



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

КАФЕДРА

ТЕЛЕМАТИКА

История и методология математики и компьютерных наук

*Сможем ли мы одновременно контролировать  $10^{300}$  состояний*

*квантовой системы? Мой ответ — нет.*

**проф. д.ф-м.н М. И. Дьяконов**

## Лекция 11

# Эволюция компьютерных технологий : от программирования к... обучению и КВАНТОВЫМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ.

(о возможностях бинарной, модальной и квантовой логик)

---

24 ноября 2021 г.

# Итоги предыдущей лекции

## Проект решения Научного совета по информатизации Санкт-Петербурга

Смольный, TrueConf

«17» ноября 2021, 15:00

### **1. О применении методов машинного обучения для развития технологий суперкомпьютерного моделирования.**

**Докладчики:** В.С. Заборовский, профессор Высшей школы искусственного интеллекта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; Л.В. Уткин, директор Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

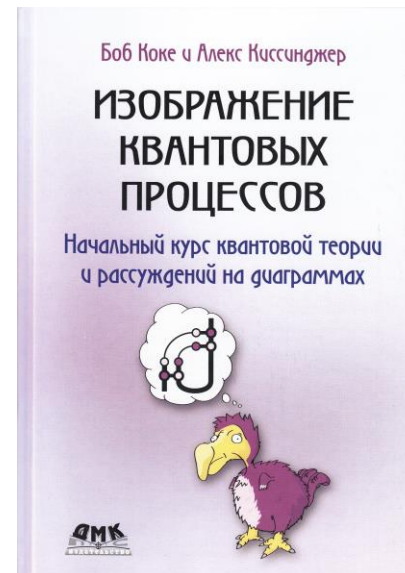
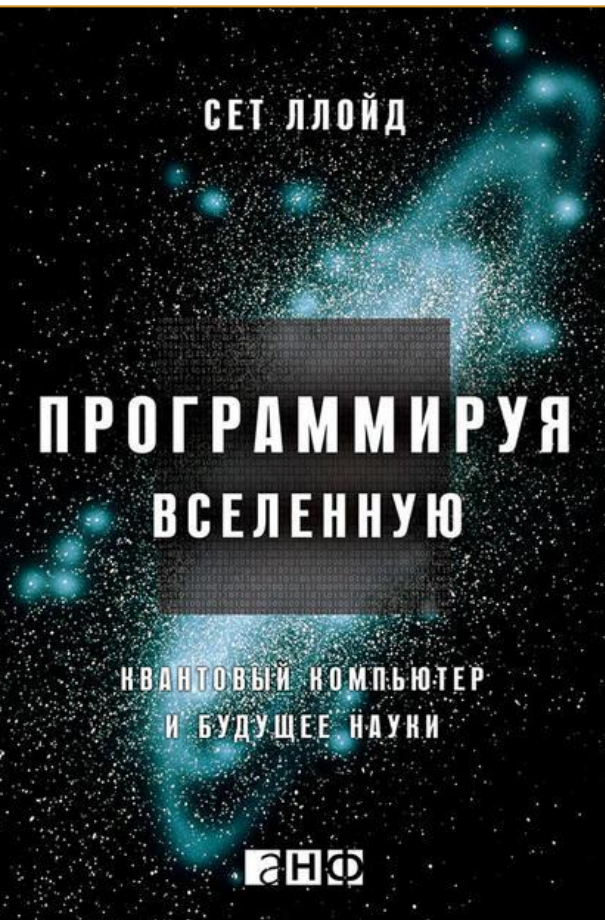
#### **Постановили:**

1.1. Одобрить деятельность Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по разработке методов машинного обучения для повышения эффективности технологий суперкомпьютерного моделирования и рекомендовать продолжить эту работу с широким привлечением ведущих научно-образовательных организаций и предприятий Санкт-Петербурга.

1.2. Считать необходимым поддержать предложение Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого о создании Регионального **узла** национальной суперкомпьютерной инфраструктуры.

1.3. Считать целесообразным **поддержать предложение** о создании на базе Суперкомпьютерного центра «Политехнический» и Института компьютерных наук Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Регионального центра для проведения исследований и подготовки кадров в области применения перспективных (прорывных) компьютерных технологий, в том числе суперкомпьютерных вычислений и технологий искусственного интеллекта.

# Литература о том, что будем обсуждать на лекции

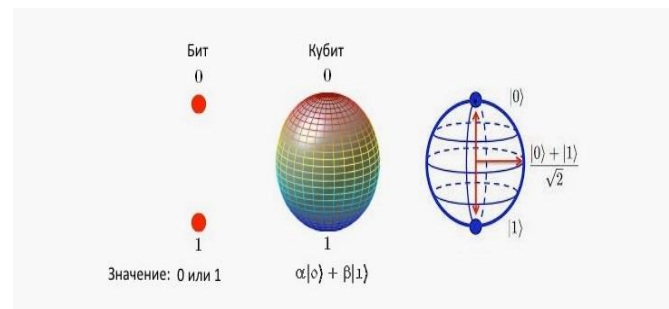
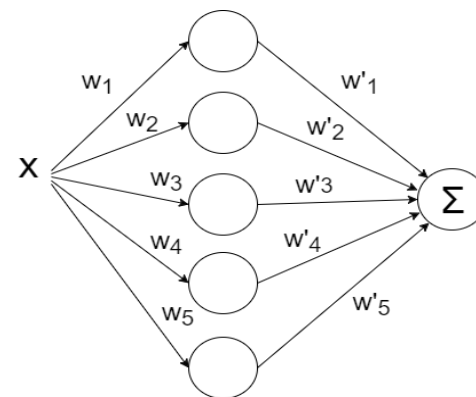


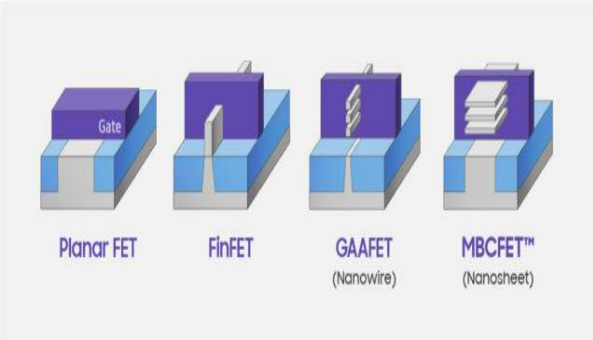
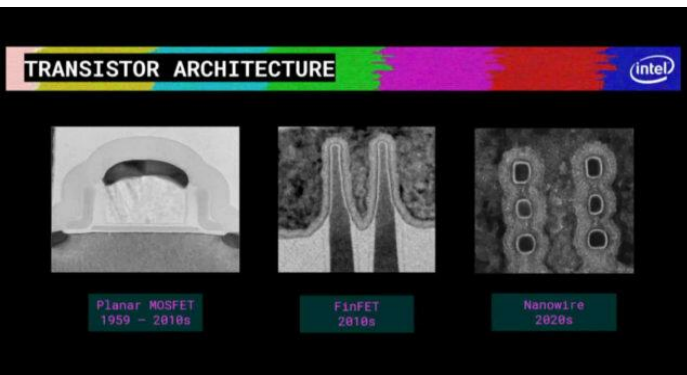
[Programmirovaniye-kvantovyh-kompyuterov\\_RuLit\\_Me\\_618065.pdf](#)

Поиск новых решений в «пространстве вычислительных возможностей» может быть основан на данных

- 1) предыдущего опыта,
- 2) результатах прогноза возможных последствий
- 3) Програмах, которые кодируют алгоритмы вычислений

- Современный компьютер – это совокупность простых (бинарных) устройств, работа которых синхронизируется во времени тактовым генератором, а совокупность действий контролируется с помощью **программ** на основе правил бинарной логики.
- Сложный объект проявляет совокупность альтернативных состояний (принцип комплементарности) Н. Бора.
- Но компьютер – лишь программный автомат, поэтому воспринимает каждую новую программу как «ученик-новичок», который видит эту программу-задачу первый раз.
- Вопрос, как «подготовить» такого «ученика» к решению задач, другими словами «обучить» его. Этим сейчас как раз многие и занимаются, используя искусственные нейронные сети и квантовые процессоры

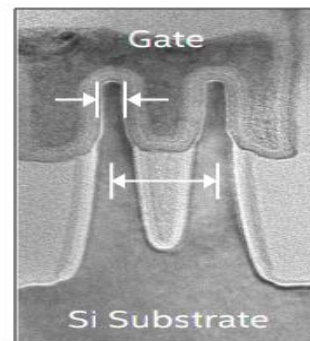




эволюция конструкций  
планарных  
транзисторов

8 nm Fin Width

42 nm Fin Pitch



3-5 нм МП содержит от  
8 до 50 млрд.  
транзисторов это >>, чем  
все население Земли

В «лабиринтах» нового пространства вычислительных возможностей можно найти «траекторию» для реализации любого эффективного алгоритма. Вопрос: на что же лучше «потратить» имеющиеся ресурсы ? Варианты:

1. (было) **Гетерогенность** архитектуры МП и расширение **шины данных** между компонентами
2. (есть) **Реконфигурируемость** структуры МП «под задачу»
3. (д. быть) **Встроенная в микропроцессор система «машинного обучения»**, которая обеспечить «накопление» знаний о том, как решать различные задачи

Эра часов автоматов, управляемых одной программной



«сила»  
мысли -  
алгоритм



механическая  
энергия-  
вычисления

эра  
«арифмометров,  
управляемых человеком  
1900-1960



«сила»  
алгоритма



результат-  
объяснение

эра  
«программных автоматов,  
вычисляющих решения под  
управлением программ  
1960 – 2020



Эл.энергия  
-  
вычисления



эра  
гетерогенных «нейроморфных»  
компьютерных систем, вычисляющих  
решения под управлением  
эмпирических данных и  
объяснением результатов  
2020 >

«знание -  
сила»



#	information								io500		
	list id	institution	system	storage vendor	filesystem type	client nodes	client total procs	data	score	bw GIB/s	md KIOP/s
21	isc20		Officialis	Red Hat, Intel, QCT	CephFS	8	256	zip	66.88	28.58	156.48
22	isc20	SPbPU	Polytechnic RSC Tornado	RSC Group	Lustre	59	944	zip	64.29	21.56	191.73
23	sc19	DDN	AI400	DDN	Lustre	10	240	zip	63.88	19.65	207.63
24	isc20	Red Hat	EC2-10xi3en.metal	Red Hat	CephFS	10	320	zip	57.17	26.29	124.30
25	sc19	Google Cloud	EXA5-GCP-PD-STD	Google Cloud	Lustre	200	1600	zip	52.96	17.31	162.06
26	sc19	Janelia Research Campus, HHMI	Weka	WekaIO	wekaio	18					
27	sc19	Oracle Cloud Infrastructure	Oracle Cloud Infrastructure with Block Volume Service running Spectrum Scale	Oracle Cloud Infrastructure Block Volumes Service	Spectrum Scale	30					
28	sc19	Penguin Computing Benchmarking and Innovation Lab	Penguin-ASG-NVBeeOne	Penguin Computing/Excelero	BeeGFS	10					

на 15.11.2020

**1 570 442**  
**выполненных задач**

В подведомственных организациях **Минобрнауки** СКЦ «Политехнический» самый производительный. **гетерогенный кластер**

Пиковая суммарная производительность > **2 Флопс.**

**SPbPU**

This site describes the systems deployed at the [Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University](#).

**Site characteristics**

<b>site</b>	
abbreviation	SPbPU
institution	Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
location	St.Petersburg, Russian Federation
nationality	RUS
<b>supercomputer Polytechnic RSC Tornado</b>	

**System architecture**

Enter the description about the system architecture

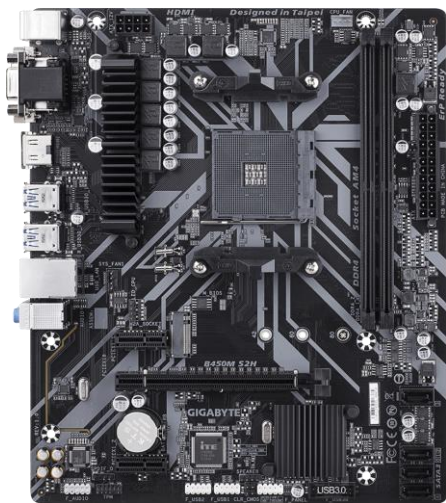
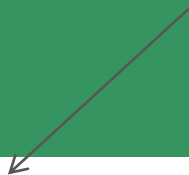
**Description**

Add anything else you want to add

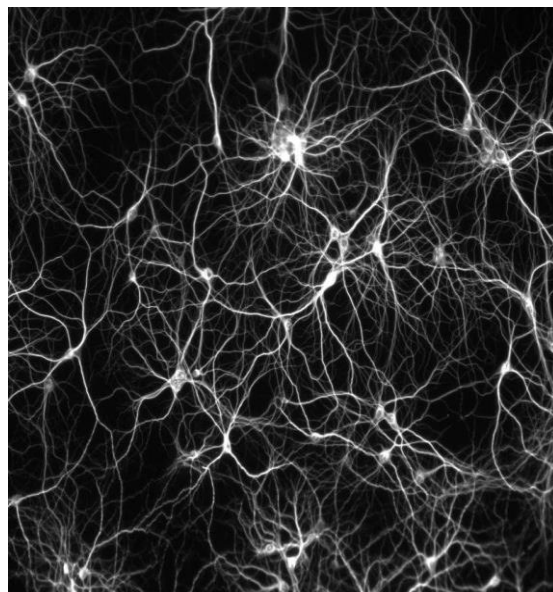
23 145 341 узло-часов  
26448 ядер CPU  
445440 ядер GPU

ЦКП <http://ckp-rf.ru/ckp/500675/>  
УНУ <https://ckp-rf.ru/usu/507708/>

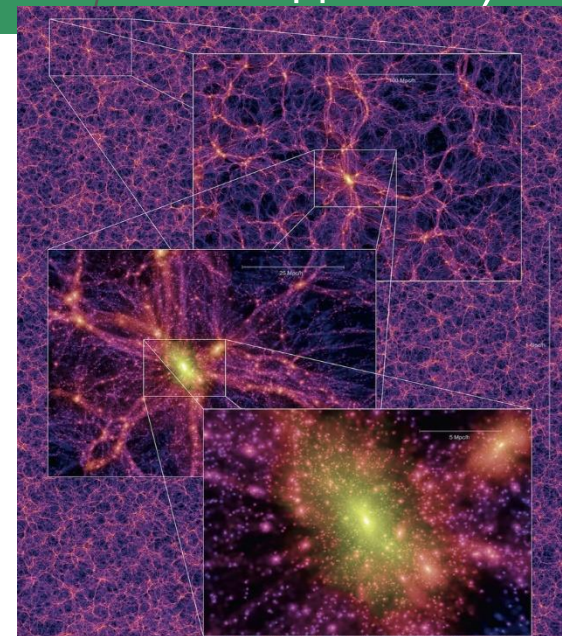




КОМПЬЮТЕР



Нейроны мозга



Структура Вселенной

На примере задачи обучения н/с распознавать 3D изображения компьютерной томографии (КТ)



СК: 1Пфлопс  
=  $1 \times 10^{15}$  Флопс

Для обучения н/с с точностью классификации **90%** надо:

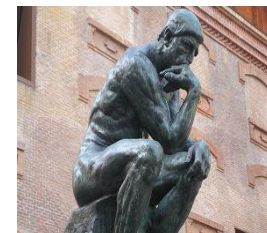
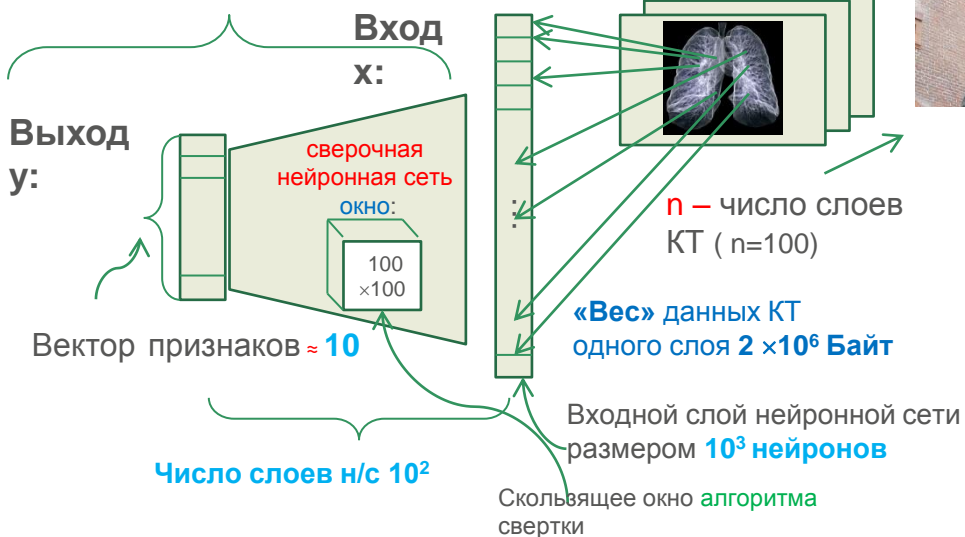
Выполнить вычислительных операций  $\approx 10^{17}$

Время обучения (настройки) ИНС на СК  $\approx 10^2$  сек

на ПК  $\approx 2 \times 10^6$  сек  
(200 Гфлопс)

Обучающая выборка  **$10^4$  КТ снимков**

$p = 10^{10}$  - число настраиваемых весов нейронной сети



Нужен ли такой «черный ящик» врачам ?

**Подробности:** для обучения глубокой сверточной нейронной сети используется **градиентный алгоритм** :

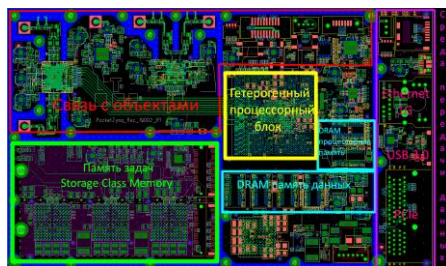
- функция ошибки классификации  $F = \|y^* - y\|^2$ ,  $y^*$  - эталонный вектор признаков
- Алгоритм вычисляет  $10^{10}$  частных производных функции  $F$  по всем настраиваемым параметрам ИНС;
- Число операций численного дифференцирования на одну итерацию (эпоху) обучения:  **$Q = 10^{15}$**

# НОВАЯ ИЕРАРХИЯ «УРОВНЕЙ И ФУНКЦИЙ» ПЕРСПЕКТИВНОЙ СКЦ «ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ»

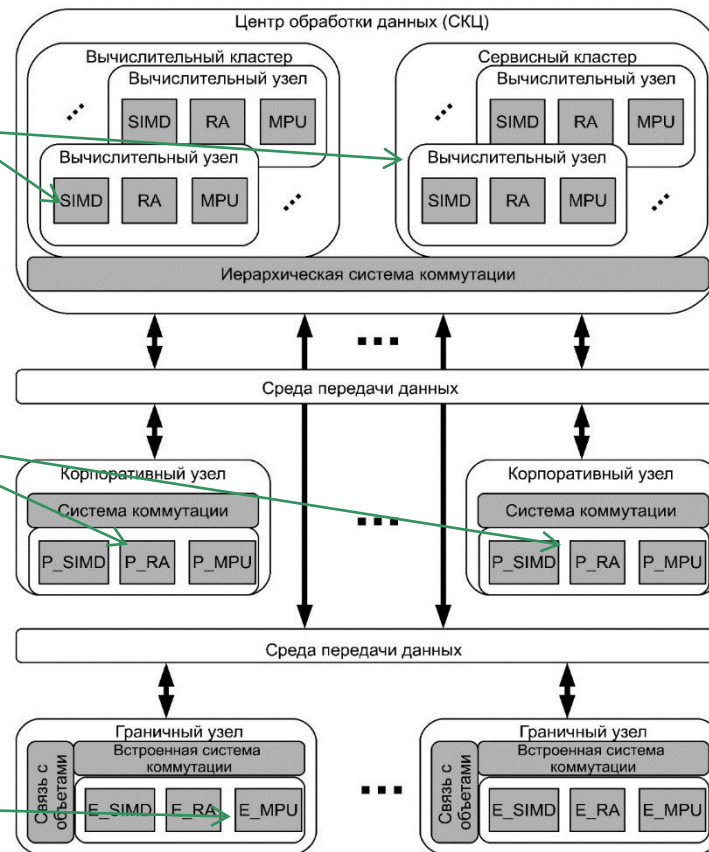
Уровень **«объяснения»** результатов ; функция **оценка параметров** >4 Гфлопс/Вт



Уровень **обобщения** результатов ; функция **«машинного обучения»** >10 Гфлопс/Вт



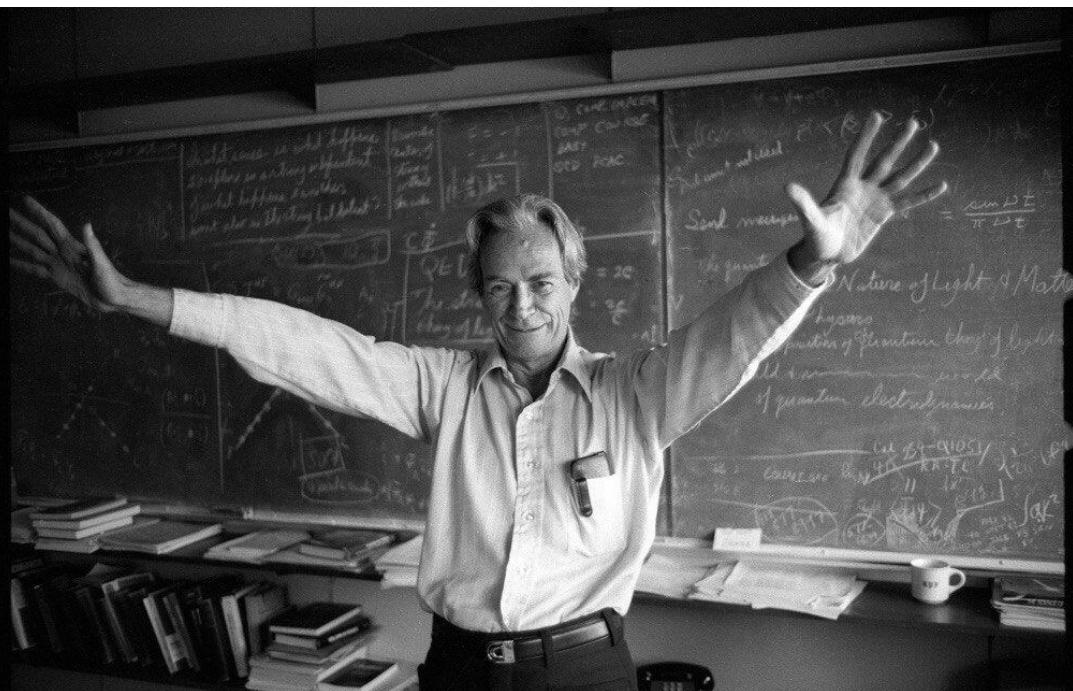
Уровень **моделирования**; функция **алгоритм вычисления** , > Гфлопс/Вт



Существуют принципиальные ограничения на объема вычислений, которые могут быть выполнены с помощью .... устройства, построенного на логических элементах с двумя различными состояниями.

Из принципа Ландауэра ( $q = kT \ln 2$ ) следует, что существуют:

- **предел** , который ограничивает **количество информации**, которая может быть сохранена в единичном объеме материи
- **предел** , который определяет **максимальную скорость вычислений** автономной физической системой
- **предел** на максимальную **скорость вычислений** на **единицу энергии**



Вопрос: можно применить для квантовых систем не-численный метод моделирования ?

Суть идеи Фейнмана о квантовом компьютере состояла в том, чтобы моделировать (имитировать) поведение изучаемой квантовой системы - путем подбора параметров другой квантовой системы, состояния которой управляемы и измеряемы.

Что же получилось: Обманнорожденный кубит стал инструментом инвестиций в науку... но не инженерным решением...