

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Факультет Вычислительной математики и кибернетики*

*Межфакультетский курс
“Квантовая информатика как новая парадигма в естествознании”*

СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Вл.В.Воеводин

**Зав.кафедрой Суперкомпьютеров и квантовой информатики ВМК МГУ
Зам.директора НИВЦ МГУ,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор**

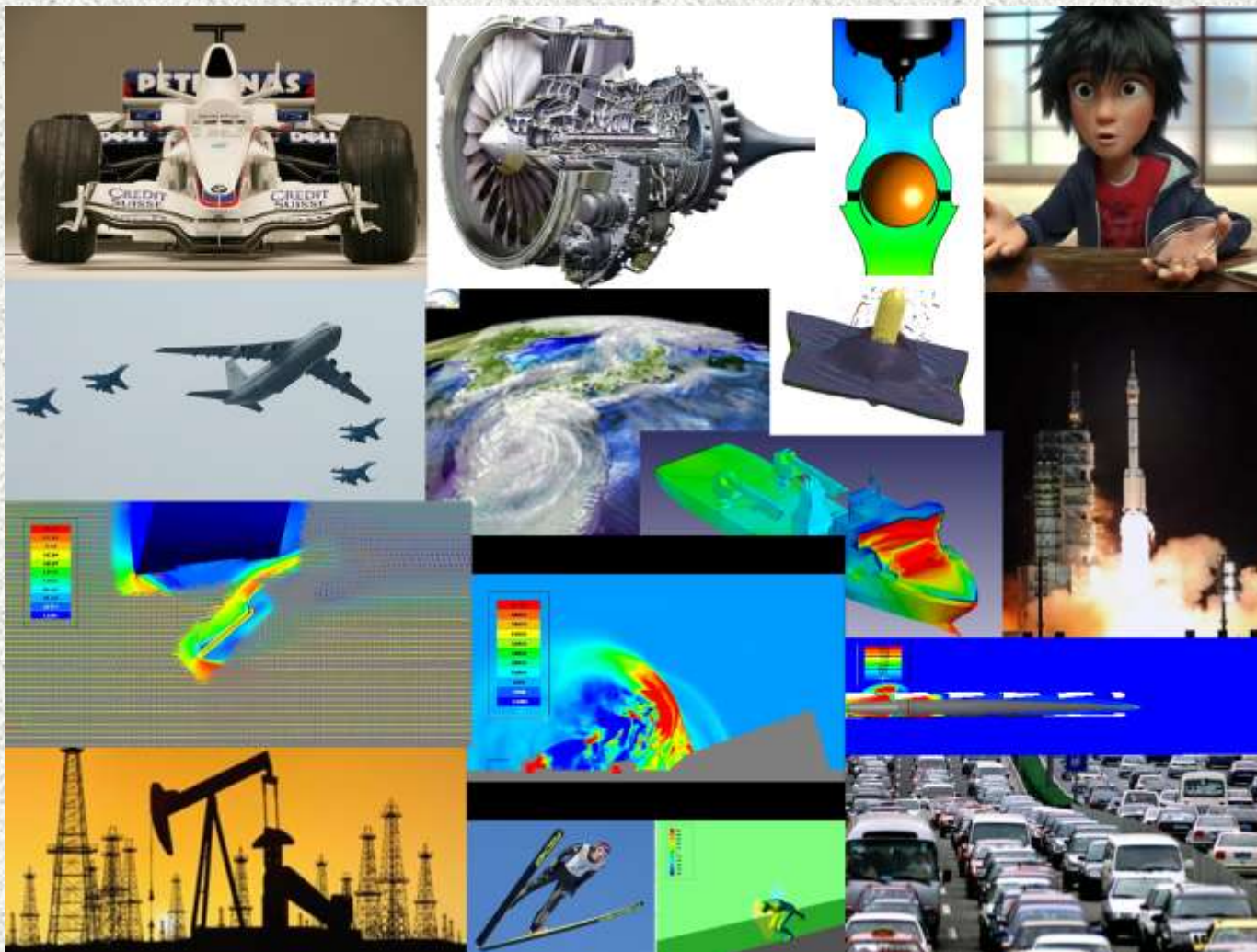
voevodin@parallel.ru

ВМК МГУ – 27 марта, 2019

Суперкомпьютеры – что это?

- Суперкомпьютеры – это компьютеры, которые работают значительно быстрее остальной массы современных компьютеров;
- Суперкомпьютеры – это компьютеры, которые занимают большой зал;
- Суперкомпьютеры – это компьютеры, которые весят больше 1 тонны;
- Суперкомпьютеры – это компьютеры, которые стоят больше 1 млн.долл.;
- Суперкомпьютеры – это компьютеры, мощности которых немного не хватает для решения актуальных вычислительно сложных задач;

Суперкомпьютерные технологии сегодня везде

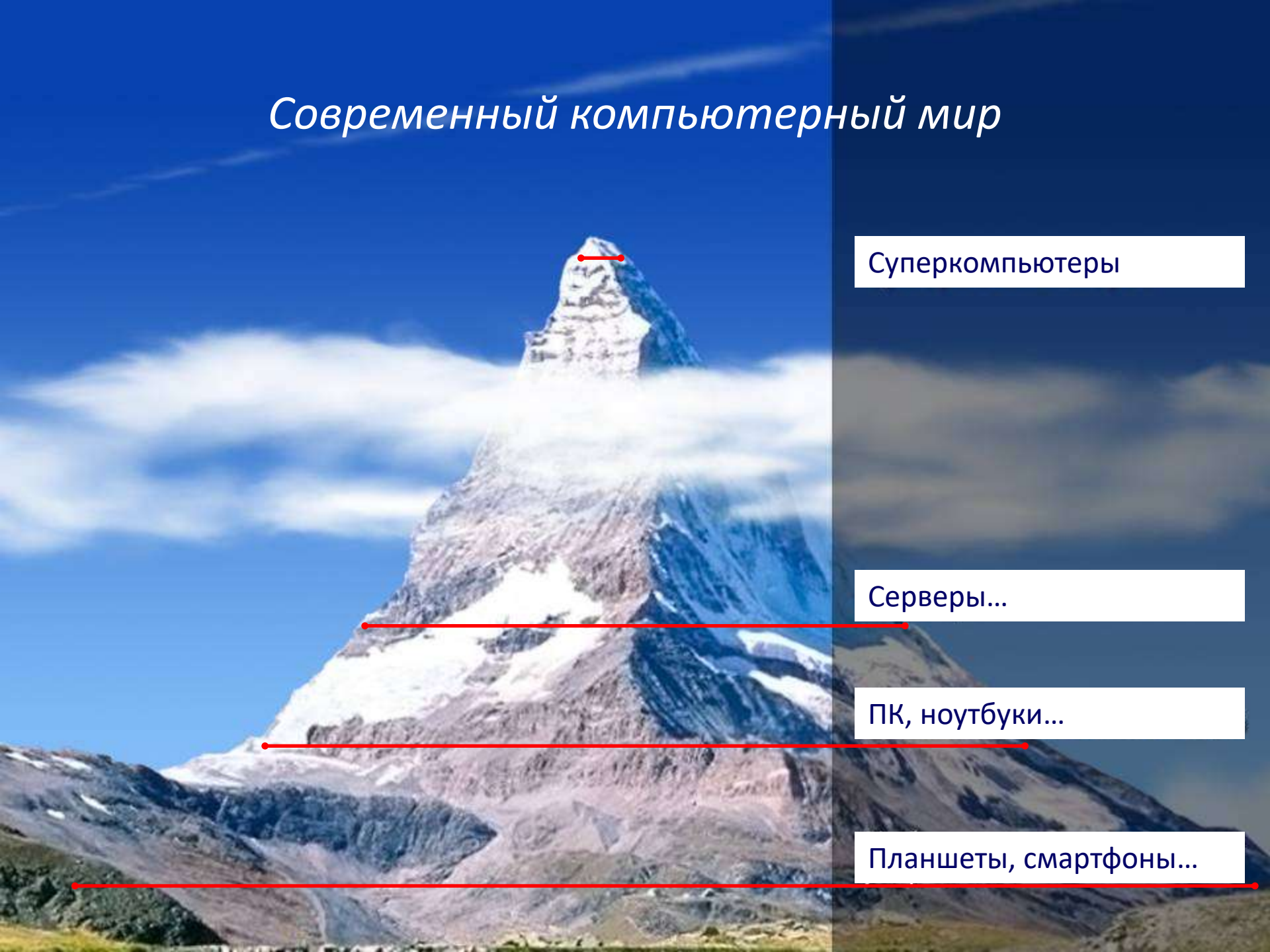


Суперкомпьютерные технологии – это инструмент **обеспечения конкурентоспособности** науки, компаний, промышленности, экономики, страны.

Суперкомпьютеры – что это?

*... мобильные устройства –
персональные компьютеры – серверы –
суперкомпьютеры*

Современный компьютерный мир



Суперкомпьютеры

Серверы...

ПК, ноутбуки...

Планшеты, смартфоны...

Персональный компьютер, 2019 г. – какой он?



Производительность:
около **100 млрд. оп/с.**

Память – 8-64 Гбайт

Диски – 500 Гбайт



Важные сокращения

Мега (Mega)	$- 10^6$	(миллион)
Гига (Giga)	$- 10^9$	(биллион / миллиард)
Тера (Tera)	$- 10^{12}$	(триллион)
Пета (Peta)	$- 10^{15}$	(квадриллион)

Флоп/с, *Flop/s* – *F*loating point *o*perations
per *s*econd

15 Tflop/s = $15 * 10^{12}$ арифметических операций
в секунду над вещественными числами,
представленными в форме с плавающей точкой.

Важные сокращения

Мега (Mega)	$- 10^6$	(миллион)
Гига (Giga)	$- 10^9$	(биллион / миллиард)
Тера (Tera)	$- 10^{12}$	(триллион)
Пета (Peta)	$- 10^{15}$	(квадриллион)

Флоп/с, Flop/s – Floating point operations
per second

15 Tflop/s = $15 * 10^{12}$ арифметических операций
в секунду над вещественными числами,
представленными в форме с плавающей точкой.

Персональный компьютер, 2019 г. – какой он?



Производительность:
около **100 Гфлоп/с.**

Память – 8-64 Гбайт

Диски – 500 Гбайт

*Большие машины и
суперкомпьютеры: какие они?*

Вычислительный центр МГУ, 1956 г.



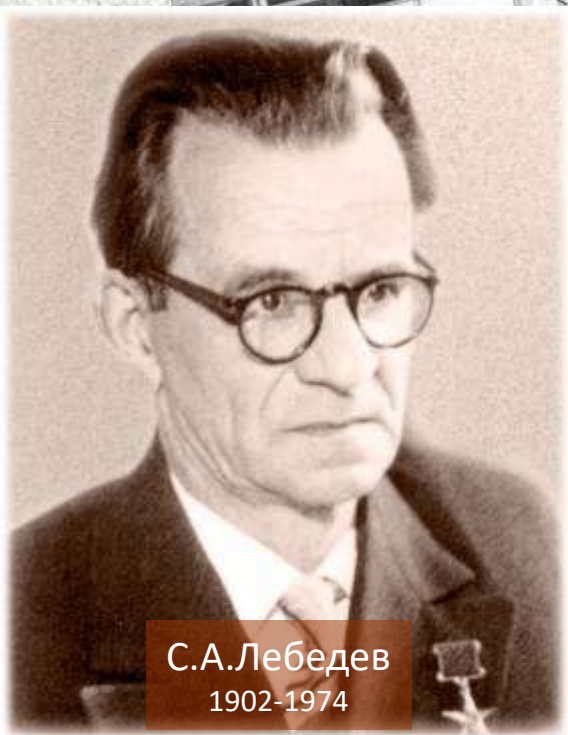
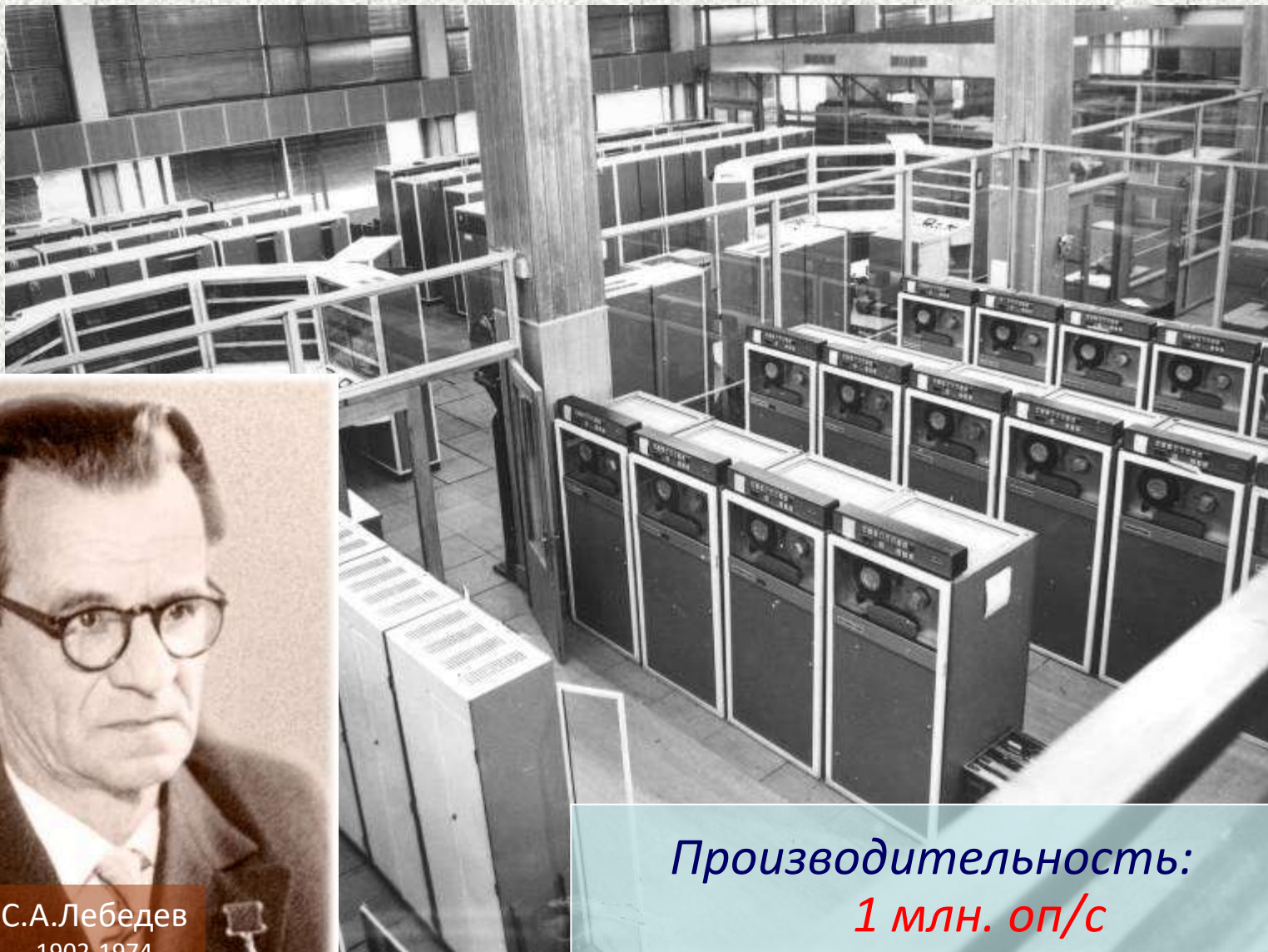
Вычислительный центр МГУ, 1959 г.

ЭВМ “Сетунь”



“Сетунь” – это первый компьютер, построенный не на двоичной, а на троичной системе счисления.

НИВЦ МГУ, ЭВМ "БЭСМ-6", 1968 г.



С.А.Лебедев
1902-1974

Производительность:
1 млн. оп/с

Компьютер IBM "RoadRunner", США

(#1 Top500 в 2008-2009 г.)



122 400 процессоров
IBM Cell + AMD Opteron.

Производительность:
1 Pflop/s.

“K Computer”, Япония

(#1 Top500 в 2011 г.)



Производитель: Fujitsu, Япония

Пик (теория): 11.3 Pflop/s

Тест Linpack: 10.5 Pflop/s

Эффективность: 93%

Число стоек: 800+

Процессор: SPARC64 VIIIfx, 2.0 GHz

Число процессорных ядер: 705 024

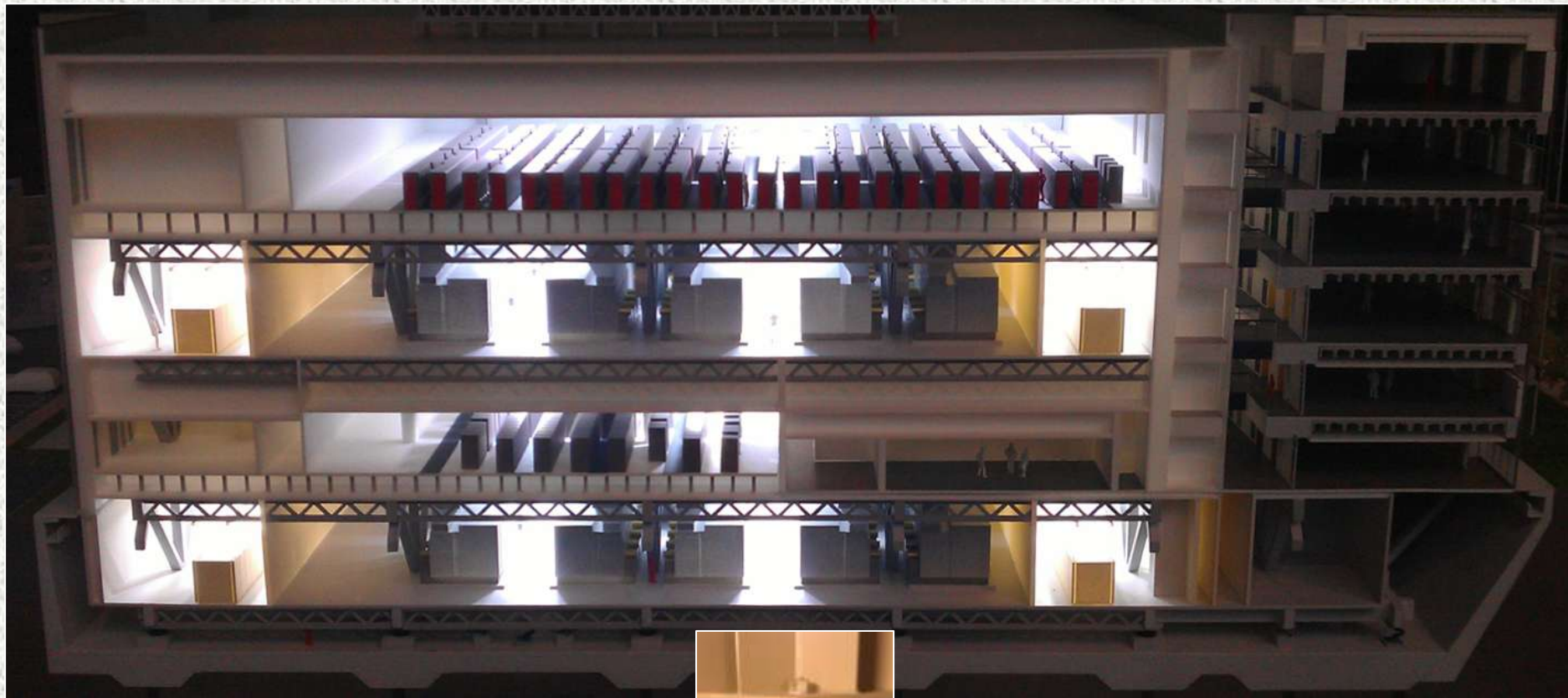
Связь между процессорами: Tofu, 6D mesh/torus

Энергопотребление: 12.6 MW



“K Computer”, Япония

(#1 Top500 в 2011 г.)



Суперкомпьютер "Titan", Cray XK7, США

(#1 Top500 в 2012 г., ноябрь)



18 688 вычислительных узлов:

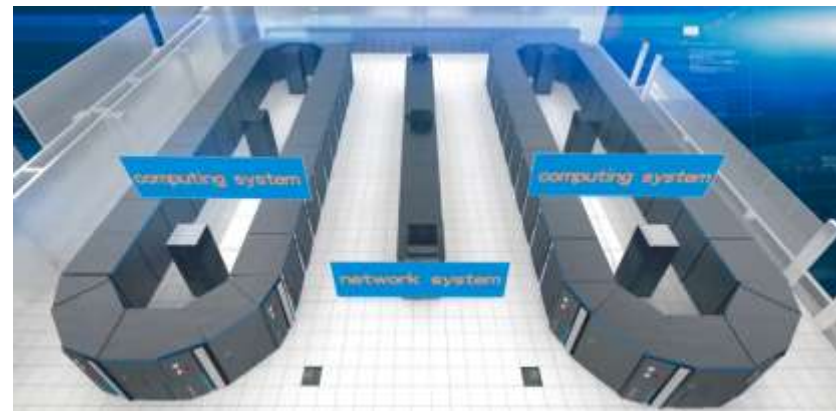
18 688 AMD Opteron, 16-core
(299 008 ядер),
18 688 NVIDIA Tesla K20.

Производительность:

17.59 Pflop/s

Суперкомпьютер Sunway TaihuLight, Китай

(#1 Top500 в 2016-2017 г.)



40 960 вычислительных узлов
40 960 CPUs (SW26010, 260 ядер)

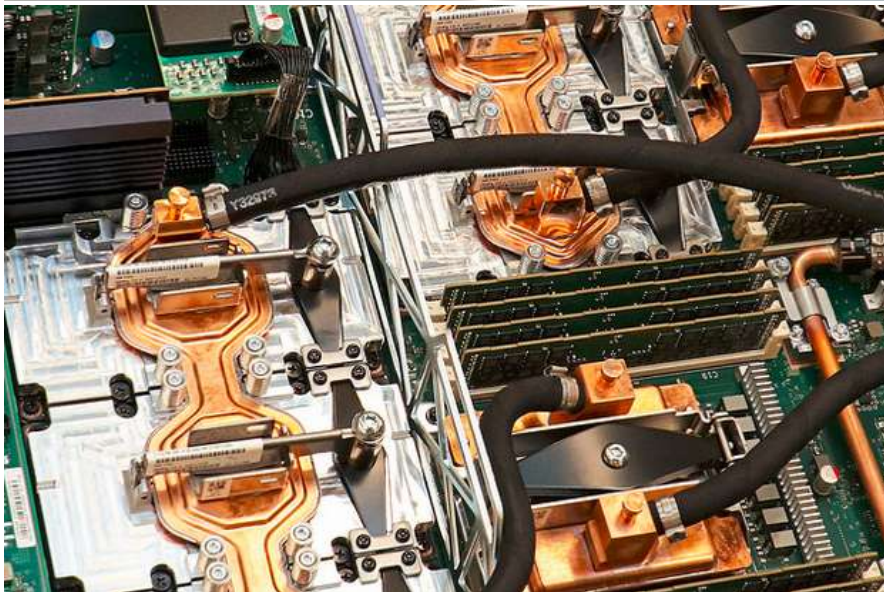
Всего: **10 649 600** процессорных ядер

Производительность:
Пик (теория): 125.4 Pflop/s
Тест Linpack: 93 Pflop/s (74%)

Оперативная память = 1.31 Пбайт
HDD = 20 Пбайт

Суперкомпьютер IBM Summit, США

(#1 Top500 в 2018 г.)



4 608 вычислительных узлов,
в каждом узле:
2 x CPUs (IBM Power9, 22 ядра)
6 x GPU (NVIDIA Tesla V100)

Производительность:
Пик (теория): 200 Pflop/s
Тест Linpack: 143 Pflop/s (71%)

Оперативная память > 10 Пбайт
HDD = 250 Пбайт

Суперкомпьютеры и их характеристики

(производительность, память, диски, ленты, 2018 г.)

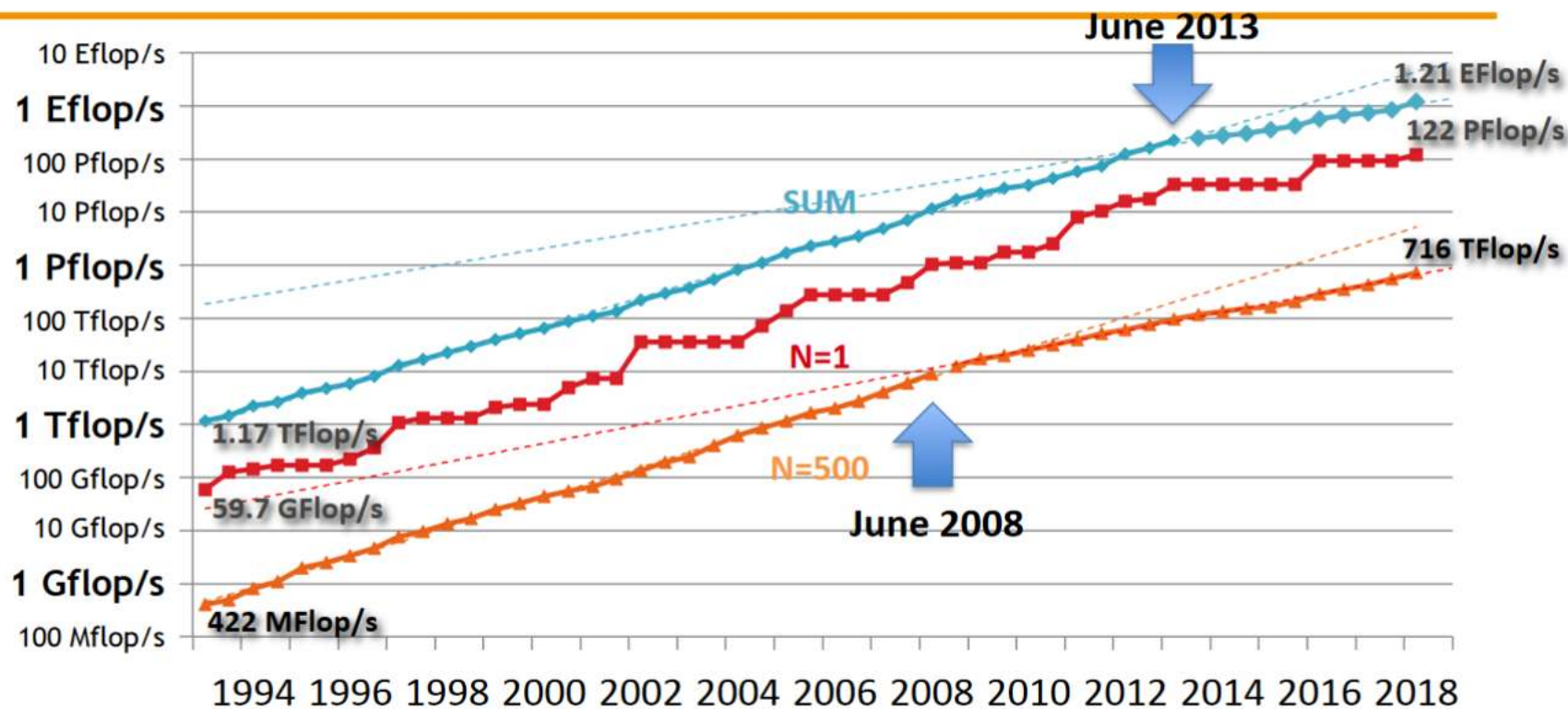
- *IBM Summit, 4608 вычислительных узлов:*
2 × IBM Power9 (22 ядра), 4 GHz + 6 × NVIDIA Tesla V100
143 Pflop/s, ОП = 10 PB, HDD = 250 PB
- *Sunway TaihuLight, 40960 вычислительных узлов:*
SW26010 (260 cores), 1.45 GHz
93 Pflop/s, ОП = 1.3 PB, HDD = 20 PB
- *Tianhe-2, 16 000 вычислительных узлов:*
2 × Intel XeonE5-2692 (12cores), 2.93GHz + 3 × Matrix-2000,
41 Pflop/s, ОП = 1.37 PB + 375 TB, HDD = 12 PB
- *Cray XK7, Titan, 18 688 вычислительных узлов:*
AMD Opteron 16-core + NVIDIA Tesla K20
17.59 Pflop/s, ОП = 710 TB, HDD = 10 PB
- *IBM BlueGene/Q, Sequoia, 1 572 864 ядра, IBM PowerPC A2, 1.6 GHz*
16.32 Pflop/s, ОП = 1.57 PB, HDD = 55 PB, Tape = “virtually unlimited”

Top500 самых мощных суперкомпьютеров мира

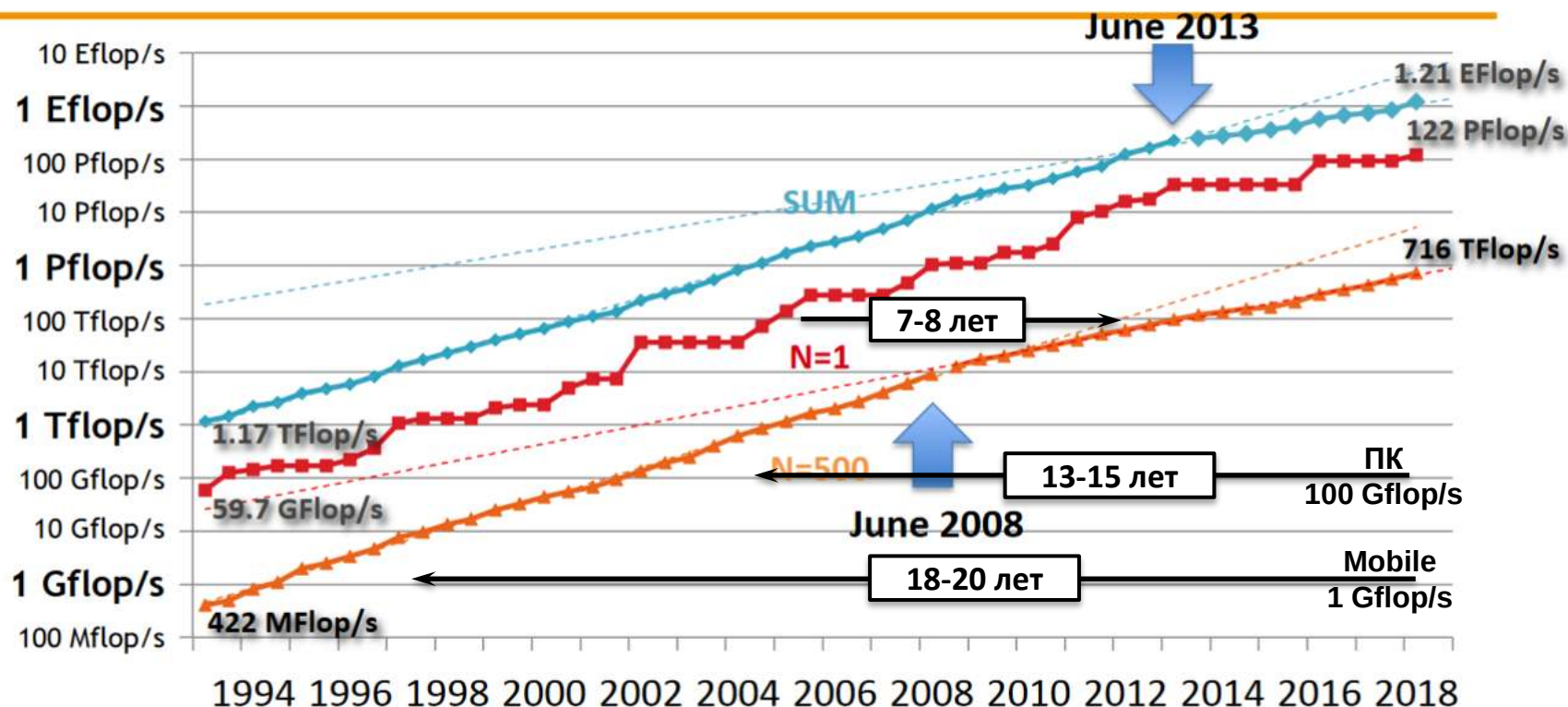
(<http://top500.org>, июнь, 2018 г.)

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM	2,282,544	122,300.0	187,659.3	8,806
2	National Supercomputing Center in Wuxi China	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRCPC	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
3	DOE/NNSA/LLNL United States	Sierra - IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM	1,572,480	71,610.0	119,193.6	
4	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000 NUDT	4,981,760	61,444.5	100,678.7	18,482
5	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) - PRIMERGY CX2550 M4, Xeon Gold 6148 20C 2.4GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Infiniband EDR Fujitsu	391,680	19,880.0	32,576.6	1,649
6	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS) Switzerland	Piz Daint - Cray XC50, Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Aries interconnect, NVIDIA Tesla P100 Cray Inc.	361,760	19,590.0	25,326.3	2,272
7	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Titan - Cray XK7, Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	560,640	17,590.0	27,112.5	8,209

Производительность суперкомпьютеров



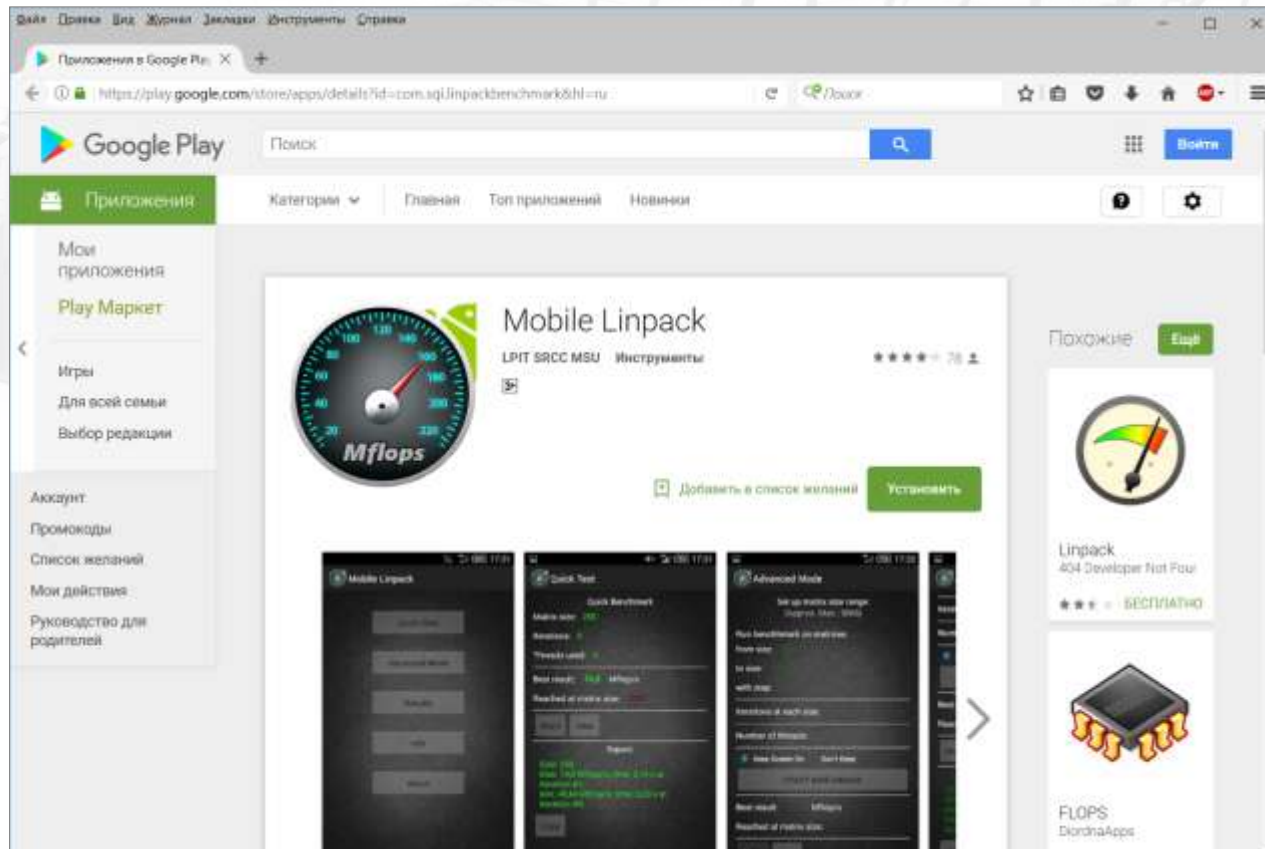
Рост производительности суперкомпьютеров (закономерности отрасли)



Сравните скорость своего мобильного устройства с суперкомпьютерами прошлого и настоящего

(<http://linpack.hpc.msu.ru/>)

Тест Linpack для мобильных устройств: Android 1.6 и выше, iOS 6.0 и выше.



Адрес для отзывов: ml@parallel.ru

Первый вычислительный кластер МГУ, 1999 г.

(12 узлов, 24 CPUs, Intel P-III/500MHz, сеть SCI)



Производительность:
12 Гфлоп/с

Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Всего в системе 10 т гликоля и 40 т воды

Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”

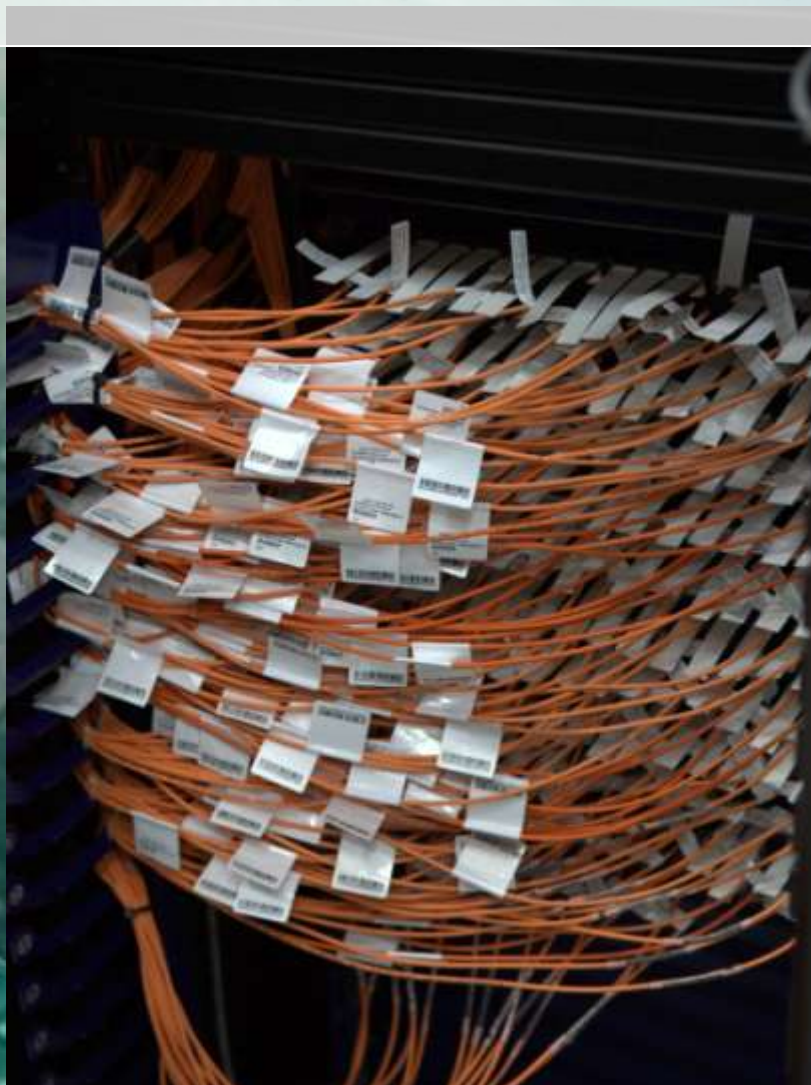


Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Вес оборудования в маш.зале – 57 т, СБЭ – 92т

Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Общая длина кабелей более 80 км

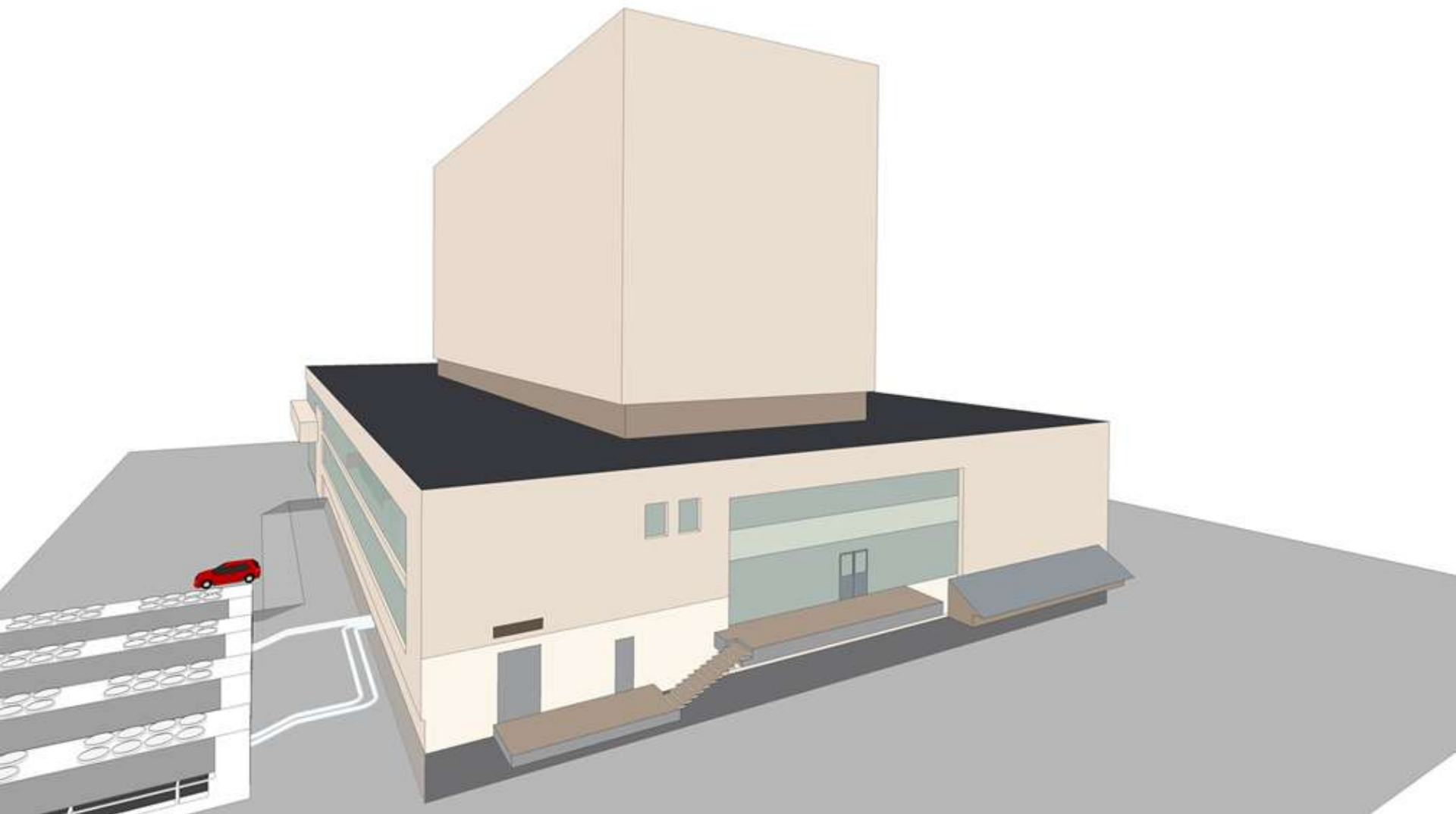
Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



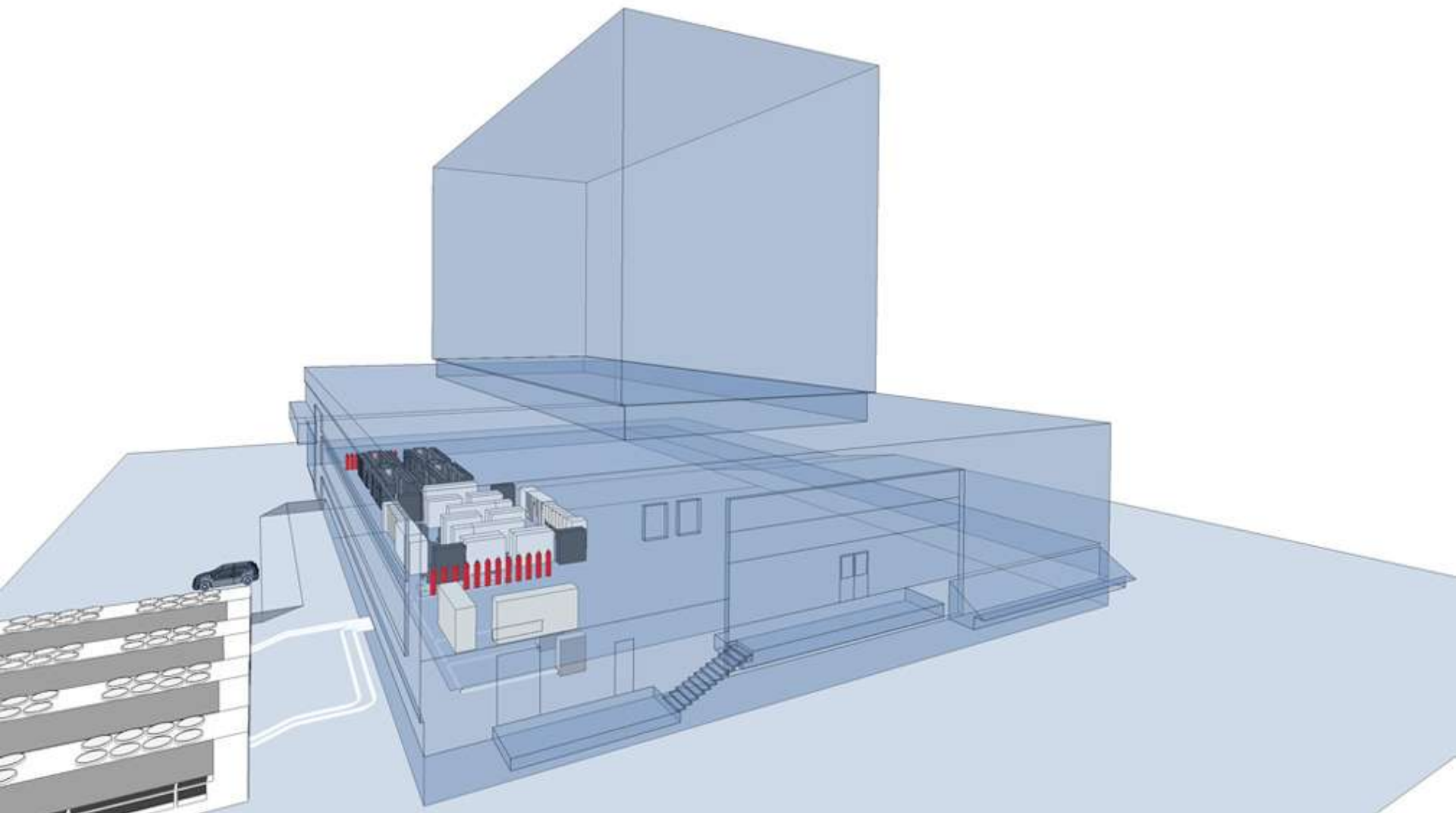
Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



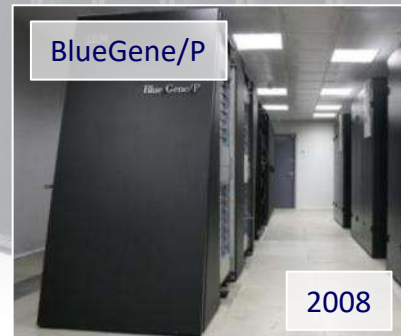
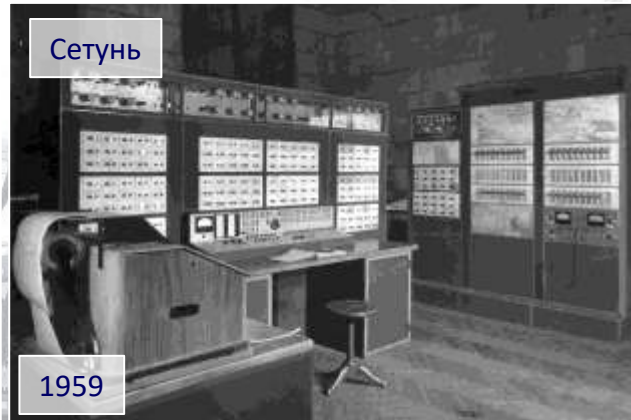
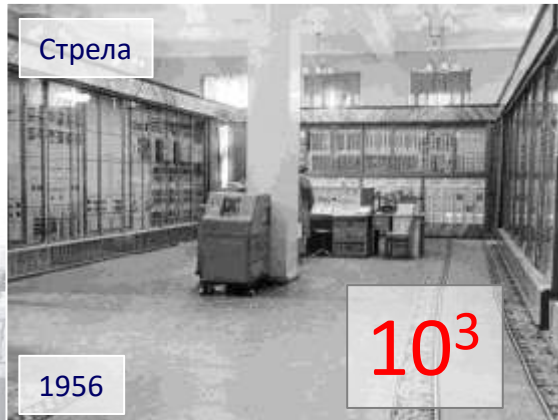
Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов”



Компьютерный путь Московского университета (с 1956 г. до наших дней)



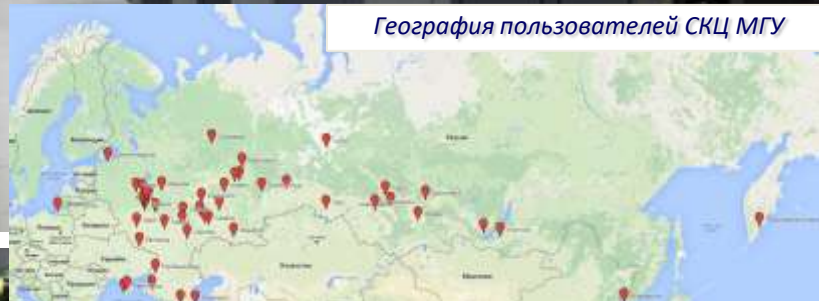
Суперкомпьютер МГУ “Ломоносов-2”



Суперкомпьютерный центр МГУ сегодня:
Пользователи: 2955
Проекты: 880



География пользователей СКЦ МГУ



Факультеты / Институты МГУ: 21
Институты РАН: 95
Университеты России: 102

Города России: 50



1 стойка = 256 узлов: Intel Xeon (14c) + NVIDIA K40 (Pascal) = 515 Tflop/s
Суперкомпьютер “Ломоносов-2” = 4.9 Pflop/s

Компьютерный мир в сравнении

Производительность Энергопотребление
Вес Цена

10^6

100 т

3 МВт

\$30M

Суперкомпьютеры

10

10 кг

1 кВт

\$10K

Серверы...

1

1.5 кг

90 Вт

\$1K

ПК, ноутбуки...

0.05

0.1 кг

2 Вт

\$300

Планшеты, смартфоны...

Суперкомпьютеры... Зачем?

Неужели есть настолько **сложные задачи**, что для их решения хорошего сервера не хватает ?

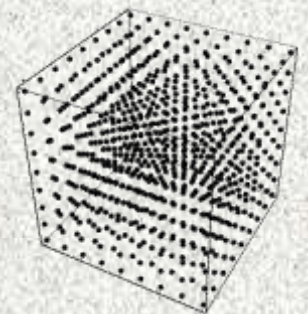
Неужели есть настолько **важные задачи**, которые оправдывают крайне высокую стоимость суперкомпьютеров ?



Сверхвысокая производительность - зачем?

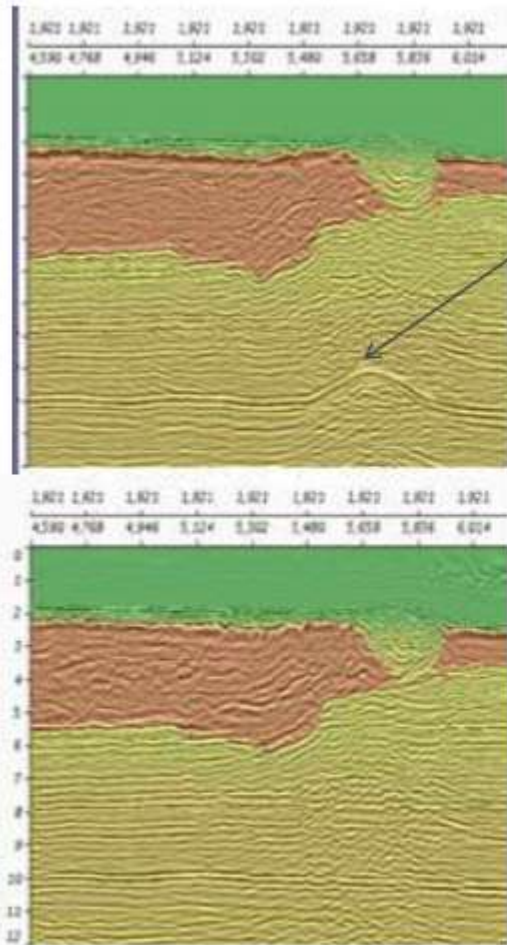
Моделирование нефтяных резервуаров:

- нефтеносная область – $100 \times 100 \times 100$ точек
- в каждой точке вычисляется от 5 до 20 функций (скорость, давление, концентрация, температура, ...)
- 200-1000 операций для вычисления каждой функции в каждой точке
- 100-1000 шагов по времени
- Итого: 10^6 (точек сетки) * 10 (функций) *
* 500 (операций) * 500 (шагов) =
= 2500 млрд. операций



Суперкомпьютеры для добычи нефти и газа

(Во ВСЕХ добывающих компаниях!)



Seismic profiles of a region of the Gulf of Mexico.

The top image, in 2003 , on **64 processors**,
At the bottom right-hand side , a structure shaped like a bowler hat,
typical of a petroleum zone.

Based on this image, ready to install boring equipment on this site.

Fresh data analysis, on a **13 000 cores** supercomputer revealed
that the structure was an artefact.

Thanks to HPC, 80 M\$ saved

In the **mid-90's**, **only 40%** of deposits fulfilled their promises.
Numerical simulations that analyse data obtained by seismic
echography have radically changed the playing field. Armed with
the new supercomputer ... , the Total engineers are **now** hitting
the bull's eye **in 60-70% of cases."**

Journal La Recherche, special HPC, July 2009,

Acknowledgements: H. Calandra, Ph. Ricoux (TOTAL)

Суперкомпьютеры для добычи нефти и газа

(Во ВСЕХ добывающих компаниях!)



Since 1987 - Covering the Fastest Computers in the World and the People Who Run Them

- Home
- Technologies
- Sectors
- AI/ML/DL
- Exascale
- Specials
- Resource Library
- Events
- Job Bank
- About



Eni Takes the Lead in Industrial Supercomputing

By Tiffany Trader

January 23, 2018

No sooner had one system, used by BP, been declared the most powerful supercomputer in the industrial sphere than it quickly has been displaced. Last Thursday (Jan. 18) it was Italian energy company Eni's turn to take the lead with the launch of its latest petawhopper. At 18.6 petaflops (peak) the new cluster, HPC4, becomes the world's most powerful commercial system (that we know of) and quadruples the company's computing capacity to an aggregate peak performance of 22.4 petaflops.

#13(!) в Top500
(июнь 2018)

Автомобилестроение

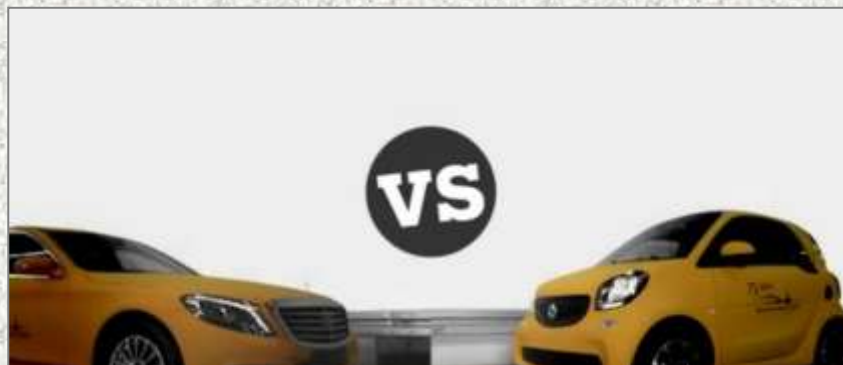
(BMW, Audi, Ford, Chevrolet, Renault,... – BCE!)



Автомобилестроение

(BMW, Audi, Ford, Chevrolet, Renault,... – BCE!)

Mercedes
E-class

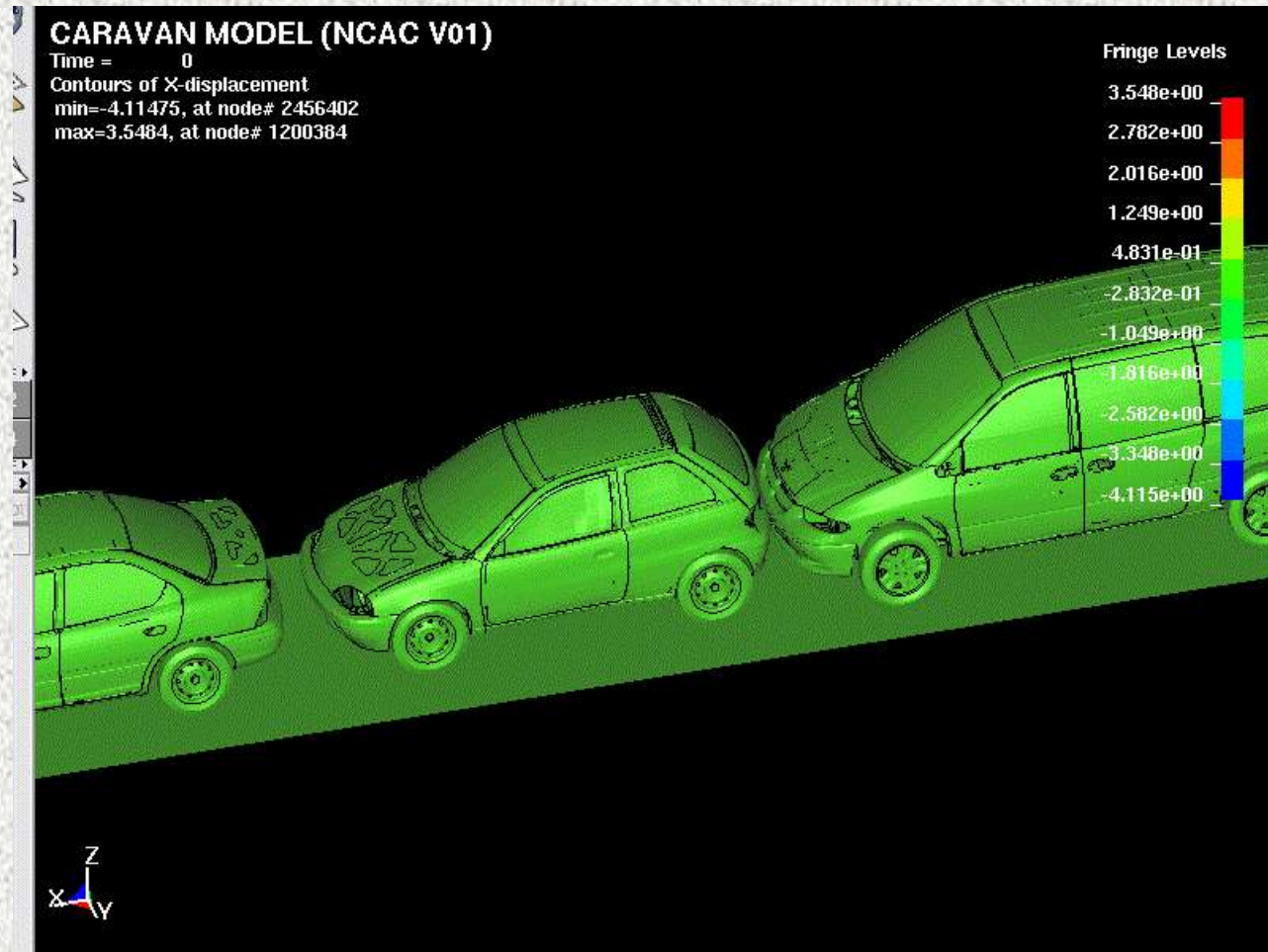


Smart



Автомобилестроение

(BMW, Audi, Ford, Chevrolet, Renault,... – BCE!)





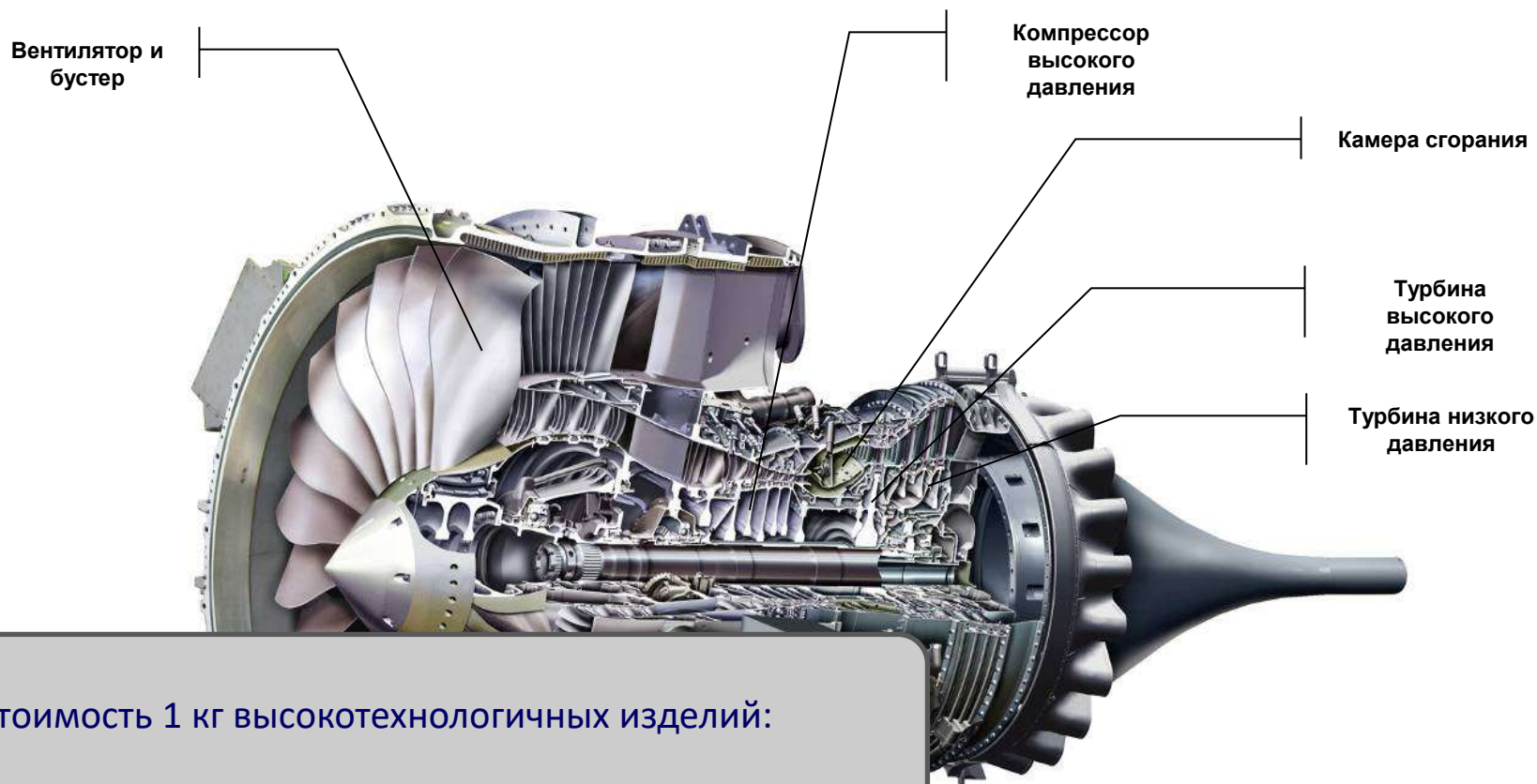
BMW, 2006 г. – 12 Tflop/s
 Williams, 2007 г. – 8 Tflop/s
 Renault, 2008 г. – 38 Tflop/s
 BMW, 2009 г. – 50 Tflop/s

НПО "САТУРН"

(авиационные двигатели и газовые турбины)



Основные узлы ГТД



Стоимость 1 кг высокотехнологичных изделий:

Автомобиль: \$25

Истребитель пятого поколения: \$1000

Двигатель истребителя пятого поколения: \$5000

Суперкомпьютер: \$400-500

Объем расчетов

Стационарные режимы

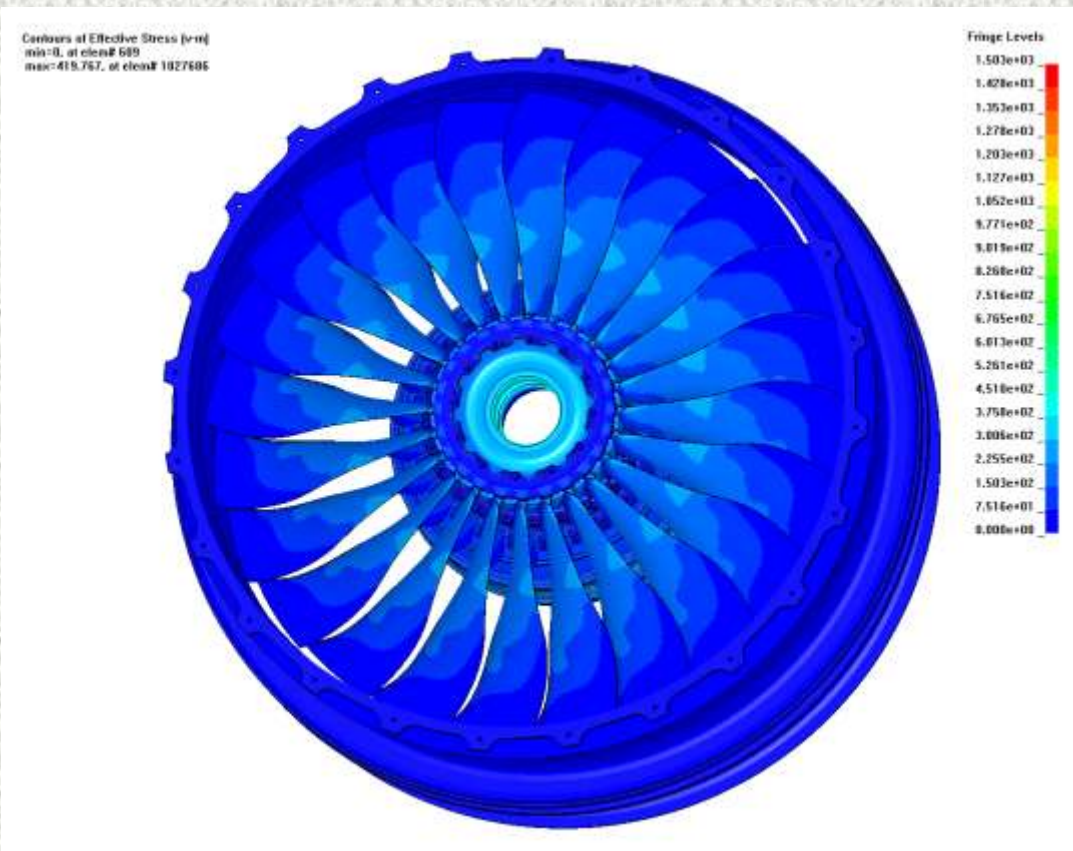
Узел	Размер задачи (млн. ячеек)	Кол-во операций с плавающей точкой для расчета узла
Вентилятор	10	$2,5 * 10^{16}$
Компрессор низкого давления	8	$1,5 * 10^{16}$
Компрессор высокого давления	10	$4,5 * 10^{16}$
Камера сгорания	20	$2,4 * 10^{17}$
Турбина высокого давления	8	$1,1 * 10^{17}$
Турбина низкого давления	8	$1,1 * 10^{16}$

10^{12} – Тера, 10^{15} – Пета, 10^{18} - Экза

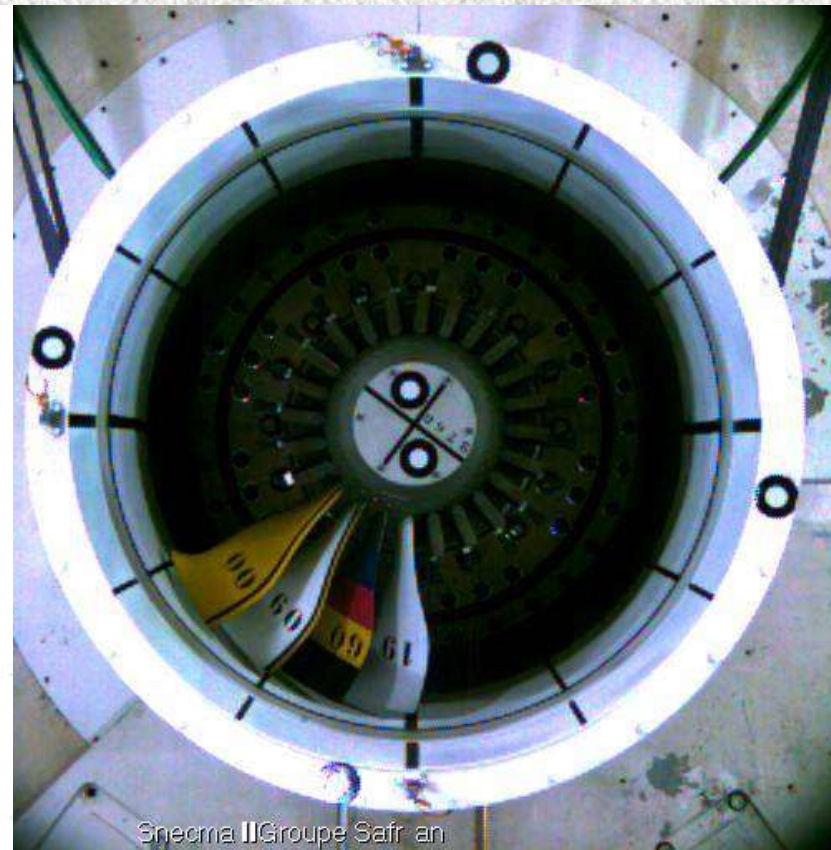
Для нестационарных режимов объем расчетов увеличивается в ~ 10 раз.

НПО "САТУРН"

(авиационные двигатели и газовые турбины)



Расчет



Эксперимент

BENCHMARKS AUTRES INDUSTRIES



Wing prototypes: 77

Boeing From 767 to 787

- 40% less wind-tunnel days
- 25% saving in aerodynamics development time
- 20% saving on wind-tunnel tests cost

Thanks to HPC-enabled CFD runs, especially in high-speed regime, even providing better representation of aerodynamics phenomenon turned into better design choices.

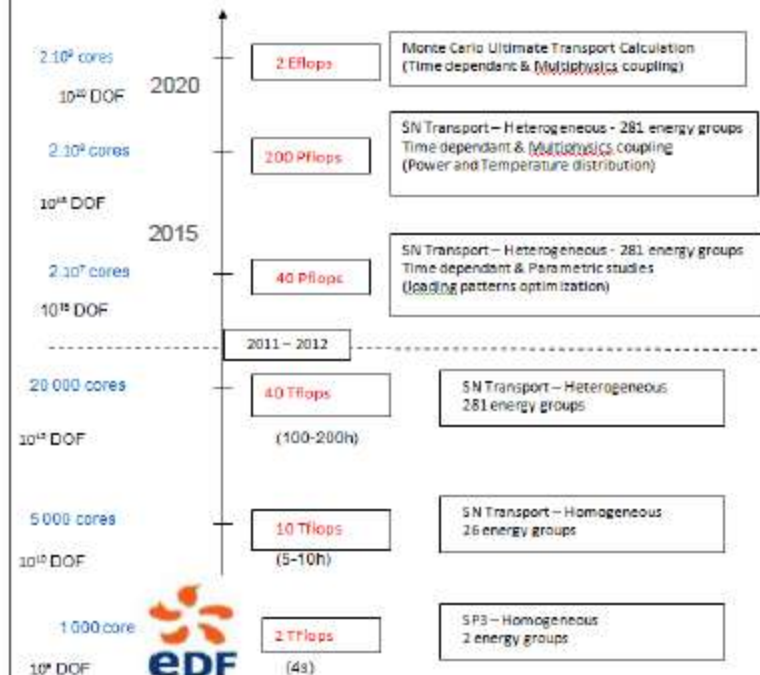
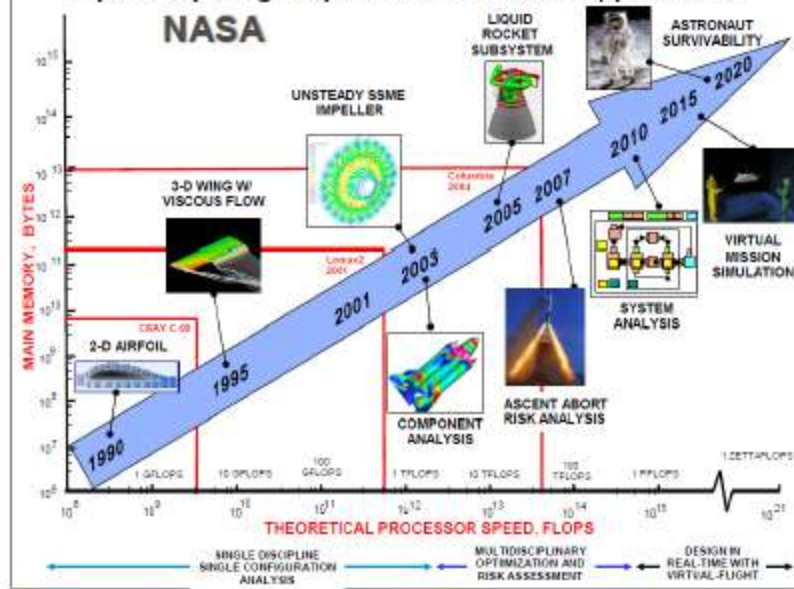
But ... Digital Aircraft will require at least 1 ZetaFlop !



Wing prototypes: 11 (2008)
→ 5 by new methods and HPC (2015)

Supercomputing Requirements: Mission Applications

NASA



Задачи аэродинамики и аэроакустики

Моделирование простых элементов летательного аппарата: крыло без механизации, отдельной области механизации или шасси, несущего винта вертолета, отсека вооружения и т.д.:

Сетка: около 50 млн.ячеек,

Трудоемкость на ячейку: 10-30 тыс.операций,

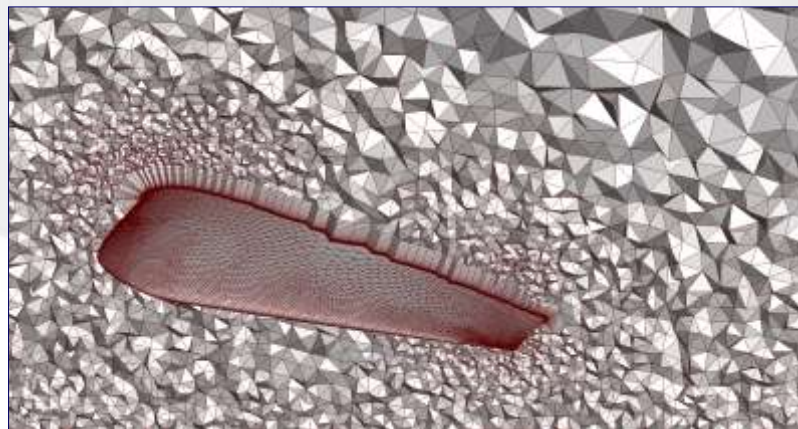
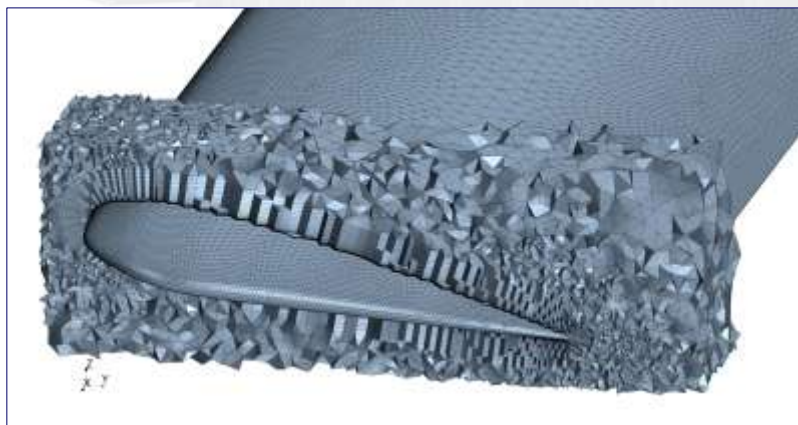
Шагов по времени: около 250 тыс.,

Итого: $50 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 250 \cdot 10^3 = 2.5 \cdot 10^{16}$ операций.

Несколько режимов: разные углы атаки, разная скорость потока, итого – 10^{17} операций.

Расчет сложных конфигураций: крыло с механизацией, крыло с двигателем, несущий винт с учетом фюзеляжа вертолета и т.д.:

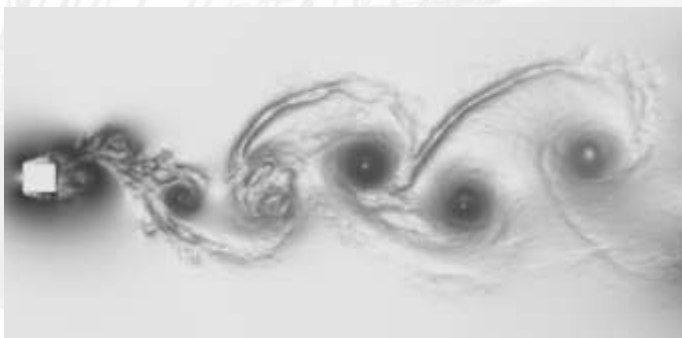
Минимальная сетка порядка 100-200 млн.ячеек, итого – 10^{18} операций.



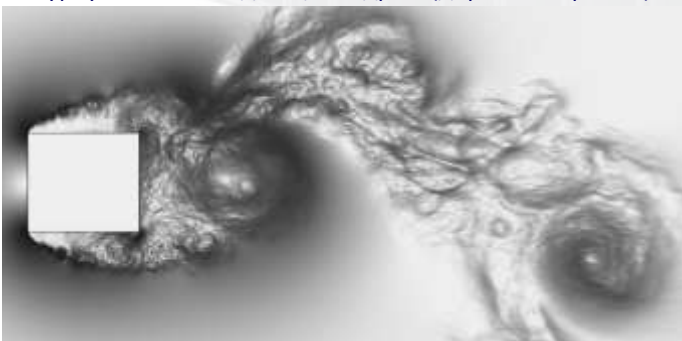
Моделирование течения вокруг лопасти несущего винта вертолета

Расчет турбулентных течений методом прямого численного моделирования (DNS)

Течение вокруг бесконечного цилиндра квадратного сечения
Сетка 300 млн. ячеек, схема 4-го порядка
0.7 млн. шагов по времени
Стоимость расчета: около 10^{18} операций.



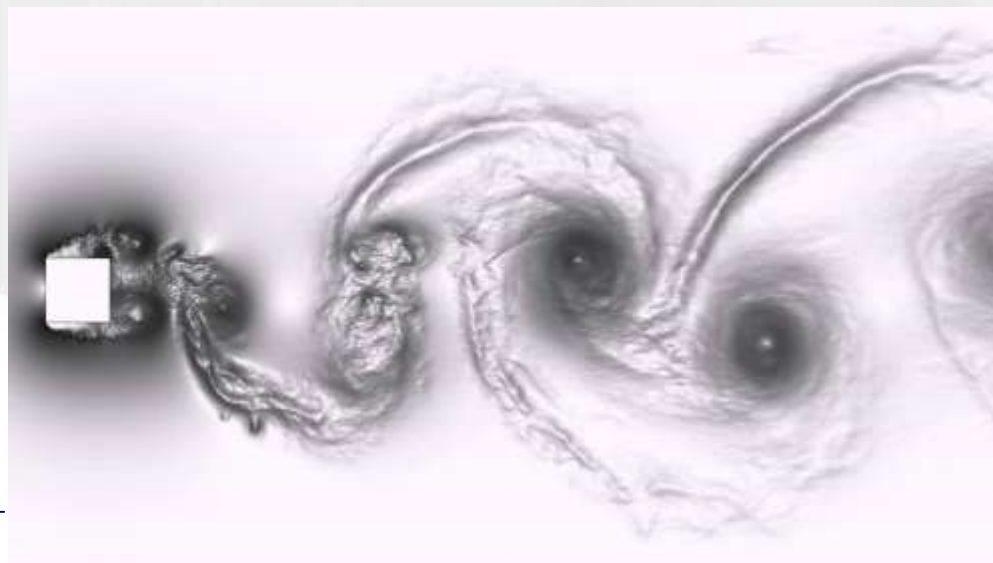
Турбулентный след за цилиндром (дорожка Кармана)



Увеличение в области препятствия. Развитие неустойчивости Кельвина–Гельмгольца (тонкие вихревые дорожки от передних углов цилиндра)



Ламинарное (на переднем плане) и турбулентное течение вокруг подлодки



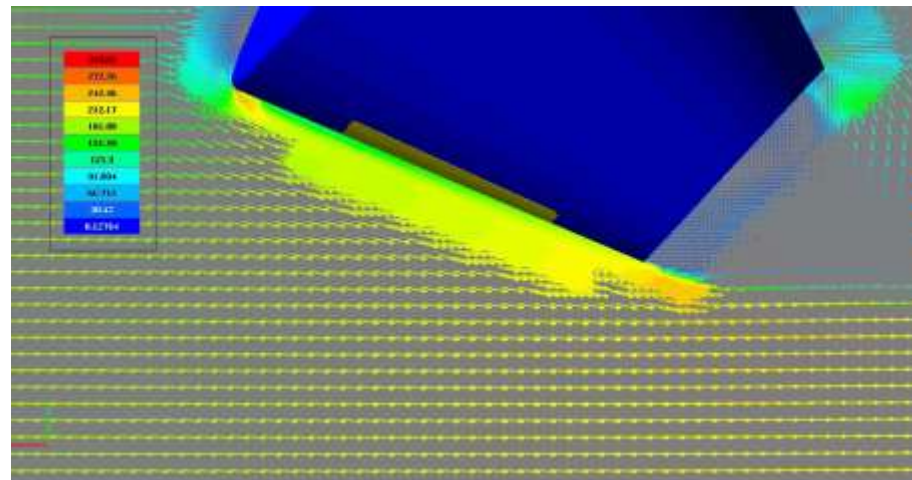
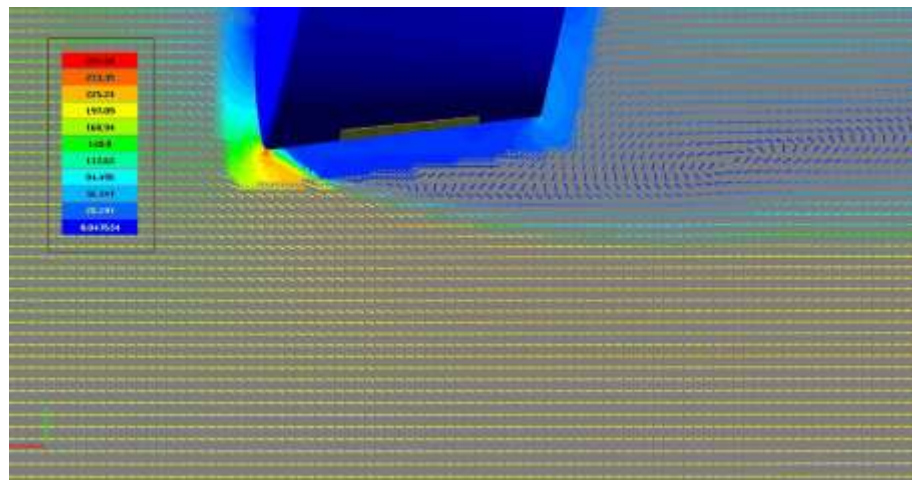
Предоставлено сектором вычислительной аэроакустики ИПМ им М.В.Келдыша РАН.

Использование суперкомпьютера “Ломоносов” в проектировании космической техники

Задача: найти минимальный импульс отстрела крышки парашютного отсека пиропатронами, при котором крышка не ударит по корпусу корабля при отстреле.



**Эта задача не может быть отработана экспериментально.
Только численное моделирование!**

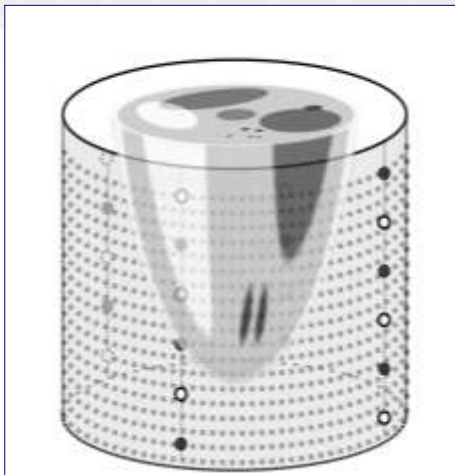


3D ультразвуковая томография в медицине

Одно из основных приложений — диагностика онкологических заболеваний на ранних стадиях.

- Сетка: $500*500*500$ точек.
- Количество источников ультразвука: около 100.
- Количество положений приёмников: около 10000.
- Обратная задача восстановления внутренней структуры 3D объекта является нелинейной и решается с помощью итерационного процесса. Количество итераций — около 100.
- В каждой точке сетки необходимо выполнить порядка 100 операций.
- Количество шагов по времени — 1000.

Итого: $2.5*10^8$ точек сетки * 10^2 операций * 10^3 шагов * 10^2 источников * 10^2 итераций = $2.5*10^{17}$ операций.



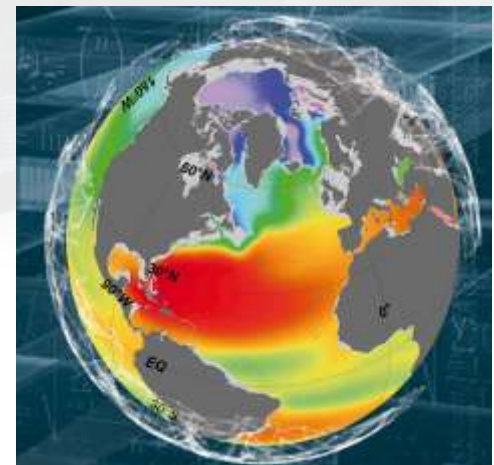
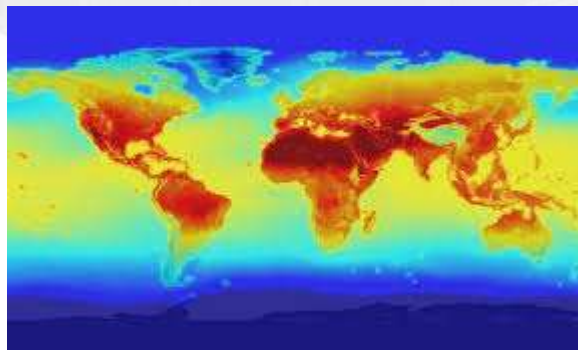
Современные модели климата

Воспроизведение субмезомасштабных вихрей в океане: вихри с размерами от нескольких сотен метров до нескольких километров.

- Сетка: $2000 \times 1000 \times 50$ точек.
- Несколько десятков прогностических переменных (три компоненты скорости, температура, соленость в океане, переменные описывающие взаимодействие химических веществ...).
- Порядка 100 операций на каждую переменную.
- Для расчета одного года — 10^5 шагов по времени.
- Климатические расчеты выполняются на сотни лет.

Итого: 10^8 точек сетки * 10 переменных * 10^2 операций * 10^5 шагов * 10^2 лет расчета = **10^{18} операций.**

- Близкие оценки для моделей атмосферной циркуляции.

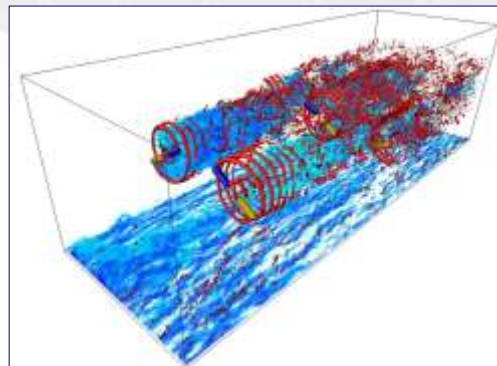


Моделирование параметров течения в ветропарке

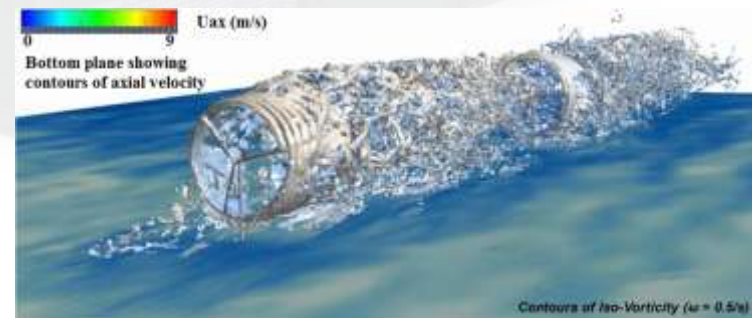
Цель: определение физических параметров течения, эффективного расположения ветроэнергетических установок (ВЭУ) и оценка генерируемой мощности ветропарка.

- Габариты расчетной области ветропарка: $4 \text{ км} * 4 \text{ км} * 1 \text{ км}$.
- Общее число ВЭУ мощностью от 2 до 5 МВт: от 20 до 50 (высота 90м, диаметр лопастей около 126м).
- Сетка: $572 * 572 * 144$ точек = $47 * 10^6$ (примерно 7м между точками).
- В каждой точке сетки вычисляется от 25 до 40 функций в зависимости от выбранной модели турбулентности.
- Порядка 100 операций на каждую функцию.
- Шагов по времени: 56000 (около 3 часов физического времени).

Итого: $47 * 10^6$ точек сетки * 25 функций * 10^2 операций * $56 * 10^3$ шагов = $6.5 * 10^{15}$ операций.

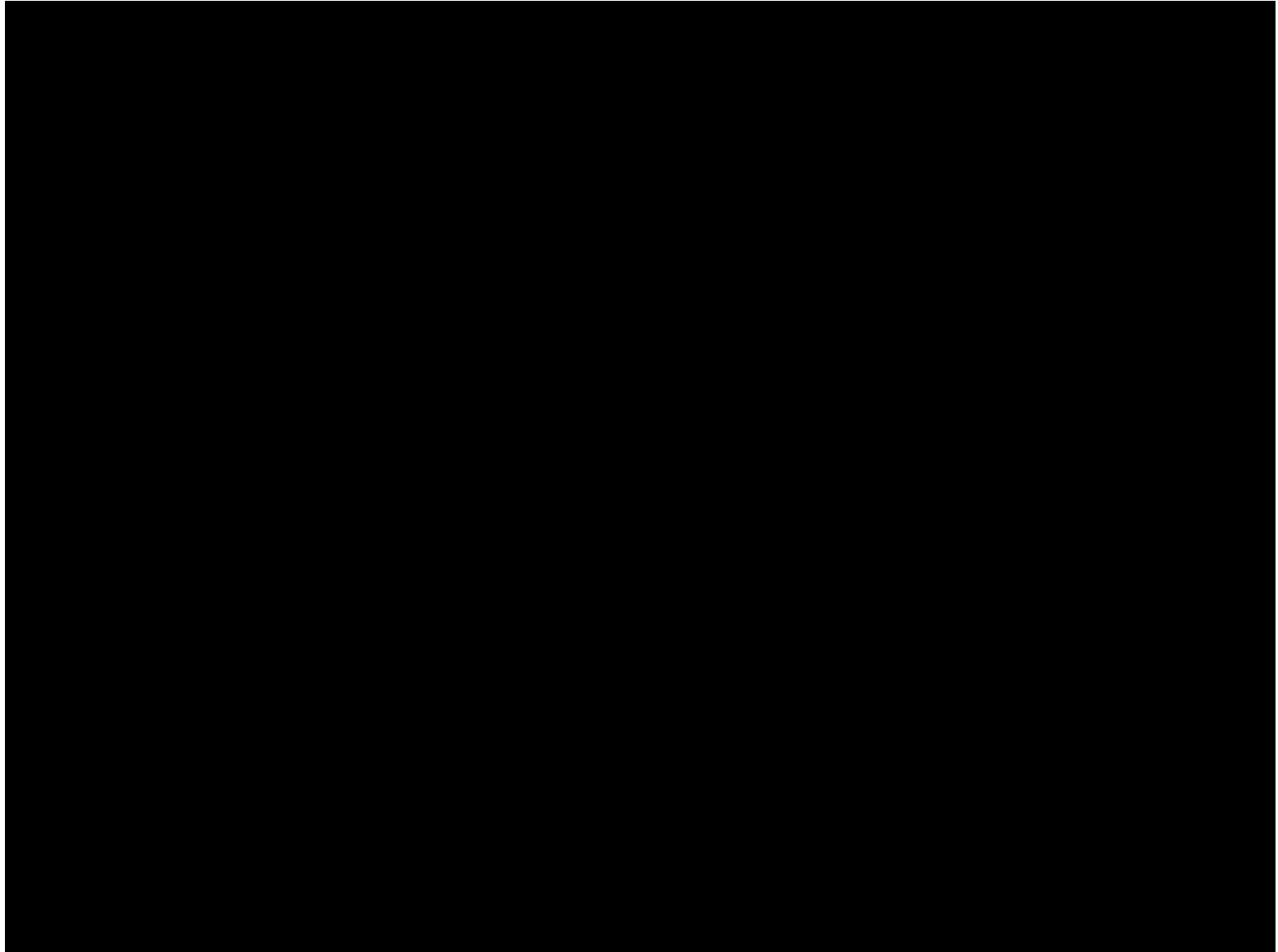


Поперечное расположение 2 ВЭУ



Продольное расположение 2 ВЭУ

Суперкомпьютеры в спорте

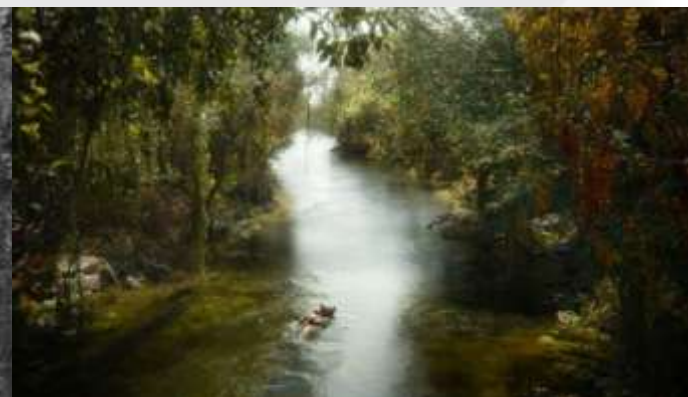




Суперкомпьютеры и анимация

(“Книга Джунглей”, 2016 год)

- 24 кадра в секунду,
 - более 152 000 кадров в фильме,
 - кадр обрабатывается одним процессором,
 - в среднем 19 часов на рендеринг одного кадра,
 - всего: 30 млн. процессорочасов
(потребовалось бы 3400 лет работы одного процессора).
- Бюджет: \$175 млн. Сборы в мире: \$966 млн.



Суперкомпьютеры в кинематографе



Использование суперкомпьютера МГУ
“Ломоносов-2”: спецэффекты для
фильма “Время первых”.

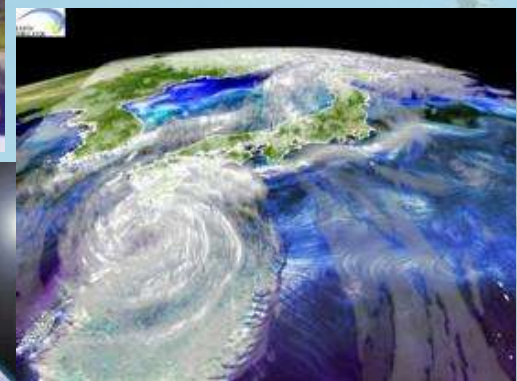
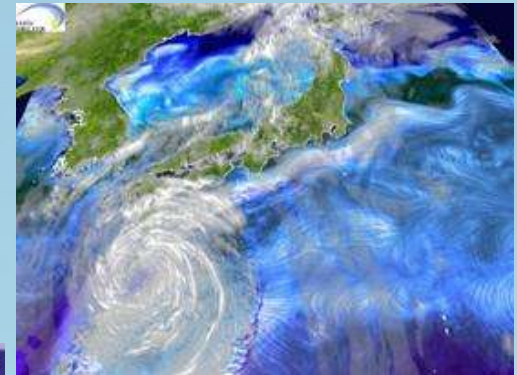
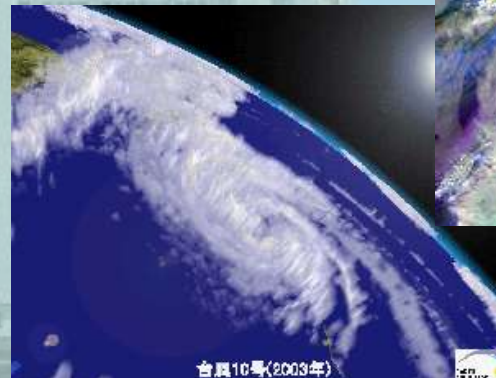
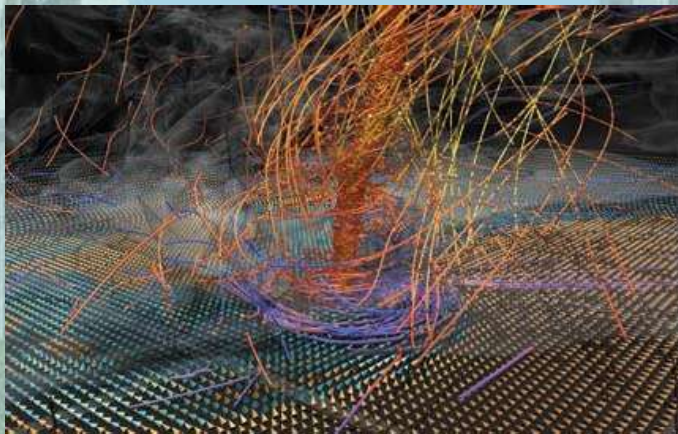
Выступление компании Whirlpool на научной конференции



Суперкомпьютерные технологии и наука

Наука:

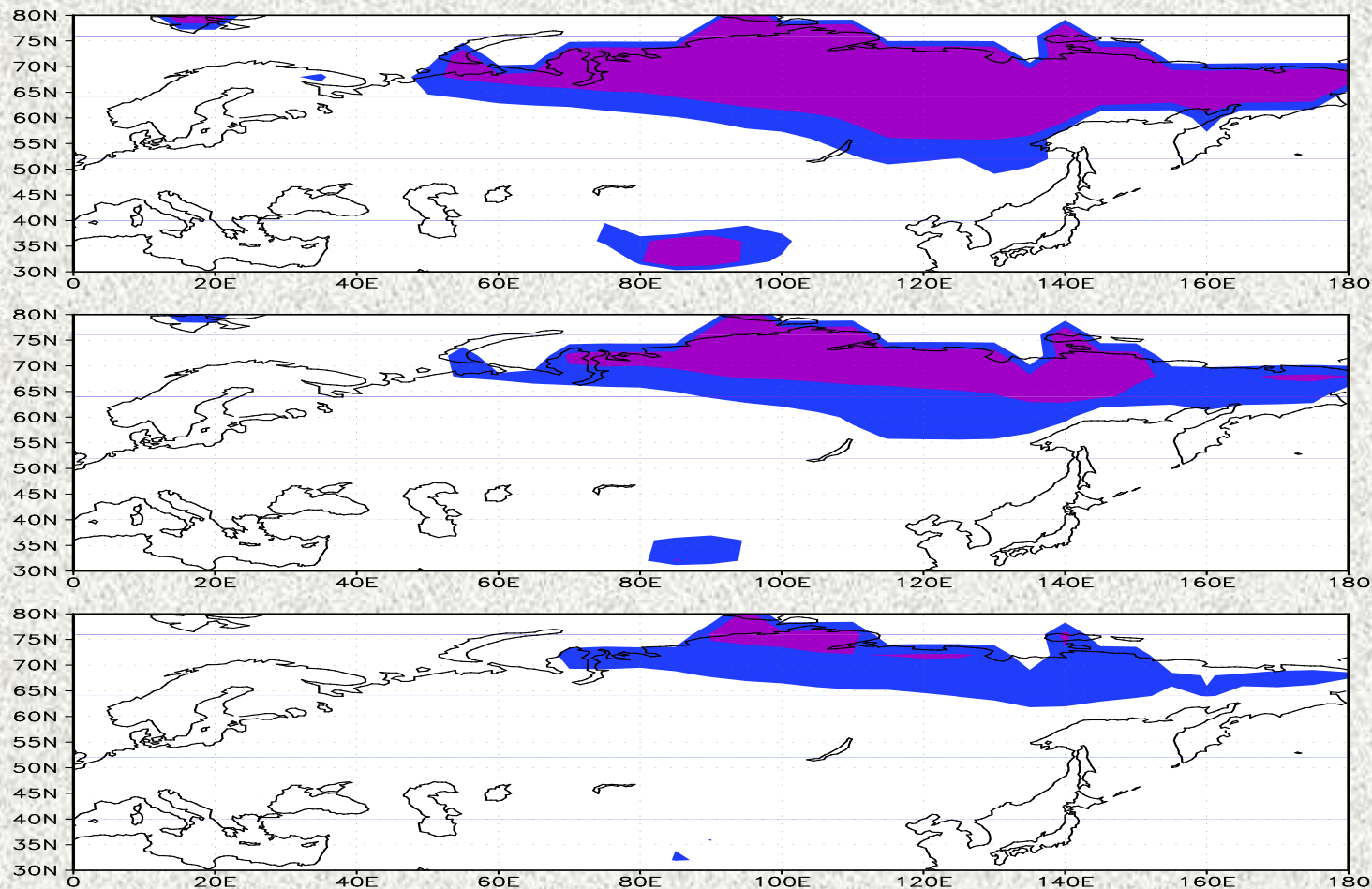
- теоретическая
- экспериментальная
- **вычислительная**



От моделирования к полному воспроизведению ...



Суперкомпьютеры – инструмент моделирования климатических изменений



Верхняя картинка – распределение вечной мерзлоты на территории России.

Средняя и нижняя картинки – прогноз распределения вечной мерзлоты на будущее при двух сценариях воздействия человека на климат.

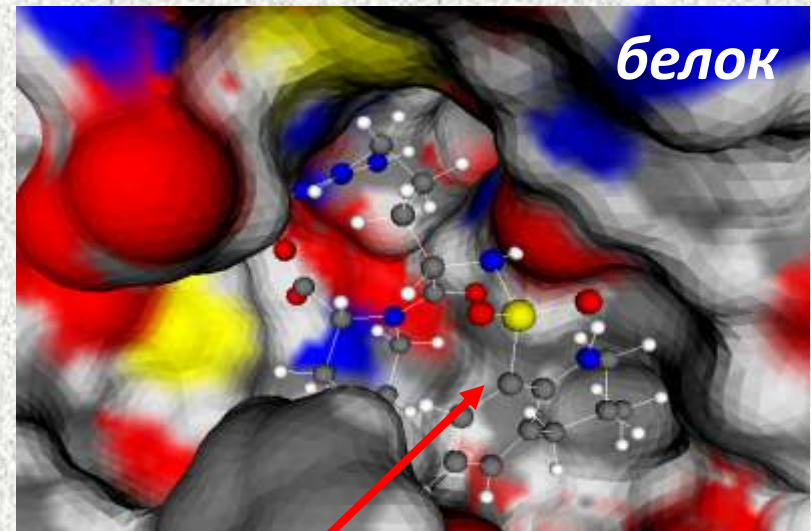
Компьютерный дизайн лекарств

Разработка нового лекарства требует 10-15 лет и до \$500 млн.

Действие лекарства:

блокировка ингибитором
активного центра белка,
пораженного болезнью.

Поиск ингибиторов – это ключевой
этап разработки.



ингибитор

Суперкомпьютеры и грид-технологии позволяют ускорить разработку
лекарств в несколько раз и удешевить в сотни раз.

Теоретико-числовые задачи, ориентированные на криптографические приложения

Факторизация больших целых чисел требует решения огромных разреженных систем линейных уравнений над конечными полями и компьютеров с петафлопсной производительностью.

Факторизация: $N = p q$, где p и q – простые числа.

$RSA_{232} = 12301866845301177551304949583849627207728535695953347921973$
224521517264005072636575187452021997864693899564749427740638459251
925573263034537315482685079170261221429134616704292143116022212404
79274737794080665351419597459856902143413

$p = 33478071698956898786044169848212690817704794983713768568912431388$
982883793878002287614711652531743087737814467999489

$q = 36746043666799590428244633799627952632279158164343087642676032283$
815739666511279233373417143396810270092798736308917

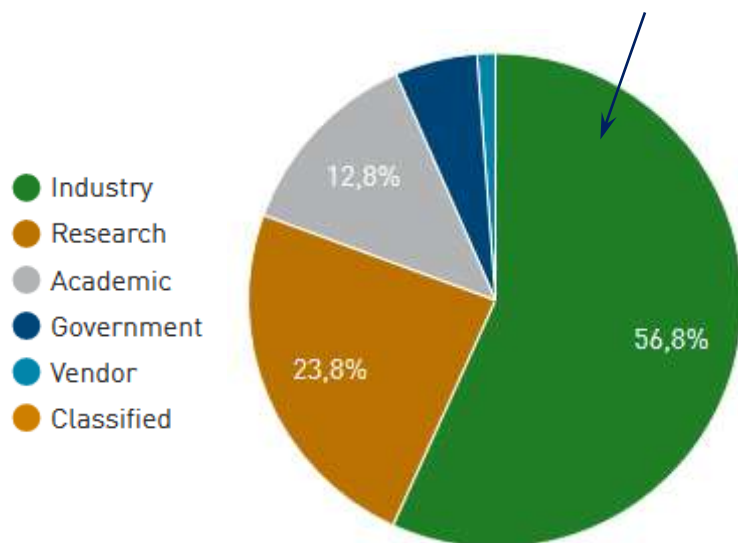
Этап просеивания: 2 года на 800 компьютерах.

Размерность системы уравнений: $1.9 \cdot 10^9$. Вычислительная сложность: 10^{20} операций.

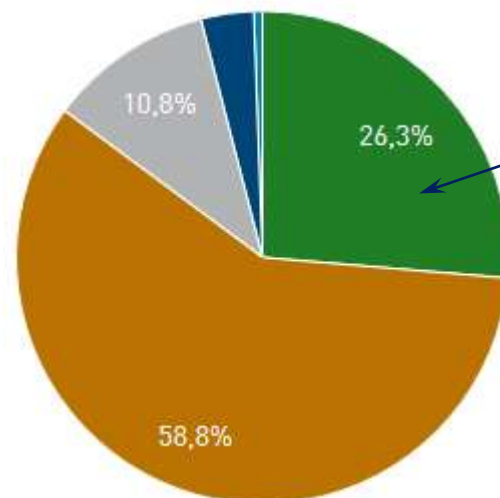


Топ500 самых мощных суперкомпьютеров мира. Распределение по областям применения (июнь, 2018)

Свидетельство целесообразности использования суперкомпьютерных технологий для развития экономики государств: более половины (56,8%) самых мощных суперкомпьютеров мира **установлены в промышленности.**

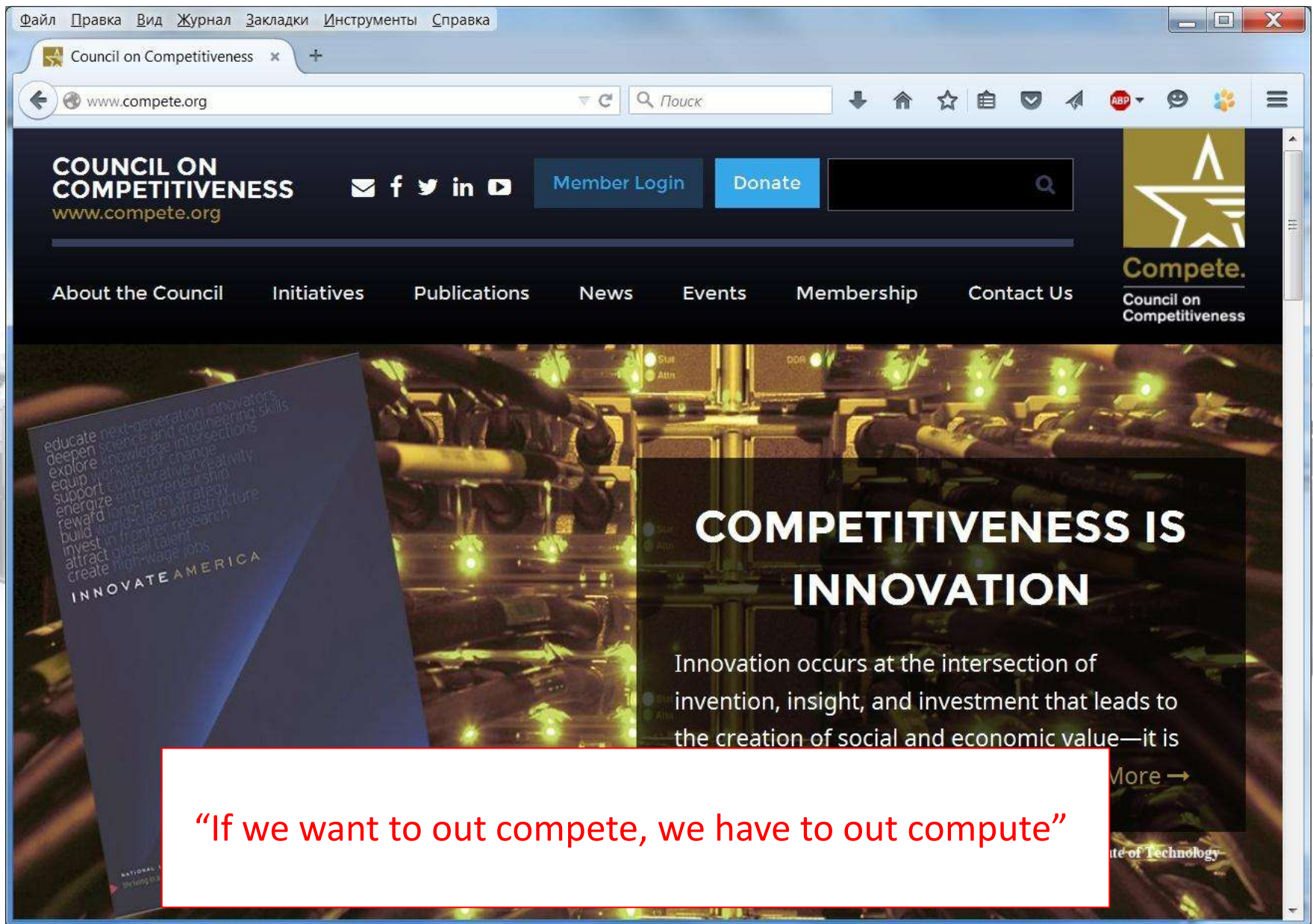


По числу
суперкомпьютеров
в списке Top500



Свидетельство
экономической
обоснованности
использования
суперкомпьютерных
технологий в
промышленности.

По суммарной
производительности
суперкомпьютеров



Случайный взгляд на улицы Москвы



Суперкомпьютеры... Зачем?

И в промышленности, и в науке есть большое число задач, для решения которых необходимы именно суперкомпьютеры.



Почему суперкомпьютеры имеют столь высокую производительность ?

Два вывода.

- 1. Безусловно, без развития элементной базы не было бы такого прогресса в развитии компьютеров.*
- 2. Но **основной вклад в увеличении производительности компьютеров** – это развитие архитектуры, и прежде всего, **за счет глубокого внедрения идей параллелизма.***

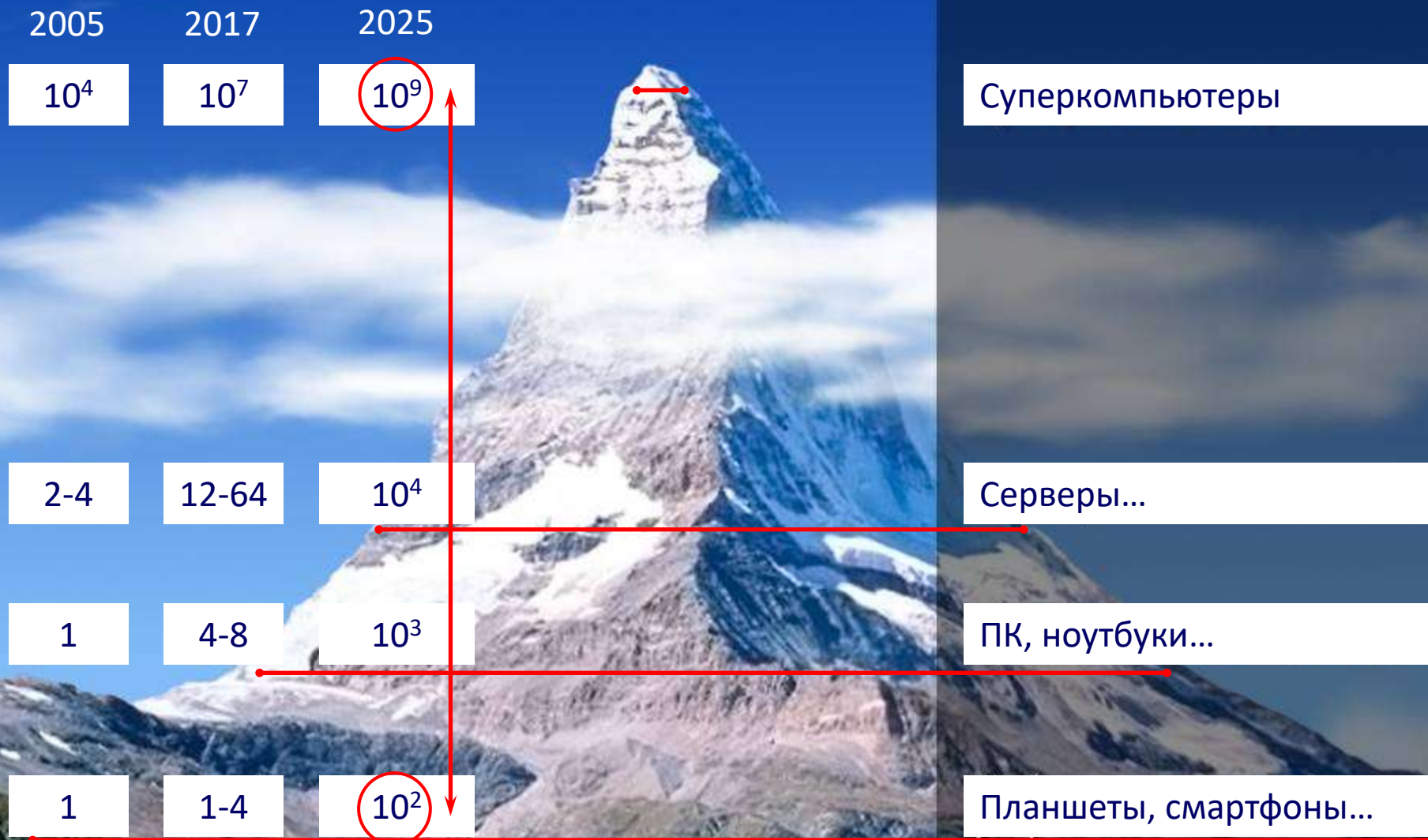
Годы, флопсы и степень параллелизма

(когда и как был достигнут очередной 'X'flops)

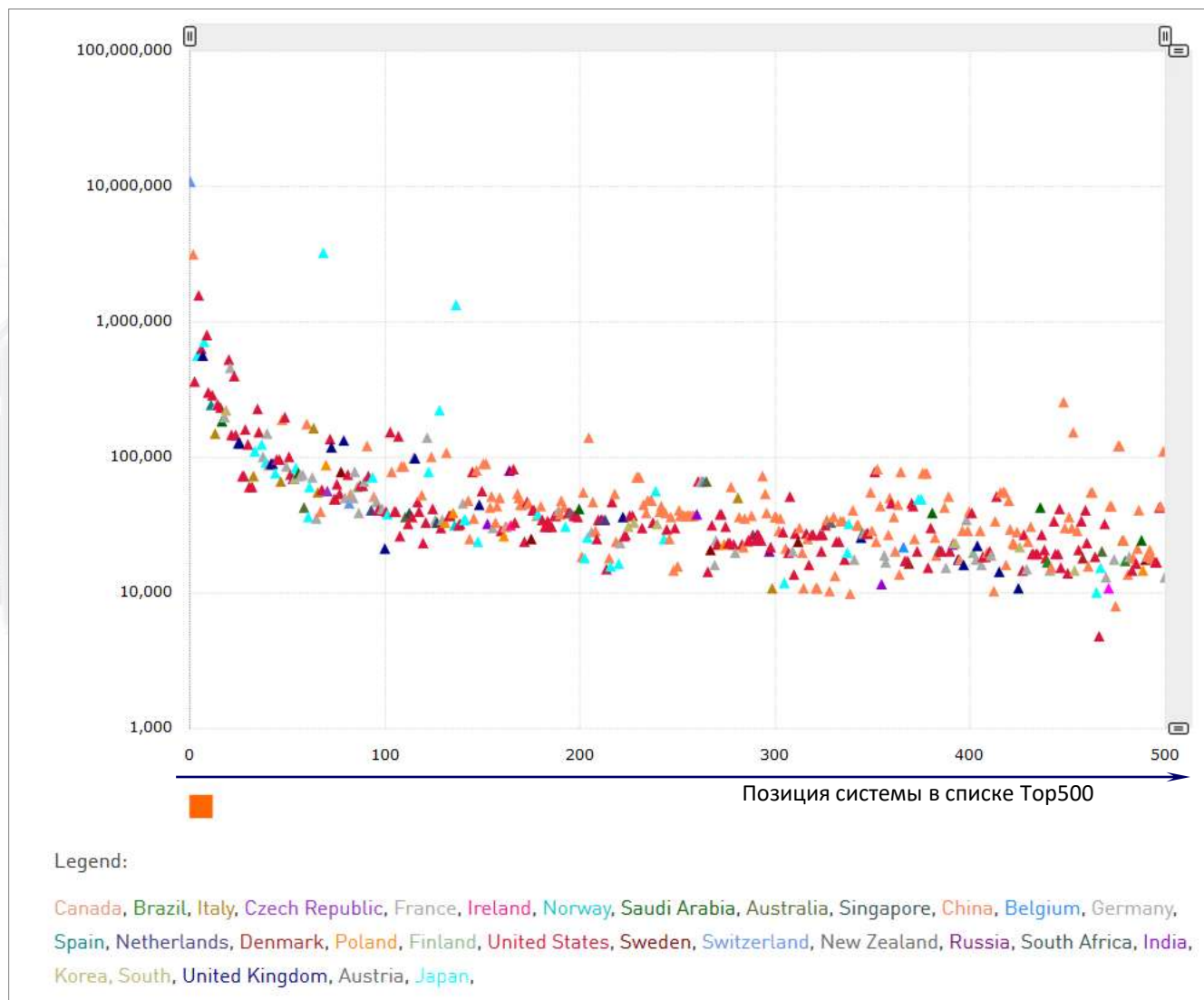
10^6	Mflops	1964 г.	CDC 6600	10 MHz	1 CPUs
10^9	Gflops	1985 г.	Cray 2	125 MHz	8 CPUs
10^{12}	Tflops	1997 г.	ASCI Red	200 MHz	9152 CPUs
10^{15}	Pflops	2008 г.	Roadrunner	3,2 GHz	122400 Cores
10^{18}	Eflops	2020-2022			$10^8 - 10^9$

Параллельный компьютерный мир

Степень параллелизма

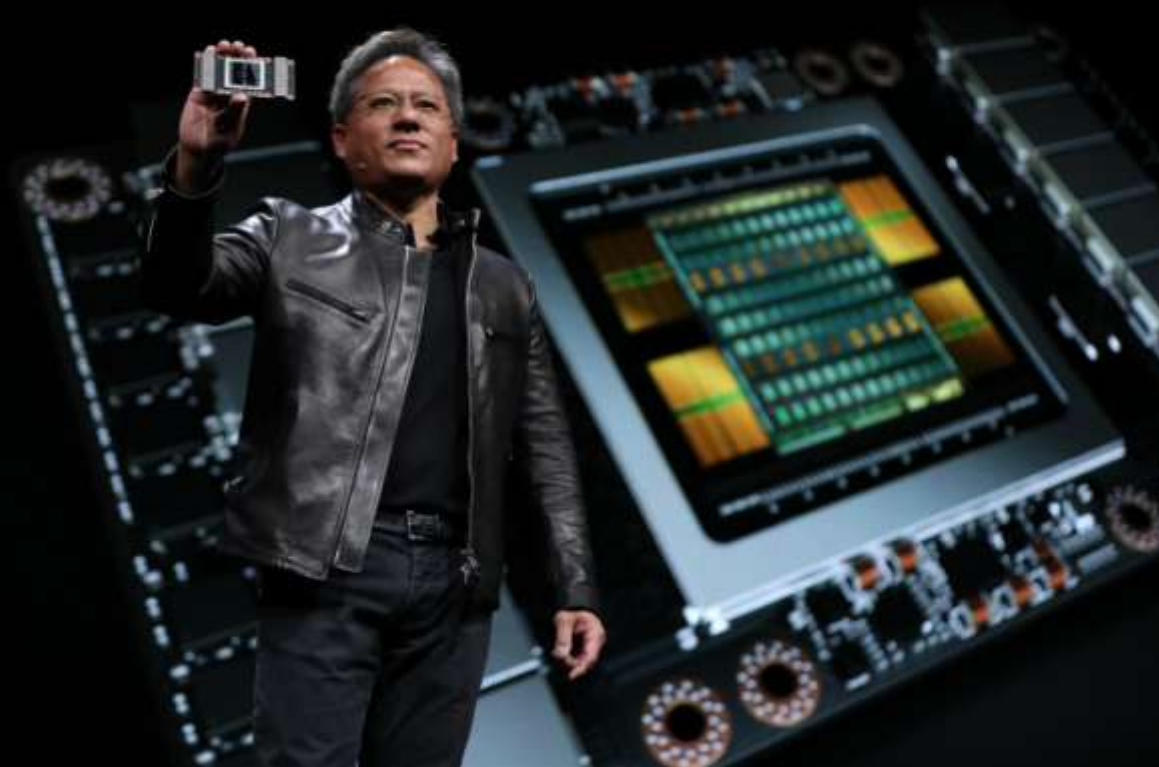


Число ядер в системах списка Top500



Доступный параллелизм: NVIDIA GPU

(Tesla V100, Volta)



- 5120 ядер,
- 7.5 Тфлопс на двойной точности,
- 15 Тфлопс на одинарной точности,
- 120 Тфлопс (tensor flops, FP16)

*Суперкомпьютеры –
это колоссальная мощь.
Но есть ли здесь проблемы ?*

*Увы, да, эффективная организация параллельных
вычислений –
это очень не просто...*

Производительность компьютера и время решения задачи

Вскапываем огород, 10×10 м – все хорошо: если нужно ускориться, то зовем 5, 10, 50 помощников...

Копаем яму, $1 \times 1 \times 1$ м – как ускорить процесс? Еще 10 или 50 помощников сильно время не уменьшат...

Копаем фундамент: разметку может делать только бригадир, остальное – рабочие.

- 1 час разметка, остальное - 10 часов (1 рабочий) = 11 часов
- 1 час разметка, остальное - 1 час (10 рабочих) = 2 часа
- 1 час разметка, остальное - 6 мин. (100 рабочих) = 1 час 6 мин.

...бригадир становится “узким местом”.

Характеристики параллельных программ (основные обозначения)

f – доля последовательных операций ($0 \leq f \leq 1$),

p – число процессоров (ядер, вычислительных узлов),

T_1 – время работы программы на одном процессоре,

T_p – время работы программы на системе из p процессоров,

$S = \frac{T_1}{T_p}$ – это ускорение работы программы при переходе с одного процессора на систему из p процессоров.

Закон Амдала

(формулируется просто, но влияет сильно)

p – число процессоров (ядер, вычислительных узлов),

T_1 – время работы программы на одном процессоре,

T_p – время работы программы на системе из p процессоров,

$S = \frac{T_1}{T_p}$ – это ускорение работы программы при переходе с одного процессора на систему из p процессоров (во сколько раз программа начинает работать быстрее),

f – доля последовательных операций в исходной программе ($0 \leq f \leq 1$).

Закон Амдала.

Ускорение работы программы при переходе с одного процессора на систему из p процессоров можно оценить следующим образом:

$$S \leq \frac{1}{f + (1 - f) / p}$$

На практике: $S < p$; идеальный случай: $S = p$ – линейное ускорение работы программы.

Закон Амдала. Следствие

$$S \approx \frac{1}{f} \quad (\text{при большом числе процессоров})$$

На практике. Если доля последовательных операций в некоторой программе равна 0.1, значит **вне зависимости от числа используемых процессоров** ускорение не превысит 10.

Закон Амдала. Следствие

В теории. Для того чтобы ускорить программу в q раз, необходимо ускорить не менее, чем в q раз не менее, чем $(1-1/q)$ -ю часть программы.

На практике. Нужно ускорить работу программы в 100 раз. Значит необходимо ускорить не менее, чем в 100 раз не менее, чем 99% этой программы.

Параллельные вычисления: важны все детали...

Вопрос.

*Трое мужчин могут покрасить три забора за три часа.
За сколько времени покрасит один человек один забор?*

Ответ:

Возможен любой промежуток времени, как сколь угодно маленький, так и сколь угодно большой...

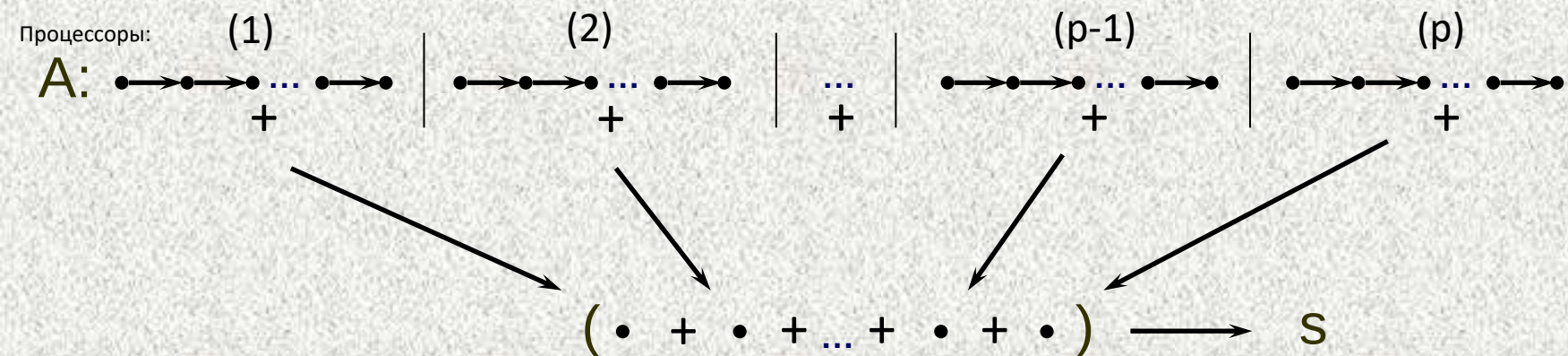
Суммирование элементов массива. Параллелизма нет...

```
s = 0.0;  
for ( i = 0; i < n; ++i )  
    s = s + A[ i ];
```

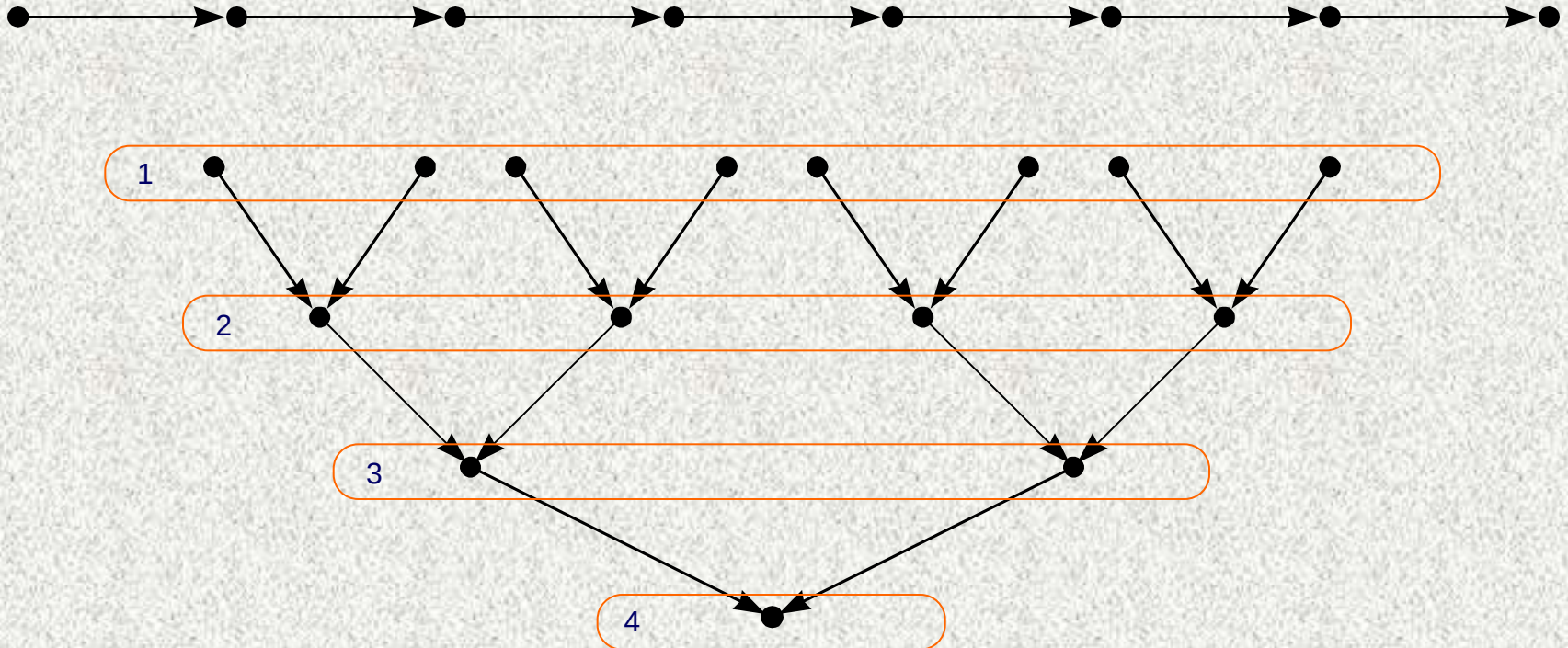


Суммирование элементов массива. Замена алгоритма

```
s = 0.0;  
for ( i = 0; i < n; ++i )  
    s = s + A[ i ];
```

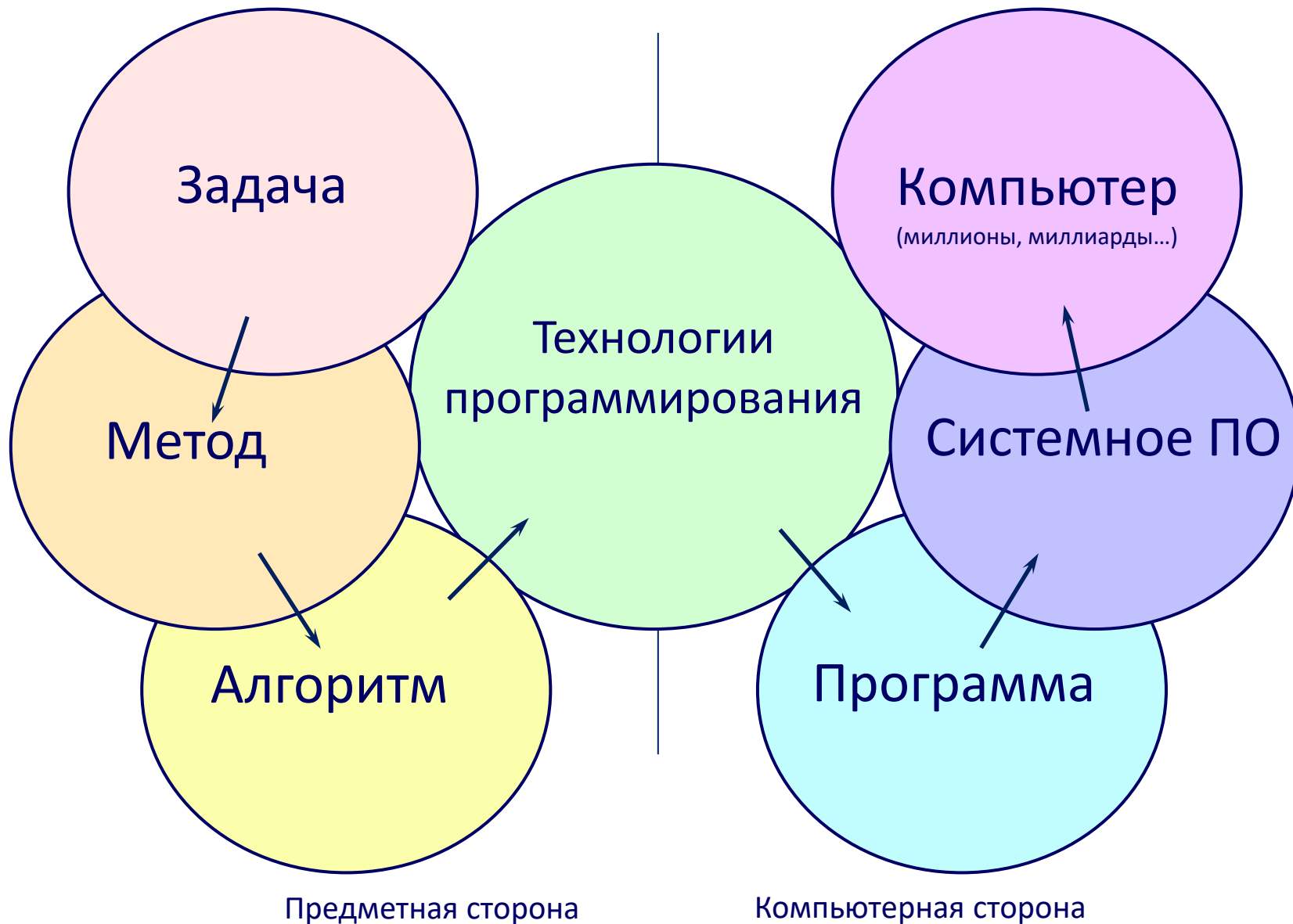


Суммирование элементов массива. Замена алгоритма



Каковы основные этапы в решении задач на параллельных вычислительных системах ?

Решение задачи на компьютере



*Особенность современных компьютеров –
высокая степень параллельности.*

*Решение задачи на параллельной вычислительной
системе будет эффективным только в том случае,
если на всем пути
от Задачи до Компьютера
не возникнет ни одного
“узкого места”!*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Факультет Вычислительной математики и кибернетики*

*Межфакультетский курс
“Квантовая информатика как новая парадигма в естествознании”*

СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Вл.В.Воеводин

**Зав.кафедрой Суперкомпьютеров и квантовой информатики ВМК МГУ
Зам.директора НИВЦ МГУ,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор**

voevodin@parallel.ru

ВМК МГУ – 27 марта, 2019