

**Ж.И. Алфёров**

# **Прорывные технологии второй половины XX века и их современная роль**

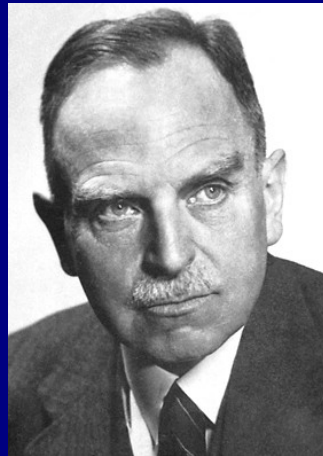


Санкт-Петербургский академический университет —  
научно-образовательный центр нанотехнологий РАН

1. Атомное оружие и атомная энергия
2. Реактивные двигатели  
и космические технологии
3. Создание ЭВМ —  
электронно-вычислительных машин
4. Открытие транзистора
5. Открытие лазера
6. Основы современных информационных технологий:  
открытие кремниевых чипов  
и гетероструктур

# Атомное оружие и атомная энергия

## Открытие деления урана



Отто  
Ган  
1879–1968



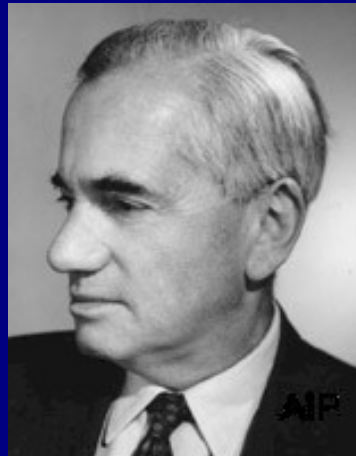
Фриц  
Штрассман  
1902–1980

# Атомное оружие и атомная энергия

## Теория цепных реакций



**Рудольф  
Пайерлс**  
1907–1995



**Отто  
Фриш**  
1904–1979



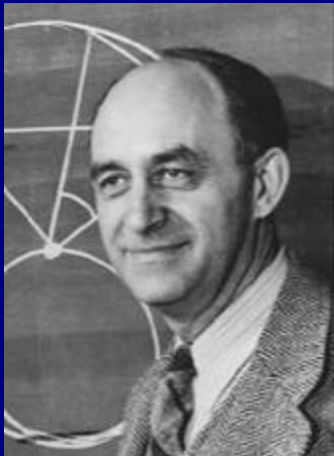
**Яков  
Зельдович**  
1914–1987



**Юлий  
Харитон**  
1904–1996

# Атомное оружие и атомная энергия

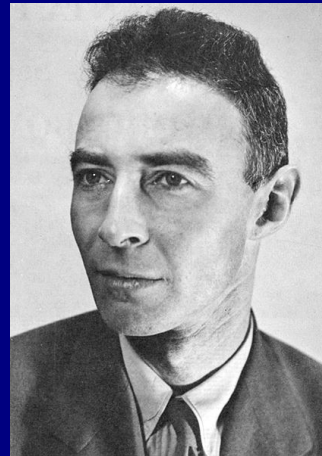
Первый ядерный  
реактор,  
открытие плутония



**Энрико  
Ферми**

1901–1954

Атомная  
бомба



**Роберт  
Оппенгеймер**

1904–1967



**Игорь  
Курчатов**

1903–1960

# Атомное оружие и атомная энергия

## Водородная бомба

Радиационная  
имплозия

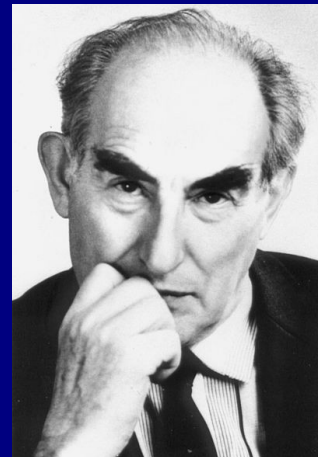


**Эдвард  
Теллер**  
1908–2003



**Станислав  
Улам**  
1909–1994

Дейтерид  
лития



**Виталий  
Гинзбург**  
1916–2009

Разделение  
изотопов Li-6



**Борис  
Константинов**  
1910–1969

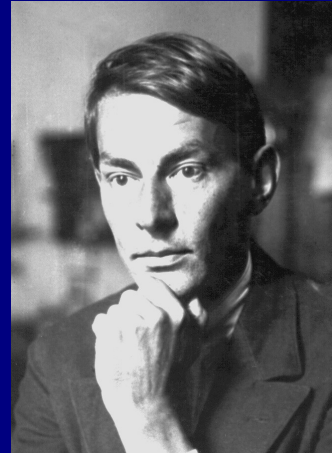
# Атомное оружие и атомная энергия

Водородная  
бомба  
«слойка»



Андрей  
**Сахаров**  
1921–1989

Атомный  
флот



Анатолий  
**Александров**  
1903–1994

Атомная  
энергия



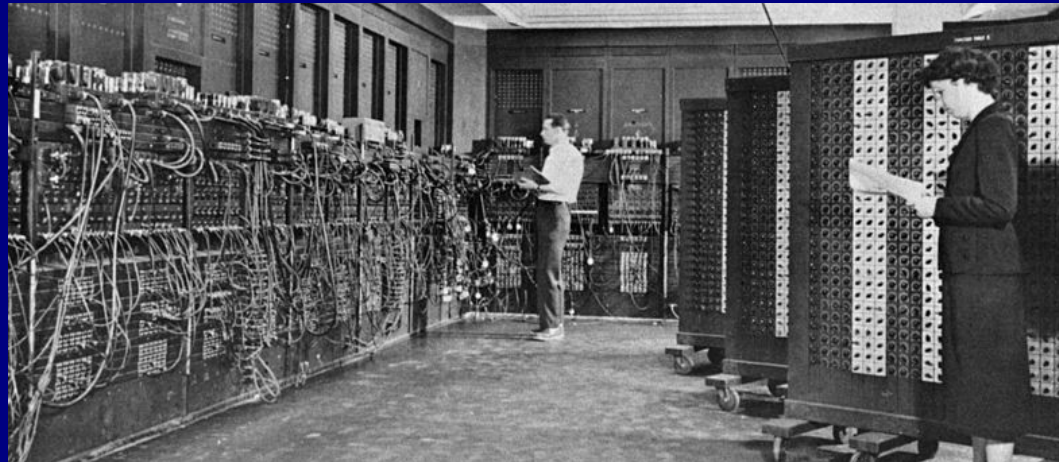
Игорь  
**Курчатов**  
1903–1960

# Создание ЭВМ



**Джон фон Нейман**

1903–1957



ENIAC



**Сергей  
Лебедев**

1902–1974



БЭСМ-6



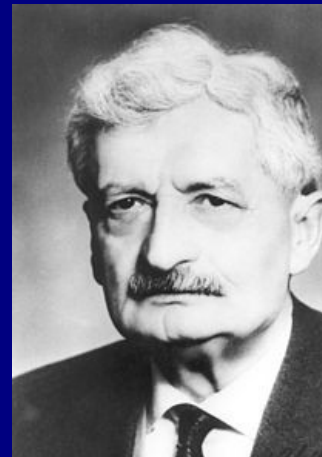
# Реактивные двигатели и космические технологии

## Принципы космических полетов



Константин  
Циолковский

1857–1935



Герман  
Оберт

1894–1989

# Реактивные двигатели и космические технологии

## Реактивные двигатели и самолеты



**Первый в мире ракетоплан РП-318**

28 февраля 1940 года произвёл первый полёт  
ракетоплан РП-318.

# Реактивные двигатели и космические технологии

## Реактивные двигатели и самолеты



Андрей  
Туполев

1888–1972



**TU-104**

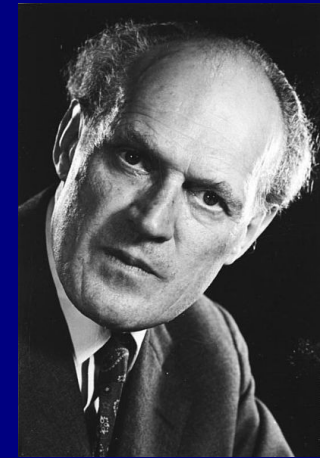


Сергей  
Ильюшин

1894–1977



**ИЛ-86**



Вилли  
Мессершмидт

1898–1978



**Me-262**

# Реактивные двигатели и космические технологии

## Реактивные двигатели и самолеты



**Иосиф  
Фридляндер**  
1913–2009

Он был признанным лидером и создателем отечественного металлостроения алюминиевых сплавов. Из разработанных им алюминиевых сплавов построены все советские и российские пассажирские и военно-транспортные самолеты Ил-86, Ил-96-300, Ан-22, Ан-124 («Руслан»), стратегические бомбардировщики Ту-160, Ту-95, истребители МиГ-23, Су-30, Су-35, Су-37, твердотопливные и жидкостные ракеты ближнего радиуса действия и межконтинентальные. И.Н. Фридляндер был в числе создателей промышленной центрифужной технологии обогащения  $^{235}\text{U}$ .

# Реактивные двигатели и космические технологии

## Ракеты



**Вернер  
фон Браун**  
1912–1977



**V-2**



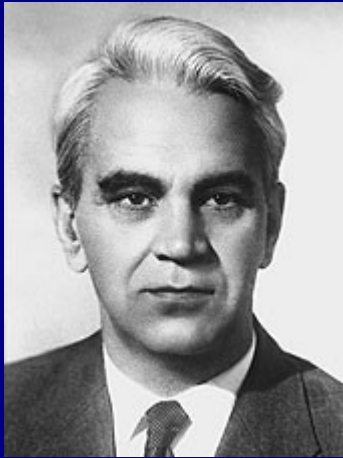
**Сергей  
Королев**  
1907–1966



**R-7**

# Реактивные двигатели и космические технологии

## Космические технологии



**Мстислав  
Келдыш**  
1911–1978



**Юрий  
Гагарин**  
1934–1968



**Валентин  
Глушко**  
1908–1989



Первый  
спутник



Корабль  
Гагарина

# Реактивные двигатели и космические технологии

Космические технологии: солнечная энергетика



Станция Салют-7



Станция Мир

# The Nobel Prize in Physics 1956

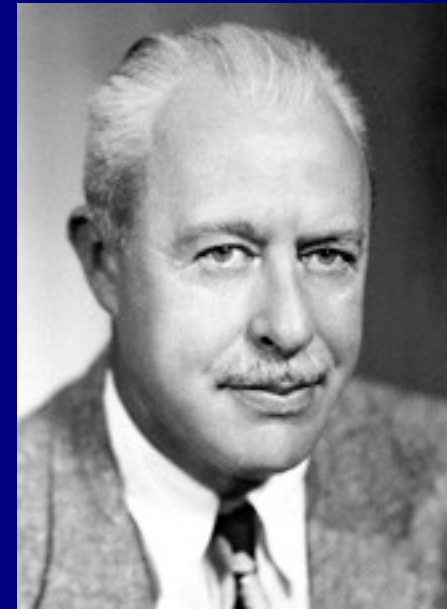
"for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect"



**William  
Shockley**  
1910–1989



**John  
Bardeen**  
1908–1991



**Walter  
Brattain**  
1902–1987



JOHN BARDEEN

# Semiconductor research leading to the point contact transistor

*Nobel Lecture, December 11, 1956*

- (1) Wilson's quantum mechanical theory', . . .
- (2) Frenkel's theories of certain photoconductive phenomena . . .
- (3) Independent and parallel developments of theories of contact rectification by Mott<sup>3</sup>, Schottky<sup>4</sup> and Davydov<sup>5</sup>. . . .

*Жузе В.П., Курчатова Б.В.* К вопросу об электропроводимости закиси меди

// ЖЭТФ. 1932. Т. 2, № 5/6. С. 309;

*Zhuze V.P., Kurchatov B.V.* Zur elektrischen Leitfähigkeit von Kupferoxydul // Phys.Z.

Sowjetunion. 1932. Vol. 2, N6. P. 453;

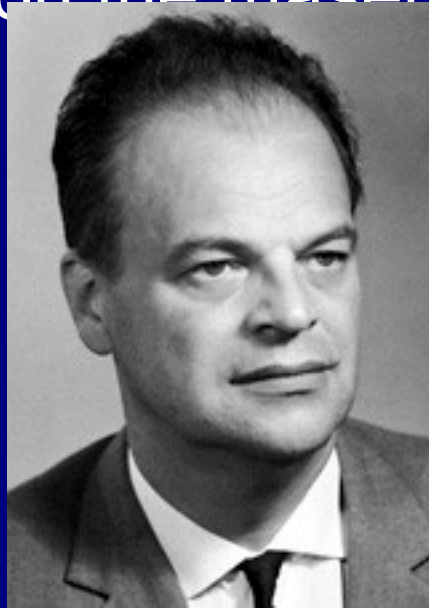
*Frenkel Ya.I., Ioffe A.* On the electrical and photoelectric properties of contacts between a metal and semiconductor // Phys.Z. Sowjetunion. 1932. Vol. 1, N1. P. 60.

# The Nobel Prize in Physics 1964

"for fundamental work in the field of quantum electronics,  
which has led to the construction of oscillators  
and amplifiers based on the maser-laser principle"



**Charles  
Townes**  
b. 1915



**Nicolay  
Basov**  
1922–2001



**Aleksandr  
Prokhorov**  
1916–2002

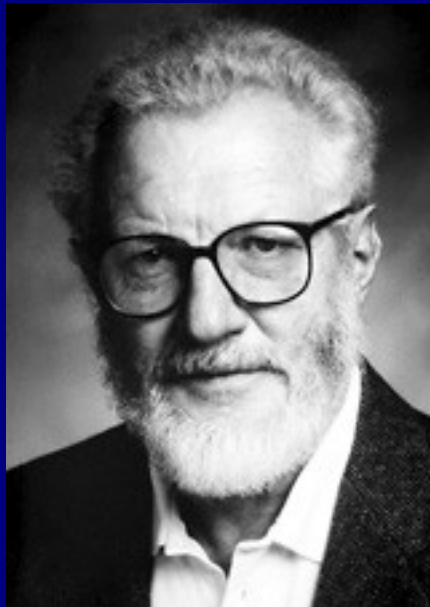
# The Nobel Prize in Physics 2000

"for basic work on information and communication technology"

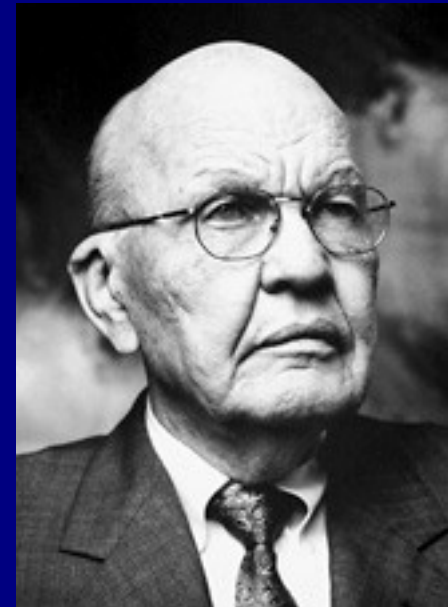
"for developing semiconductor heterostructures used in high-speed- and opto-electronics"



**Zhores  
Alferov**  
b. 1930

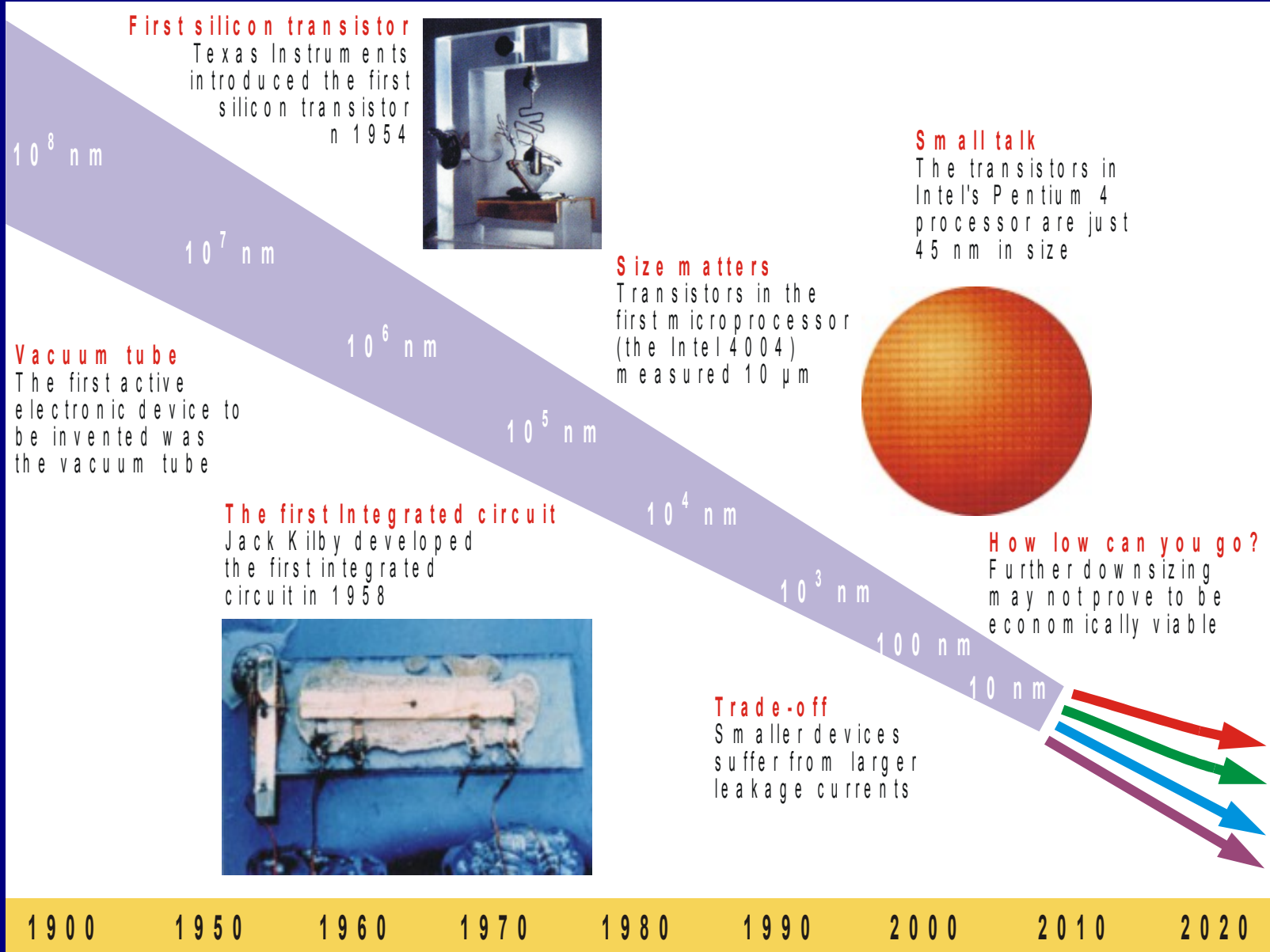


**Herbert  
Kroemer**  
b. 1928



**Jack  
Kilby**  
1923–2005

# Moore's law I: device downsizing

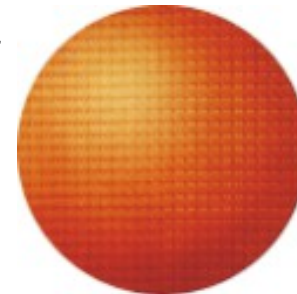


**First silicon transistor**  
Texas Instruments introduced the first silicon transistor in 1954



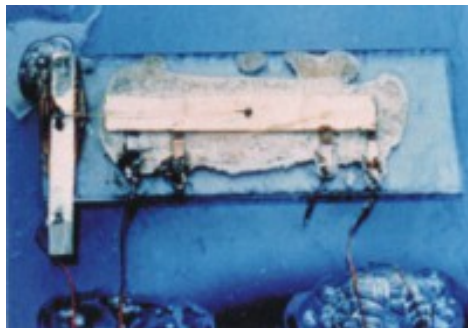
**Small talk**  
The transistors in Intel's Pentium 4 processor are just 45 nm in size

**Size matters**  
Transistors in the first microprocessor (the Intel 4004) measured 10  $\mu$ m



**Vacuum tube**  
The first active electronic device to be invented was the vacuum tube

**The first integrated circuit**  
Jack Kilby developed the first integrated circuit in 1958



**How low can you go?**  
Further downsizing may not prove to be economically viable

**Trade-off**  
Smaller devices suffer from larger leakage currents

1900 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020

# Moore's law II: chip density



## Intel Itanium

The world's most powerful chip can perform hundreds of millions of operations per second

## The road ahead

Further increase in chip density relies on new technologies

## Larger memory

Memory chips contain more transistors than processors



## Gordon Moore

Co-founder of Intel, who identified the trend for chip density 40 years ago

## First microprocessor

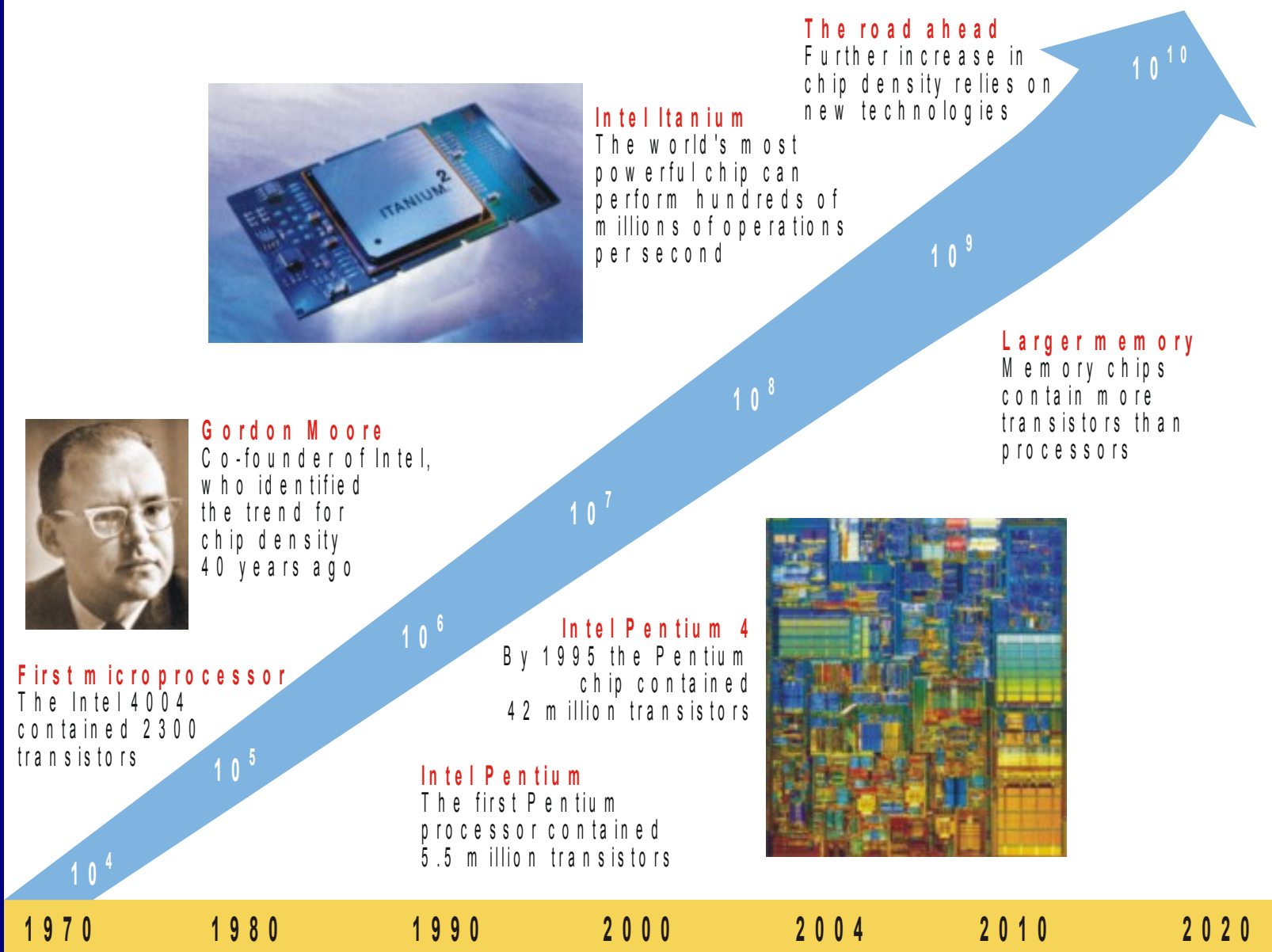
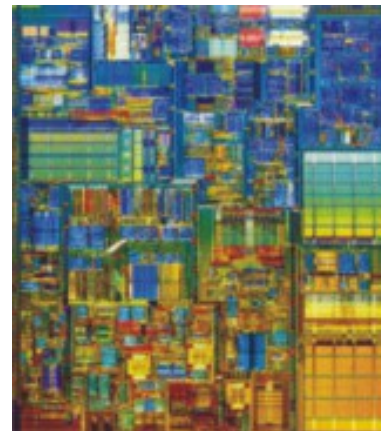
The Intel 4004 contained 2300 transistors

## Intel Pentium 4

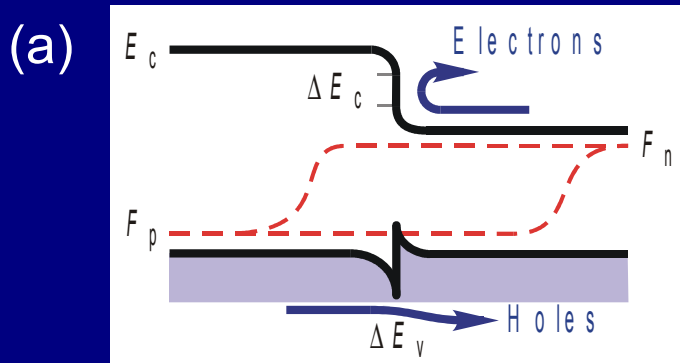
By 1995 the Pentium chip contained 42 million transistors

## Intel Pentium

The first Pentium processor contained 5.5 million transistors



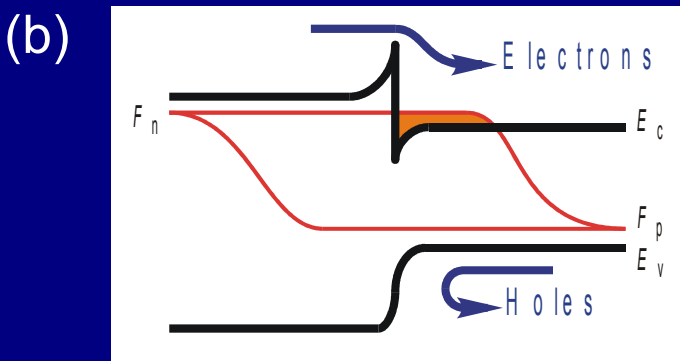
# Основные физические явления в классических гетероструктурах



## Односторонняя инжекция

Предложение — 1948 (W. Shockley)

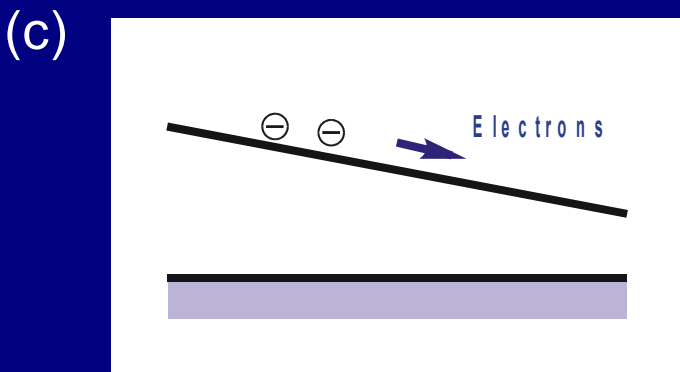
Эксперимент — 1965 (Ж.И. Алферов и др.)



## Суперинжекция

Теория — 1966 (Ж.И. Алферов и др.)

Эксперимент — 1968 (Ж.И. Алферов и др.)



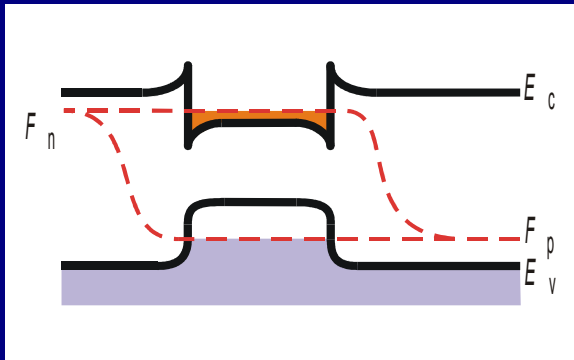
## Диффузия во встроенном квазиэлектрическом поле

Теория — 1956 (H. Kroemer)

Эксперимент — 1967 (Ж.И. Алферов и др.)

# Основные физические явления в классических гетероструктурах

(d)

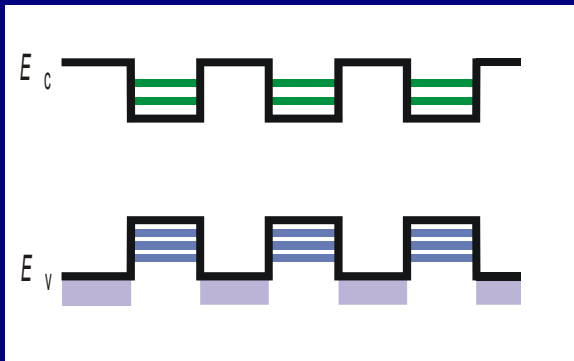


## Электронное и оптическое ограничение

Предложение — 1963 (Ж.И. Алферов и Р.Ф. Казаринов; Н. Kroemer)

Эксперимент — 1968 (Ж.И. Алферов и др.)

(e)



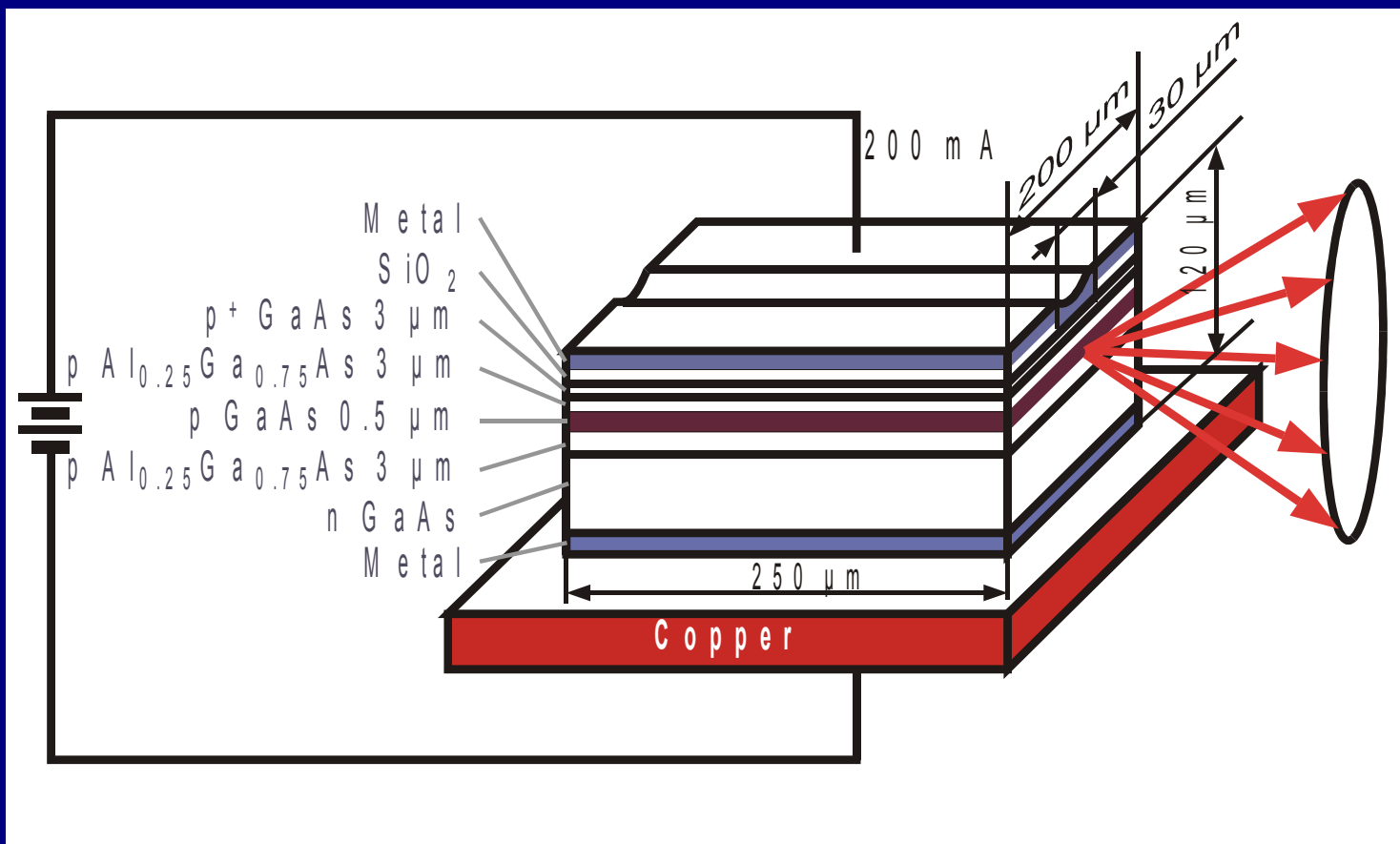
## Сверхрешетки

Теория — 1962 (Л.В. Келдыш)

Первый эксперимент — 1970 (L. Esaki *et al.*)



# Схематическое изображение структуры первого инжекционного ДГС-лазера, работающего в непрерывном режиме при комнатной температуре



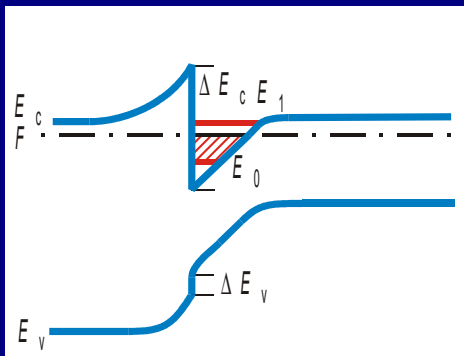
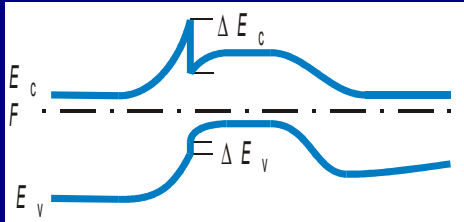
# Первые AlGaAs/GaAs солнечные батареи были созданы в 1969–70 в ФТИ им. Иоффе



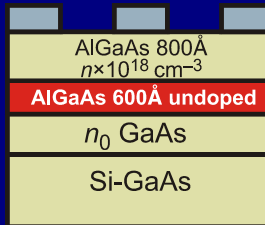
Созданная технология была использована в крупномасштабном производстве солнечных батарей для советских космических аппаратов в 1970–80-е гг. AlGaAs/GaAs солнечные батареи площадью 70 м<sup>2</sup> были установлены на космической станции «Мир» в 1986 г.

# Heterostructure microelectronics

## Heterojunction Bipolar Transistor

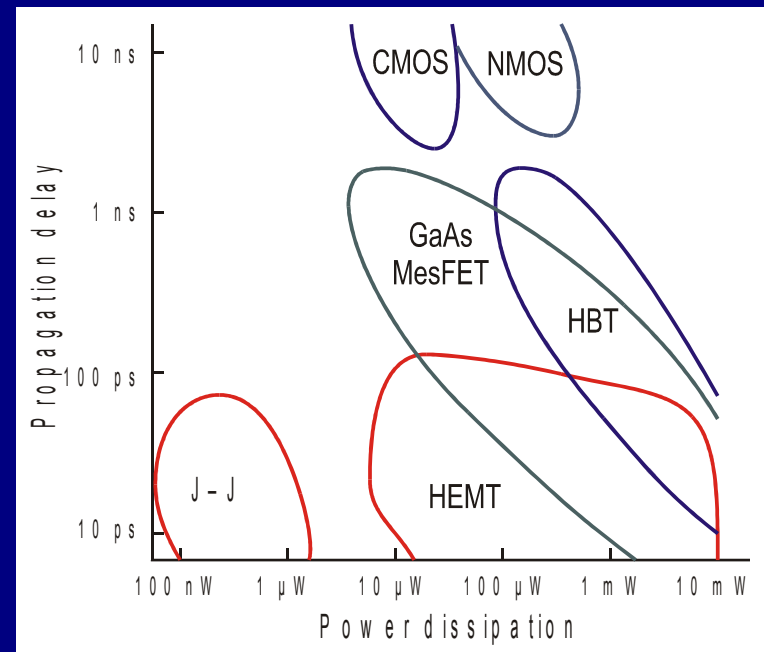


## NAIGaAs-n GaAs Heterojunction



Suggestion—1948 (W.Shockley)  
 Theory—1957 (H.Kroemer)  
 Experiment—1972 (Zh.Alferov *et al.*)  
 AlGaAs HBT

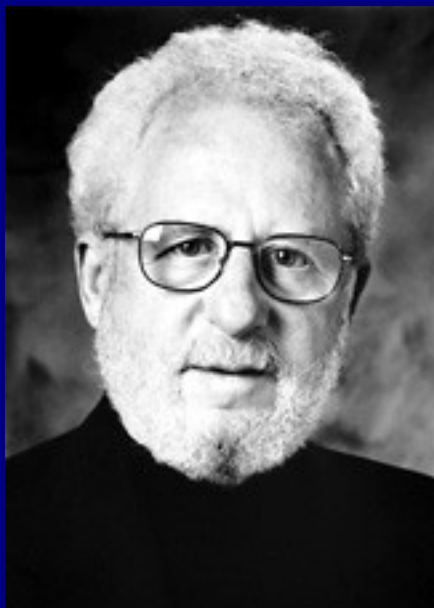
HEMT—1980 (T.Mimura *et al.*)



## Speed-power performances

# The Nobel Prize in Chemistry 2000

“for the discovery and development  
of conductive polymers”



**Alan  
Heeger**  
b. 1936



**Alan  
MacDiarmid**  
1927–2007



**Hideki  
Shirakawa**  
b. 1936