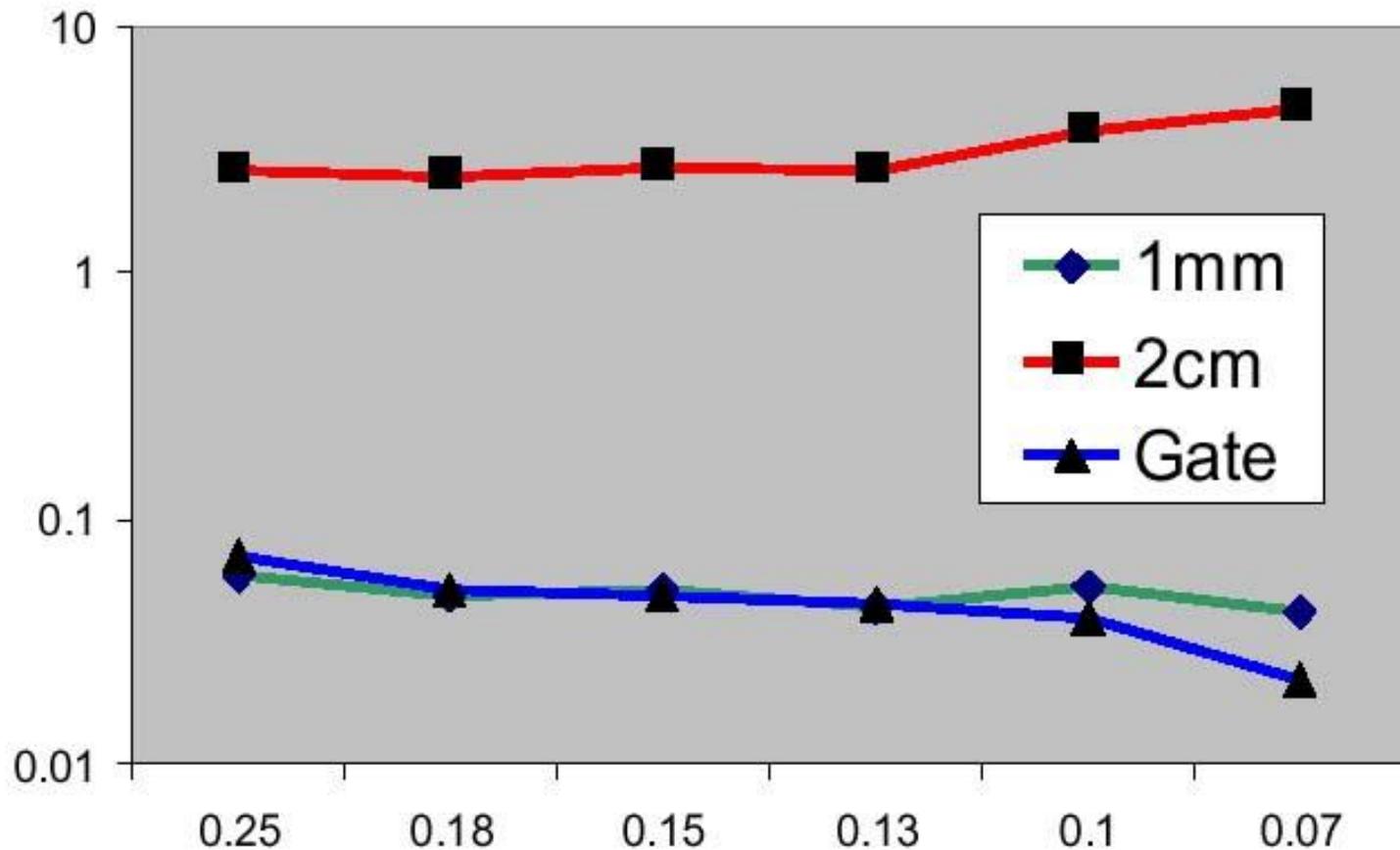
Емкость



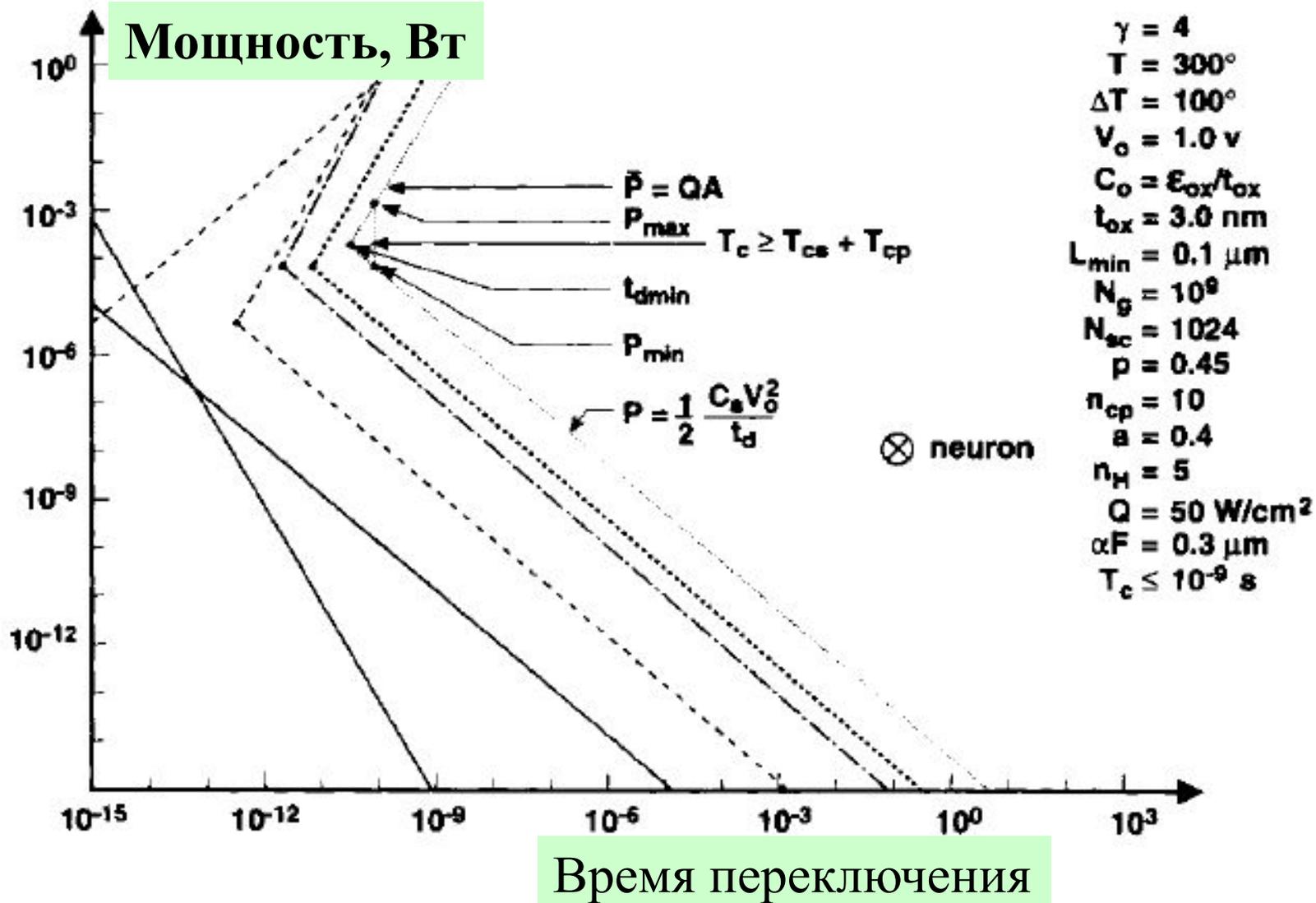
Технология, нм

Задержка сигнала при распространении по микрочипу вследствие перезарядки

Задержка, нс

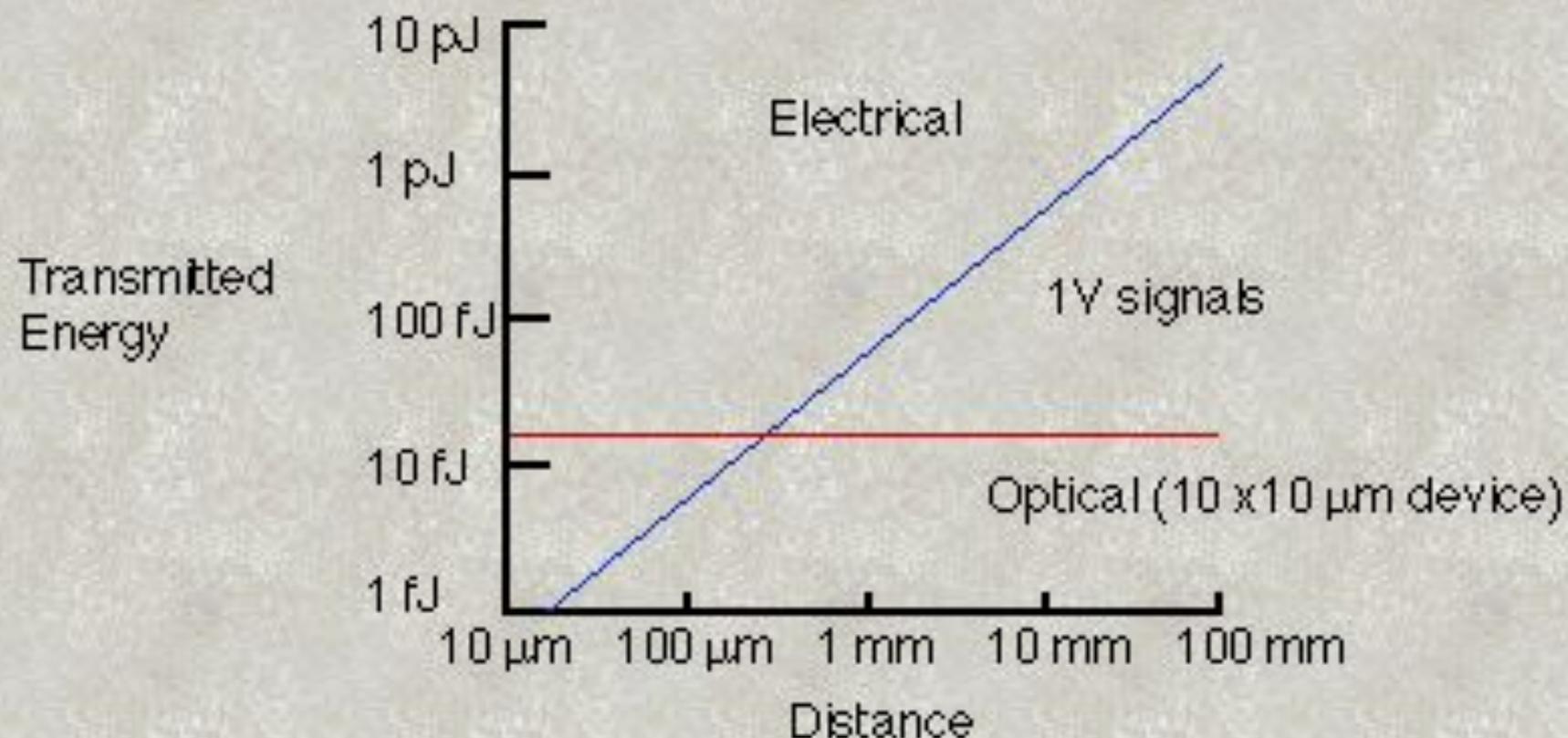


Технология, нм



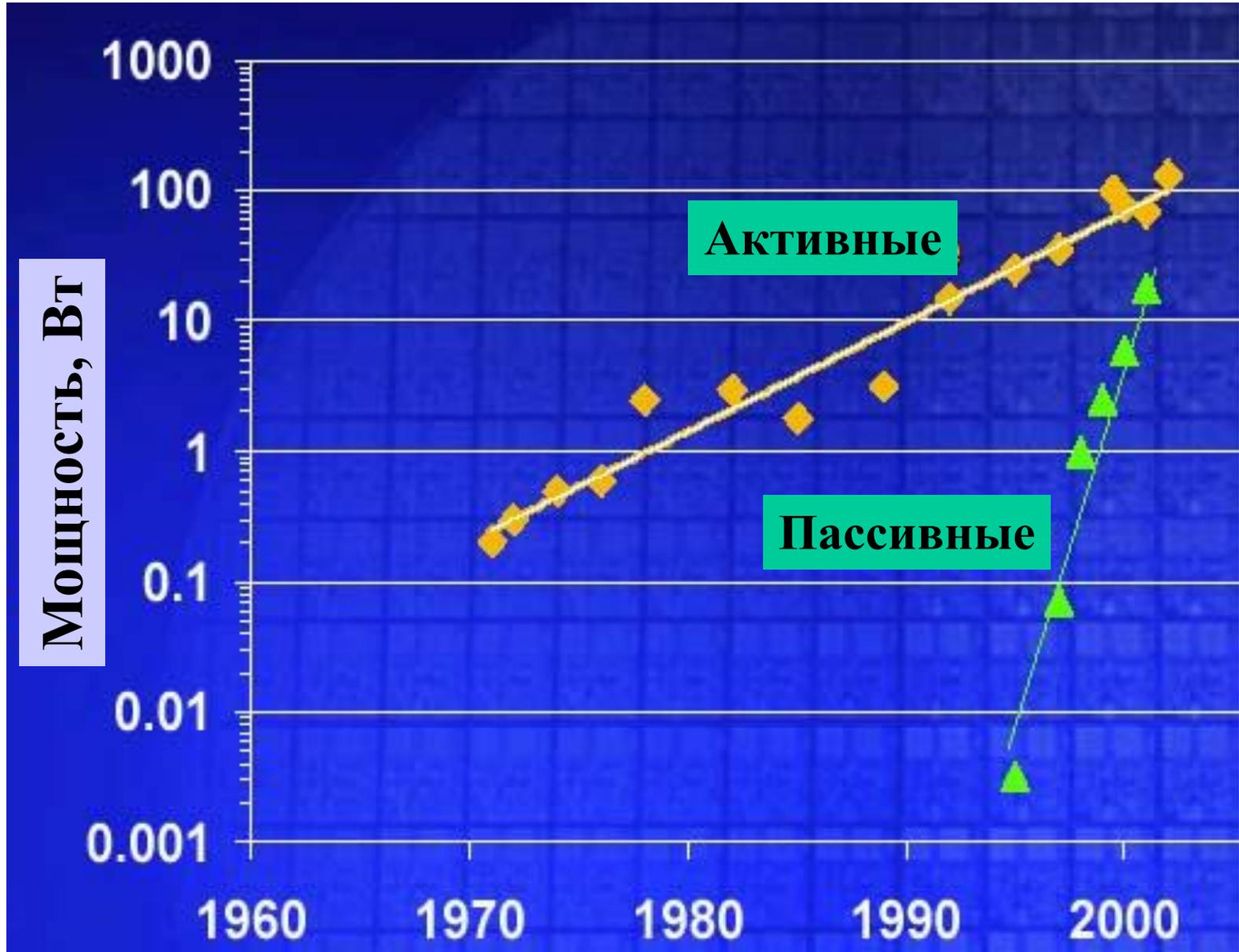
Верхние кривые отражают предел кремниевой технологии по отводу тепла, нижние кривые – по расходу энергии на перезарядку RC цепей в микрочипе

Energy for Optical and Electrical Communications



(Courtesy of AT&T)

Рост потерь в полупроводниковых процессорах



Проблема отвода тепла от микрочипа

Плотность мощности, Вт/см²



Основные ограничения:

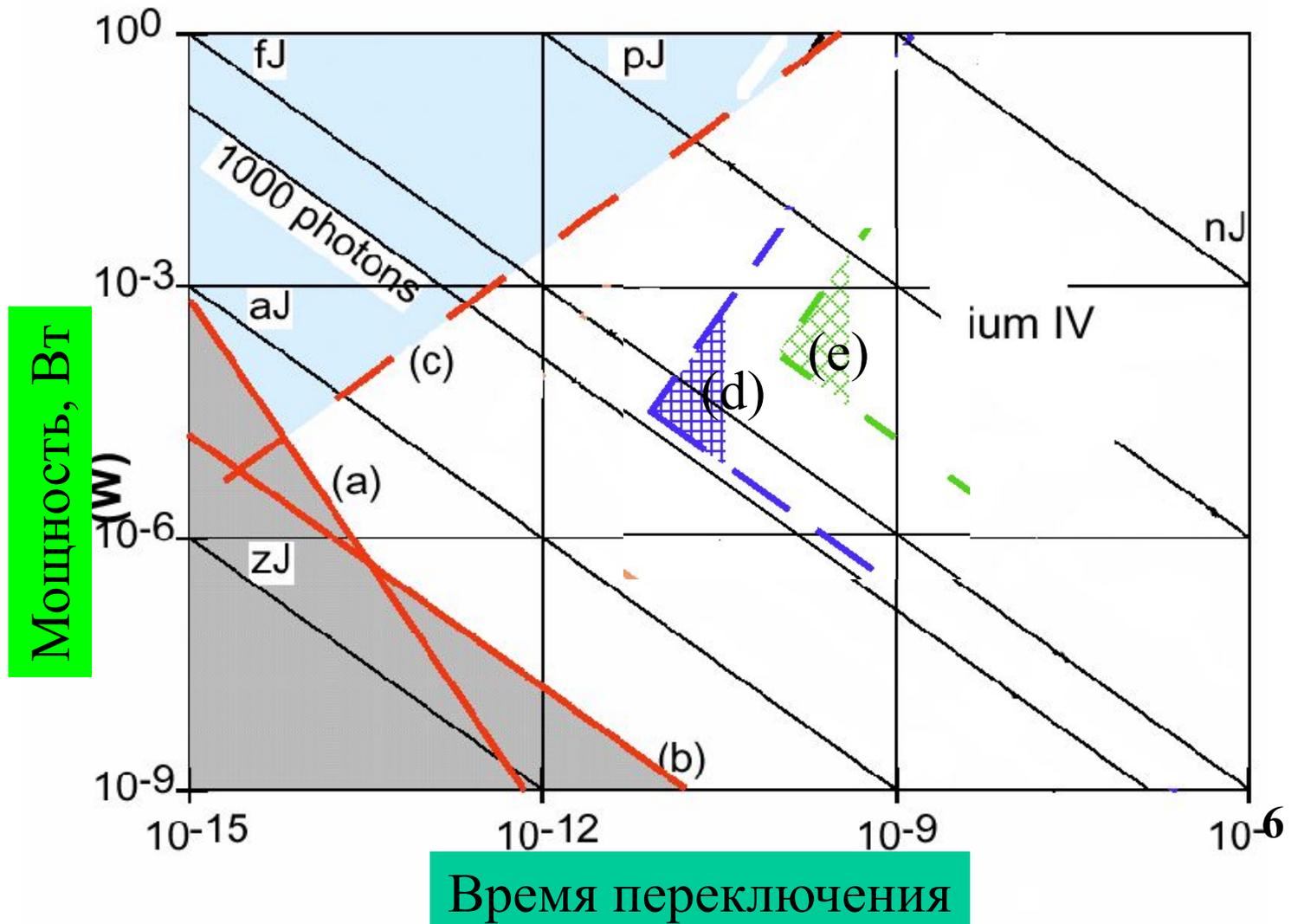
С ростом числа элементов увеличивается электрическая емкость системы и препятствует увеличению тактовой частоты

Увеличение числа элементов приводит к росту числа межсоединений и, соответственно, к увеличению времени задержки прохода сигнала между макроструктурами процессора

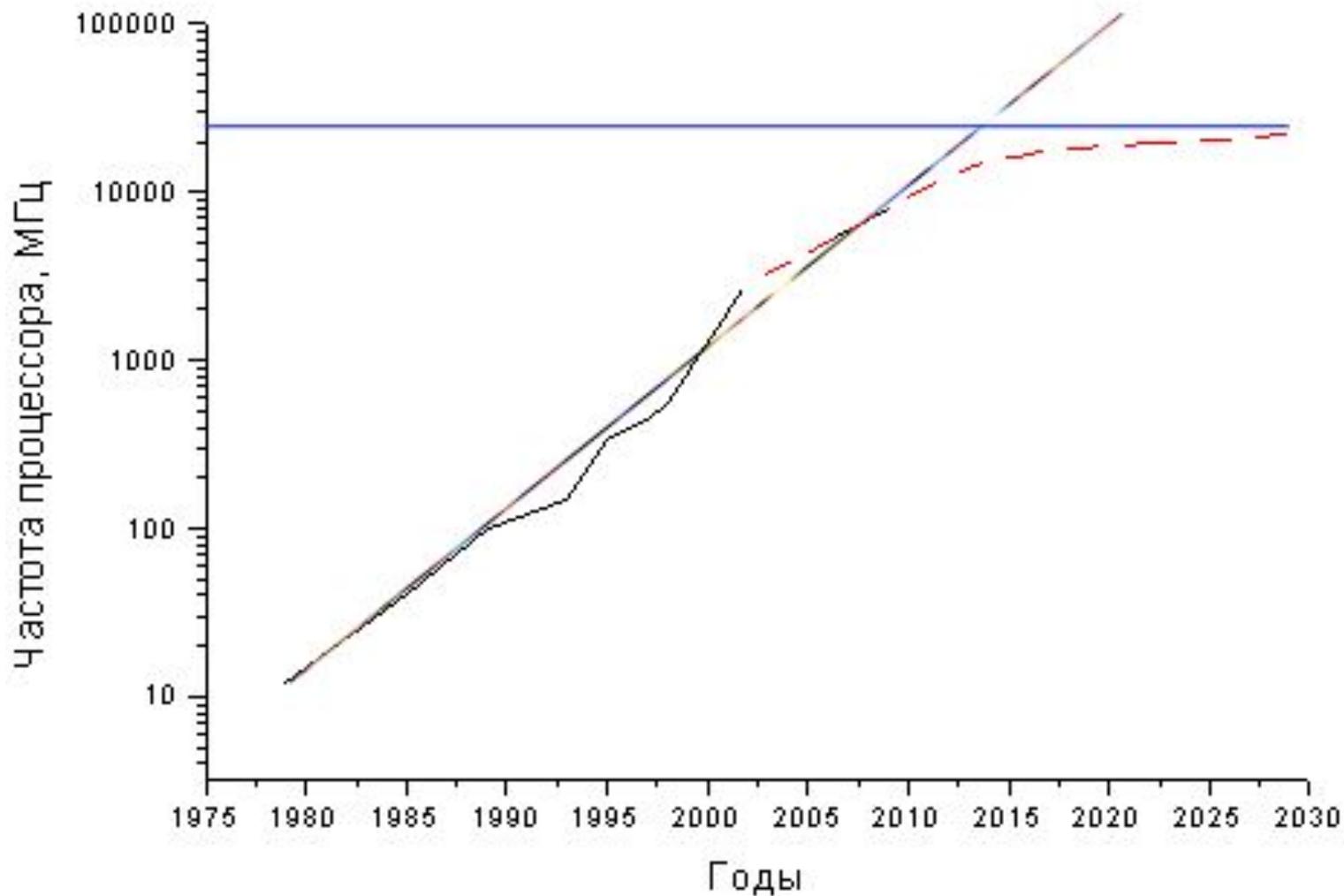
С ростом тактовой частоты растет сопротивление, что приводит к нагреву системы и проблеме отвода тепла (при охлаждении солями тяжелых металлов – 10^3 Вт/см²)

Оценки показывают, что максимум тактовой частоты при кремниевой технологии – 30...40 ГГц

Пределы современной компьютерной техники.



Вероятный ход зависимости закона Мура



Контрольные вопросы

1. Определение оптоинформатики
2. Основные даты компьютерной техники
3. Поколения компьютерной техники
4. Прогноз Г.Мура
5. Термодинамический предел электронной ячейки.
6. Квантовый предел электронной ячейки.
7. Проблема отвода тепла.
8. График фундаментальных пределов
9. Влияние емкостных характеристик
10. Влияние задержки сигналов.
11. Пределы кремниевой технологии
12. Вероятный ход зависимости Г.Мура