

# 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

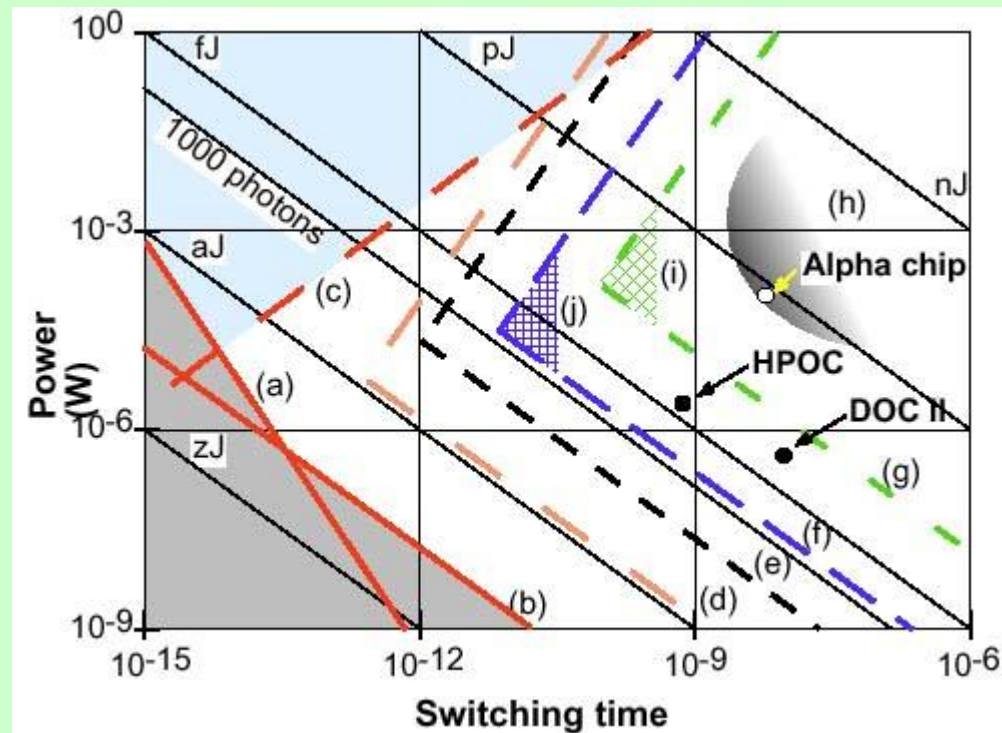
*пути развития информационных технологий: пределы электронной техники и их преодоление на основе оптических альтернатив; основные источники излучения в оптоинформатике: принципы работы полупроводниковых лазеров, лазеры на гетероструктурах, лазеры и усилители на основе квантоворазмерных эффектов, вертикально-излучающие 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.



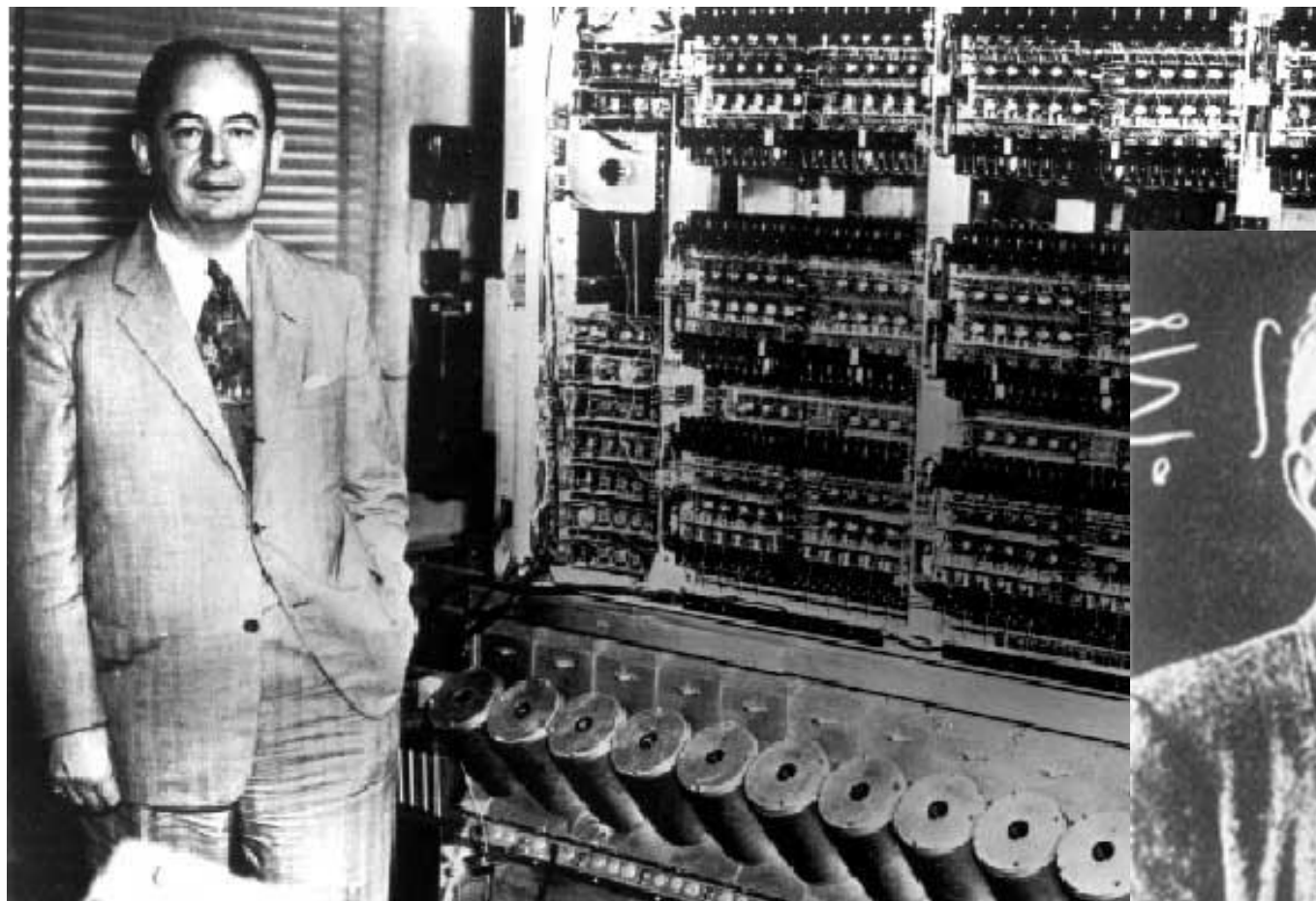
# Первый компьютер



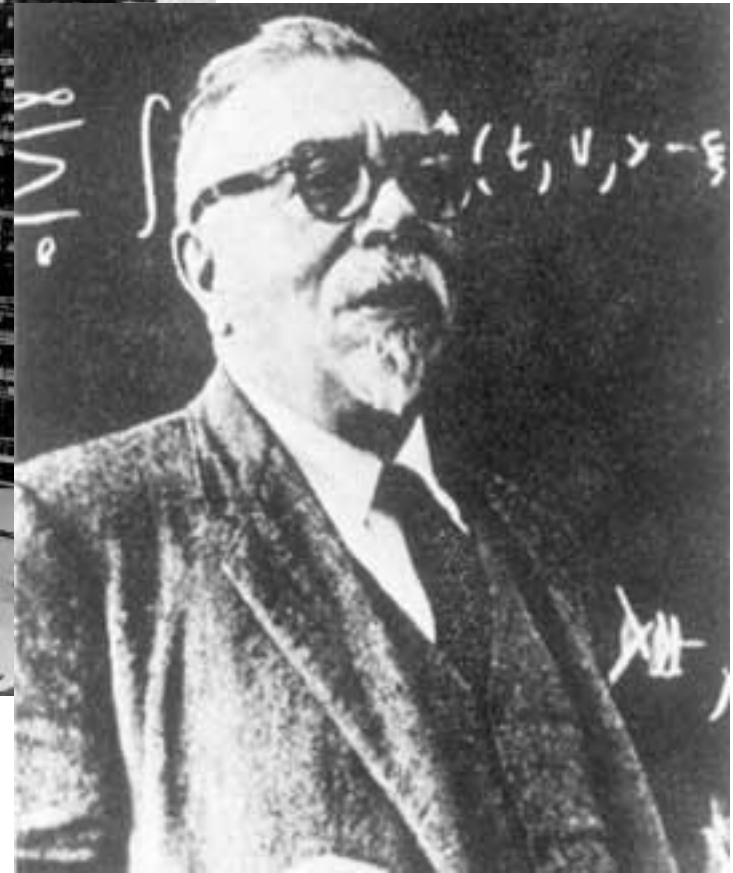
**1834 г.**  
**Машина Баббиджа**  
**25 тыс. деталей**  
**17470 ф.с.**

**Чарлз Баббидж (1791-1871)**

# Основатели цифровой компьютерной техники



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

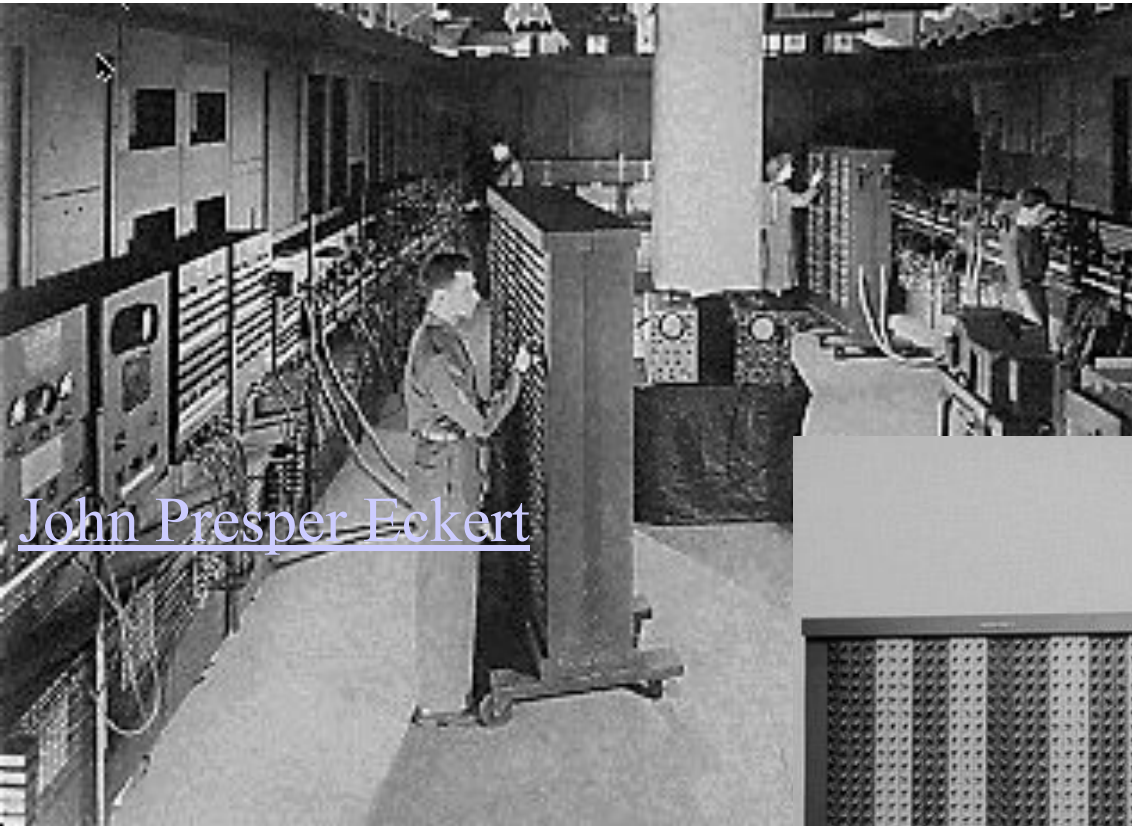


Норберт Винер (1894 – 1964)



# ENIAC – первый цифровой ламповый компьютер

## Electronic Numerical Integrator and Computer 1944



**18000 электронных ламп**  
**70000 резисторов**  
**160 кВт потребляемая**  
**мощность**

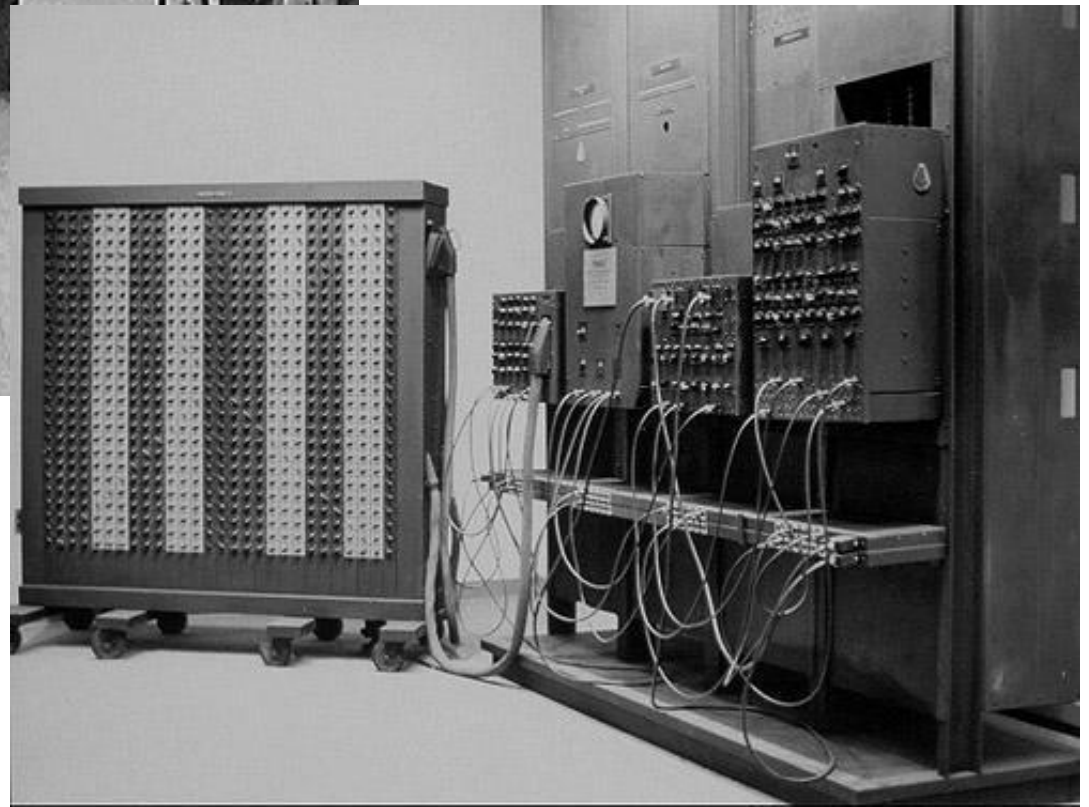
John Presper Eckert

John Presper Eckert

(1919-1995)

John W. Mauchly

(1907-1980),



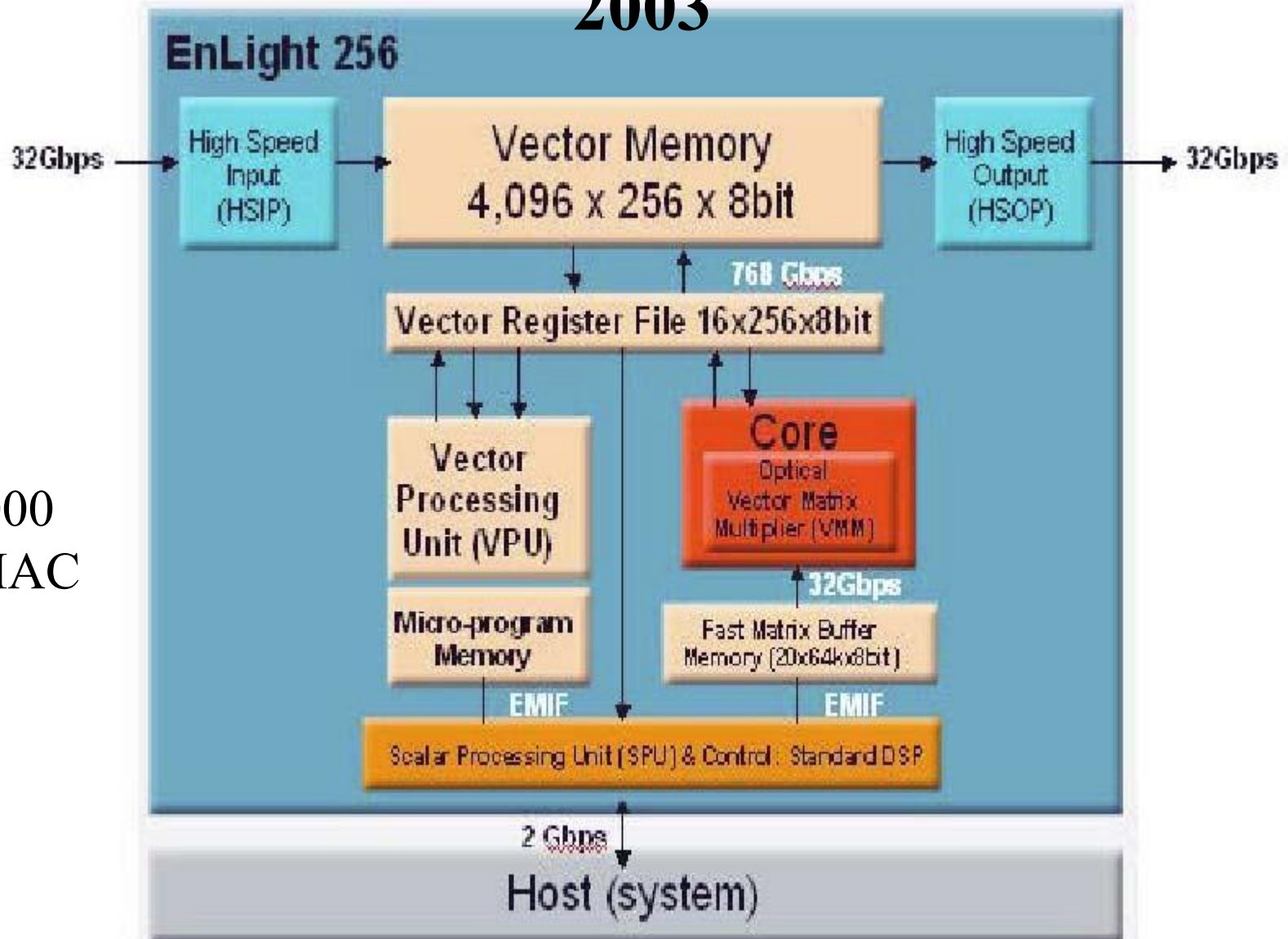
# Итаниум2 (2003)



**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?**
- **Биокomпьютеры?**

# Основные даты элементной базы компьютерной техники

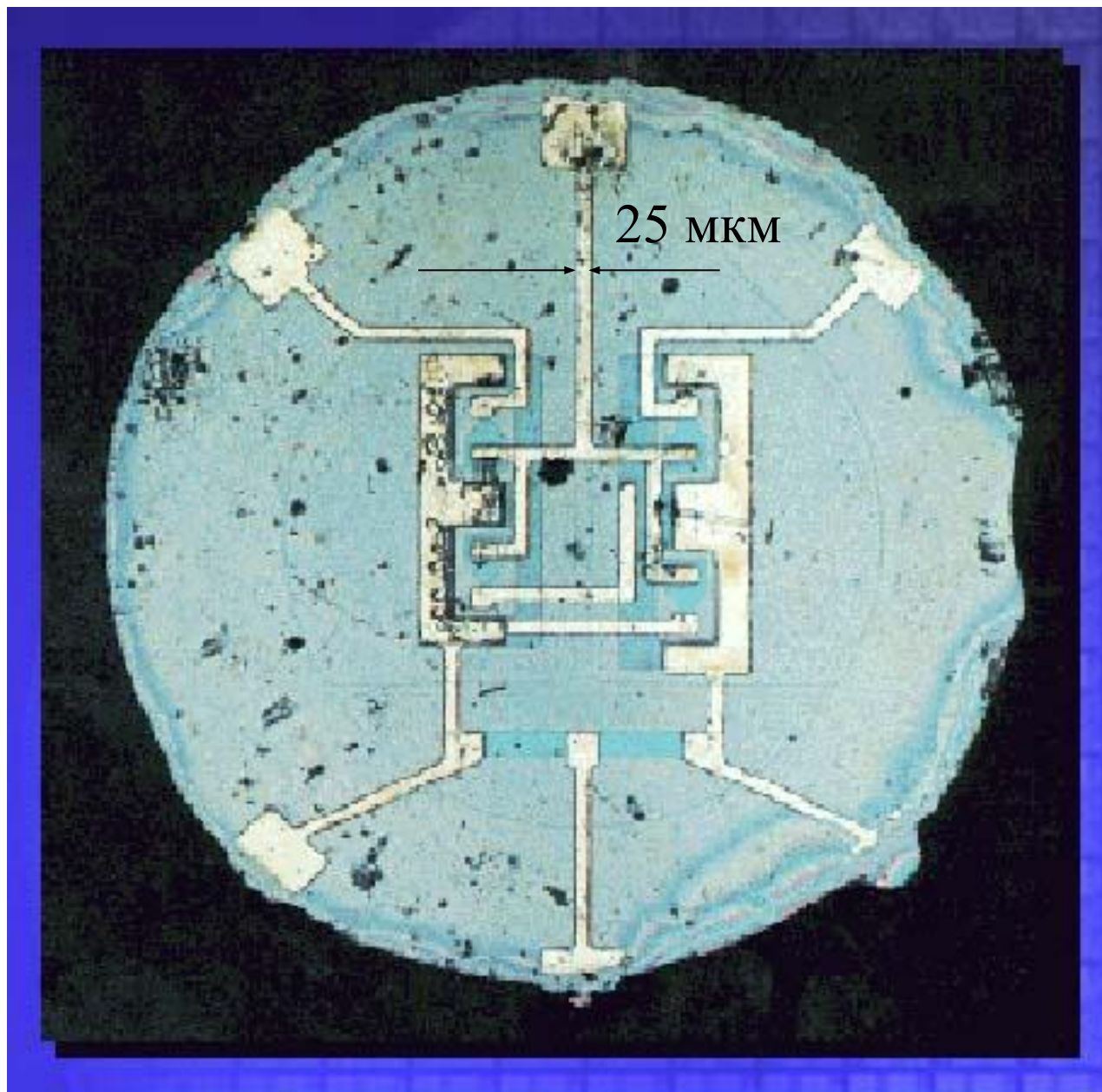
## Электронный компьютер

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

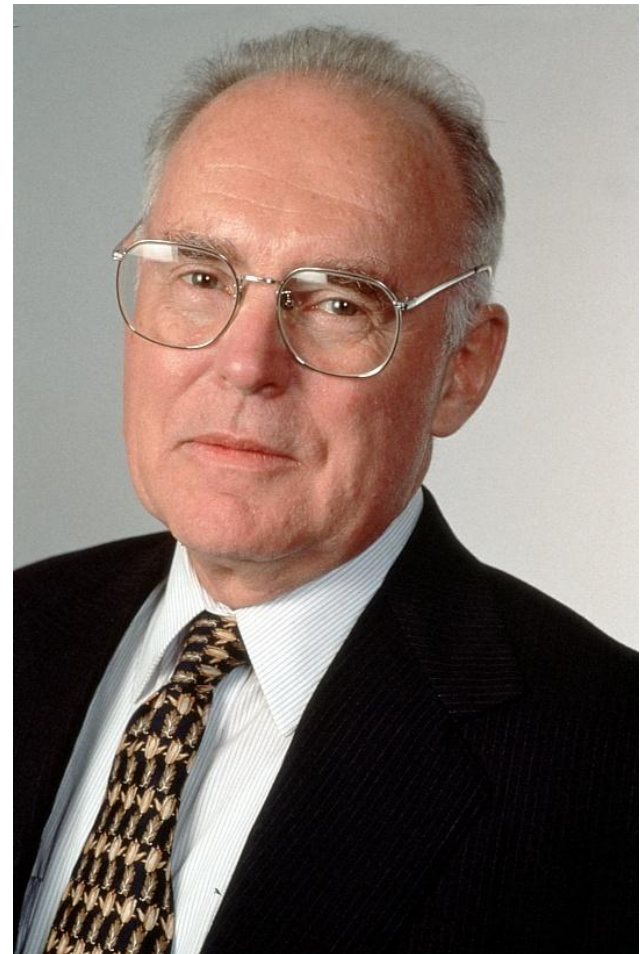
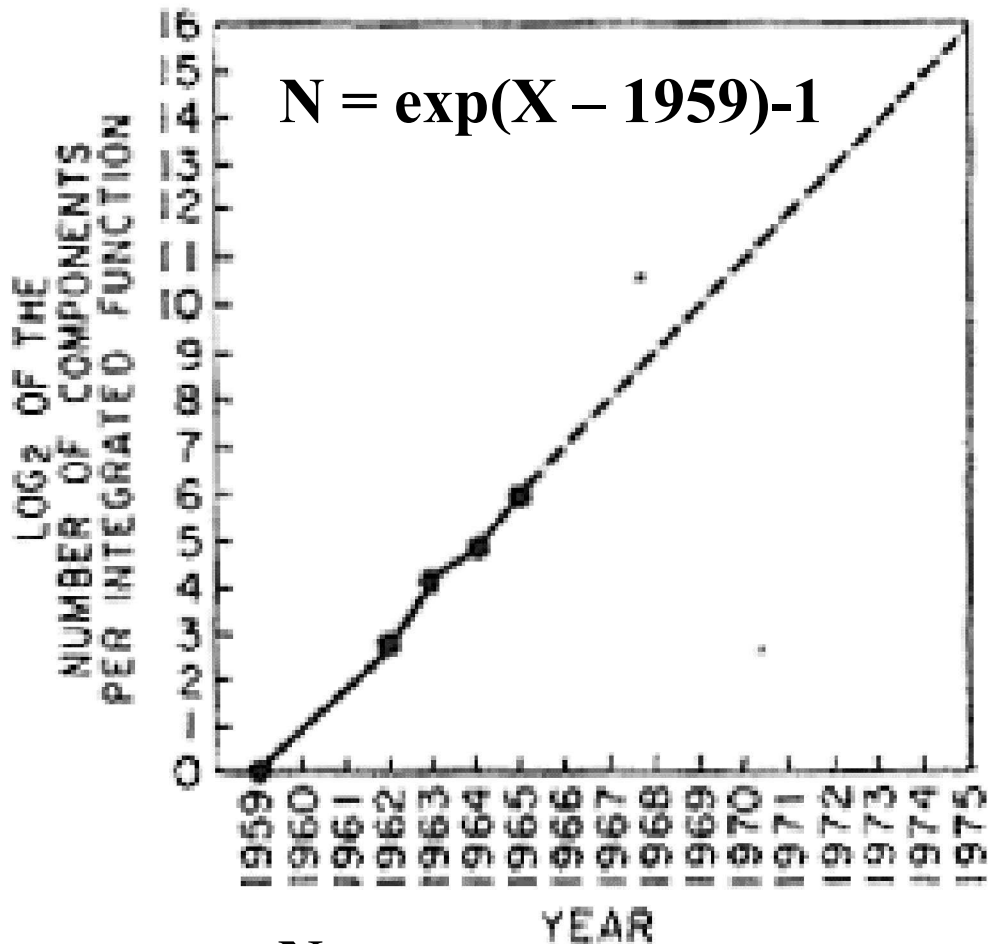
## Цифровой оптический компьютер

- 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

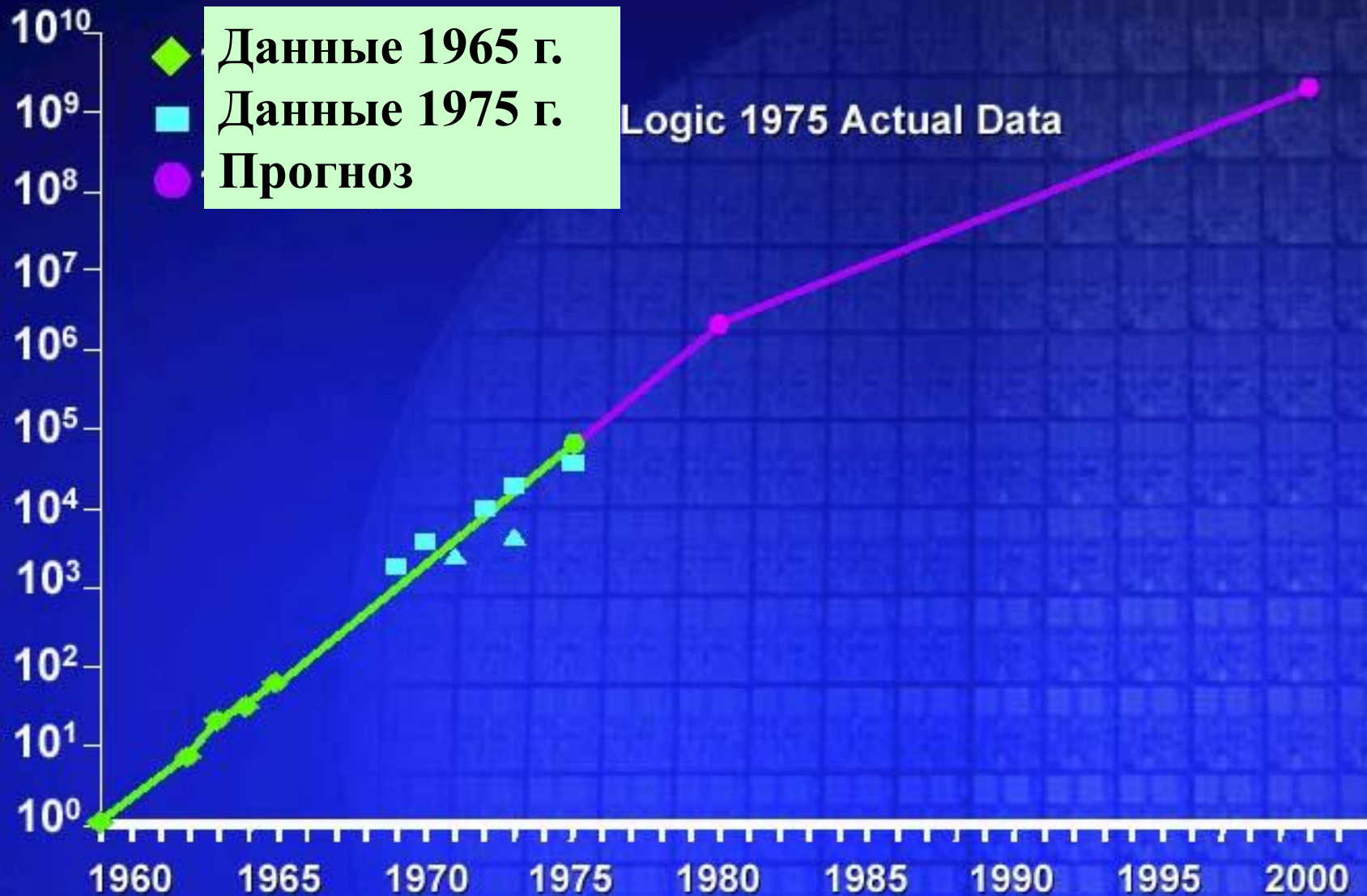
**X** – года

Удвоение числа компонентов каждый год



# Прогноз Гордона Мура в 1975 г.

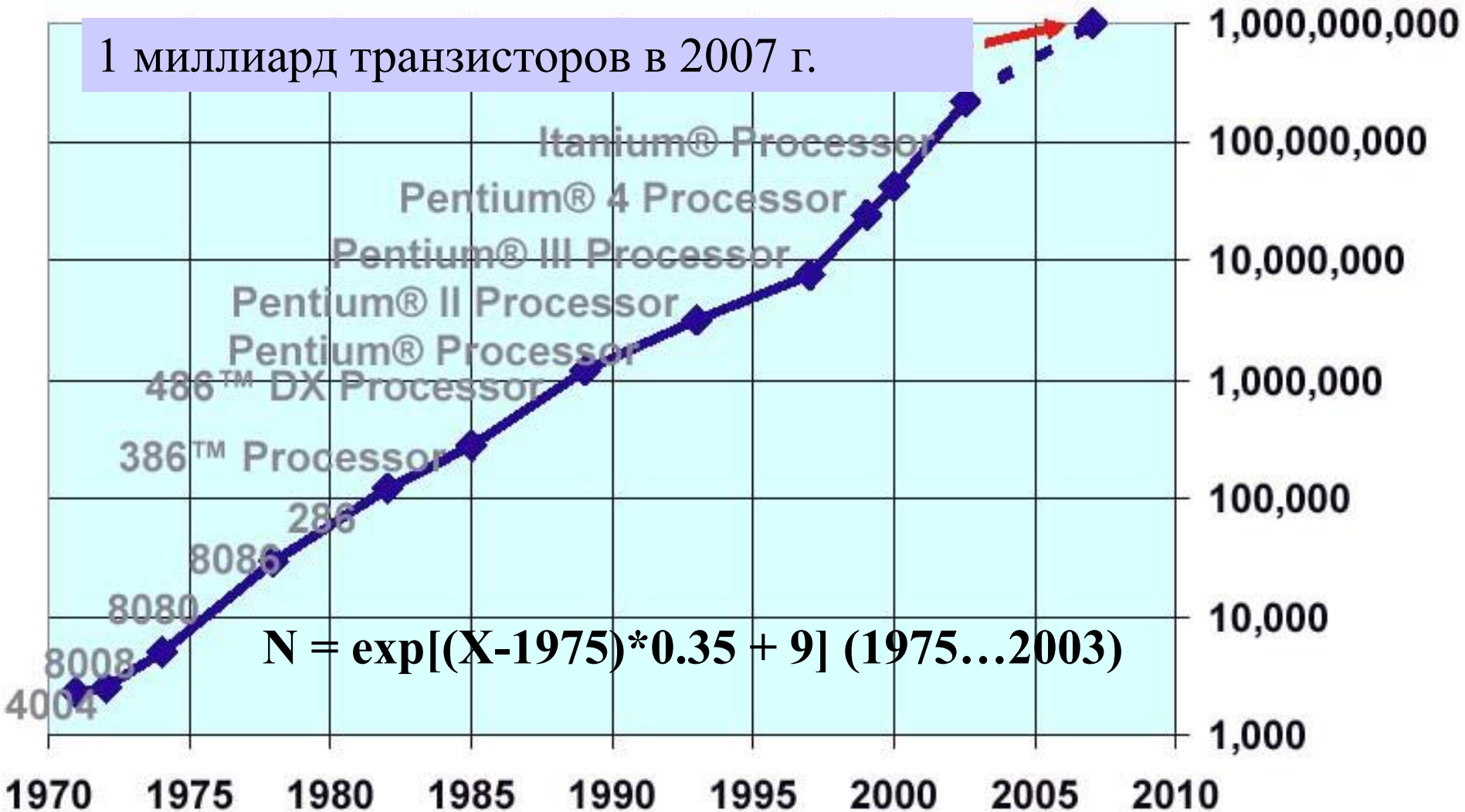
## Число транзисторов



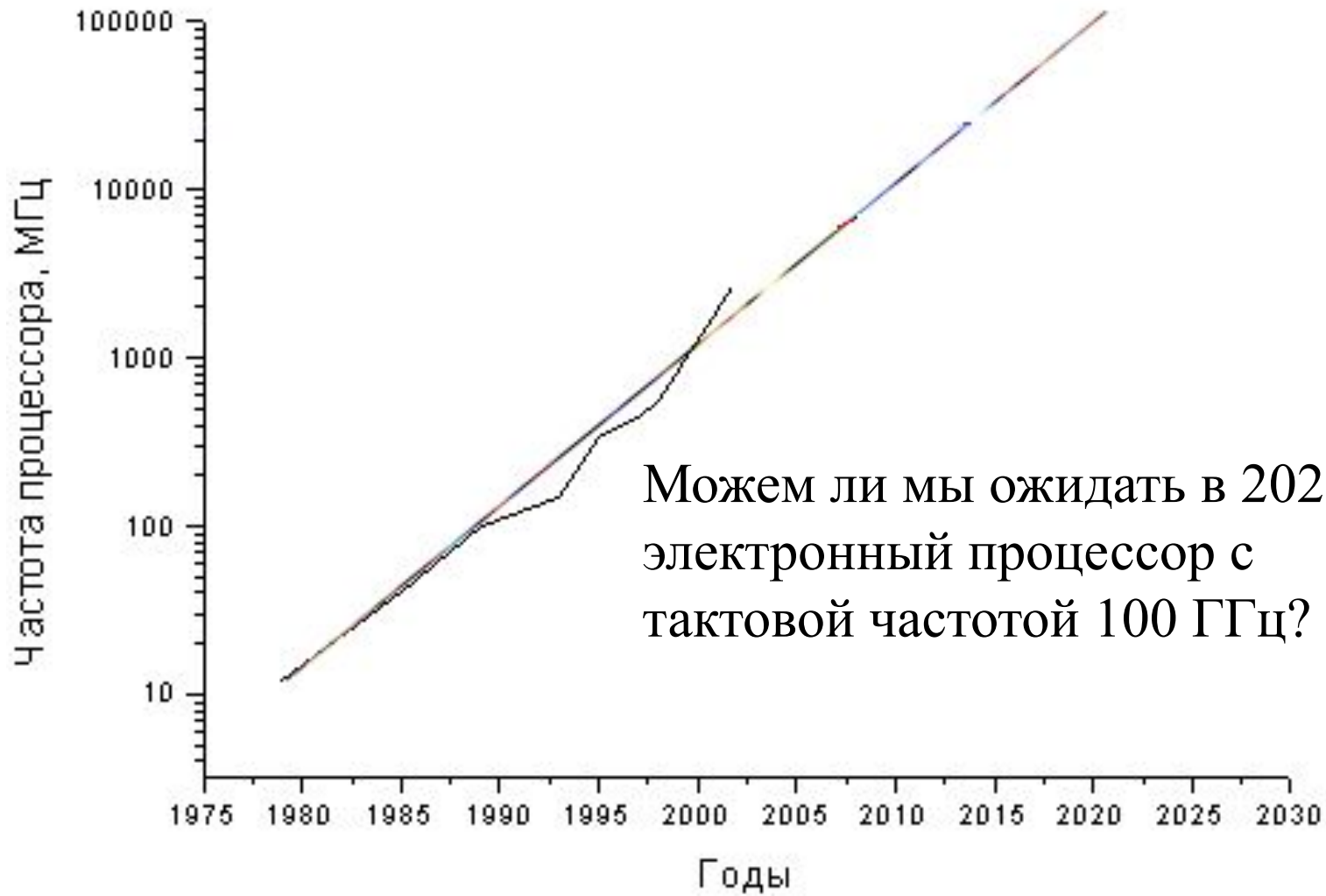


# Закон Мура для числа транзисторов с 1970 по 2007 г.г.

1 миллиард транзисторов в 2007 г.

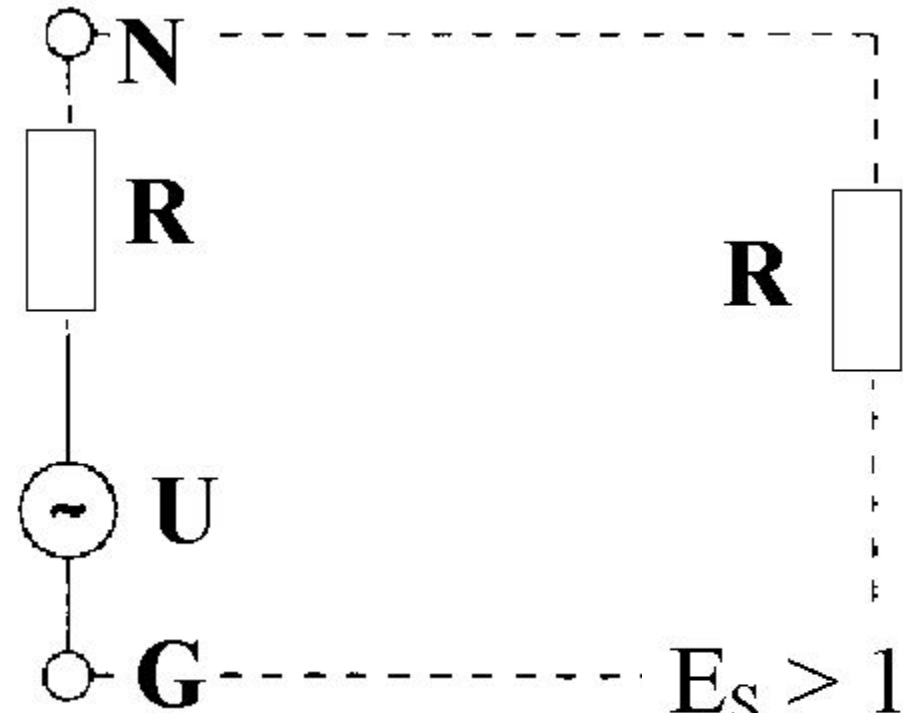


# Закон Мура для тактовой частоты



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

# Термодинамический предел по мощности элементарной логической ячейки



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

$$E_S > \gamma E_N = \gamma kT$$

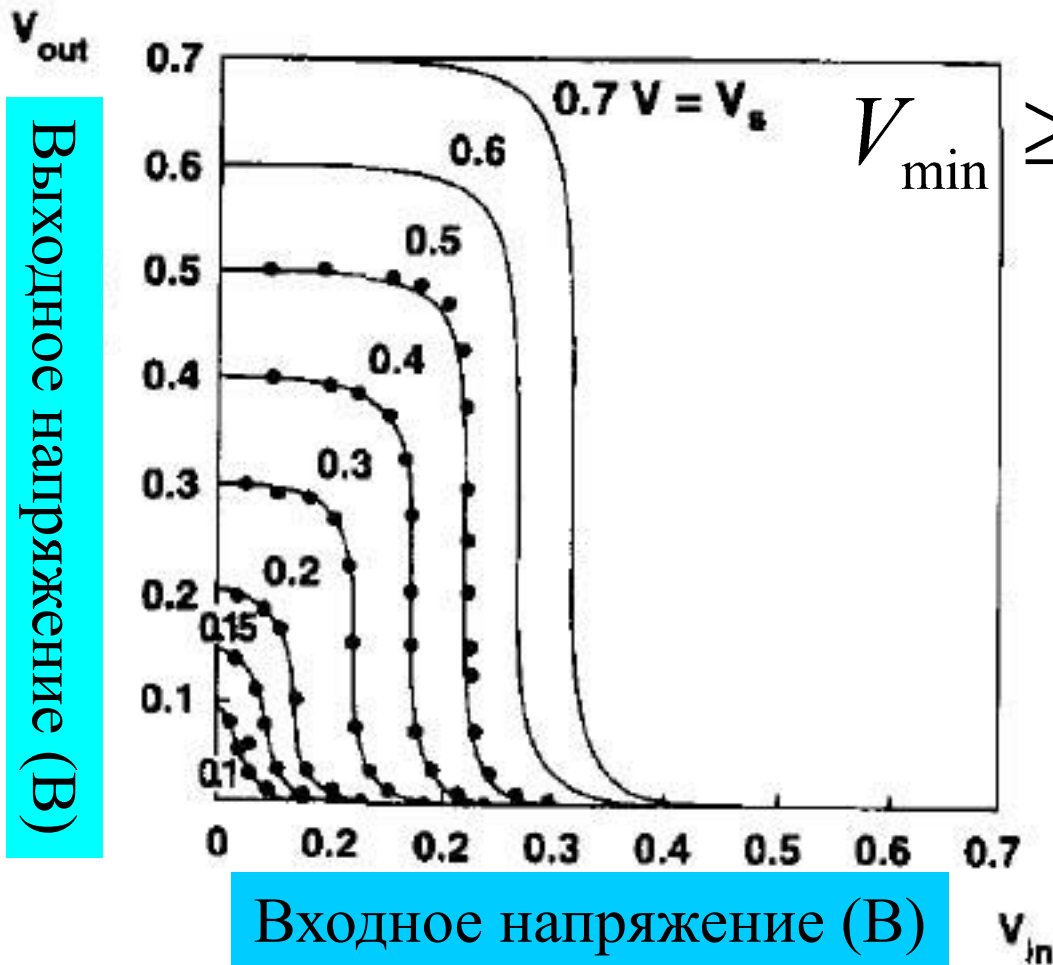
$$T = 300\text{K} \quad \gamma \geq 4$$

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

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

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

# Передаточная кривая КМОП транзистора



Выходное напряжение (В)

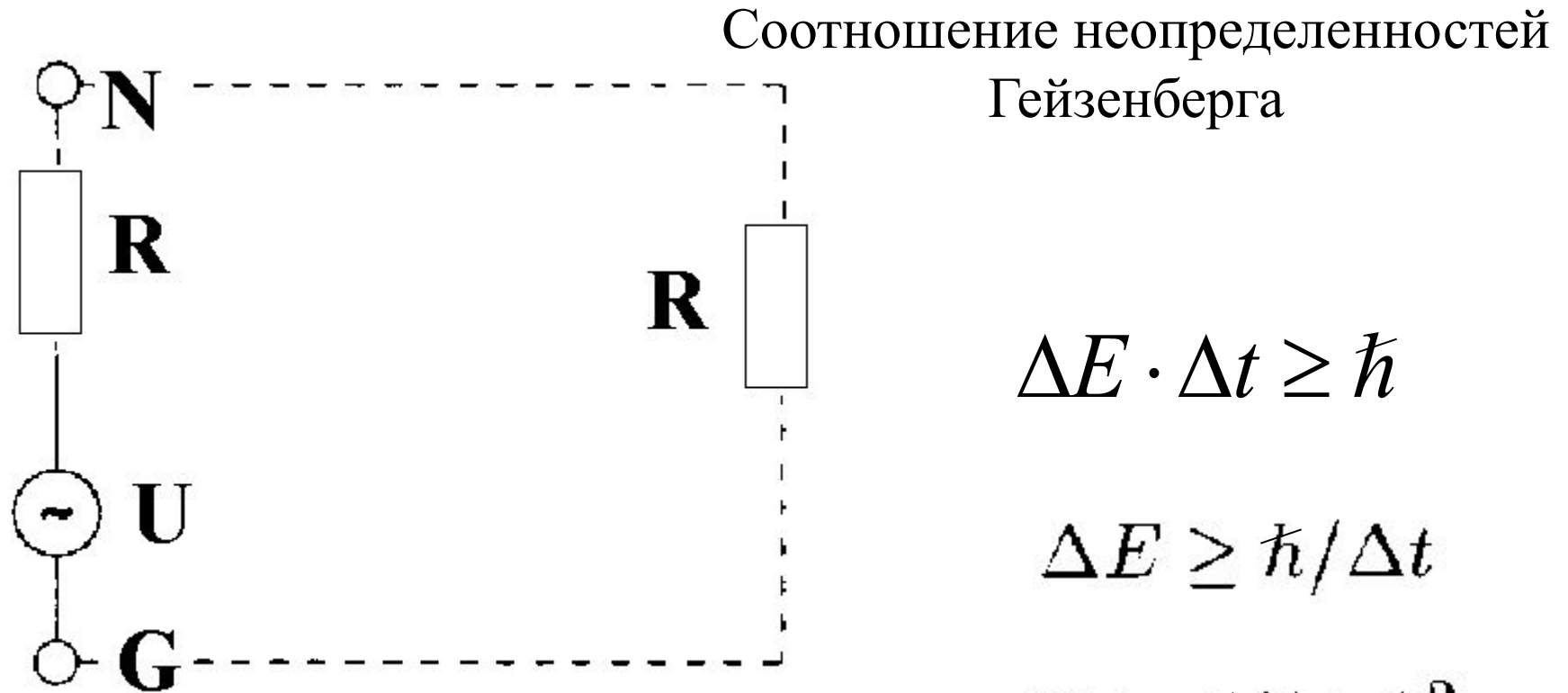
Входное напряжение (В)

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

•••• Эксперимент

— Теория

# Квантовый предел по мощности элементарной логической ячейки



$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

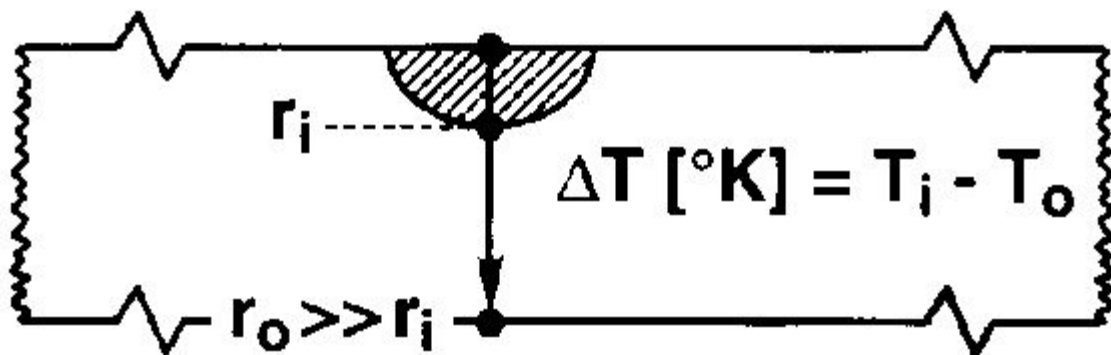
$$\Delta E \geq \hbar / \Delta t$$

$$P \geq \hbar / (\Delta t)^2$$

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



# 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

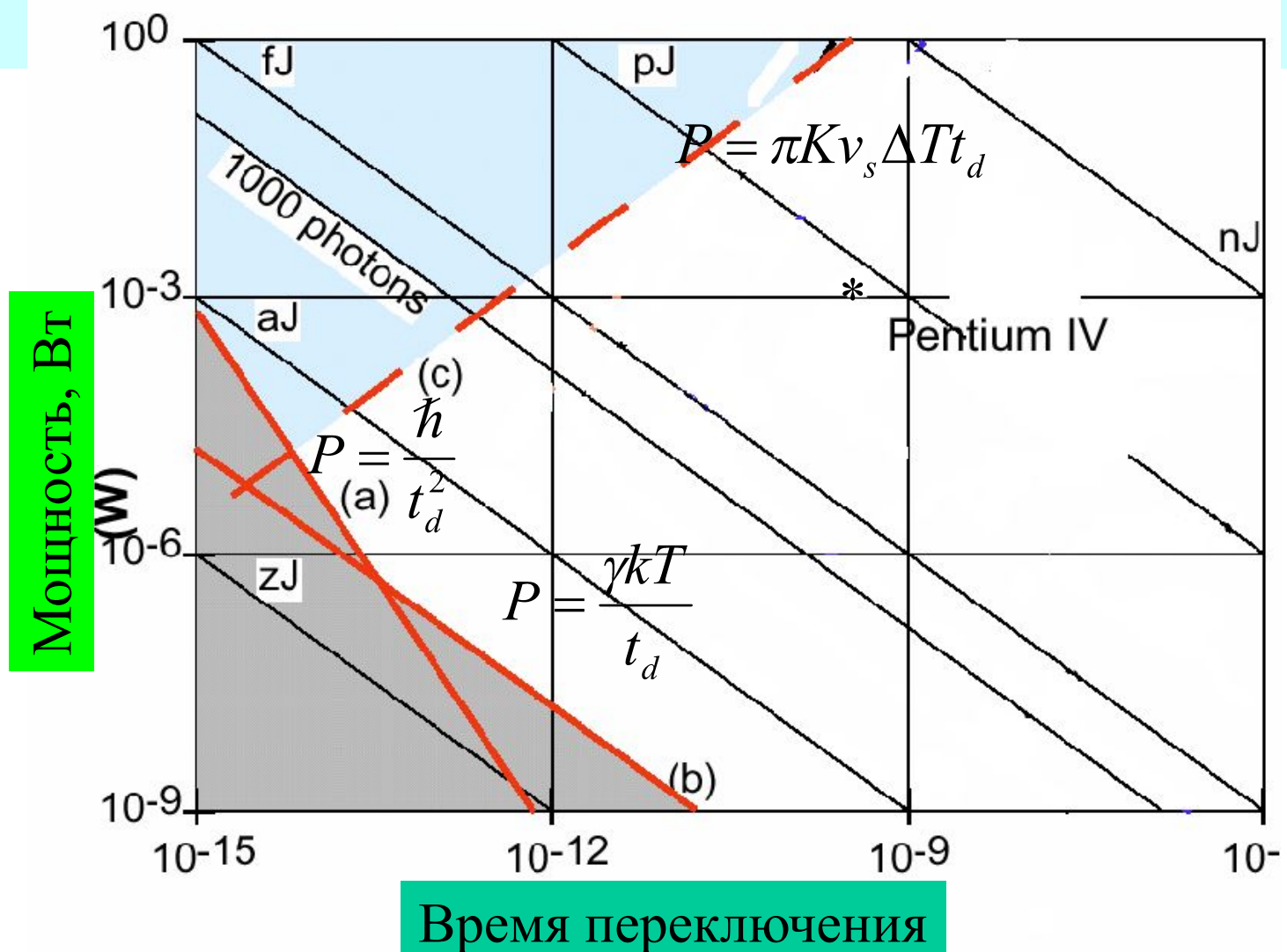
$$K_{Si} \approx 1 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$$

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

$$v_s \sim 10^7 \text{ см/с}$$

# 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

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

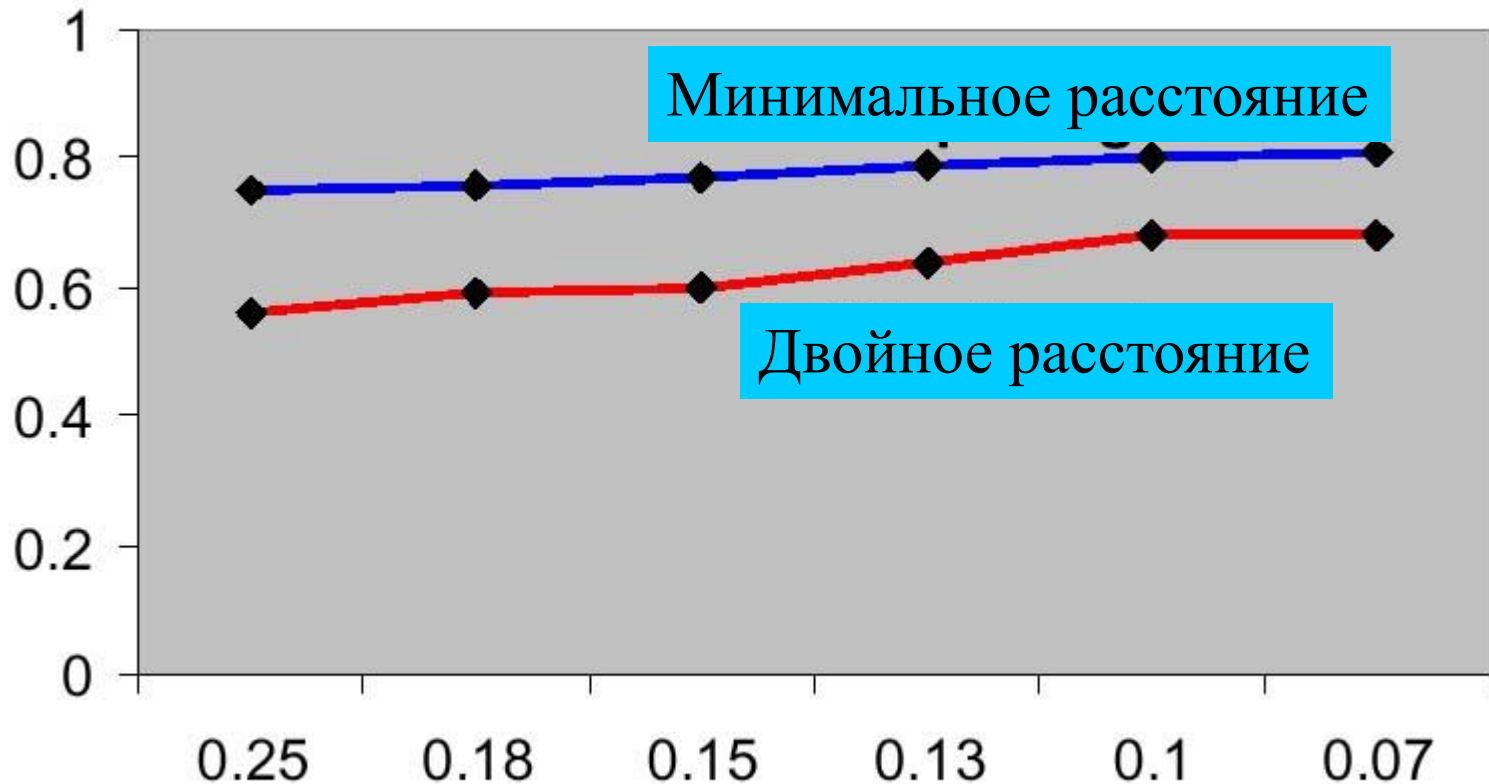
$C$  – емкость остается практически неизменной от технологии  
 $U$  – напряжение на микрочипе не может быть меньше 0.1 В (0.5...1 В)

$R$  – 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

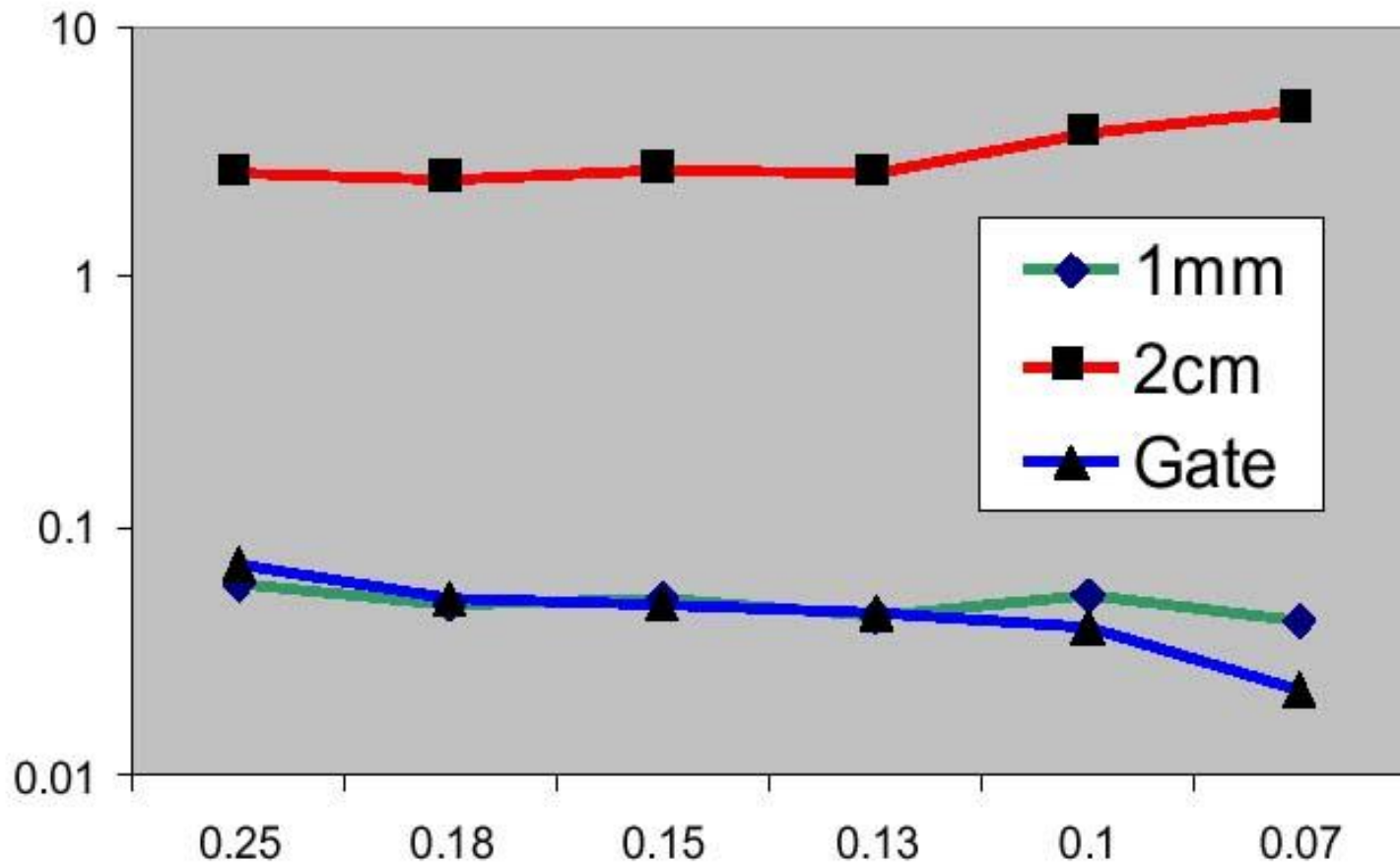
Емкость



Технология, нм

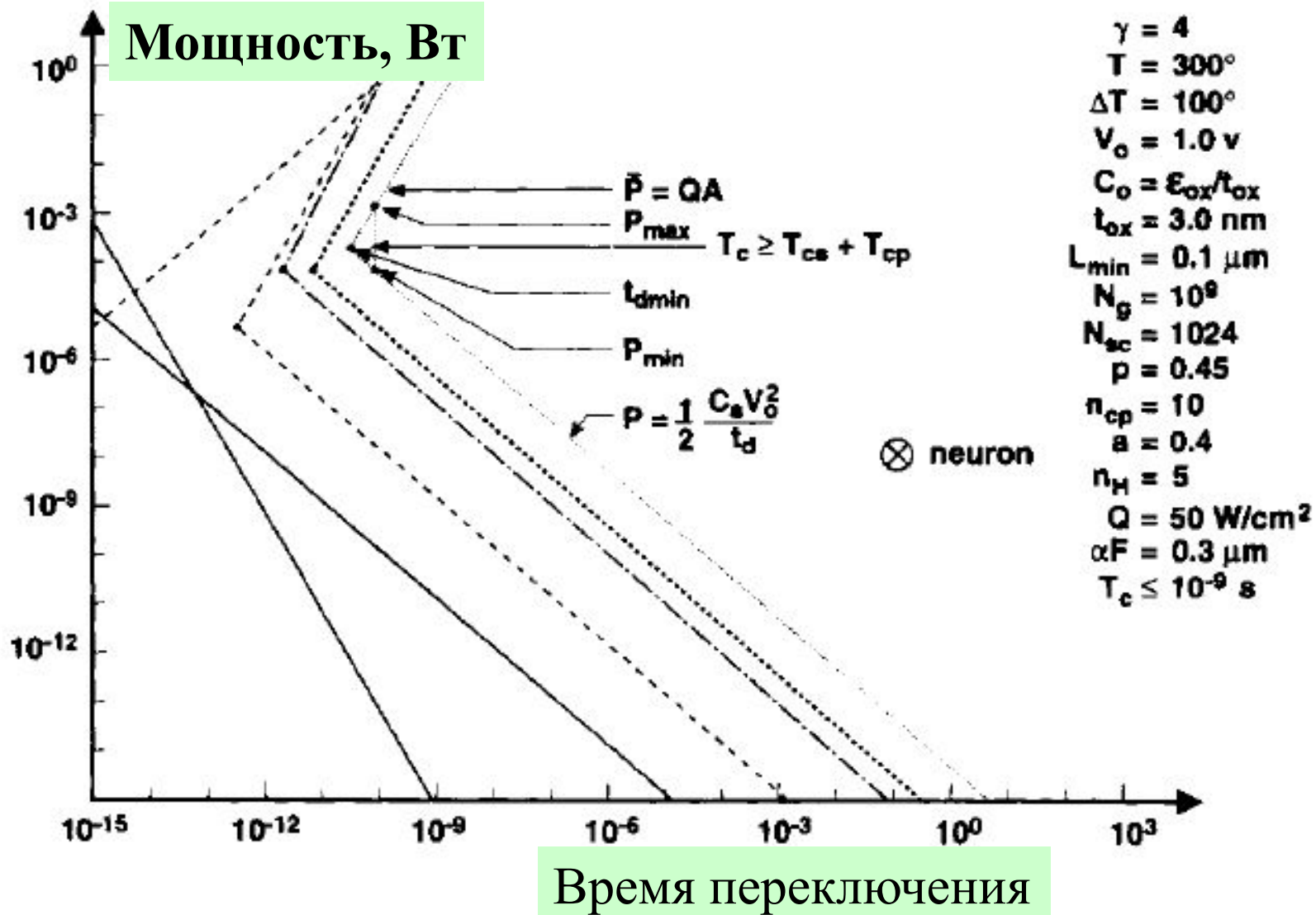
# Задержка сигнала при распространении по микрочипу вследствие перезарядки

Задержка, нс



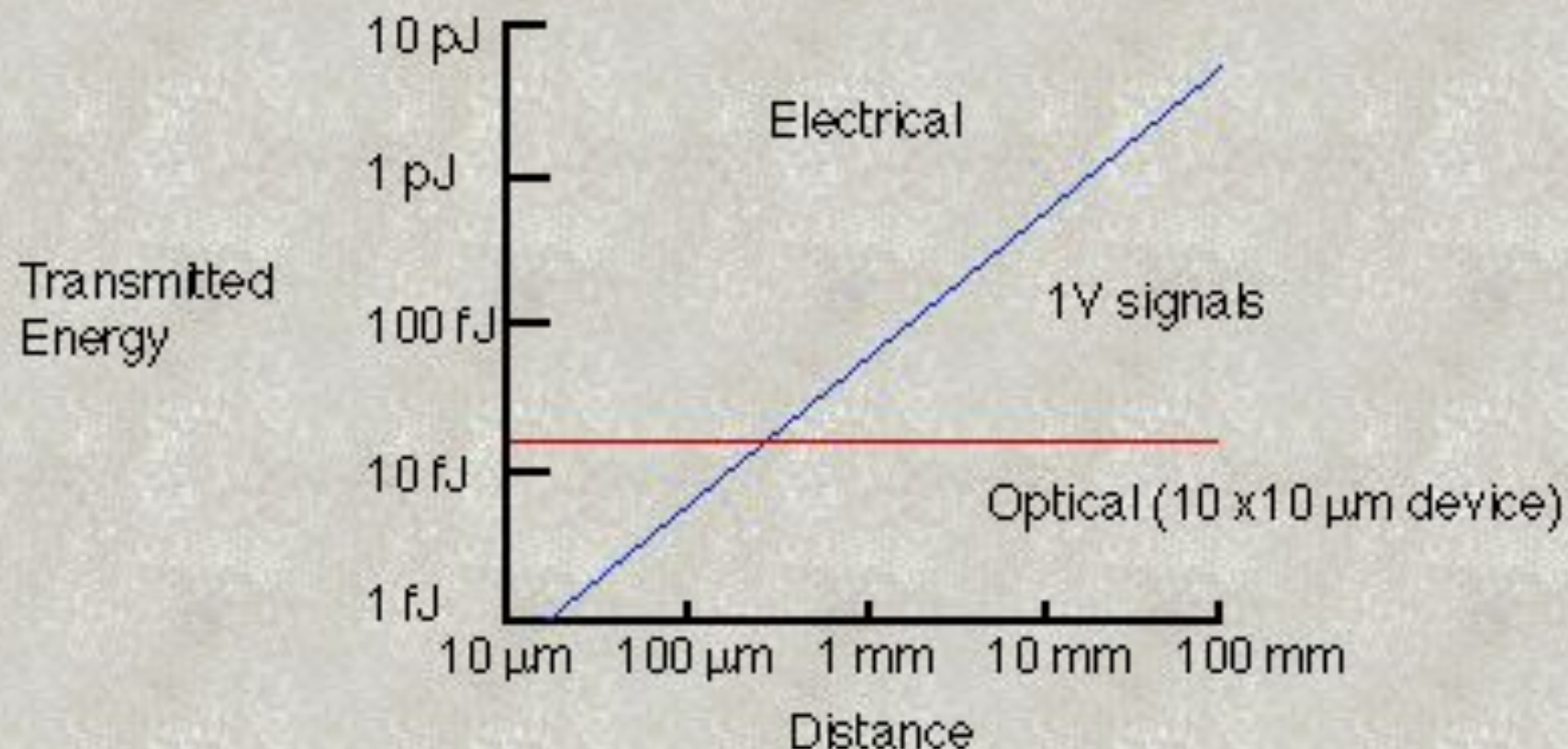
Технология, нм





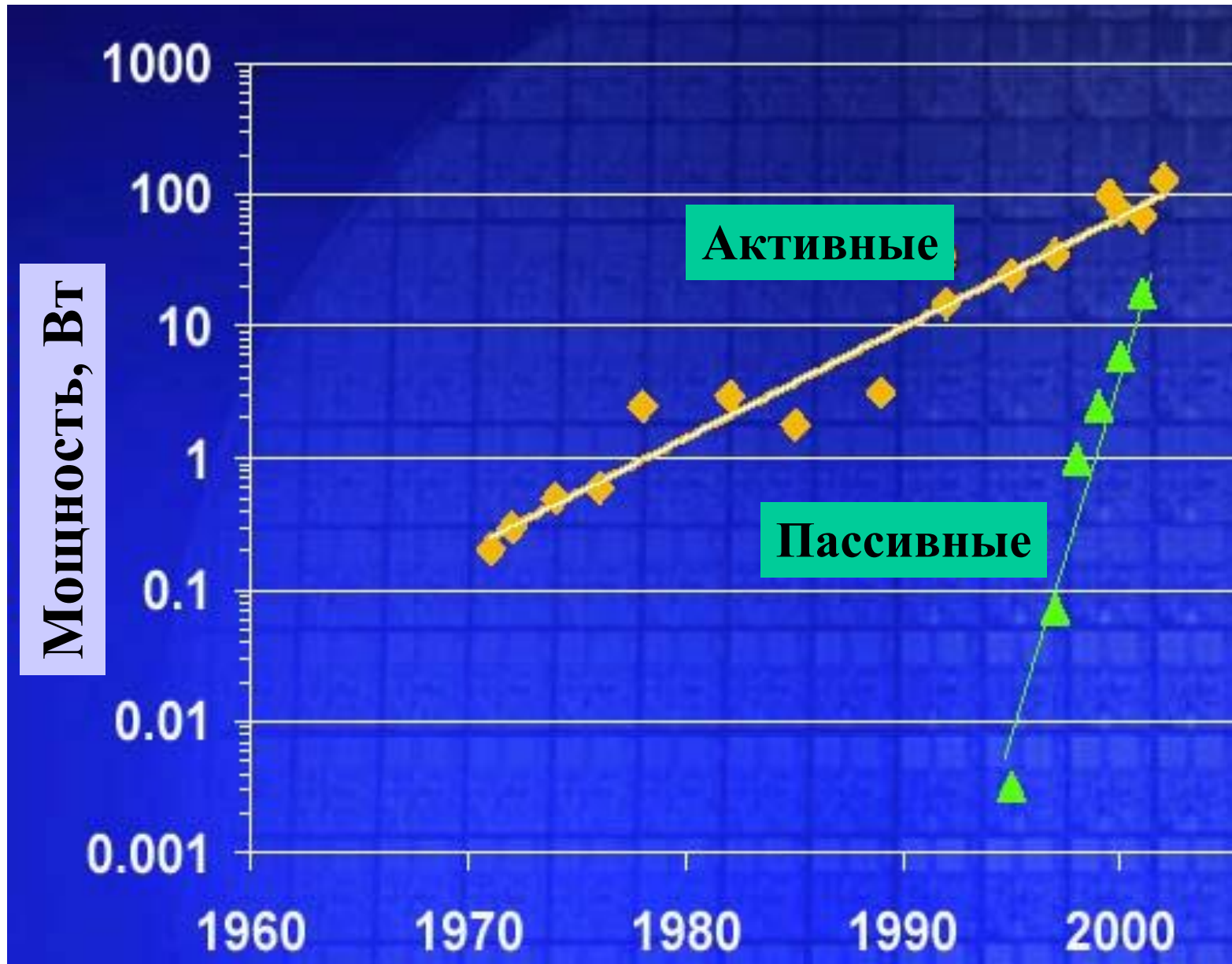
Верхние кривые отражают предел кремниевой технологии по отводу тепла, нижние кривые – по расходу энергии на перезарядку RC цепей в микрочипе

# Energy for Optical and Electrical Communications

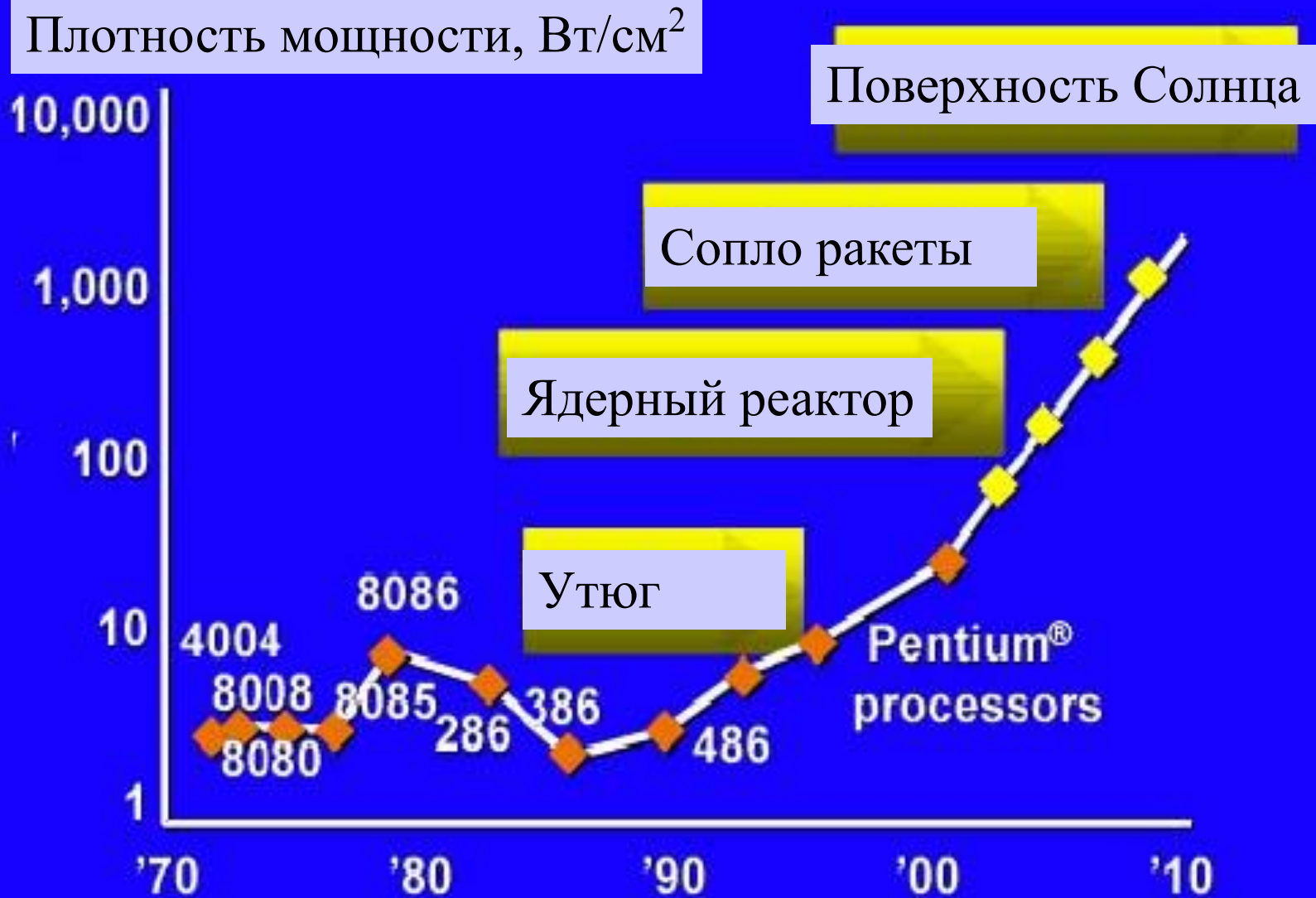


(Courtesy of AT&T)

# Рост потерь в полупроводниковых процессорах



# Проблема отвода тепла от микрочипа





## **Основные ограничения:**

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

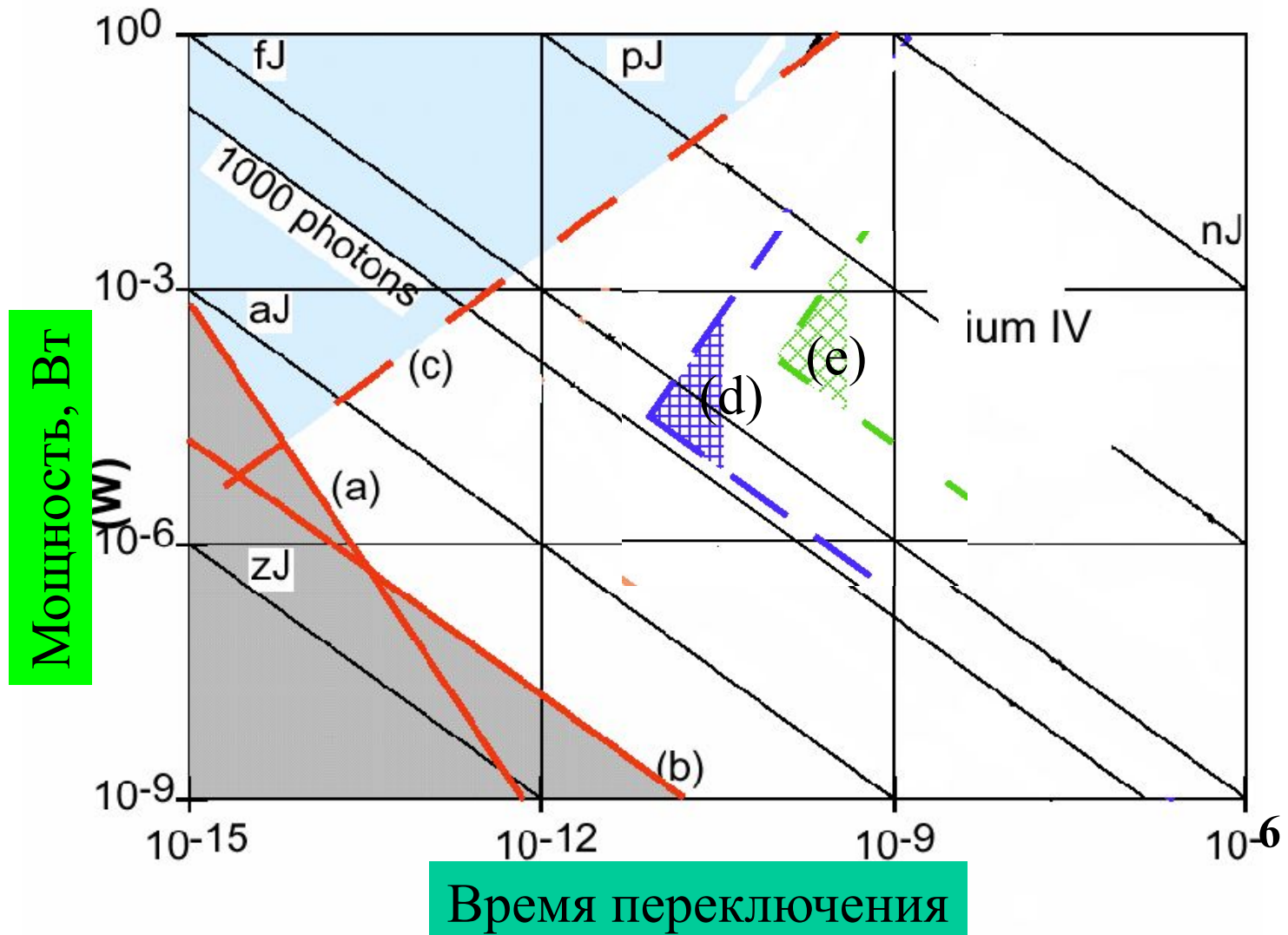
**Увеличение числа элементов приводит к росту числа межсоединений и, соответственно, к увеличению времени задержки прохождения сигнала между макроструктурами процессора**

**С ростом тактовой частоты растет сопротивление, что приводит к нагреву системы и проблеме отвода тепла (при охлаждении солями тяжелых металлов –  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup>)**

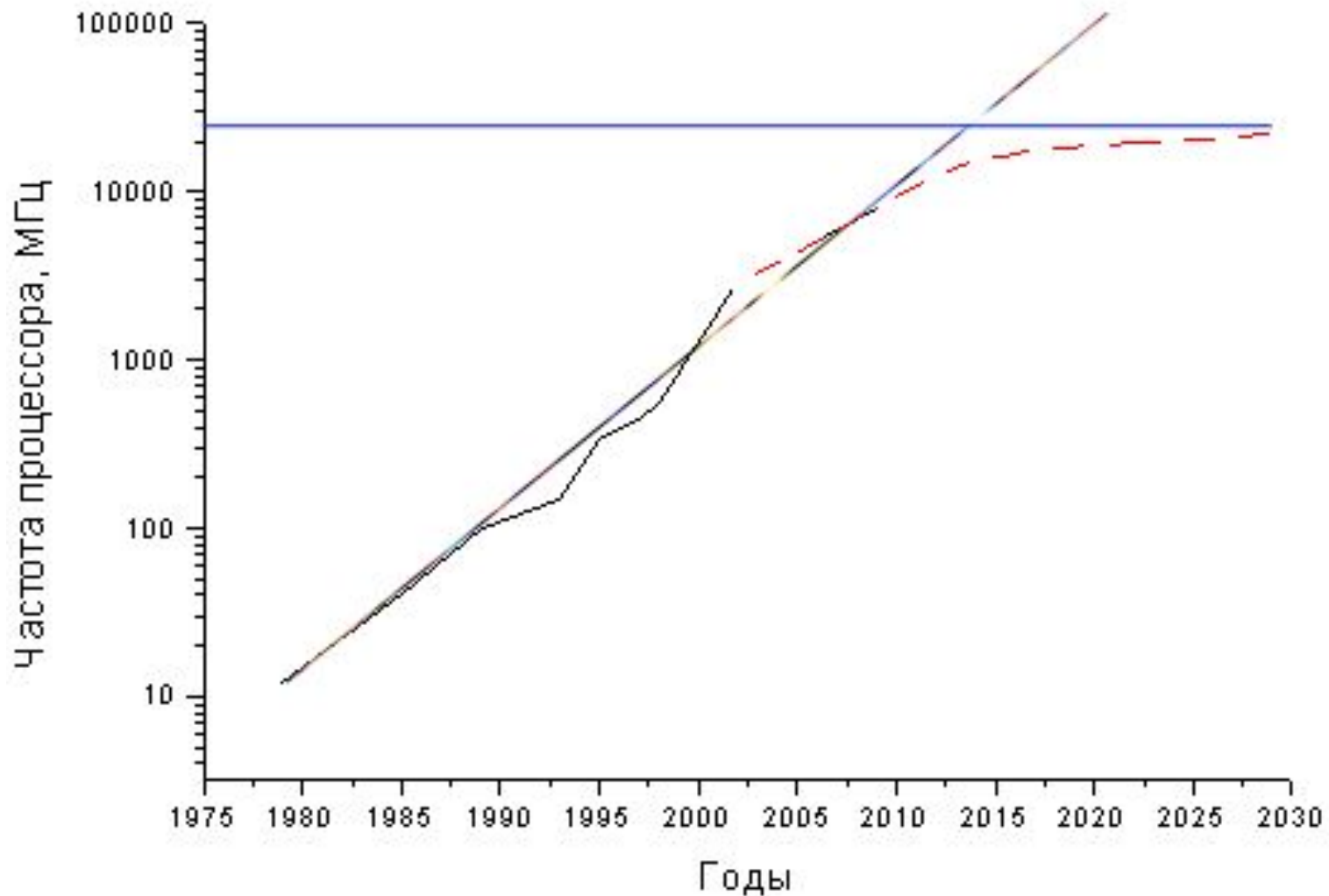
**Оценки показывают, что максимум тактовой частоты при кремниевой технологии – 30...40 ГГц**



# 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**