



# ИУС и КМ 2014



# СИСТЕМА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ КОМПЬЮТИНГА

**Аноприенко Александр Яковлевич**

Декан факультета  
компьютерных наук и технологий  
ДонНТУ

22.04.2014  
День Земли



**Аноприенко**  
Александр Яковлевич

Система закономерностей  
развития средств и методов  
компьютинга



*«Знание некоторых  
принципов легко  
возмещает незнание  
некоторых фактов»  
Гельвеций*

*«Надо знать прошлое, чтобы  
понимать настоящее и  
предвидеть будущее»  
В.Г. Белинский*

*То, что кажется хаосом – это,  
скорее всего, проявление тех  
закономерностей, которые  
пока не удалось выявить...*



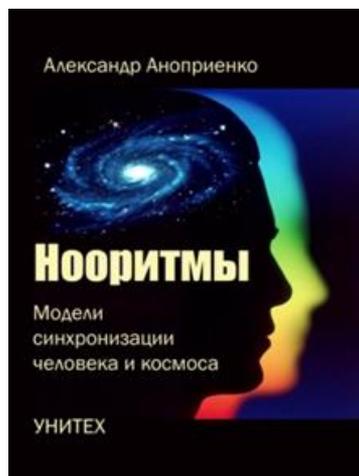


**Аноприенко**  
Александр Яковлевич

Система закономерностей  
развития средств и методов  
компьютинга



*«Знание некоторых  
принципов легко  
возмещает незнание  
некоторых фактов»  
Гельвеций*



**Гиперзакономерности:**  
эволюция  
генетического  
кода

**Мегазакономерности:**  
кодо-логическая  
эволюция

**Макрозакономерности:**  
"Закон Мура 1975"  
и др.

Прабинарный  
компьютинг

Пост-  
бинарный  
тетра-  
компьютинг

Квази-  
генетический  
компьютинг

Современный  
компьютинг



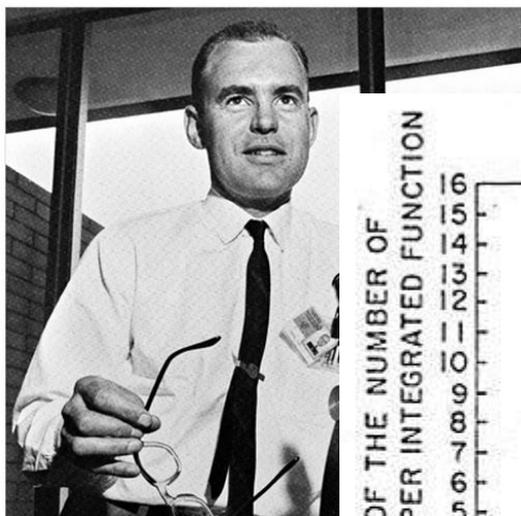
**Понять, что было и знать, что будет...**



Самая известная закономерность развития компьютерных систем:

# Закон Мура

## 1975



Gordon Moore at Fairchild R & D in 1962

Гордон Мур,  
один из  
основателей  
фирмы Интел  
«Будущее интегральной электроники»

## 1965

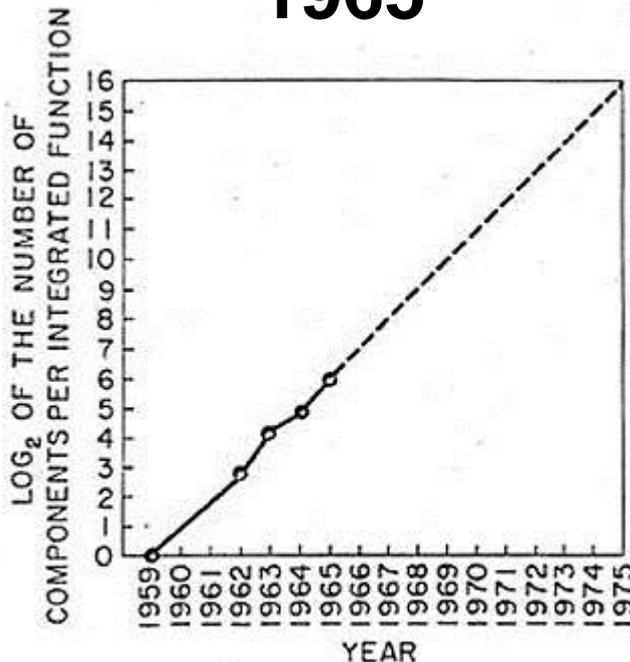
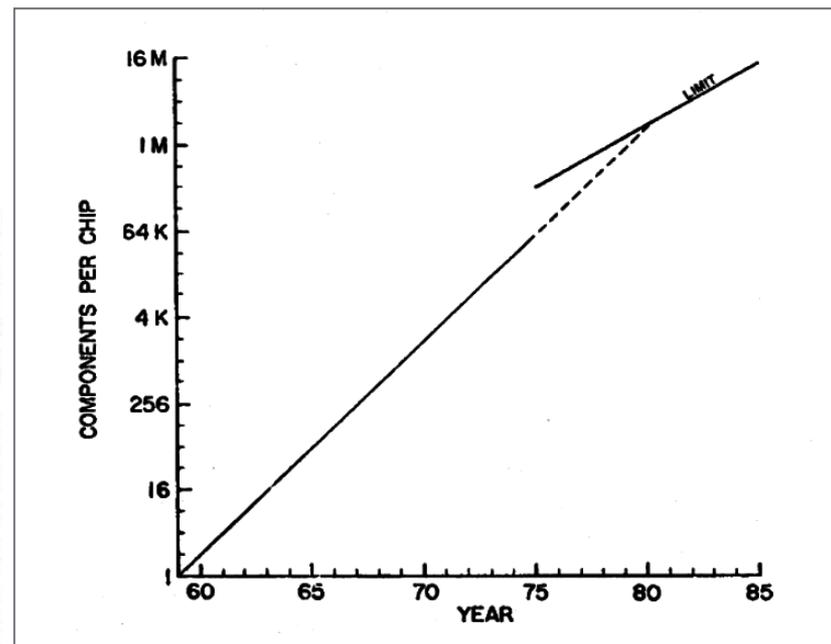


Fig. 2 Number of components per integrated function for minimum cost per component extrapolated vs time.

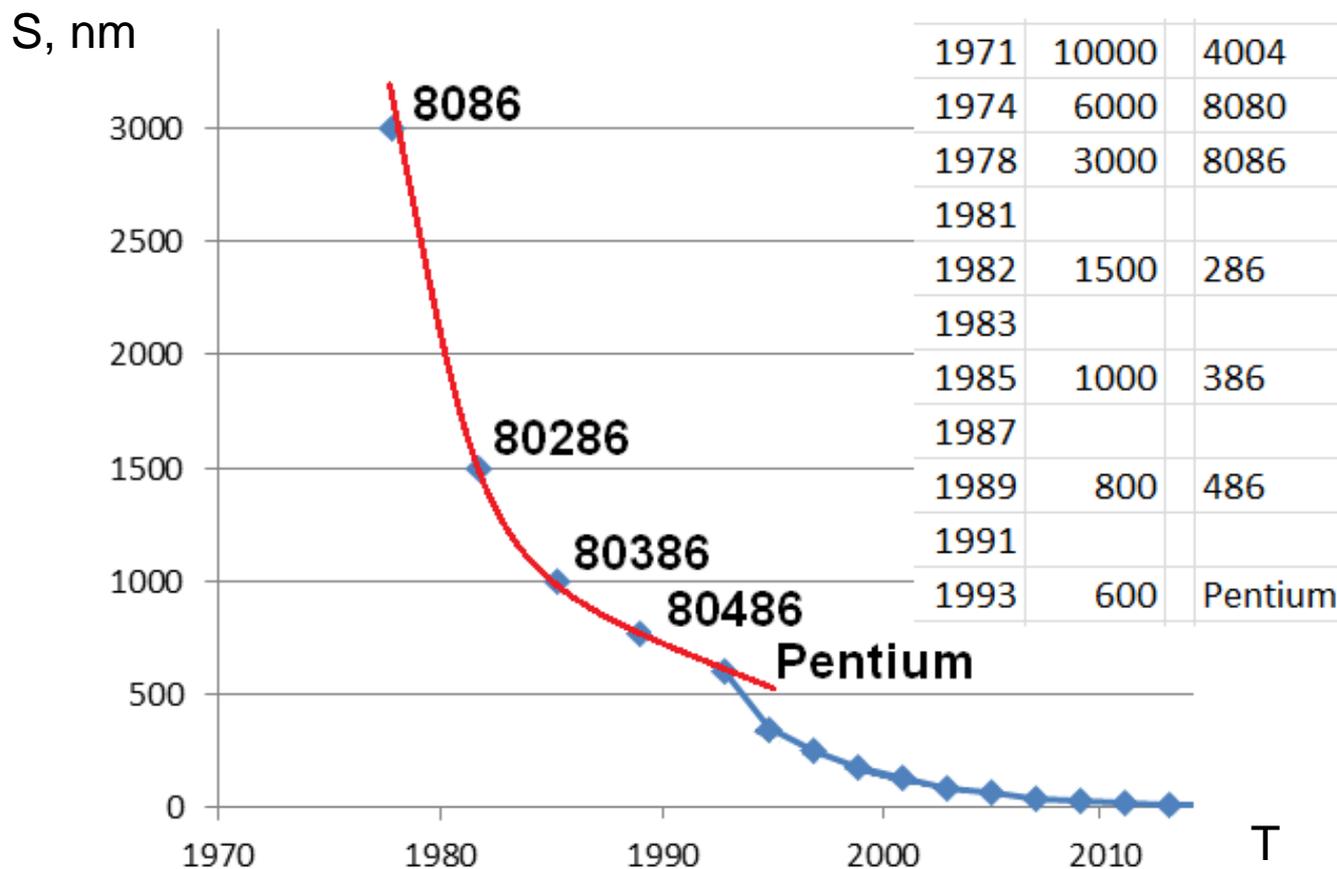


## Макрозакономерности

От ежегодного удвоения  
количества компонент к  
удвоению каждые 2 года...

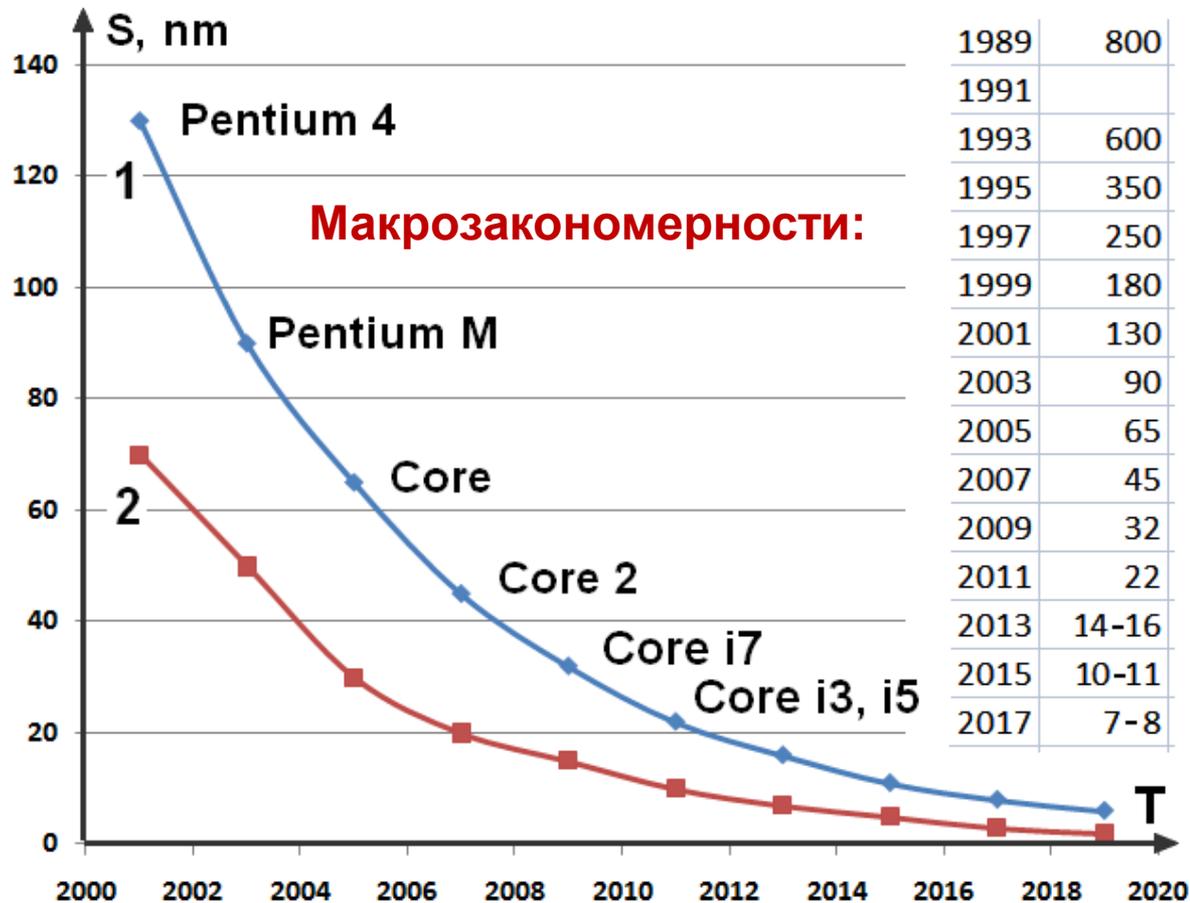


Становление «закона Мура 1975»: уменьшение проектных норм микропроцессоров фирмы Интел в среднем в 1,5 раза каждые 4 года в 1971-1993 гг.





«Закон Мура 1975» в действии: уменьшение проектных норм микропроцессоров фирмы Интел в среднем в 2 раза каждые 4 года (в 1,4 каждые 2 года) в 1993-2018 гг.

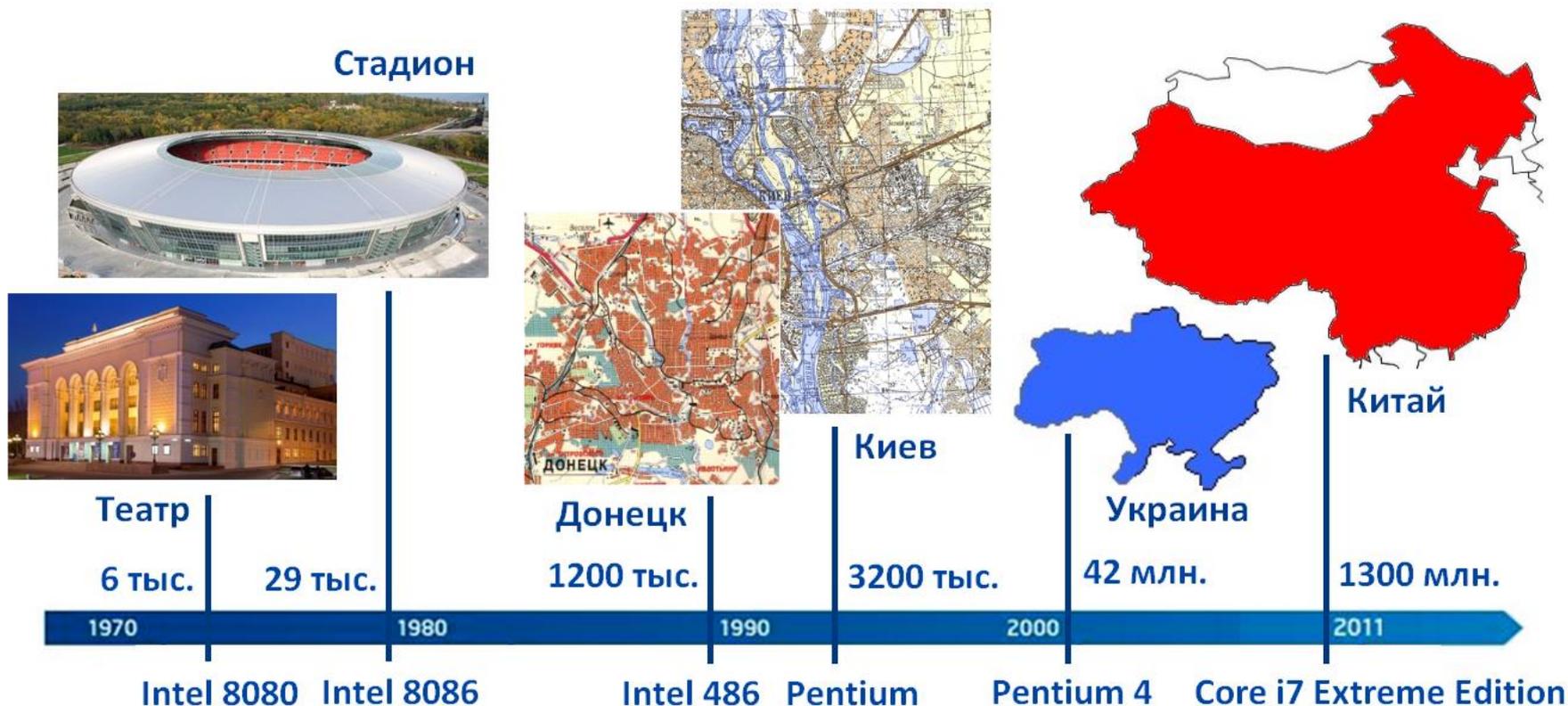


**Интервал в 18 месяцев** самим Гордоном Муром не рассматривался и связан с прогнозом его коллеги **Давида Хауса** из Intel, сделавшего в **80-е годы** предположение, что **производительность процессоров должна удваиваться каждые 18 месяцев** из-за сочетания роста количества транзисторов и быстроедействия



«**Закона Мура 1975**» в действии: уменьшение проектных норм микропроцессоров фирмы Интел в среднем в 2 раза каждые 4 года (в 1,4 каждые 2 года) в 1993-2018 гг.

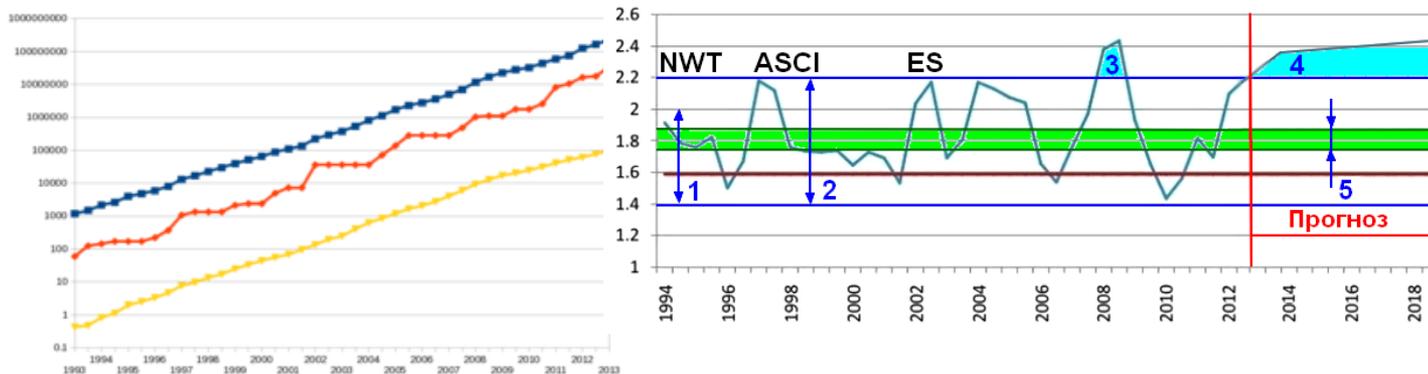
### Макрозакономерности:





## Закон Мура и реальные коэффициенты роста производительности

**Топ500 суперкомпьютеров – проект, инициированный в 1993 году в университете Манхайма (Германия, Баден-Вюртемберг)**



**Удивительная стабильность роста производительности!**

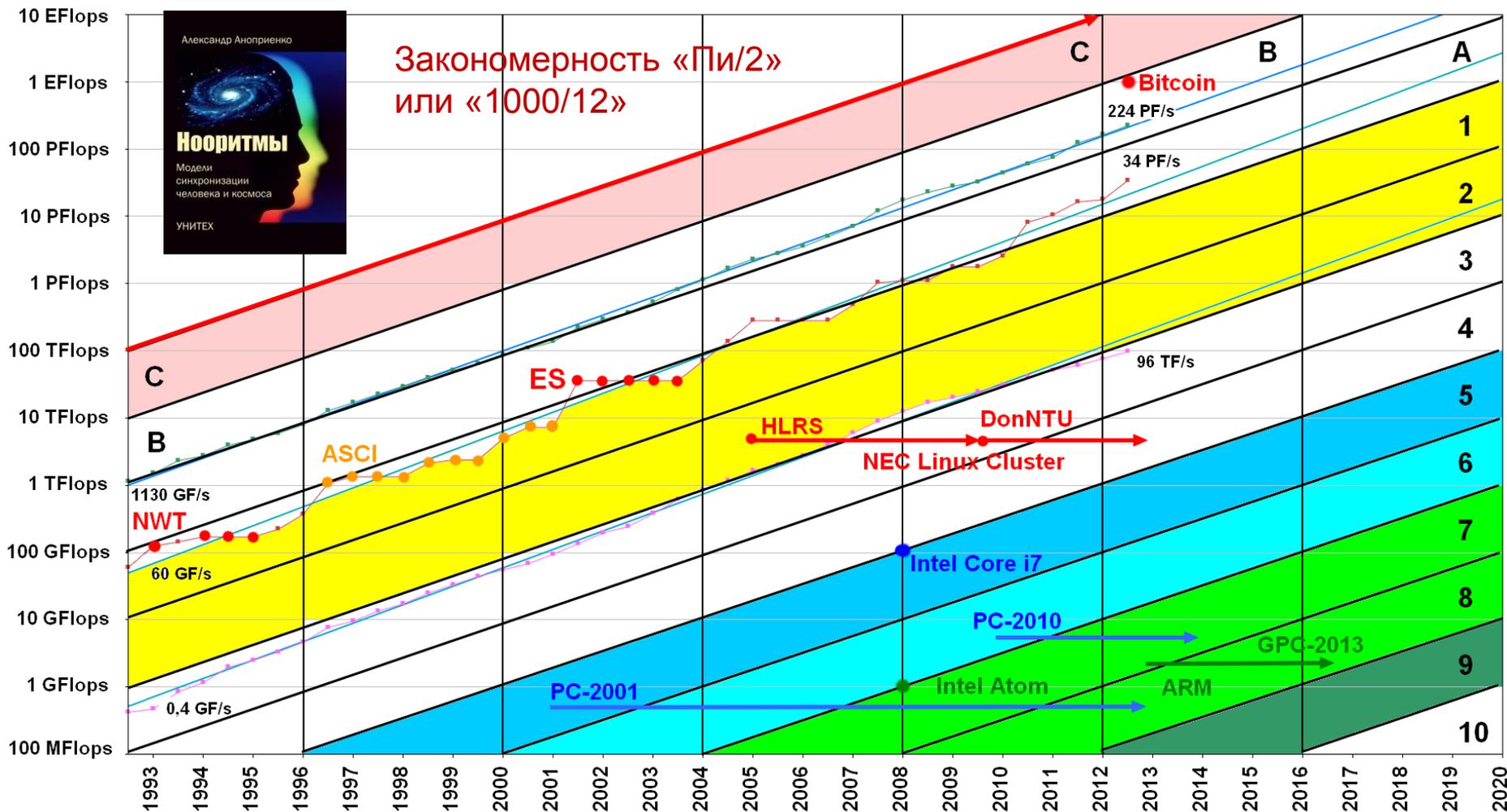
**Закономерность «10/4», «Пи/2» или «1000/12»**



Закономерность	Основной период (лет)	Коэффициент роста за основной период	Ежегодный коэффициент роста (ЕКР)
Закон <u>Мура</u> 1965	1	2	2
Закон <u>Мура</u> 1975	2	2	$\sqrt{2} = 1,4$
Современный «закон <u>Мура</u> »	1,5	2	1.5874
<b>В 10 раз за 4 года</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>1,77828</b>
<b>В <math>\pi</math> раз за 2 года</b>	<b>2</b>	<b><math>\pi</math></b>	<b><math>\sqrt{\pi} = 1,7725</math></b>

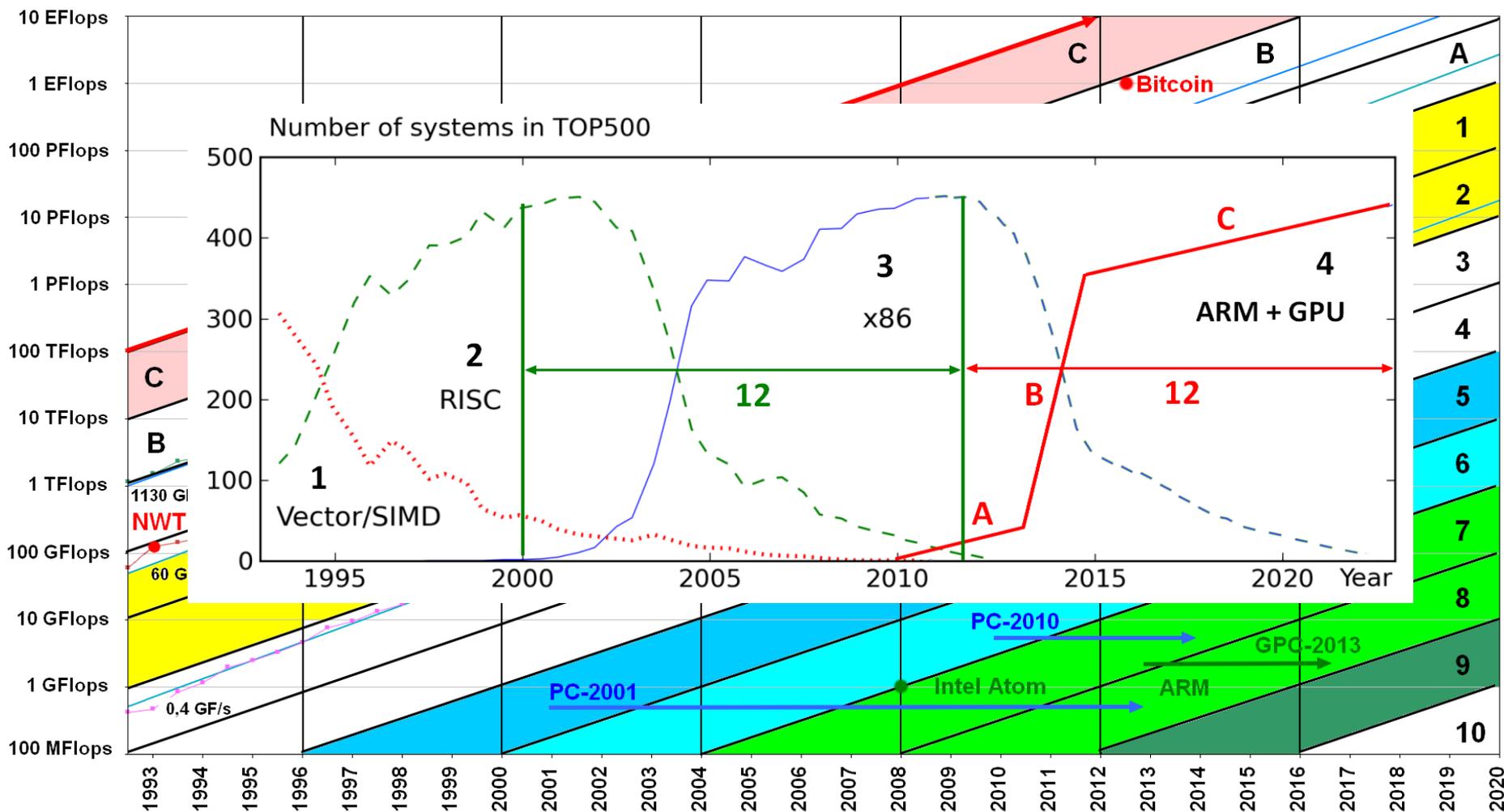


## Возможность построения «периодической системы» основных макрозакономерностей роста



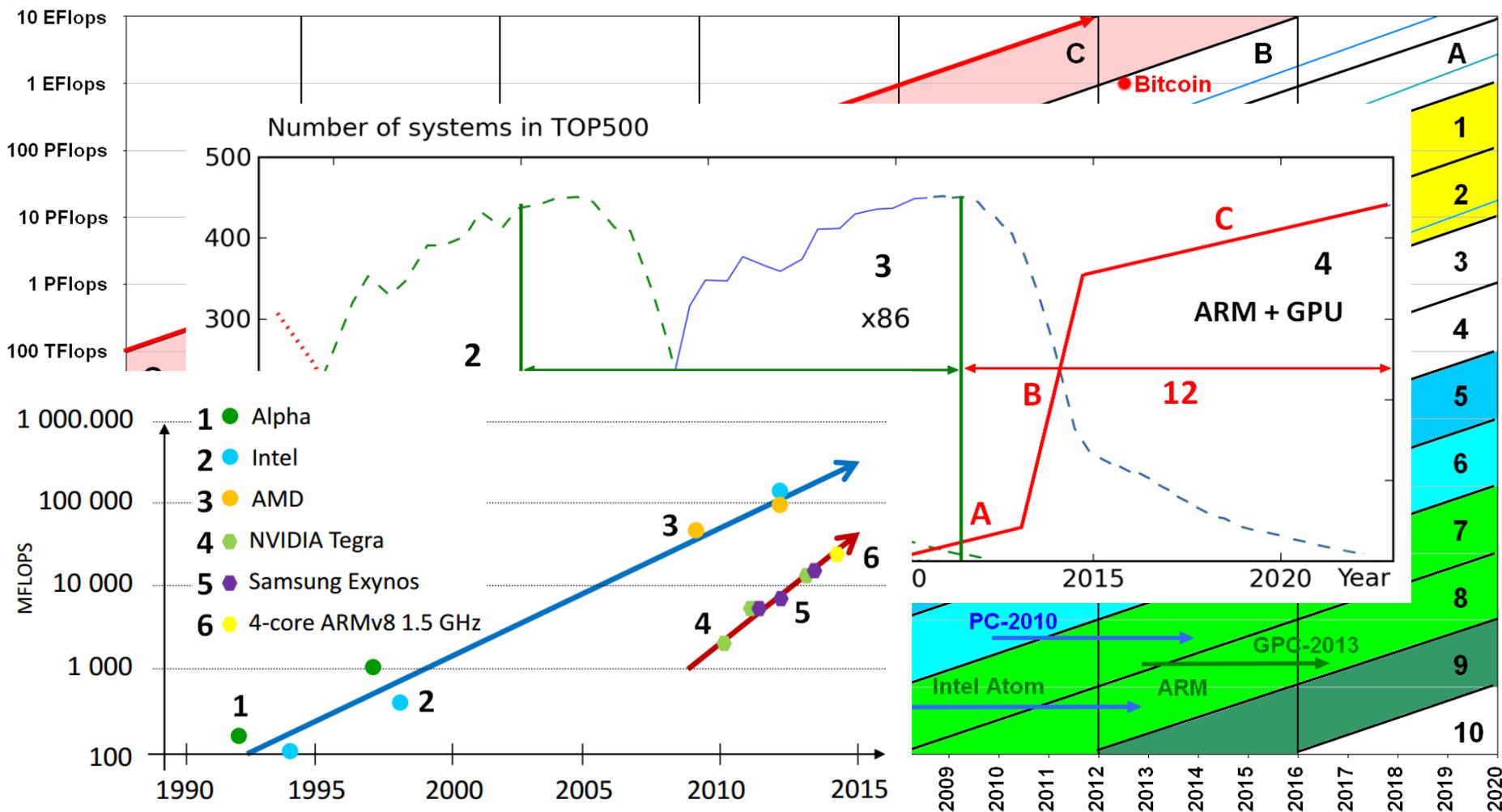


## Периодическая система основных закономерностей роста: 4 года и 12 лет – фундаментальные периоды изменений



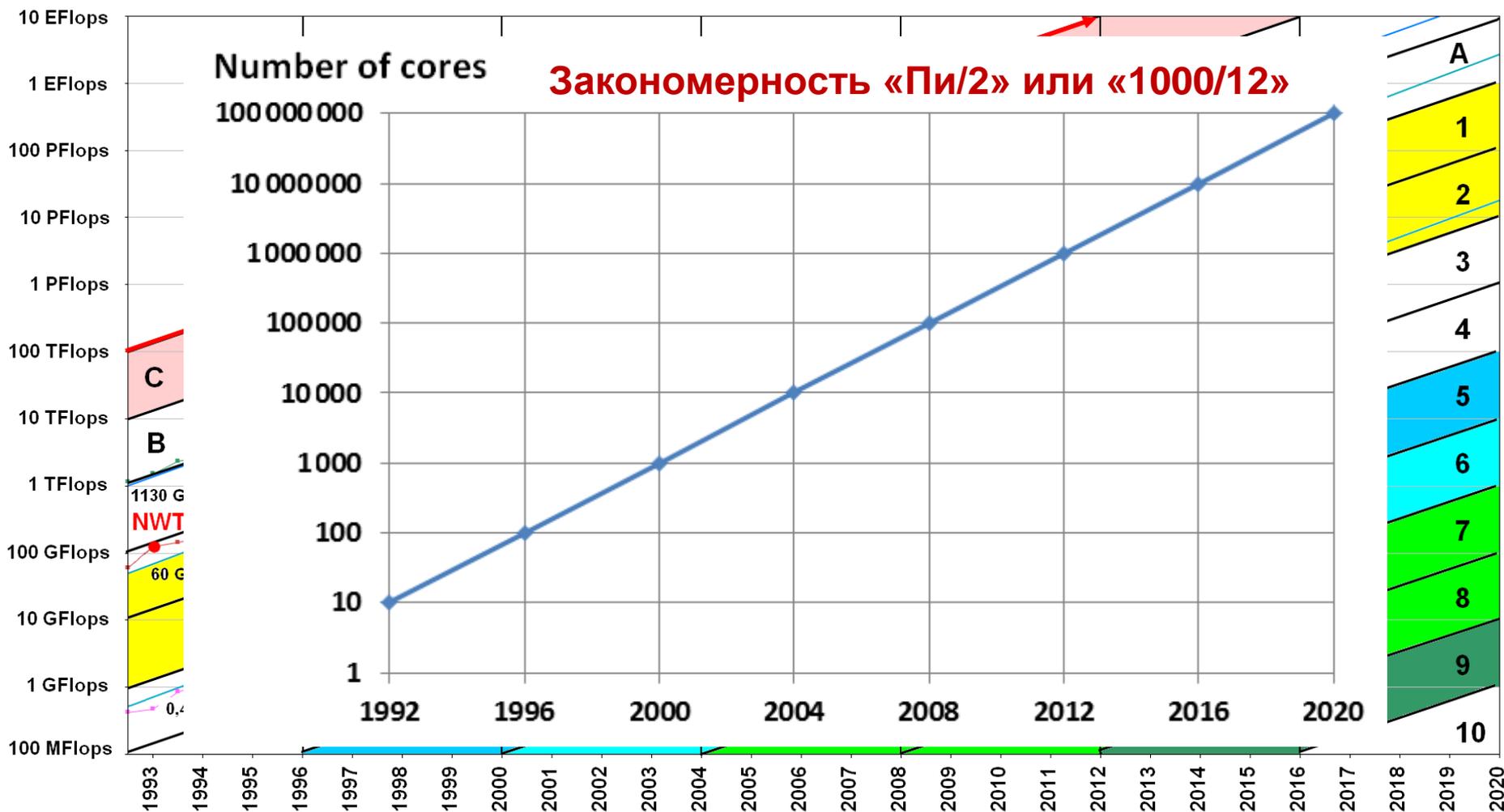


## Периодическая система основных закономерностей роста: 4 года и 12 лет – фундаментальные периоды изменений





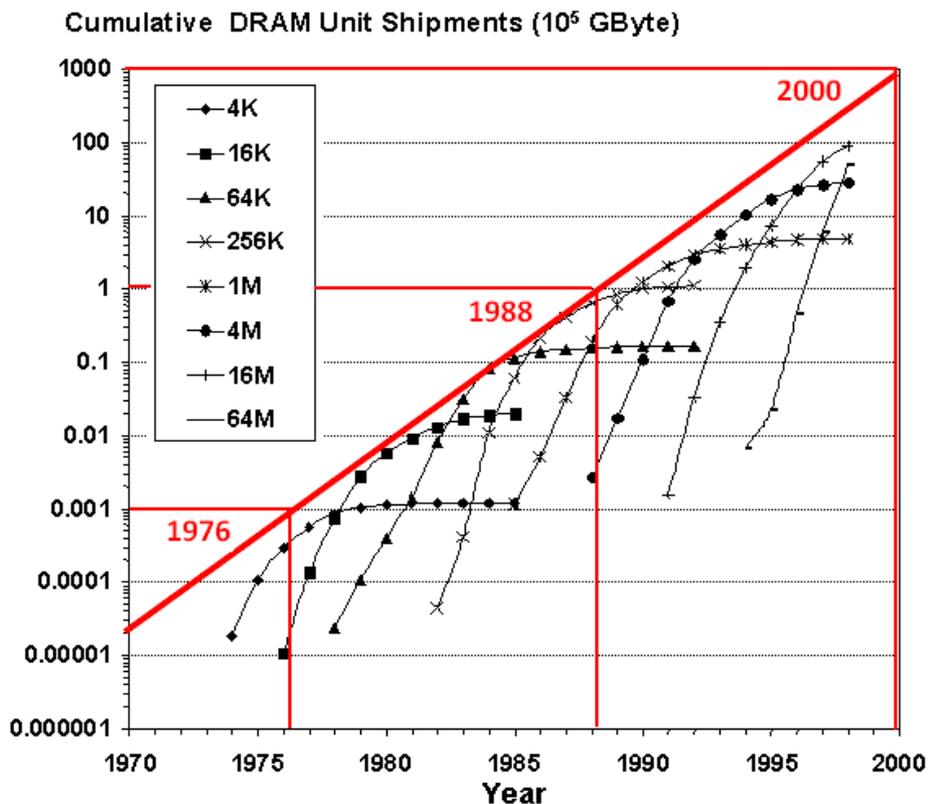
# Периодическая система основных закономерностей роста производительности: **рост количества ядер** в суперкомпьютерах





## Закономерность «Пи/2» или «1000/12»

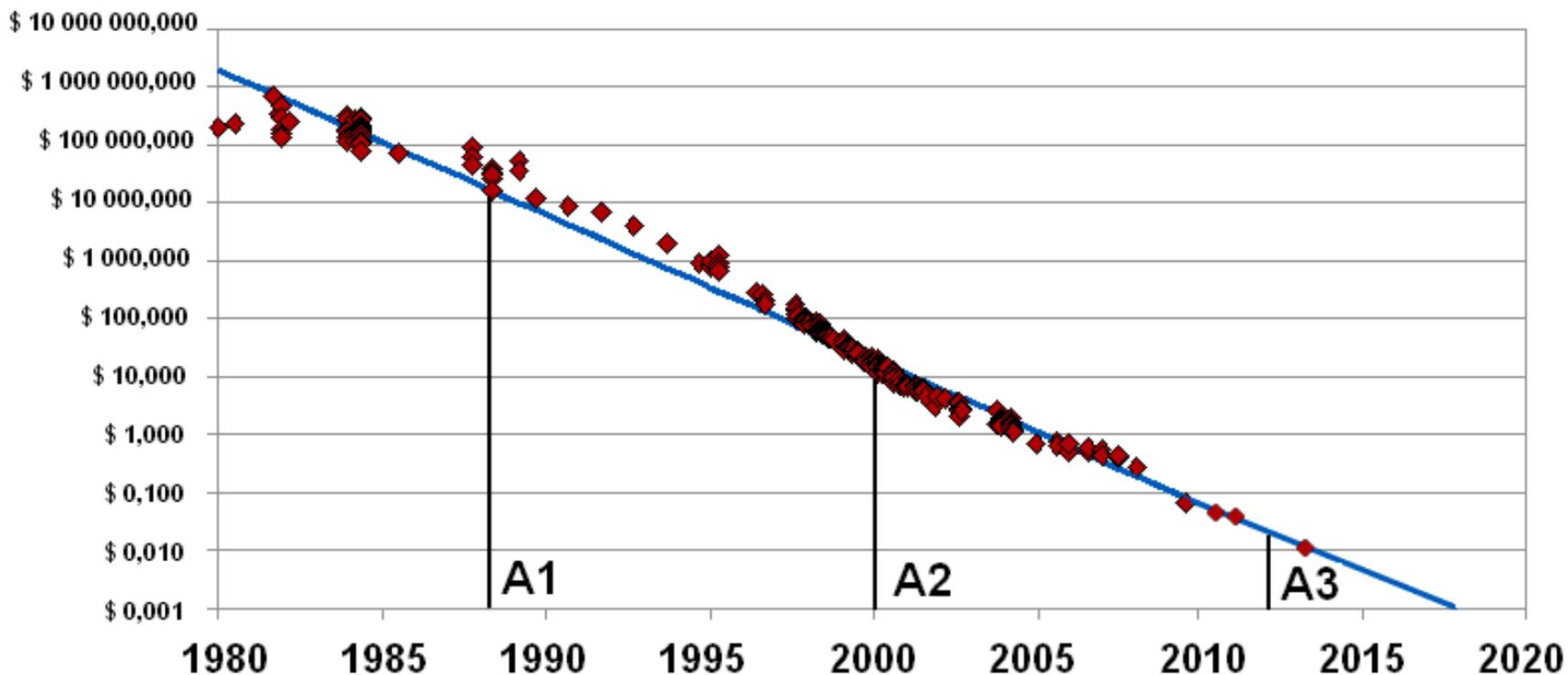
Глобальное производство микросхем оперативной памяти (RAM) основных типов реально увеличивается **в тысячу раз каждые 12 лет** или в среднем в **1,77828 раз ежегодно**





Уменьшение стоимости хранения  
гигабайта информации на внешних  
носителях (на жестких дисках) 1982-  
2020 гг.: **в тысячу раз каждые 12 лет**

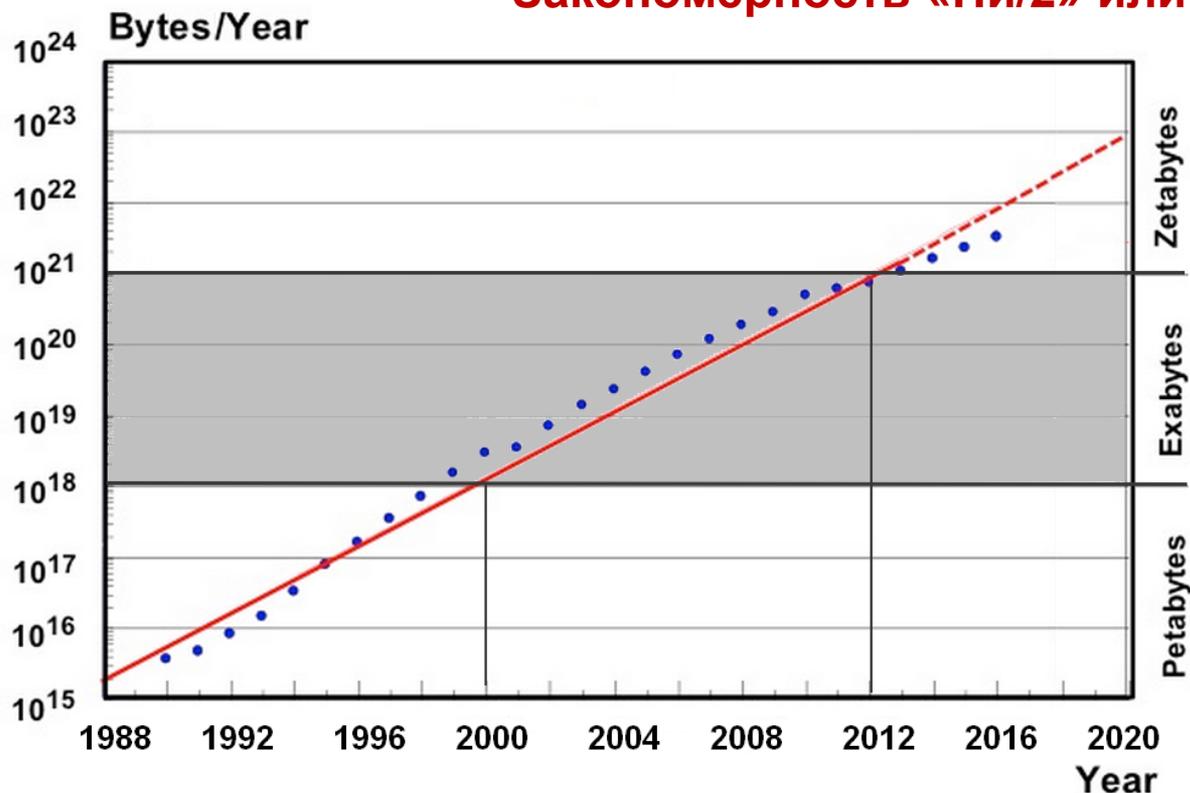
**Закономерность «Пи/2» или «1000/12»**





Глобальное ежегодное производство накопителей на жестких дисках, выраженное в виде их суммарной емкости в 1988- 2020 гг.: **рост в тысячу раз каждые 12 лет** или в **1,77828 раз ежегодно**.

**Закономерность «Пи/2» или «1000/12»**

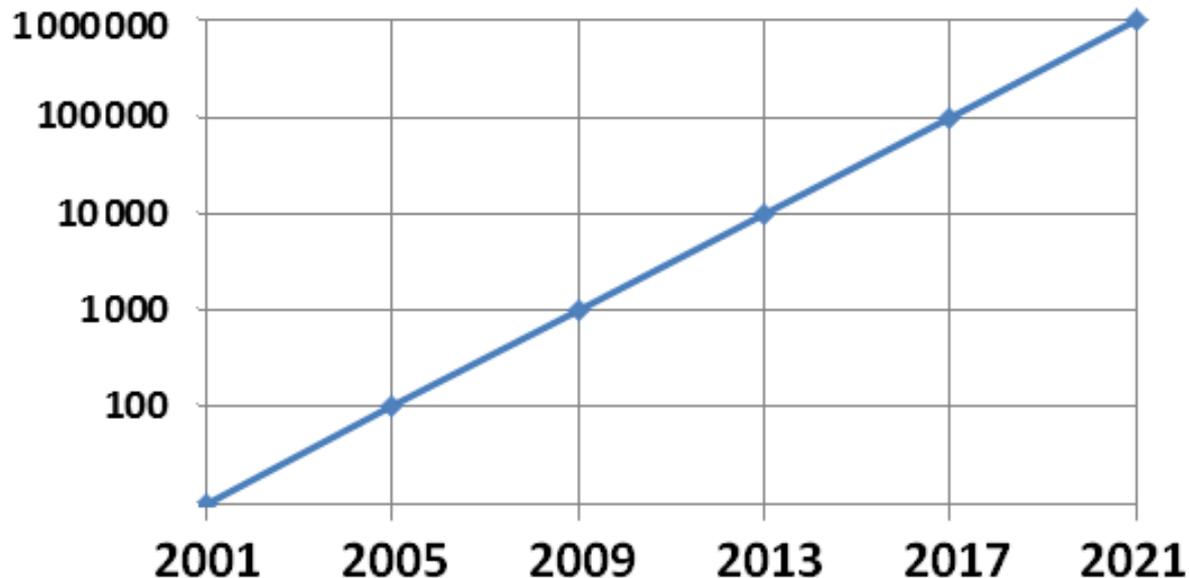




Рост количества доступных в Интернет  
прикладных программных интерфейсов (API):  
рост **в тысячу раз каждые 12 лет** или в 1,77828  
раз ежегодно.

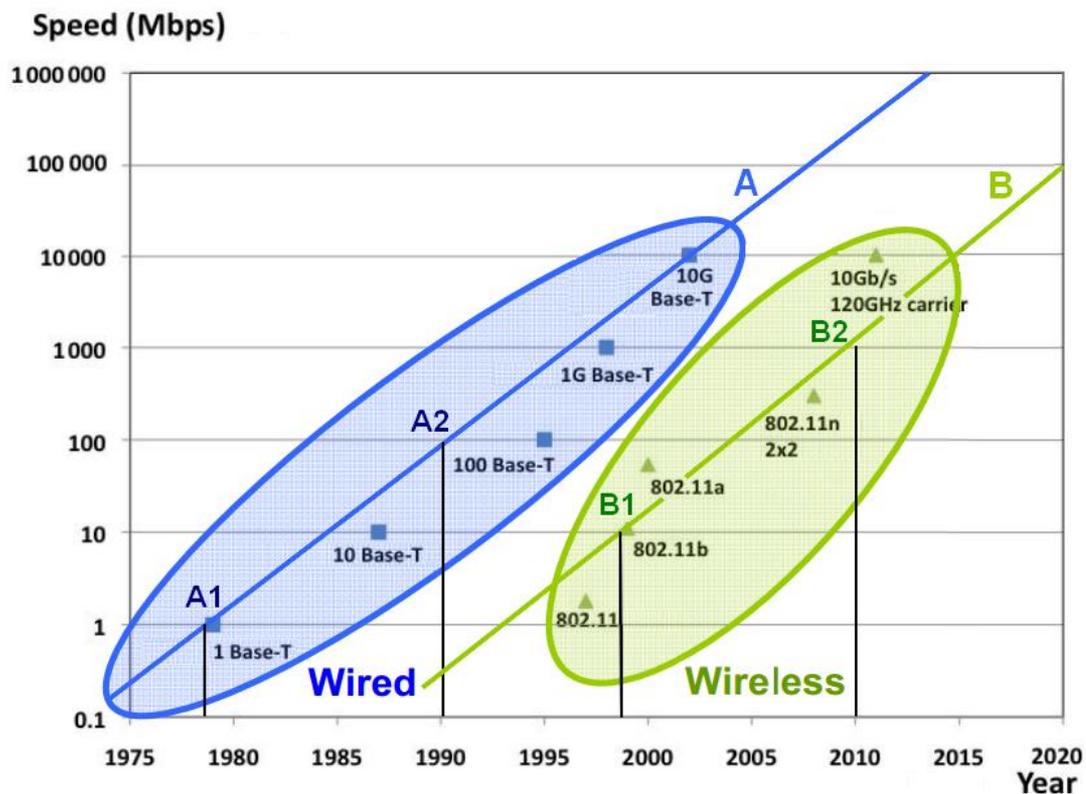
Total APIs

Закономерность «Пи/2» или «1000/12»





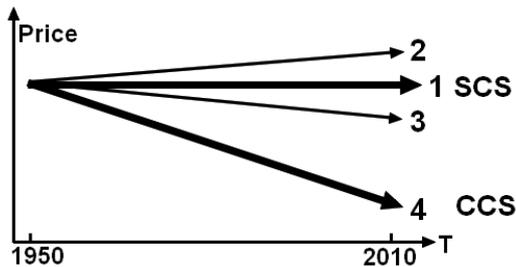
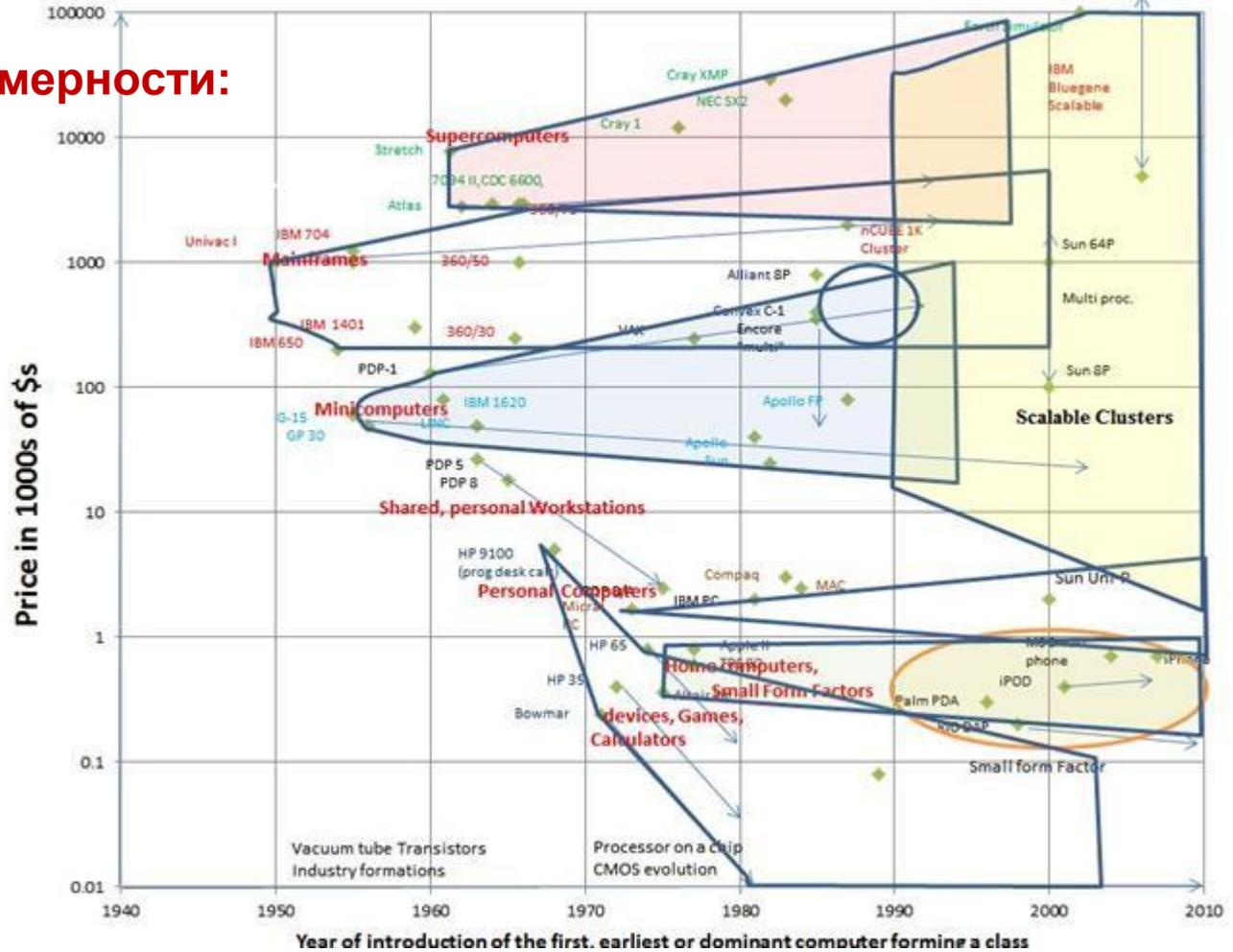
Периодическая система роста  
производительности проводных (wired) и  
беспроводных (wireless) систем  
компьютерной связи: **рост на 2 порядка за  
12 лет**





## Макрозакономерности:

«Закон Белла  
для рождения и  
смерти  
компьютерных  
классов» (1972,  
2008, 2010...)



Bell's law: 1 January 2008

Bell's Law of Computer Classes, formulated by Gordon Bell in 1972, which describes how computer classes form, evolve, and may eventually die.



## Кто такой Белл?

Работая в компании DEC (основана в 1957 году), Гордон Белл совершил настоящую революцию в электронике, положив начало эре миникомпьютеров (фактически: **создатель класса миникомпьютеров**).

Компьютеры Белла: PDP-4, PDP-5, PDP-6, PDP-8, PDP-10 и PDP-11 (1970: UNIX)

**Programmed Data Processor**





**Аноприенко**  
Александр Яковлевич

Система закономерностей  
развития средств и методов  
компьютинга



Кто такой Белл?



*«Белл - один из  
наиболее важных  
мыслителей  
нашей отрасли»*





**Аноприенко**  
Александр Яковлевич

Система закономерностей  
развития средств и методов  
компьютинга



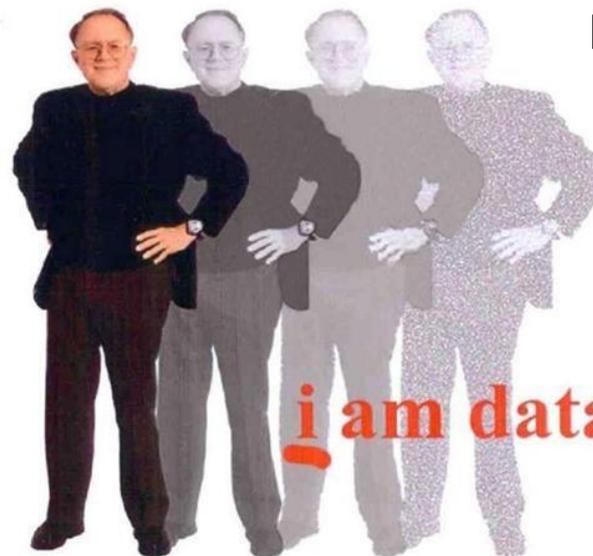
HOW THE **E-MEMORY** REVOLUTION  
WILL CHANGE EVERYTHING



**TOTAL RECALL**



**GORDON BELL AND JIM GEMMELL**  
FOREWORD BY **BILL GATES**



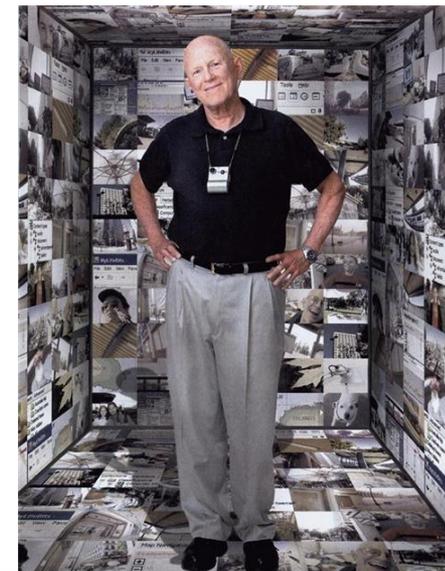
Кто такой  
Белл?

**MyLifeBits**  
project

1 October  
1998

First scans

**1GB**  
per month





projectgreenwich.research.microsoft.com



## Кто такой Белл?

SIGN IN



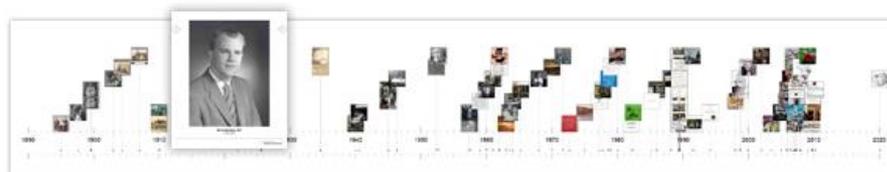
**Project Greenwich** is a website that allows you to create *timelines* of any subject you want. Using the site you can show how a historical event evolved, how a place changed, or even how your own life has developed.

 Sign in with Facebook.

Note: We are currently in "open alpha", which basically means that you are free to use the site, but we have lots more work to do on it yet!

Project Greenwich is a research project from the [Socio-Digital Systems](#) team in Microsoft Research, and not an official Microsoft product.

View [the life of Gordon Bell](#), a senior scientist in Microsoft Research.





**Аноприенко**  
Александр Яковлевич

Система закономерностей  
развития средств и методов  
компьютинга



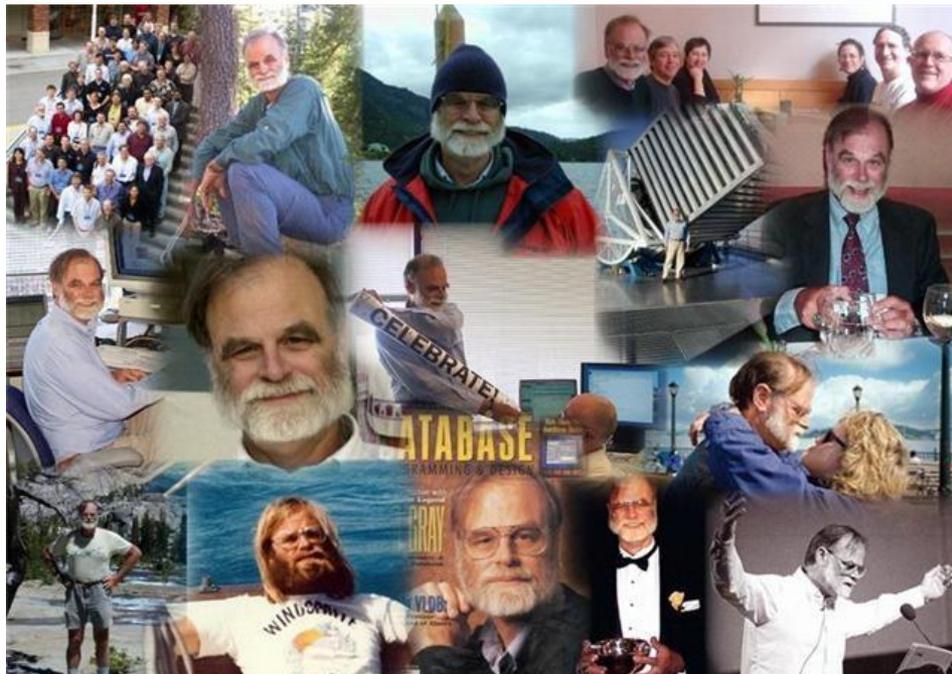
Кто такой Белл?

**Белл** и его коллеги...

**Jim Gray**

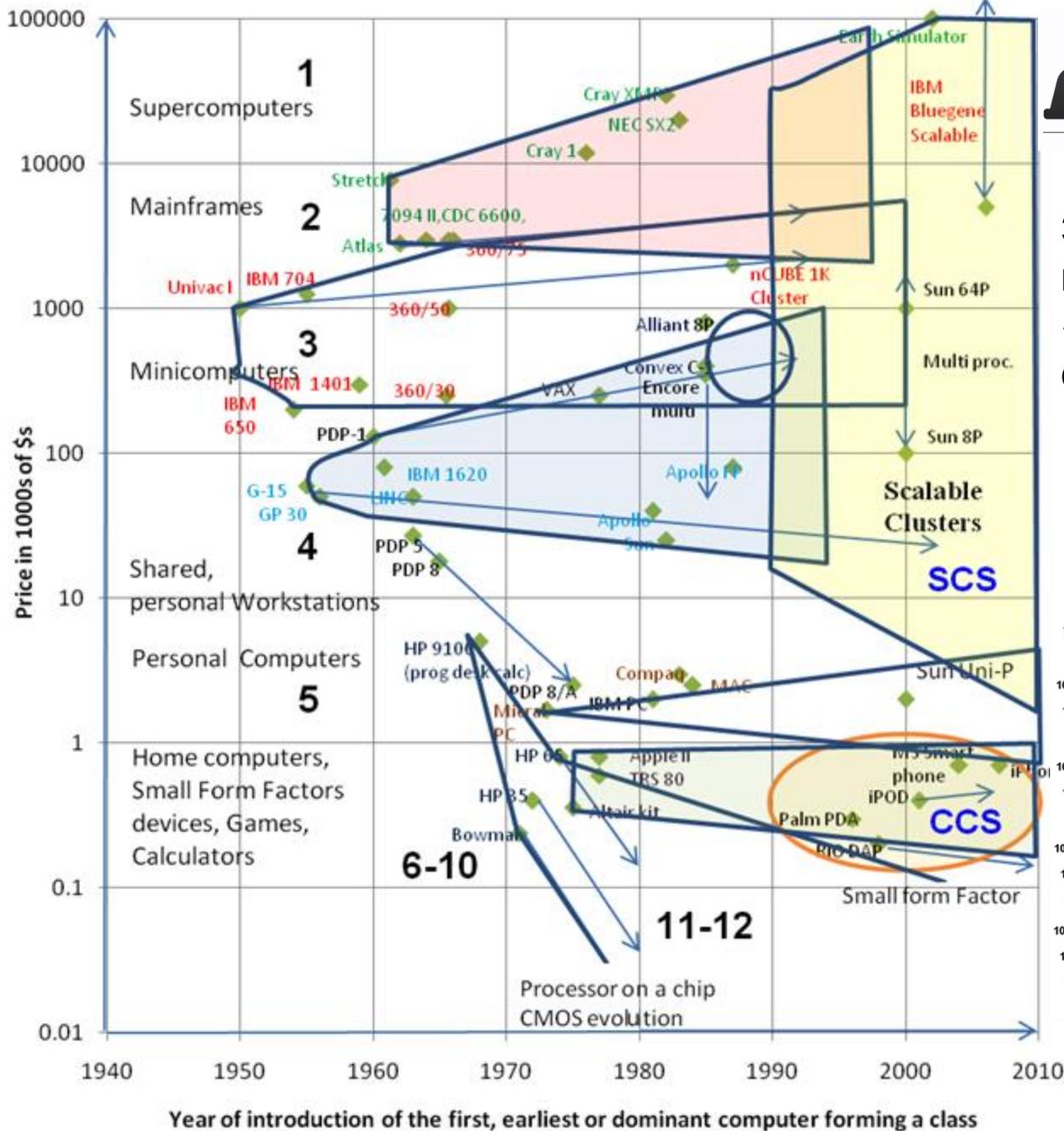
28 January 2007

Jim was lost at sea

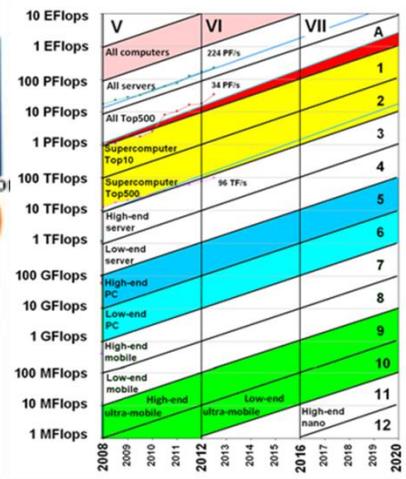
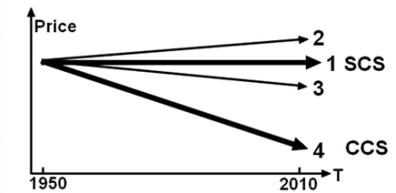


Профессор  
**А. Ройтер**  
среди  
участников  
семинара в  
ДонНТУ в  
ноябре 2013  
года





## Закон Белла и классы «периодической системы»



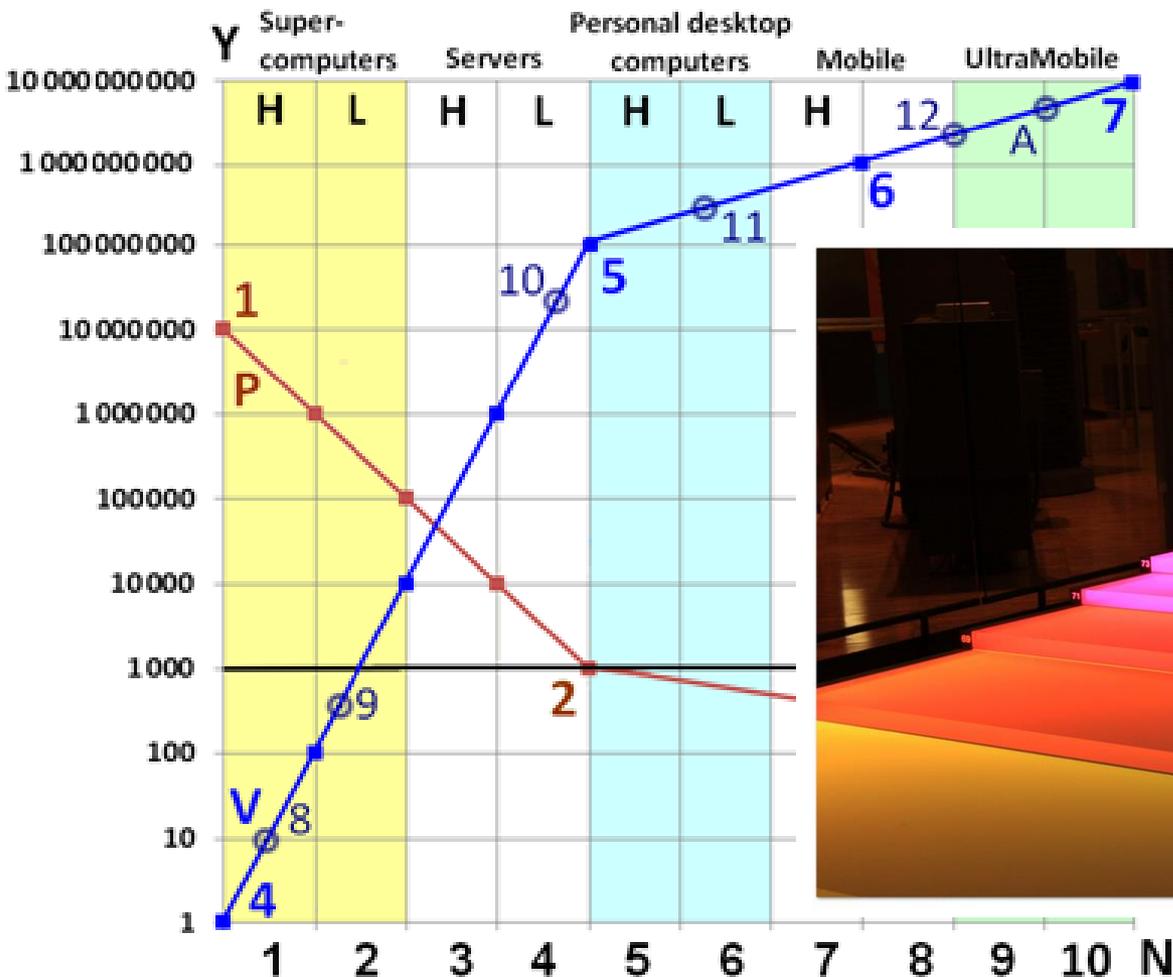
Year of introduction of the first, earliest or dominant computer forming a class



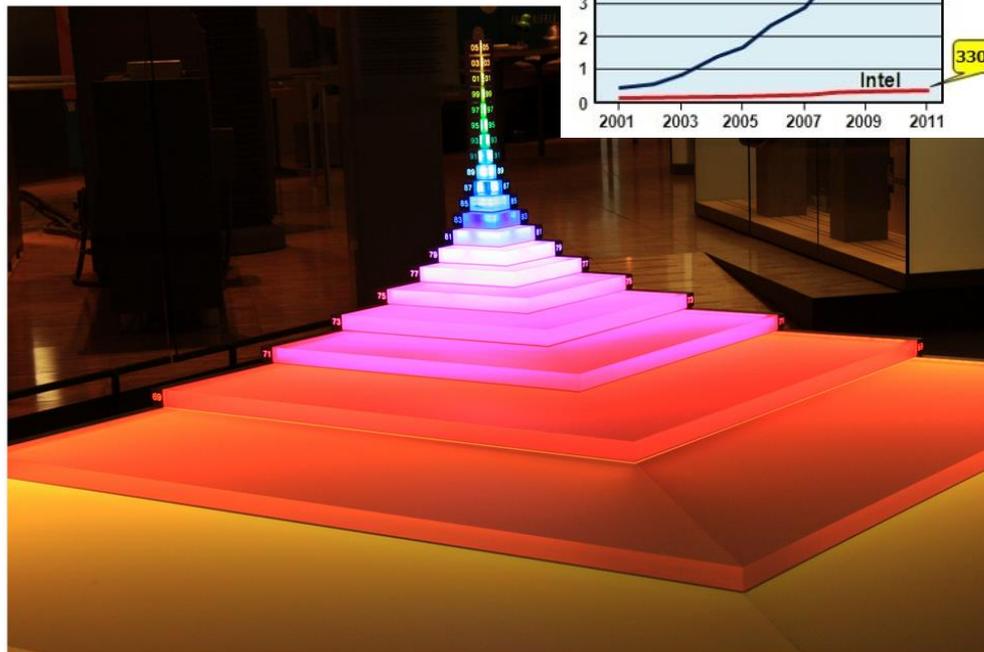
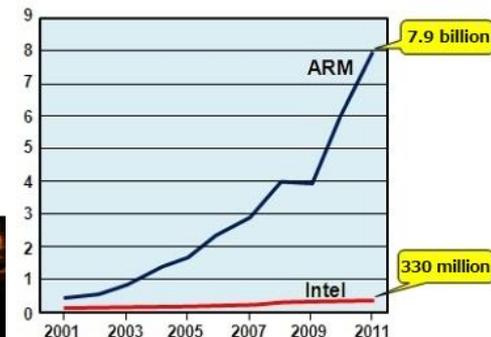




**Стоимость (P) и объем производства (V)**  
различных классов компьютеров (8-12 – данные 2010 года)

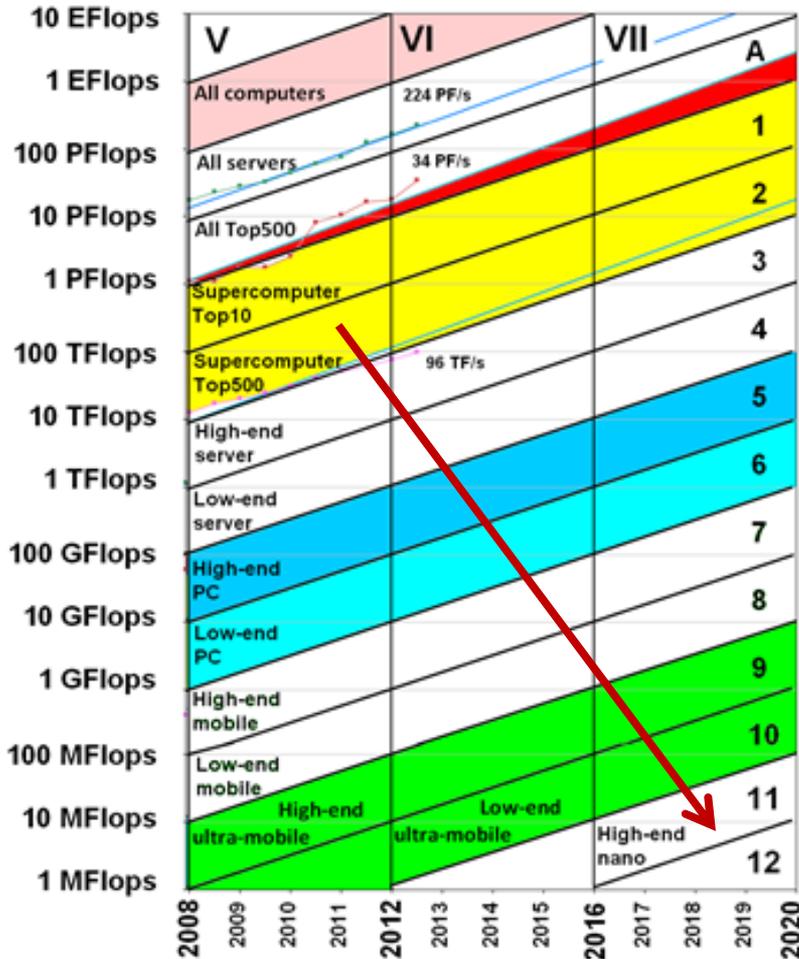


Number of chips sold (billions)

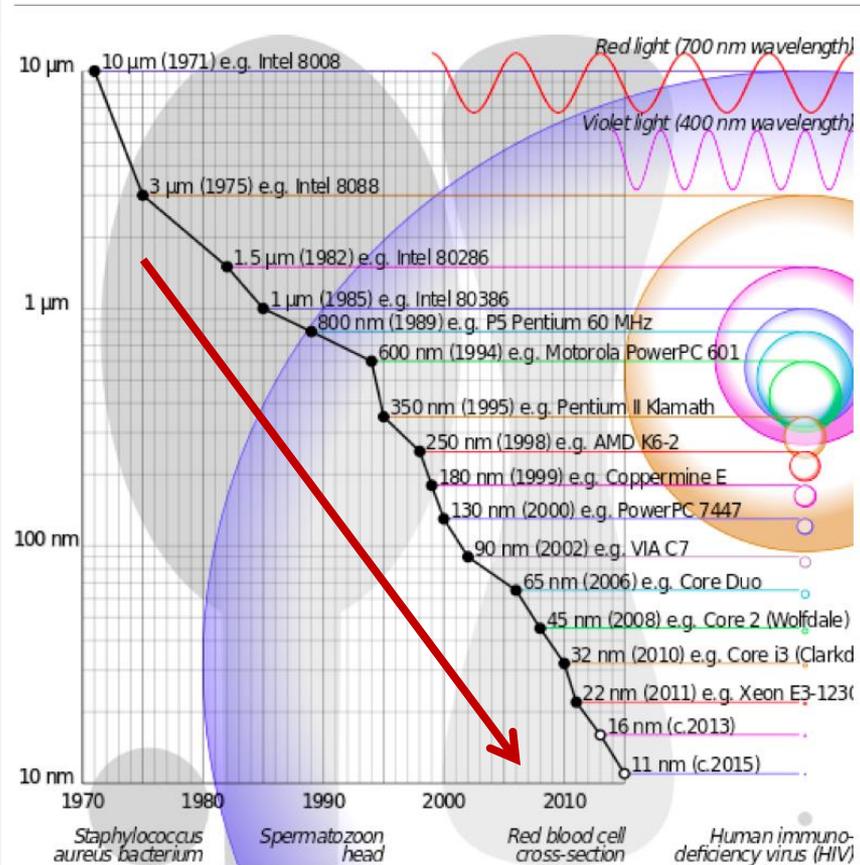




**Экзафлосная гонка:  
10<sup>18</sup> к 2018 году**

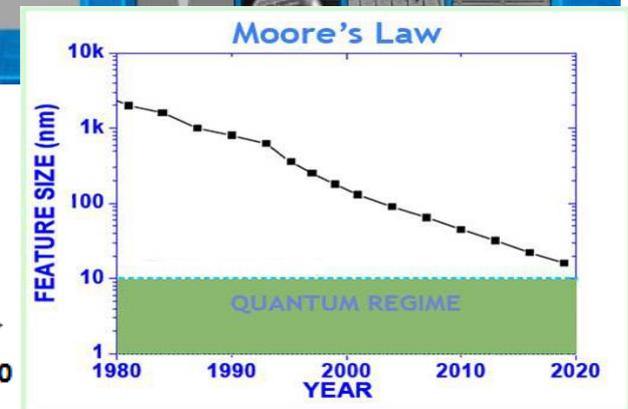
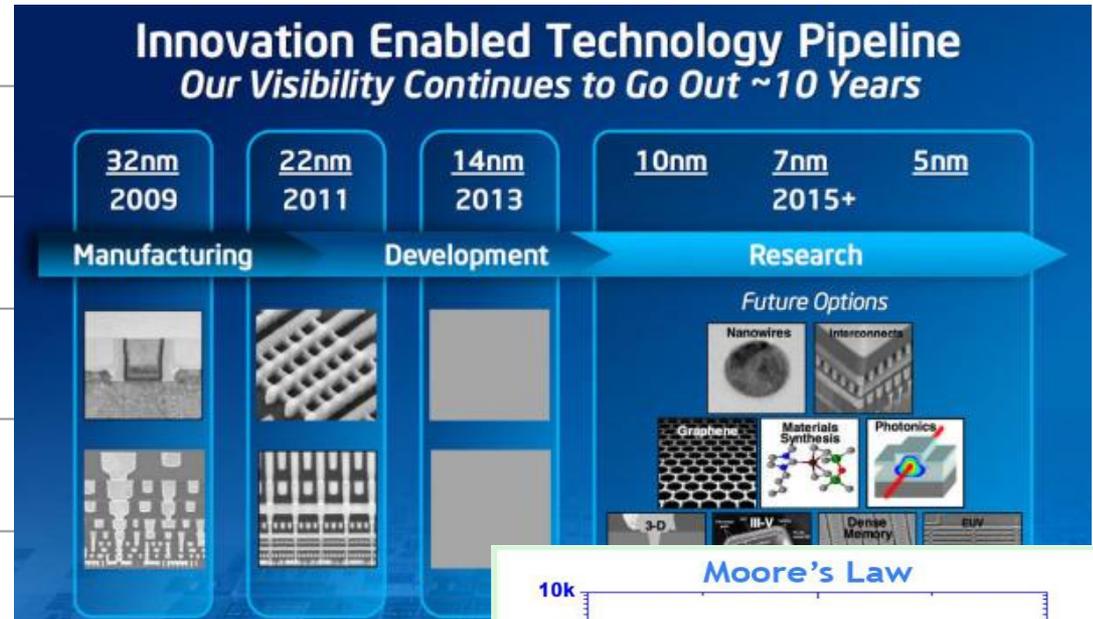
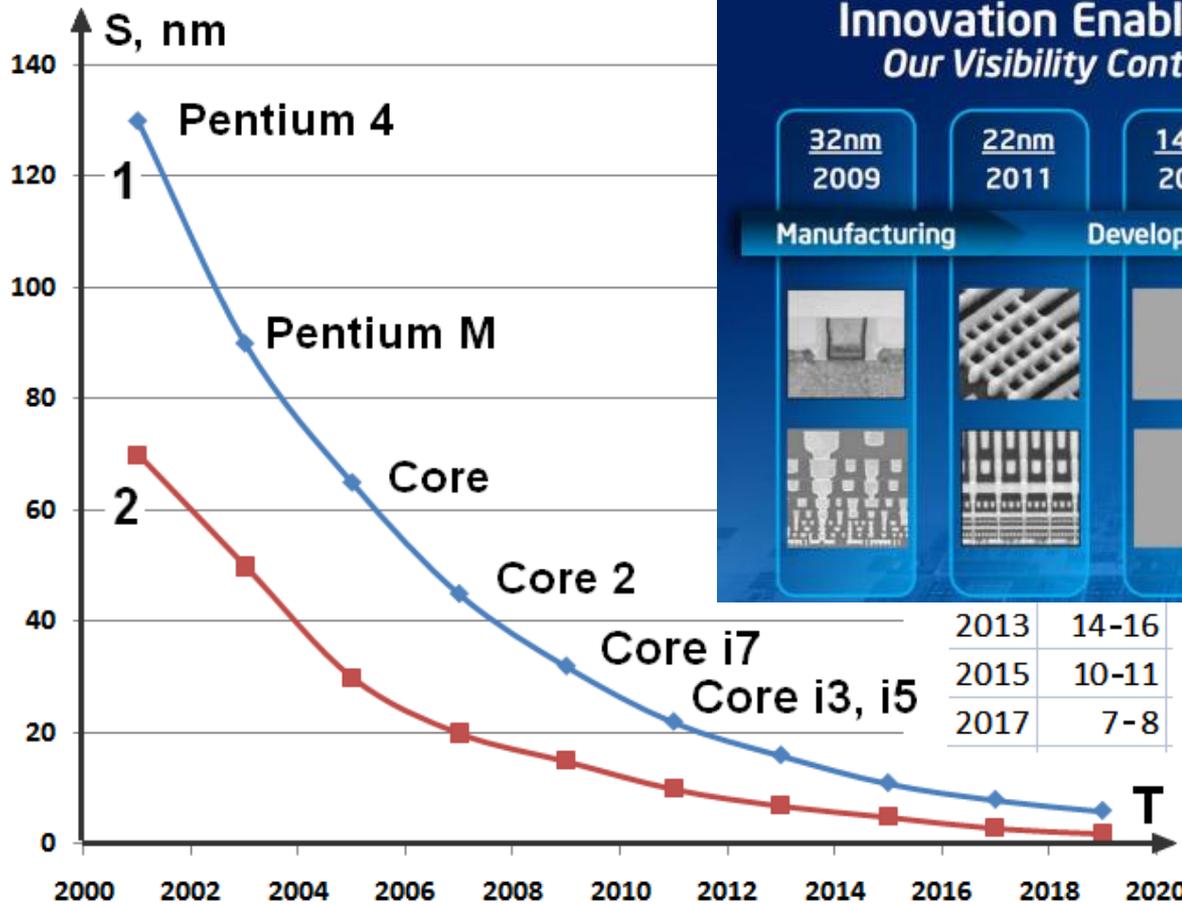


**Формирование класса  
нанокomпьютеров к 2016 году**



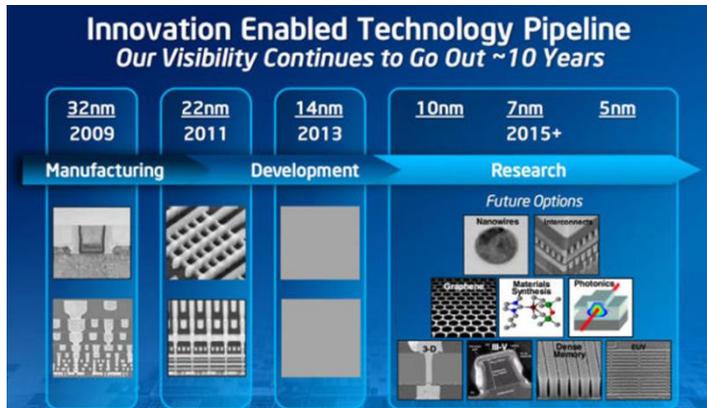
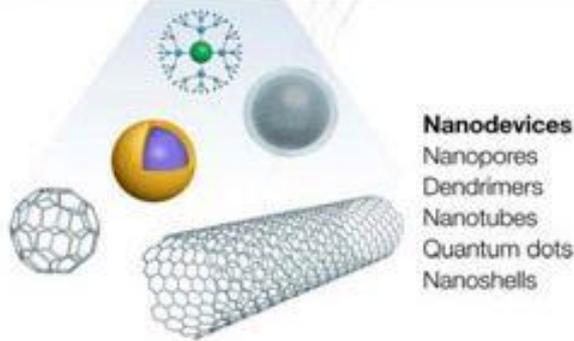
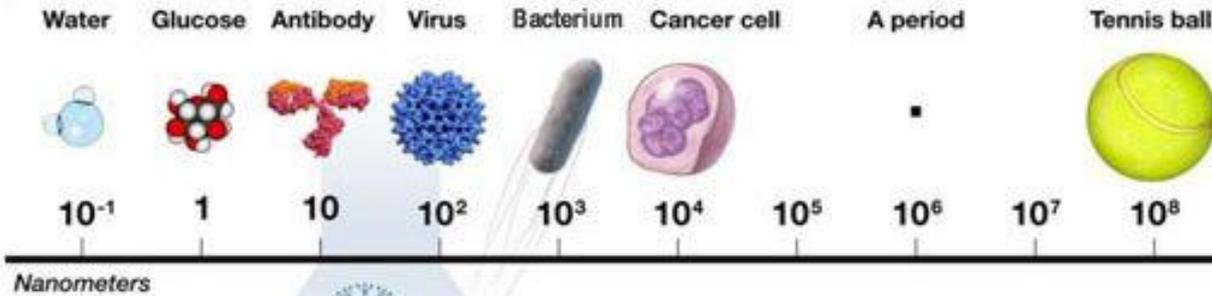


«Закон Мура 1975» в действии: уменьшение проектных норм микропроцессоров фирмы Интел в среднем **в 2 раза каждые 4 года** (в 1,4 каждые 2 года) в 1993-2018 гг. (основа 4-летнего цикла)

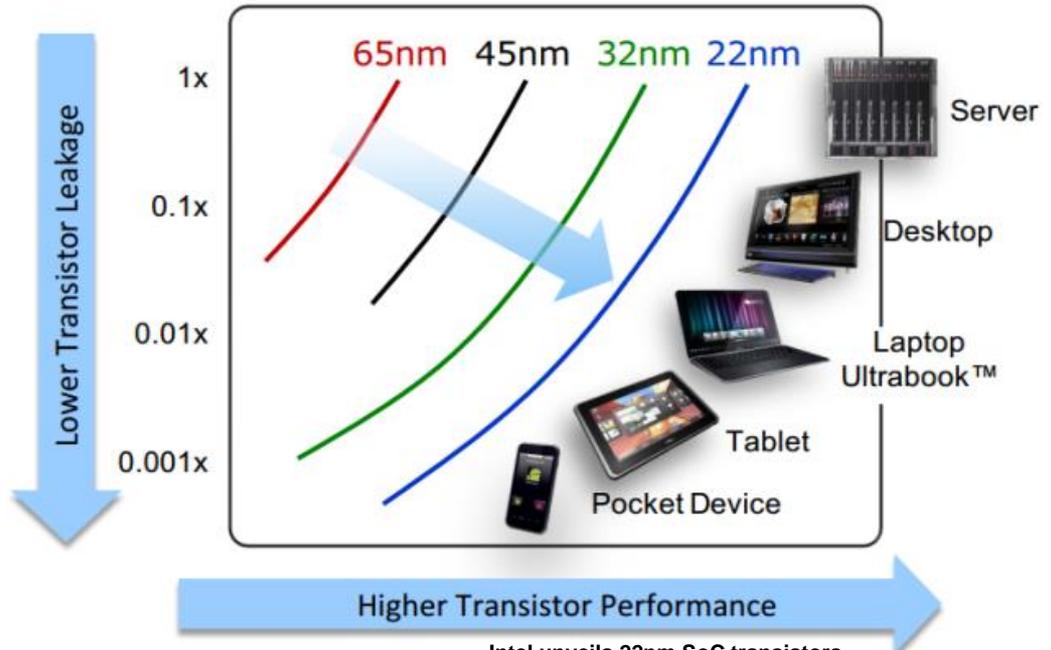
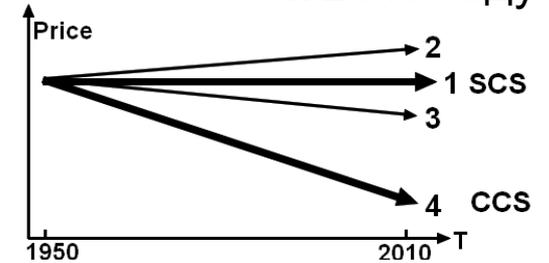




## Макрозакономерности:



## Формирование класса НАНОКОМПЬЮТЕРОВ к 2016 году



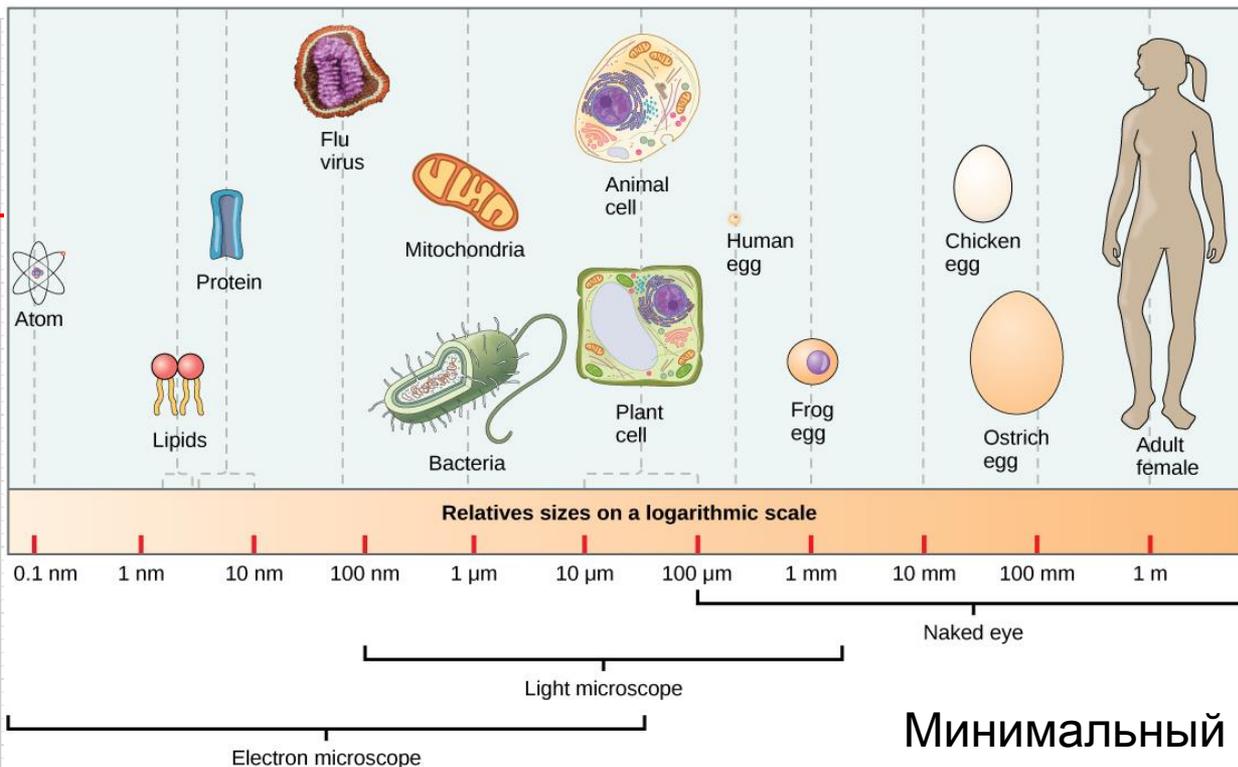
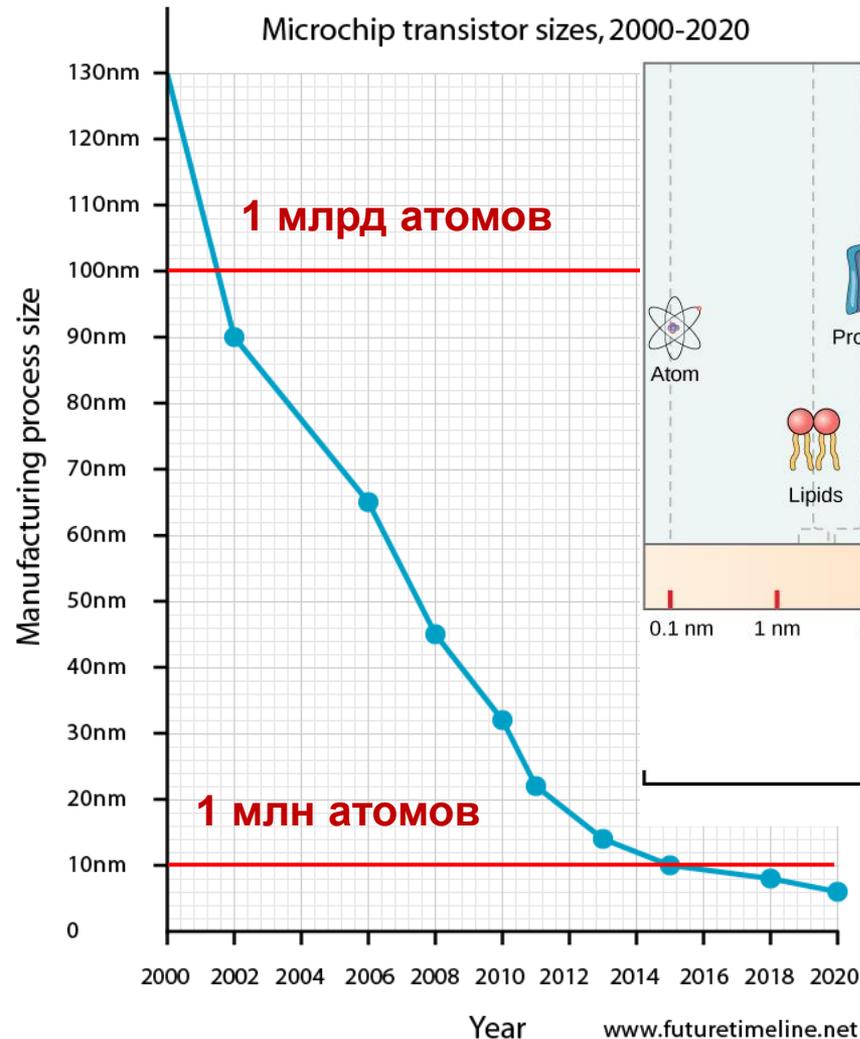
Intel unveils 22nm SoC transistors, while TSMC and GlobalFoundries plan risky process jumps  
By Joel Hruska on December 10, 2012



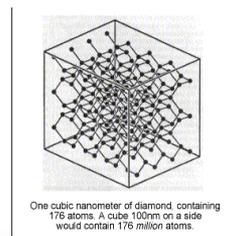
**Макрозакономерности:**

**Формирование класса  
нанокomпьютеров к 2016 году**

Microchip transistor sizes, 2000-2020



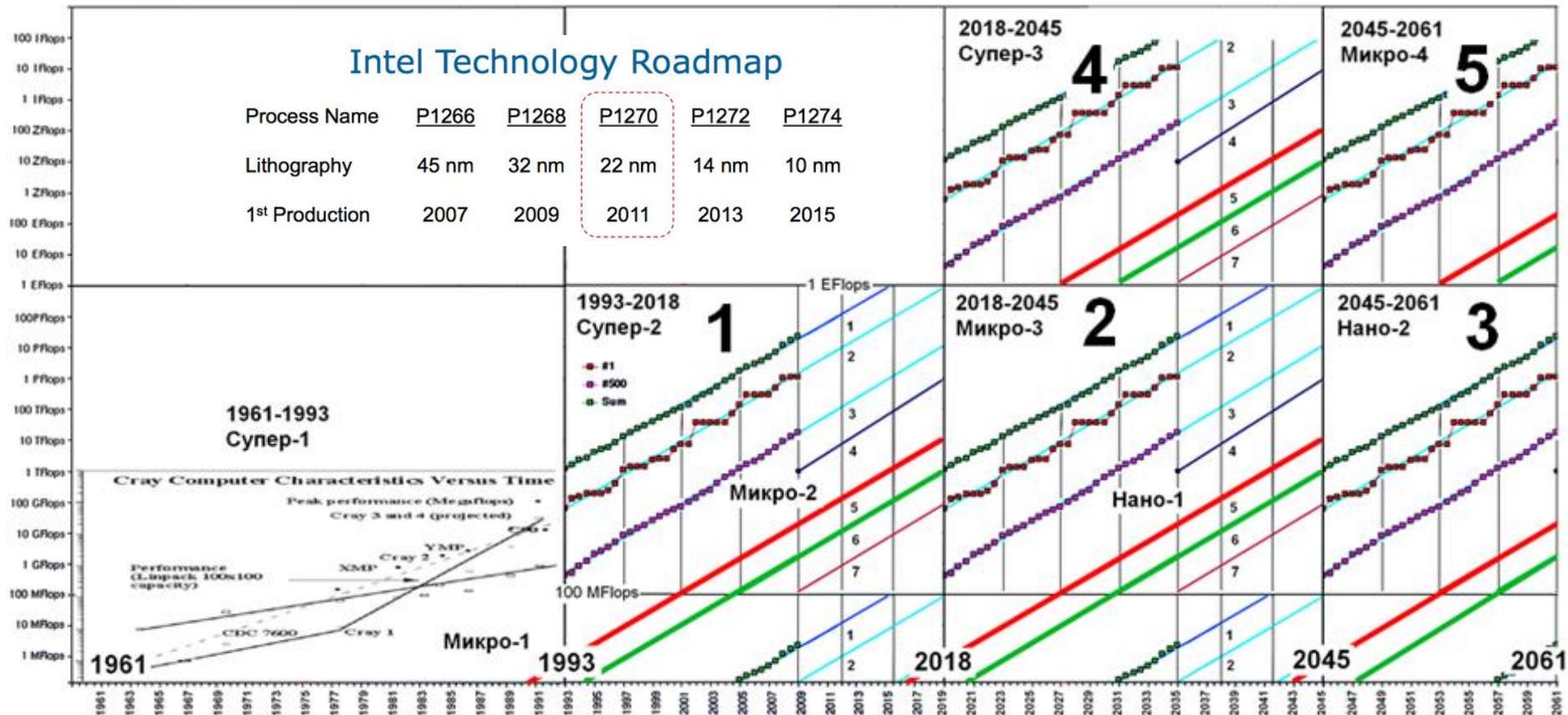
**1 нм = 1 тыс атомов**



**Минимальный  
программируемый  
процессор:  
1 тыс транзисторов  
(активных элементов)**

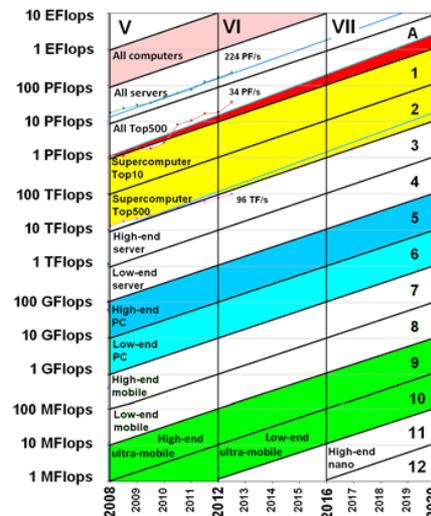


## Пределы экстраполяции «периодической таблицы» на прошлые и будущие периоды? («столетний» вариант 2011 года)



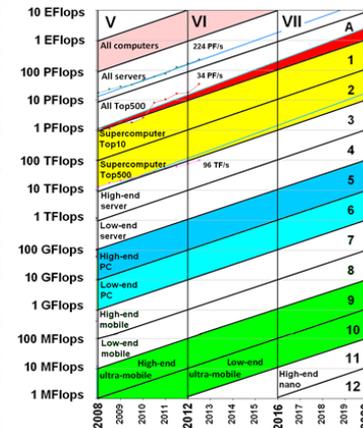
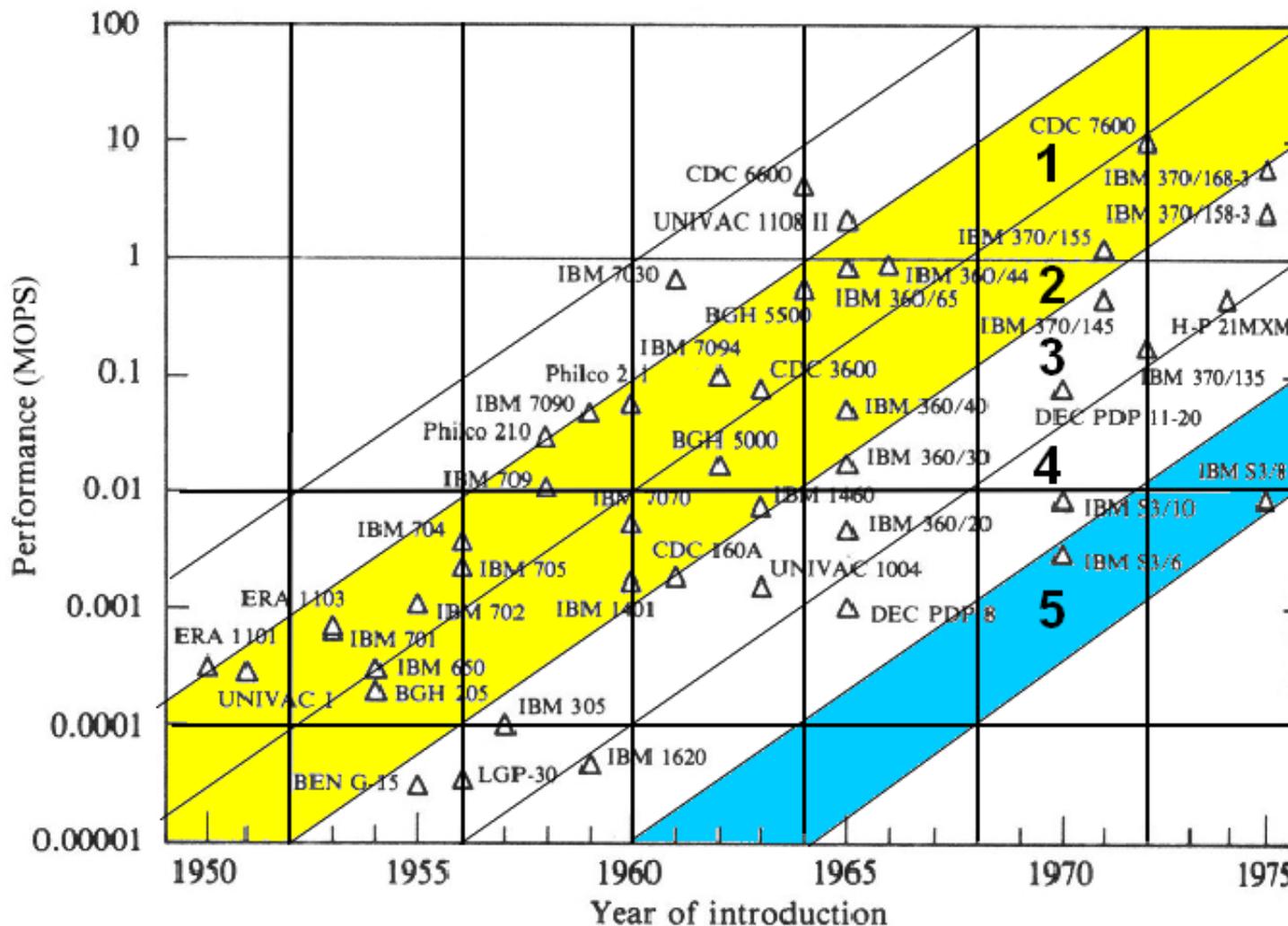


Экстраполяция «периодической таблицы» на период 70-х – 80-х





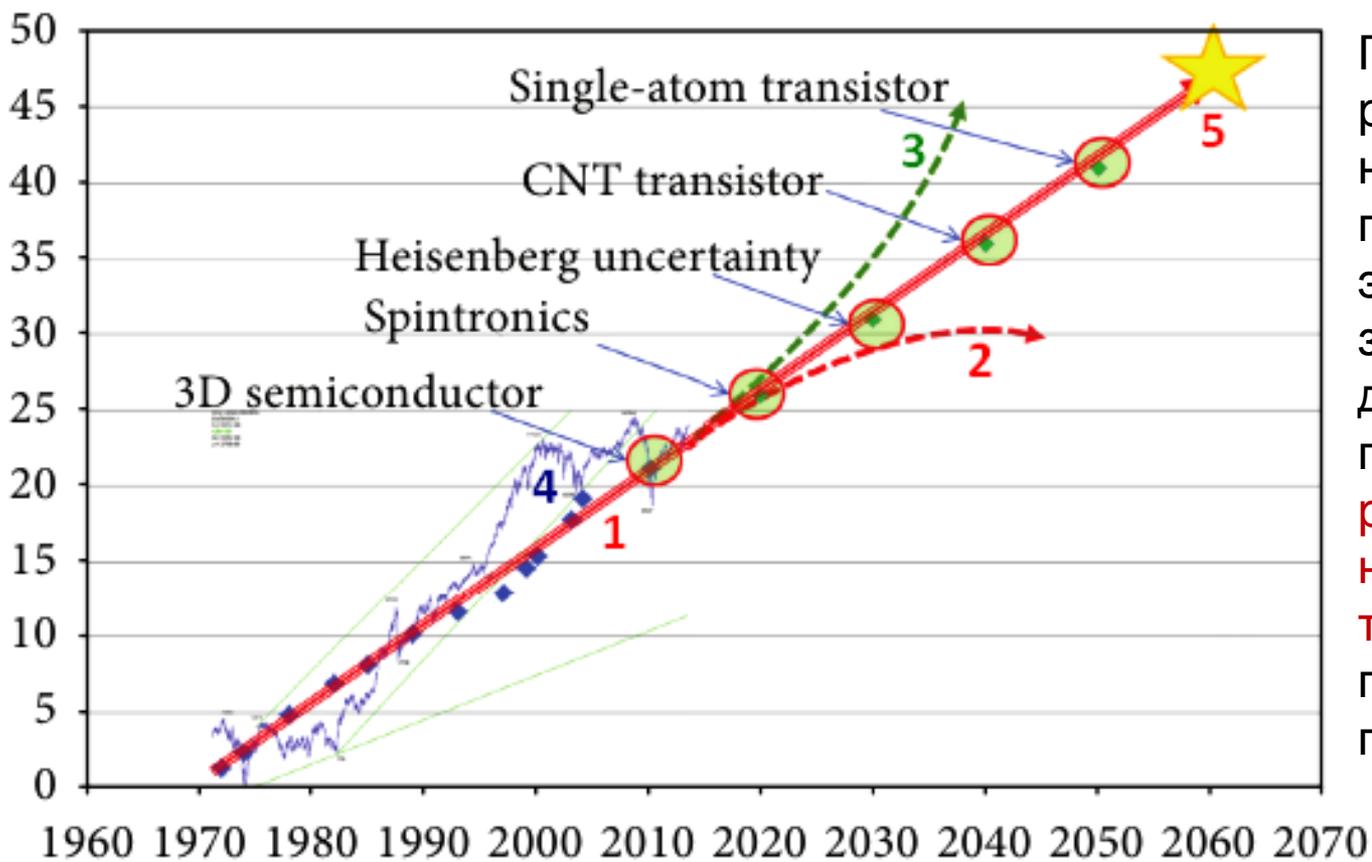
## Экстраполяция «периодической таблицы» на начальный период развития компьютеринга: 50-е – 60-е годы (MFLOPS = 100\*MOPS)





## Макрозакономерности: еще минимум 50 лет эволюции

$\log_2$  (number of transistors/1000)

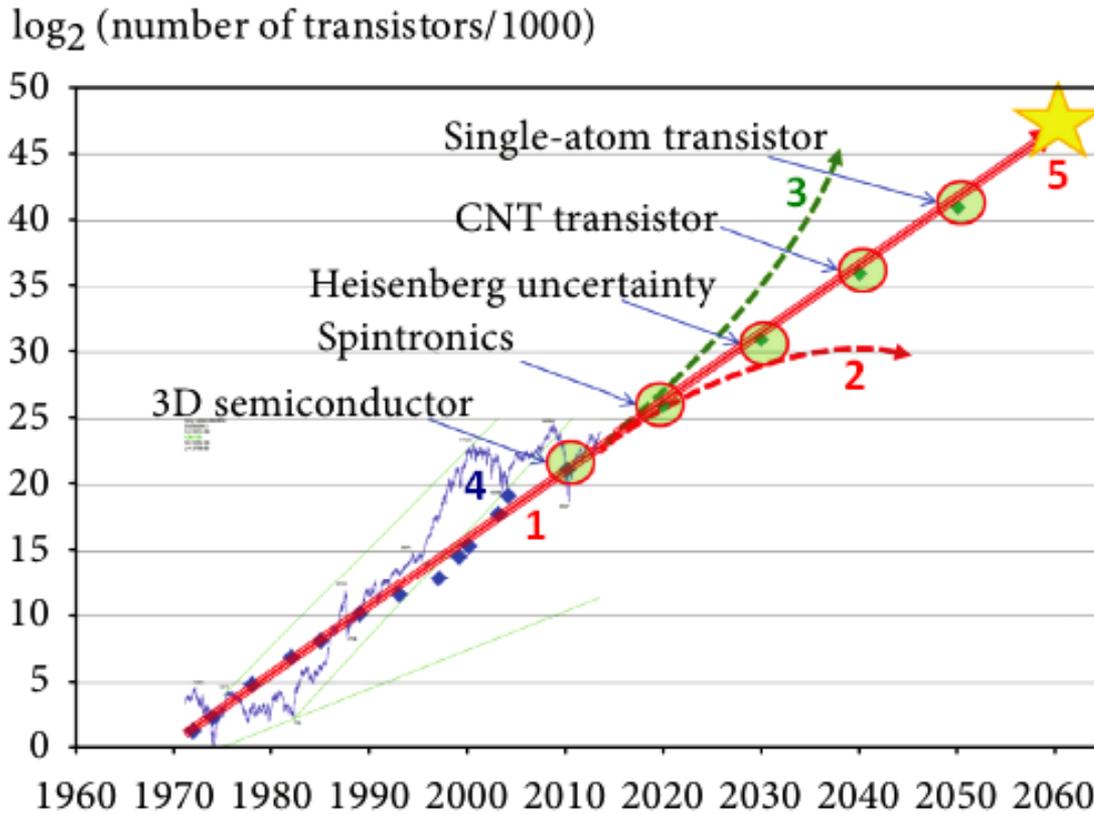


Перспективы развития нанотехнологий позволяют экстраполировать закон Мура вплоть до 2060-х годов с перспективой реализации систем на одноатомных транзисторах примерно к 2050 году



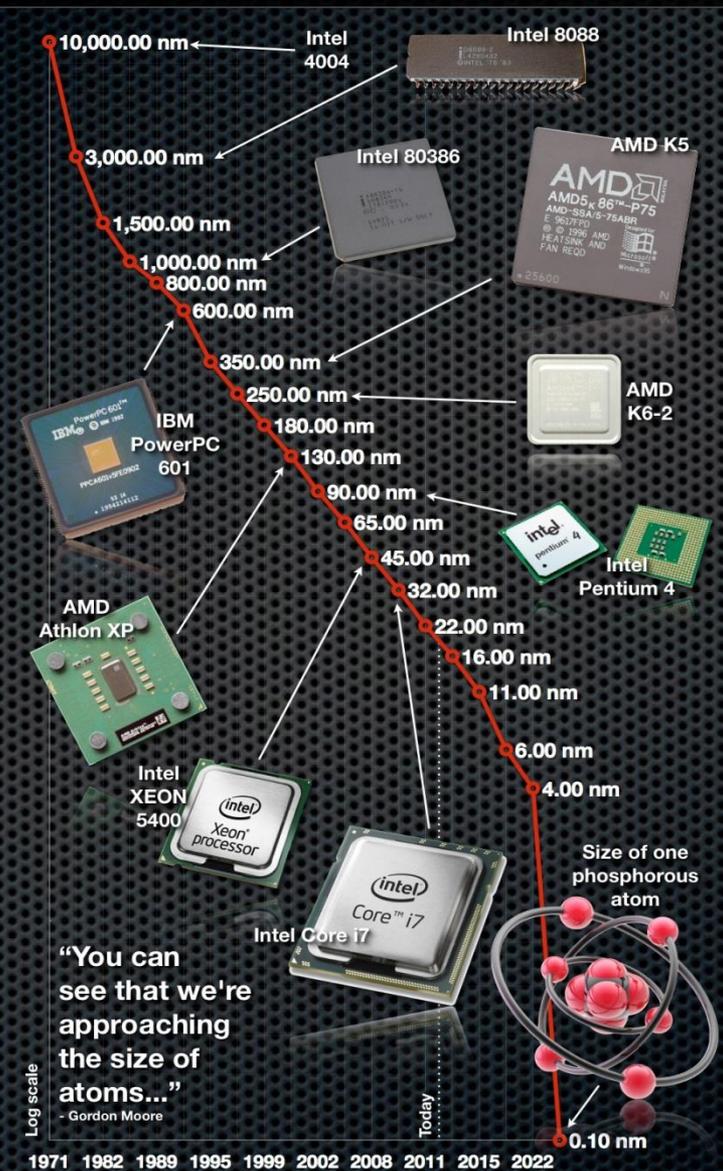
**Аноприенко**  
Александр Яковлевич

**Макрозакономерности:**  
еще минимум 50 лет  
действия закона Мура



# How small can a transistor be?

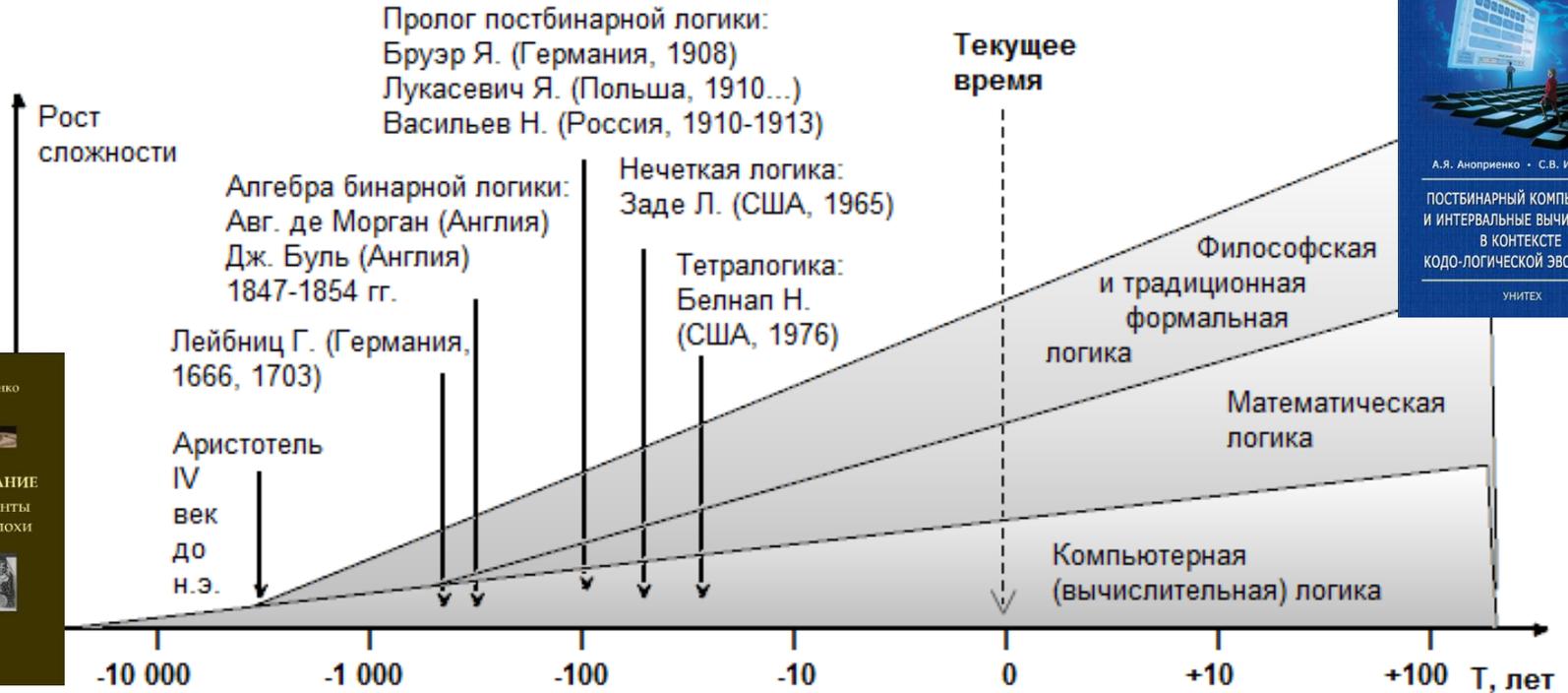
The evolution of microprocessor manufacturing processes



"You can see that we're approaching the size of atoms..."  
- Gordon Moore



## Мегазакономерности: 10 тыс лет логической эволюции



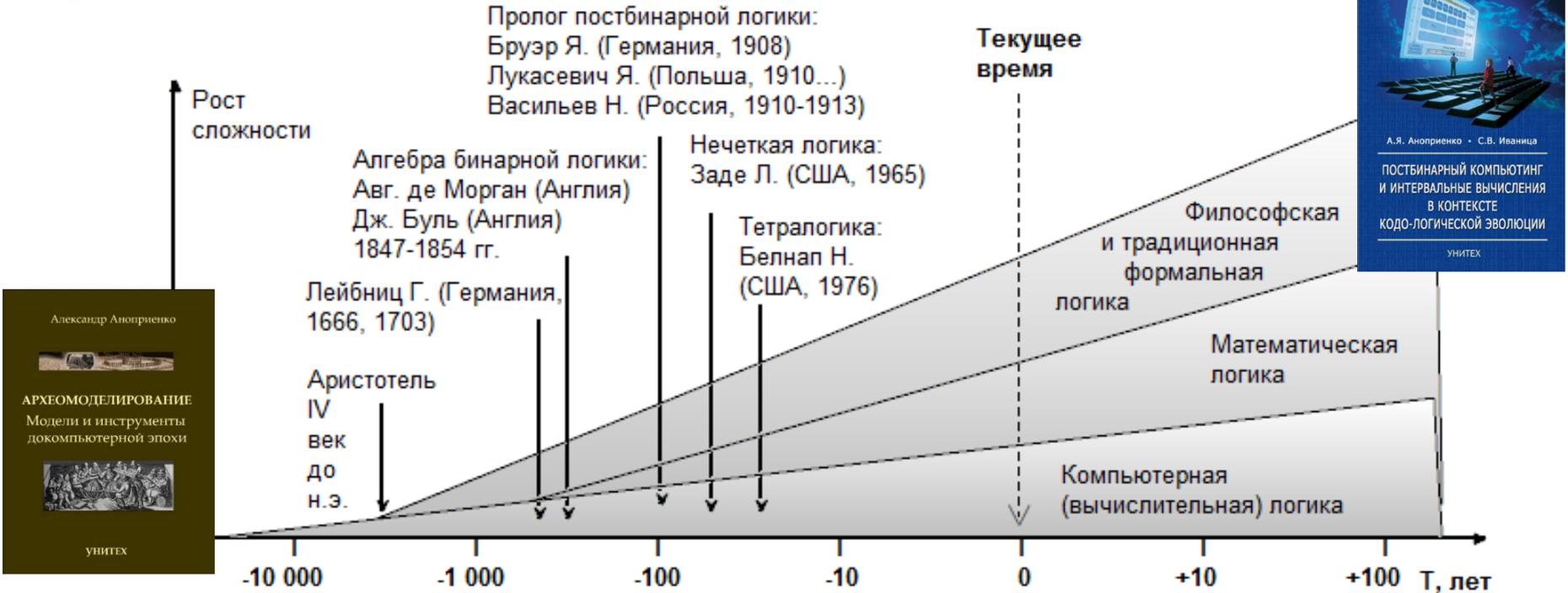
Прабинарная  
нульмерная  
логика:  
монологика  
{1}

Бинарная  
одномерная  
логика {1,0}

Постбинарная двумерная логика: тетралогика {1,0,A,M}



## Мегазакономерности: 10 тыс лет кодо-логической эволюции



Натуральные числа

Прабинарные вычисления, сводимые к монокодовому базису {1}

Действительные числа

Бинарные вычисления сводимые к двоичному базису {1,0}

Постбинарные числа

Постбинарные вычисления, сводимые к тетракодовому базису {1,0,A,M}



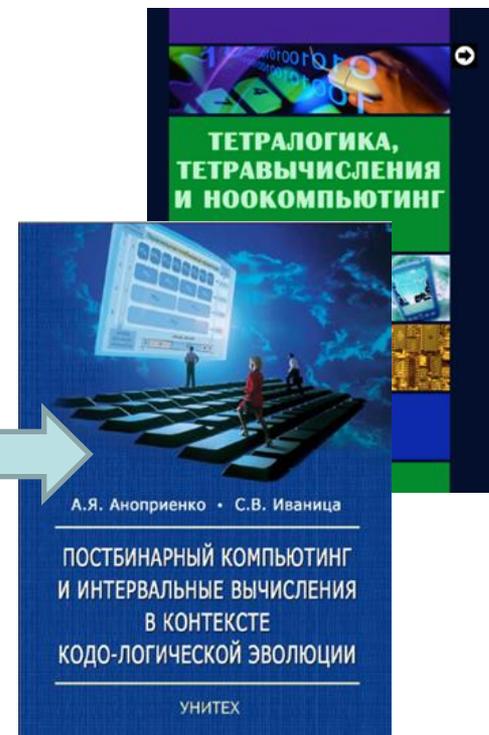
## Мегазакономерности: 10 тыс лет кодо-логической эволюции



**Прабинарный  
КОМПЬЮТИНГ**



**Бинарный  
КОМПЬЮТИНГ**



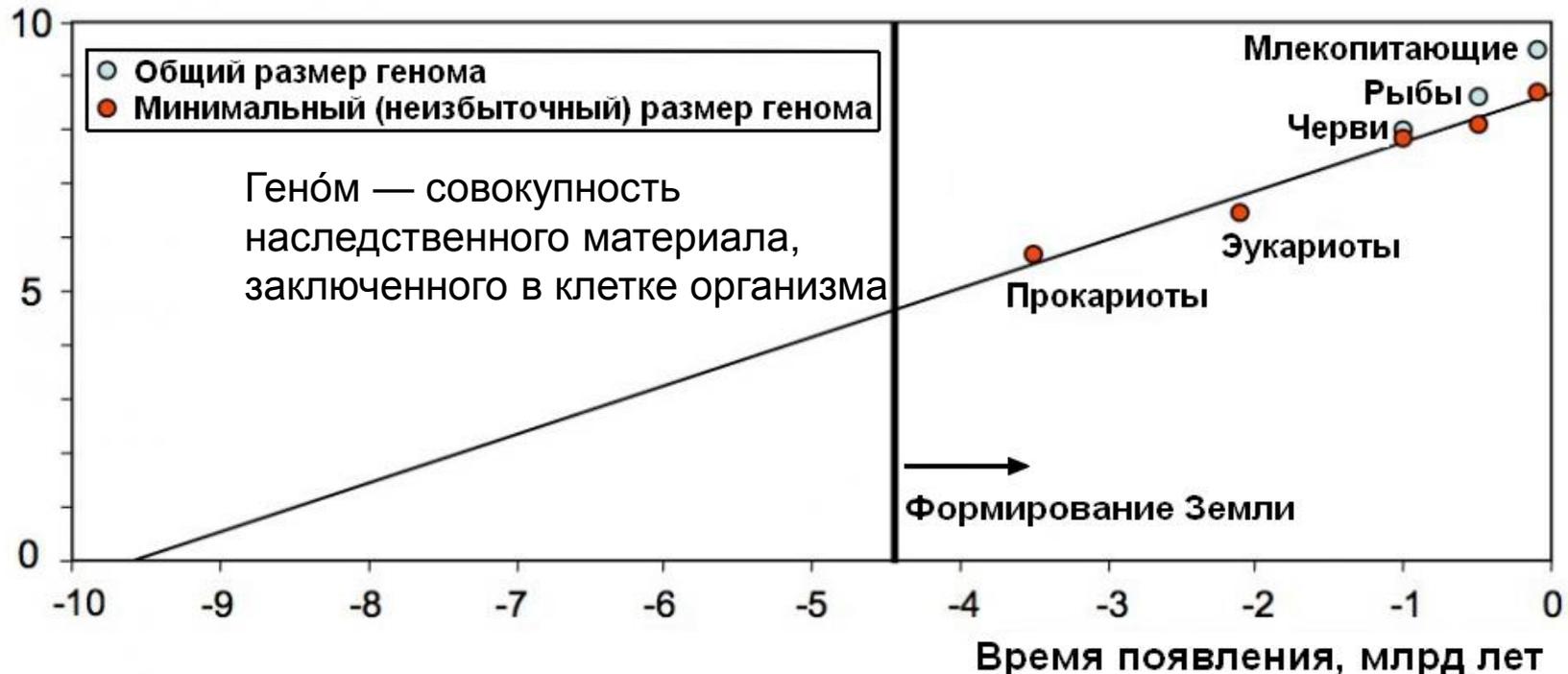
**Постбинарный  
КОМПЬЮТИНГ**



## Гиперзакономерности: 10 млрд лет развития генома

Современная реконструкция эволюции сложности генома позволяет предположить **возможность обобщения законов развития компьютерных систем вплоть до масштабов эволюции жизни во Вселенной**

Log10 размера генома (количество пар нуклеотидов)



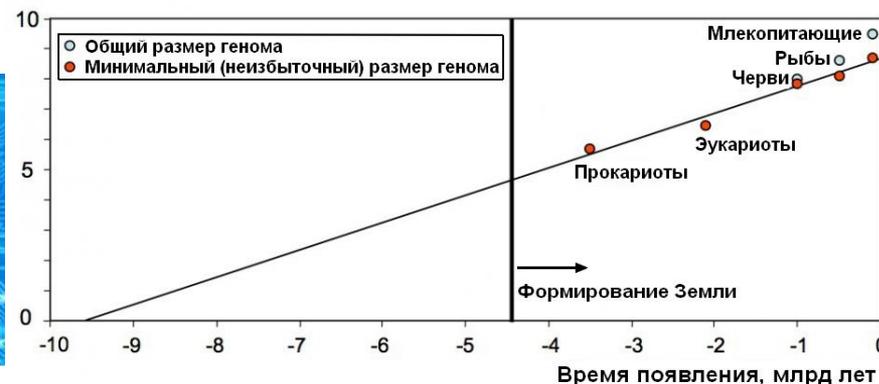


## Гиперзакономерности: 10 млрд лет развития генома

Будущее  
теперь  
можно  
вычислять...



Log10 размера генома (количество пар нуклеотидов)



### Гиперзакономерности:

эволюция  
генетического  
кода

#### Мегазакономерности:

кодо-логическая  
эволюция

Прабинарный  
компьютинг

Макрозакономерности:  
"Закон Мура 1975"  
и др.

Пост-  
бинарный  
тетра-  
компьютинг

Квази-  
генетический  
компьютинг

Современный  
компьютинг





## Литература

1. Аноприенко А.Я. Модели эволюции компьютерных систем и средств компьютерного моделирования // Материалы пятой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 24-27 сентября 2013 года, Донецк, ДонНТУ, 2013. С. 403-423.
2. Аноприенко А.Я. Закономерности развития компьютерных систем // «Научная дискуссия: инновации в современном мире». №10 (18): Сборник статей по материалам XVIII международной заочной научно-практической конференции. – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. – С. 19-29.
3. Аноприенко А.Я. Современный компьютеринг и программирование // Материалы IV всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2013)» – 24-25 апреля 2013 г., Донецк, ДонНТУ, 2013. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-17.
4. Аноприенко А.Я. Будущее компьютерных технологий в контексте технической и кодо-логической эволюции // Вестник Инженерной Академии Украины. Теоретический и научно-практический журнал Инженерной Академии Украины. Выпуск 3-4, 2011. С. 108-113.
5. Аноприенко А.Я. Ноокомпьютинг и будущее информационно-компьютерной инфраструктуры // Міжнародний науковий конгрес з розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та розбудови інформаційного суспільства в Україні, м. Київ, 17-18 листопада 2011 р. Тези доповідей. С. 12-13.
6. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии: следующие 50 лет // Материалы II всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2011)» – 12-13 апреля 2011 г., Донецк, ДонНТУ, 2011. Т.1. С. 7-22.



## Литература

7. Аноприенко А.Я., Иваница С.В. Постбинарный компьютеринг и интервальные вычисления в контексте кодо-логической эволюции. — Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2011. 248 с.
8. Аноприенко А.Я. Вызовы времени и постбинарный компьютеринг // Информатика и компьютерные технологии / Материалы VI международной научно-технической конференции – 23-25 ноября 2010 г. Т. 1. Донецк, ДонНТУ. – 2010. С. 13-31.
9. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии в прошлом, настоящем и будущем // Материалы V международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии» – 24-26 ноября 2009 г., Донецк, ДонНТУ, 2009. С.15-26.
10. Аноприенко А.Я. Археомоделирование: Модели и инструменты докомпьютерной эпохи. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 318 с.
11. Аноприенко А.Я. Обобщенный кодо-логический базис в вычислительном моделировании и представлении знаний: эволюция идеи и перспективы развития // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2005) выпуск 93: – Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 289-316.
12. Аноприенко А.Я. Расширенный кодо-логический базис компьютерного моделирования / В кн. «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-97). Сборник научных трудов ДонГТУ. Выпуск 1. Донецк, ДонГТУ, 1997, с. 59-64.



## Литература

13. Bell G. Bell's Law for the Birth and Death of Computer Classes: A theory of the Computer's Evolution. - Microsoft Research, Technical Report MSR-TR-2007-146, 13 November 2007. – 26 p.
14. Gray J. What Next? A Few Remaining Problems in Information Technology. 1998 Turing Lecture. <http://Research.Microsoft.com/~Gray>.
15. Gray J. What Next? A Dozen Information-Technology Research Goals. Microsoft Research Technical Report MS-TR-99-50. June 1999. 25 p.
16. Gray J., Reuter A. Transaction Processing: Concepts and Techniques. – San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1993. 1070 p.
17. Hennessy J.L., Patterson D.A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Fifth Edition. – Elsevier, Inc. 2012. – 852 p.
18. Moore G. E. Cramming more components onto integrated circuits / Electronics, vol. 38, no. 8, Apr. 1965. P. 114–117.
19. Moore G. E. Progress in digital integrated electronics / Proc. of the International Electron Devices Meeting (IEDM'75), vol.21, 1975. P. 11–13.
20. Sharov A.A., Gordon R. Life Before Earth / Cornell University Library's online archives [arXiv.org](http://arxiv.org). Submitted on 28 Mar 2013. <http://arxiv.org/pdf/1304.3381v1>.
21. Victor N. M., Ausubel J. H. DRAMs as model organisms for study of technological evolution // [Technological Forecasting and Social Change](#). Volume 69, Issue 3, April 2002. P. 243–262.
22. Wu J., Shen Y., Kitt Reinhardt K., Szu H., Dong B. A Nanotechnology Enhancement to Moore's Law / Applied Computational Intelligence and Soft Computing, Volume 2013, Article ID 426962. 13 p.



## Как правильно ссылаться на материалы данной презентации:

Аноприенко А.Я. Система закономерностей развития средств и методов компьютеринга // Материалы V всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2014)» – 22-23 апреля 2014 г., Донецк, ДонНТУ, 2014. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-23 (презентация к докладу)

### Информация об авторе 2014:

**Аноприенко Александр Яковлевич**,  
декан факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета (ДонНТУ), профессор кафедры компьютерной инженерии ДонНТУ. Основные направления научных исследований: закономерности развития средств и методов компьютеринга, компьютерное моделирование и компьютерная графика, интернет-технологии, постбинарный компьютеринг.

