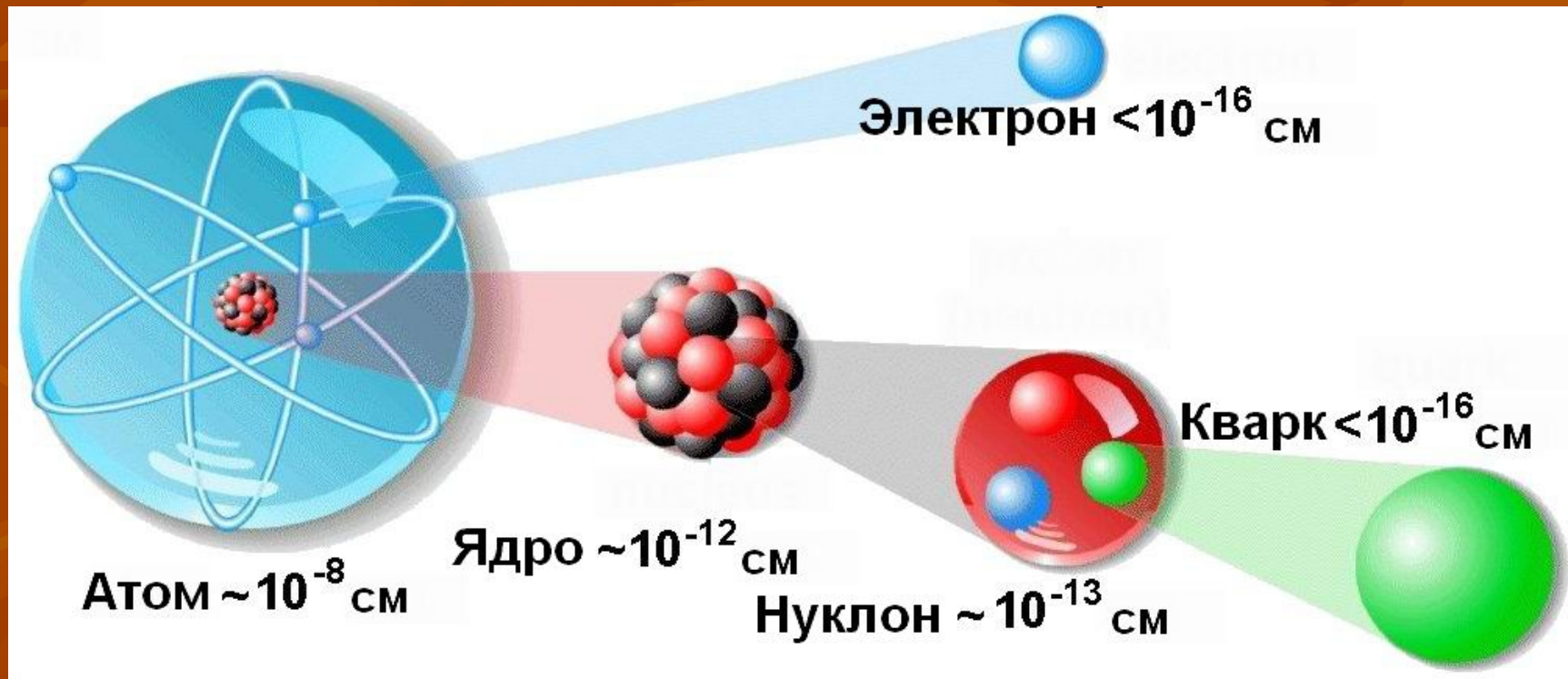


# Раскрывая тайны микромира



Е.В.Широков «Университетская суббота» 18 марта 2017 г. МГУ

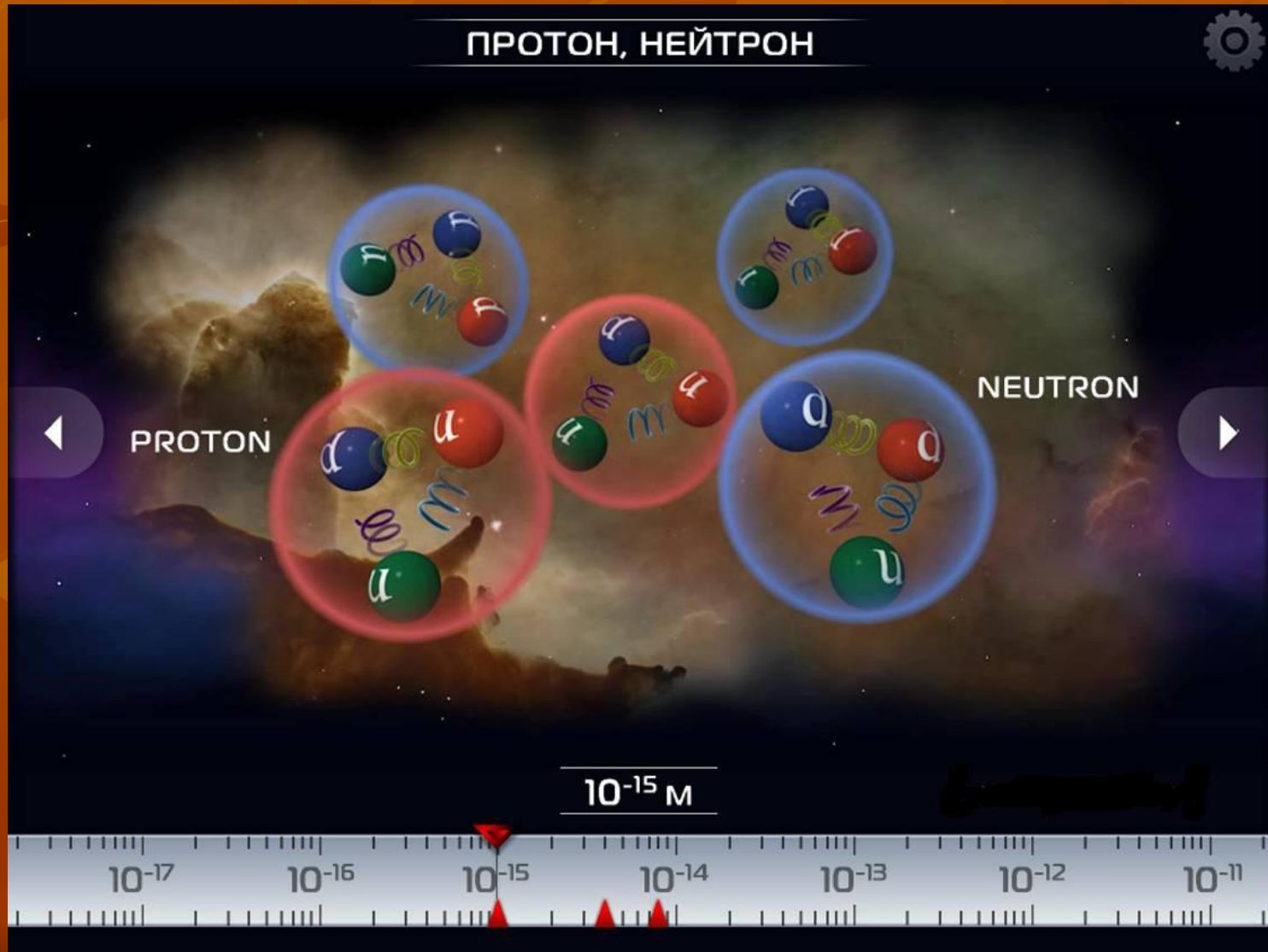
# Структура вещества



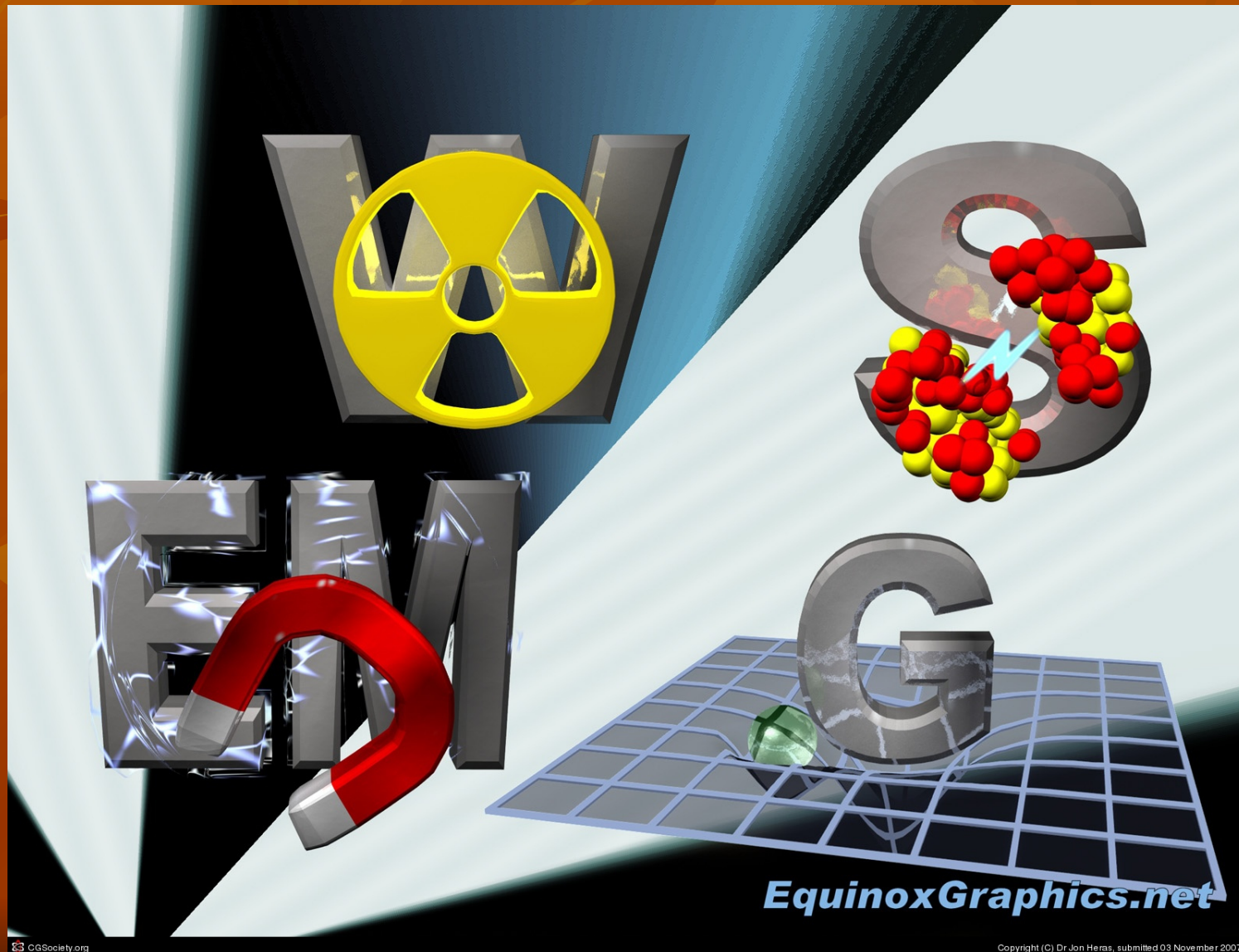
# Строение атома



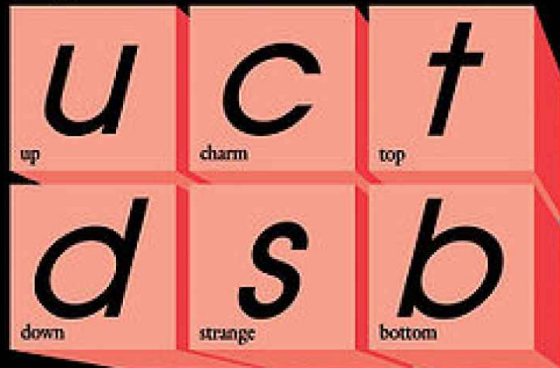
# Нуклоны



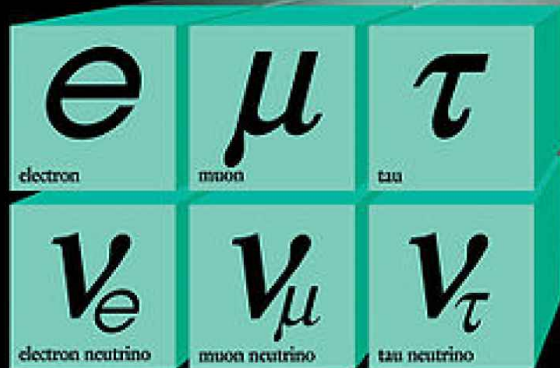
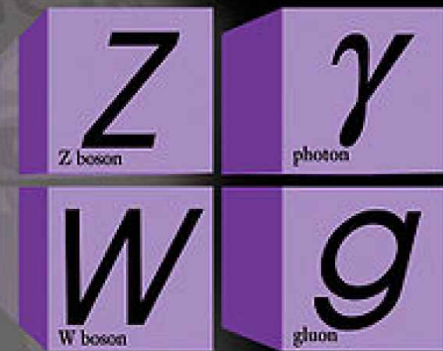
# Виды взаимодействий



# Quarks

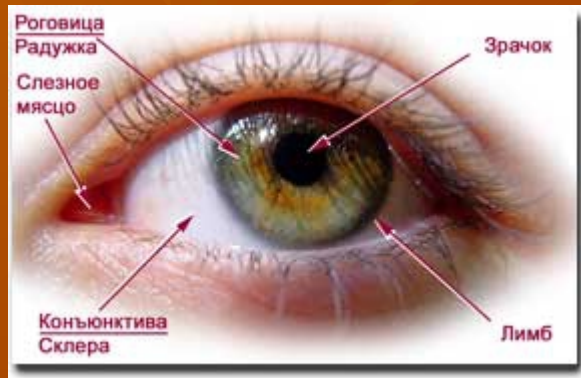


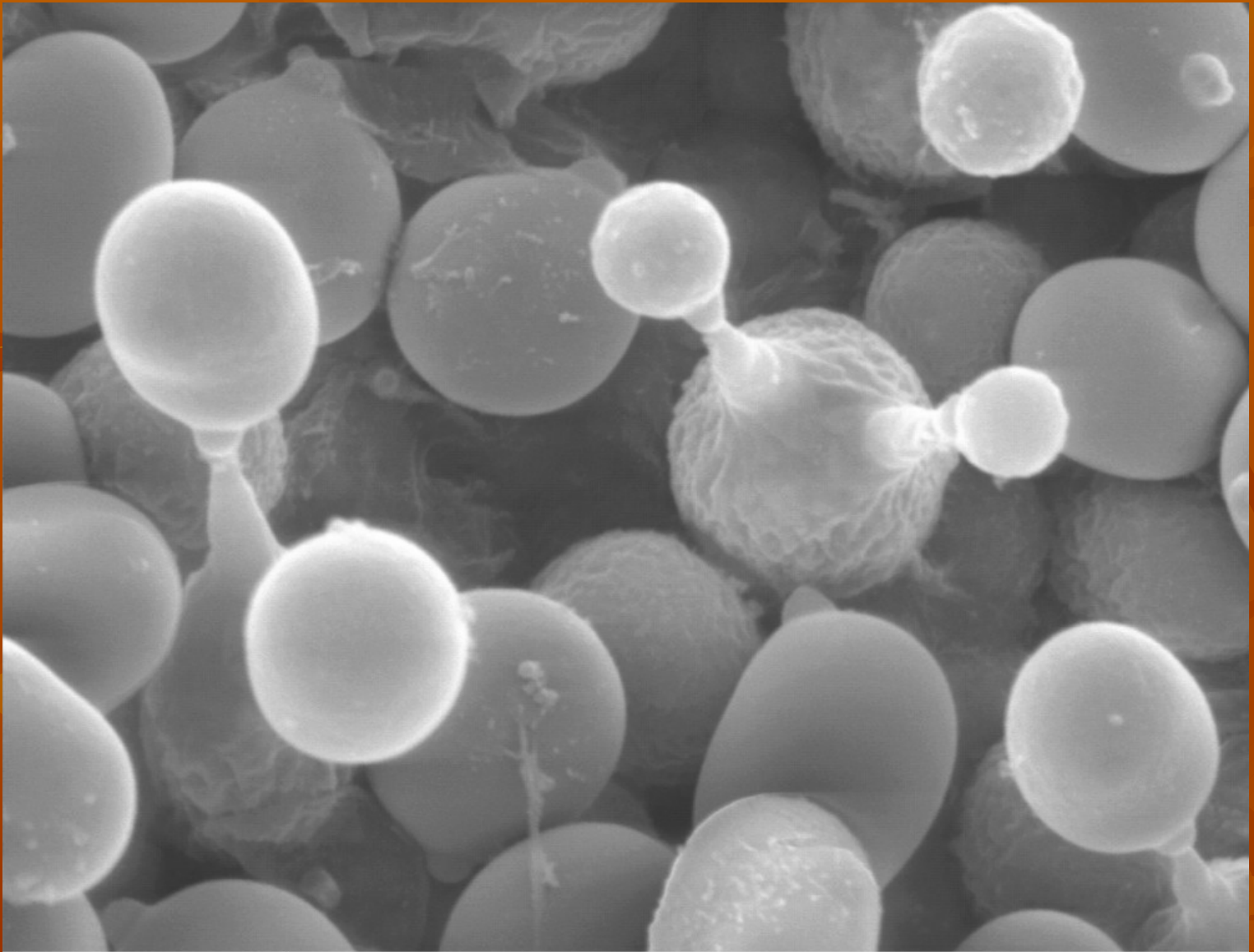
# Forces



# Leptons

# Оптические приборы





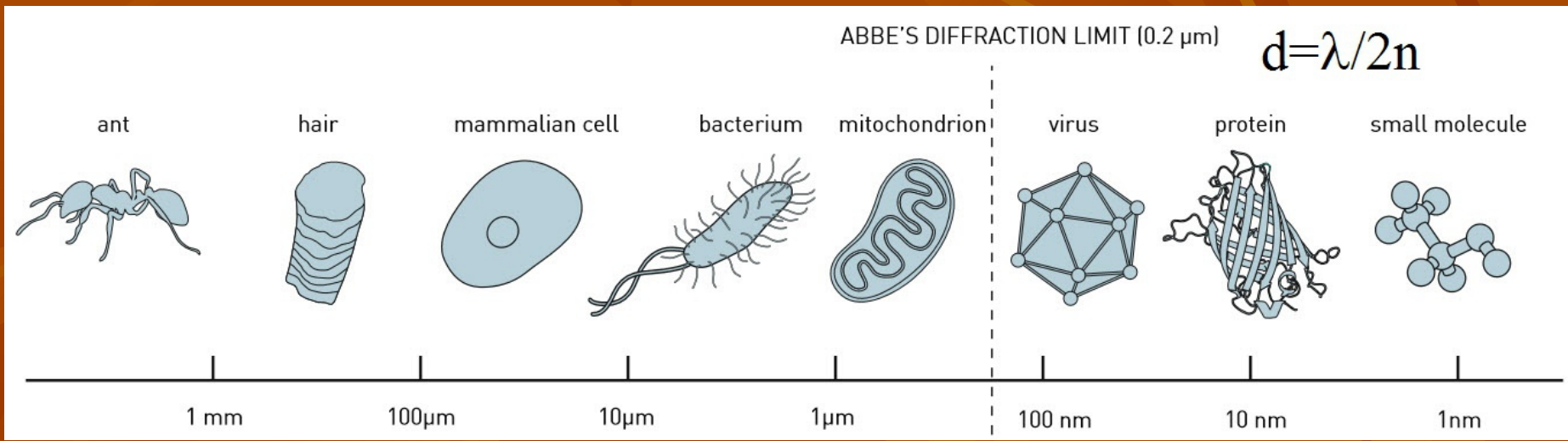
5  $\mu\text{m}$

Spores3

1/6/0 REMF



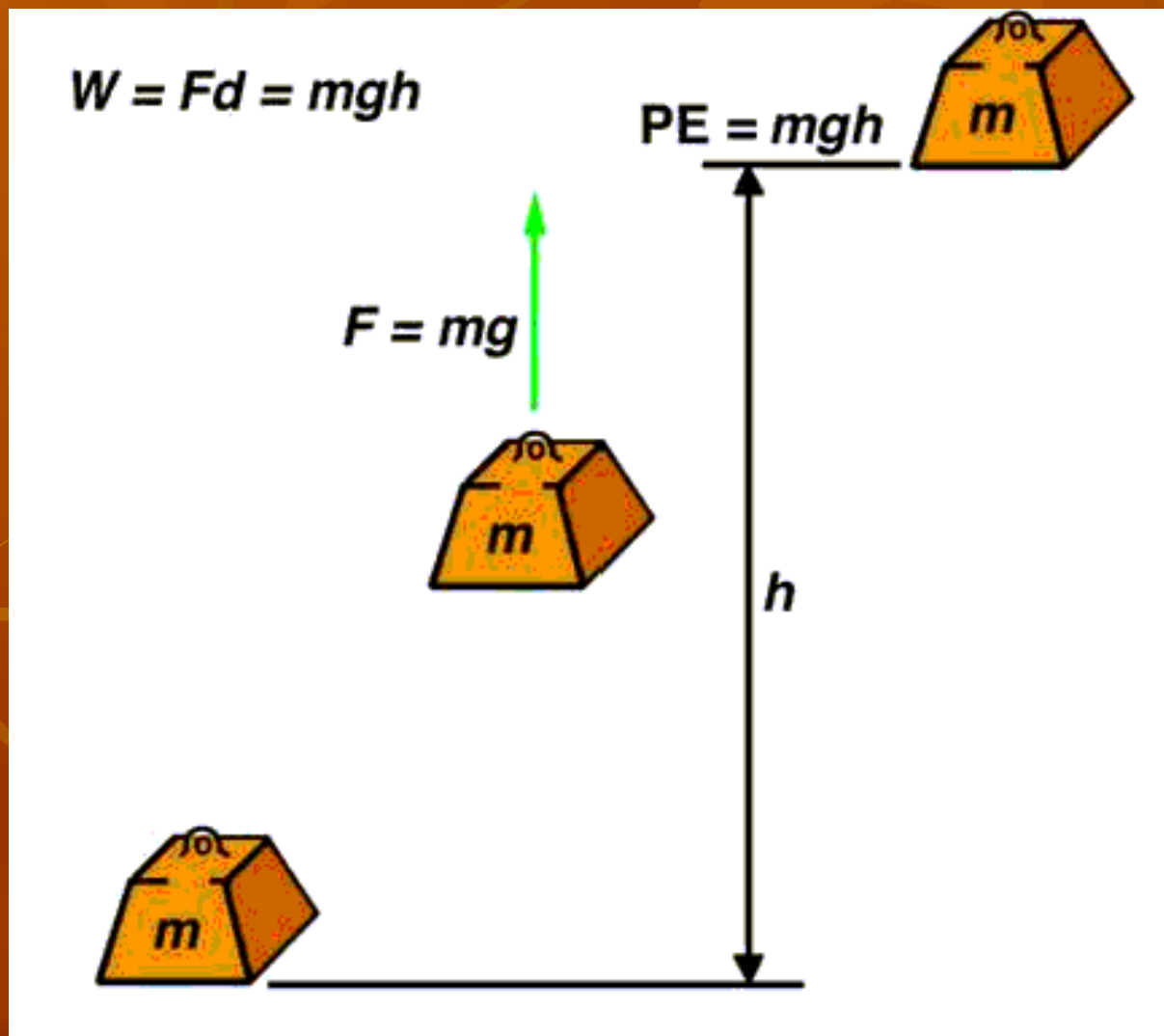
# Дифракционный предел (Э.Аббе, 1873 г.)



# Шкала электромагнитных волн



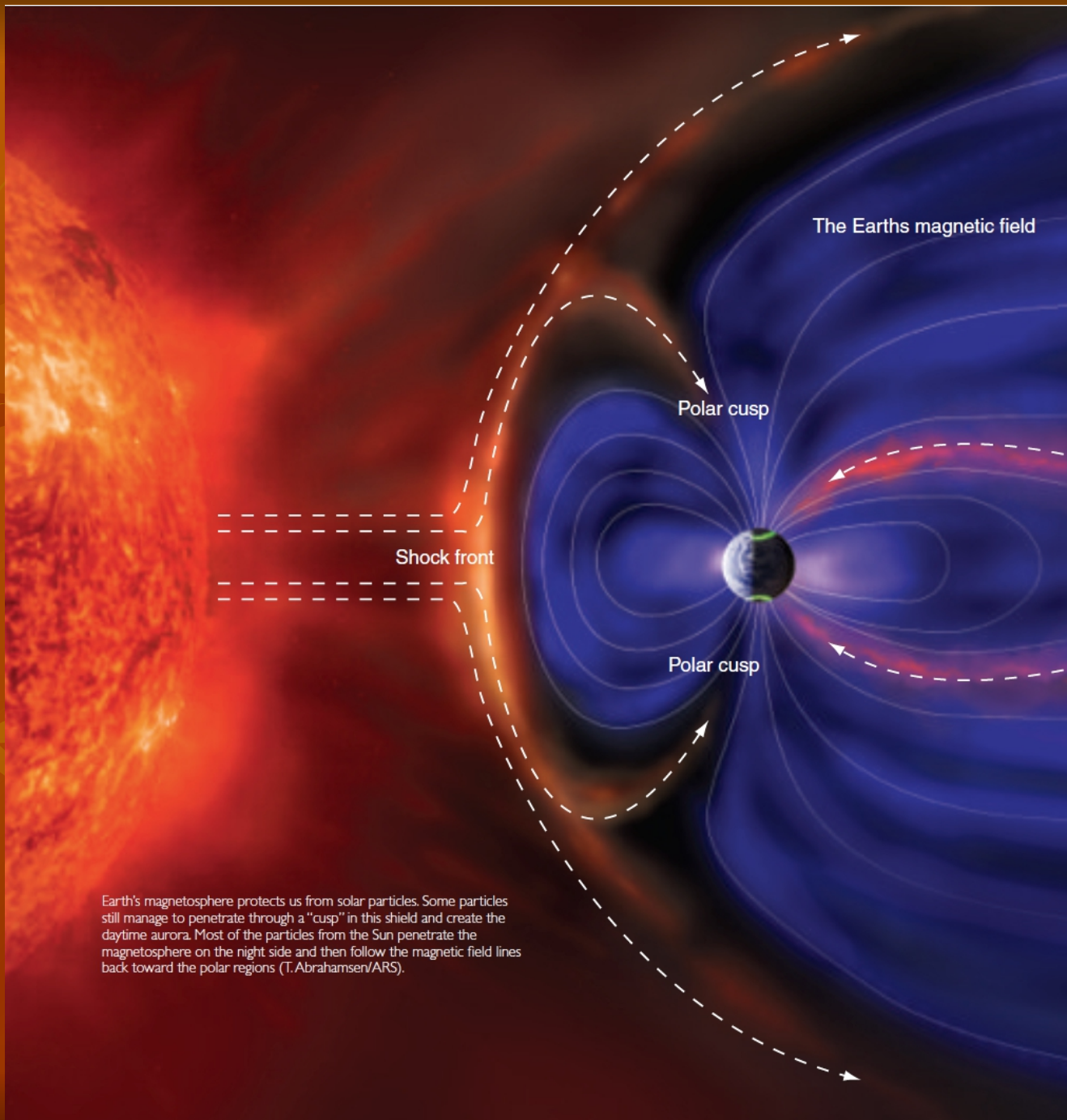
# Энергетический масштаб



# Электромагнитное поле







Earth's magnetosphere protects us from solar particles. Some particles still manage to penetrate through a "cusp" in this shield and create the daytime aurora. Most of the particles from the Sun penetrate the magnetosphere on the night side and then follow the magnetic field lines back toward the polar regions (T.Abrahamsen/ARS).

# И ещё раз...



# Непрямые наблюдения

- Все объекты микромира существенно меньше дифракционного предела для световых волн
- Все видимые эффекты, вызываемые объектами микромира-вторичны



# Инструменты..



# Первые ускорители

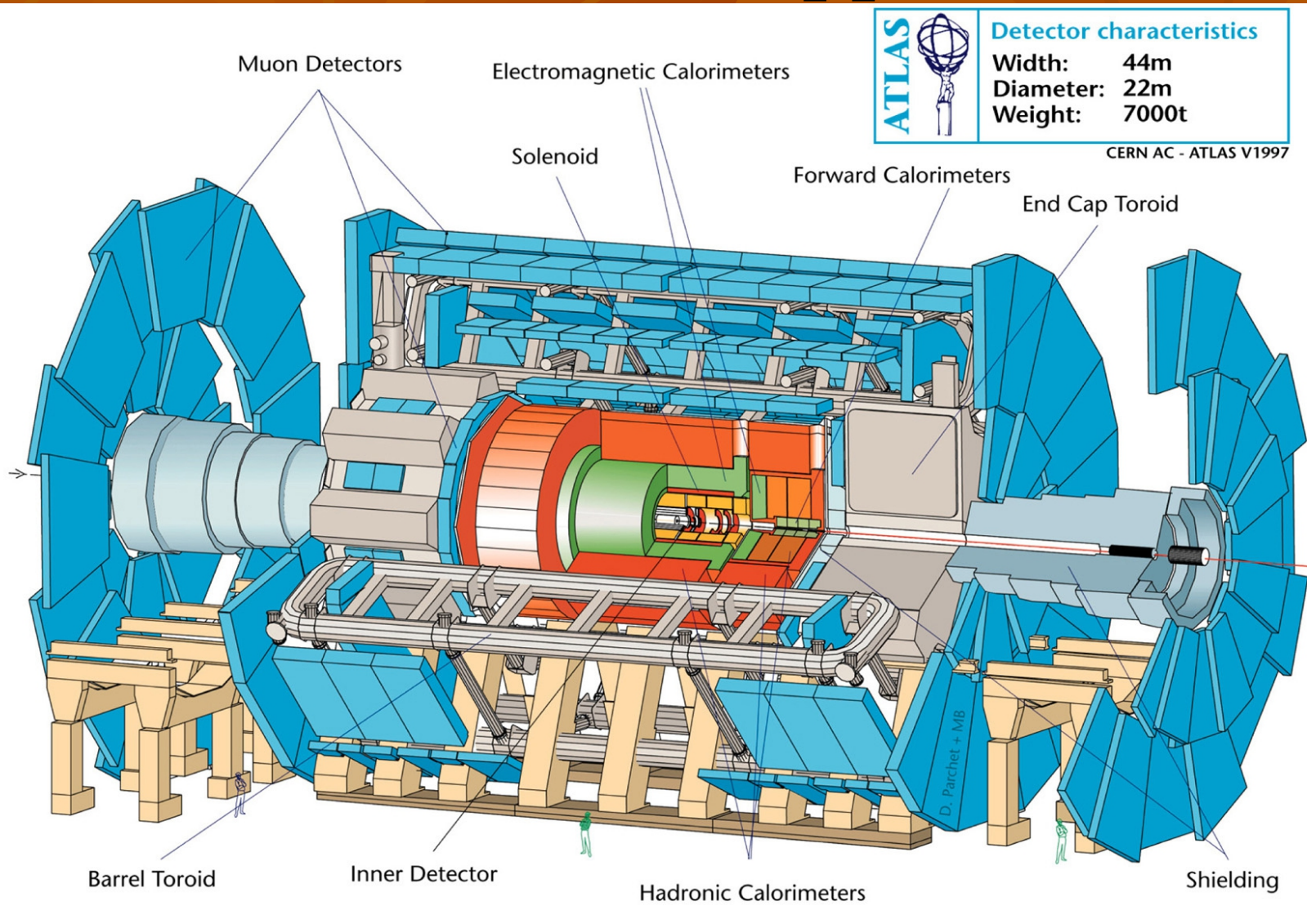




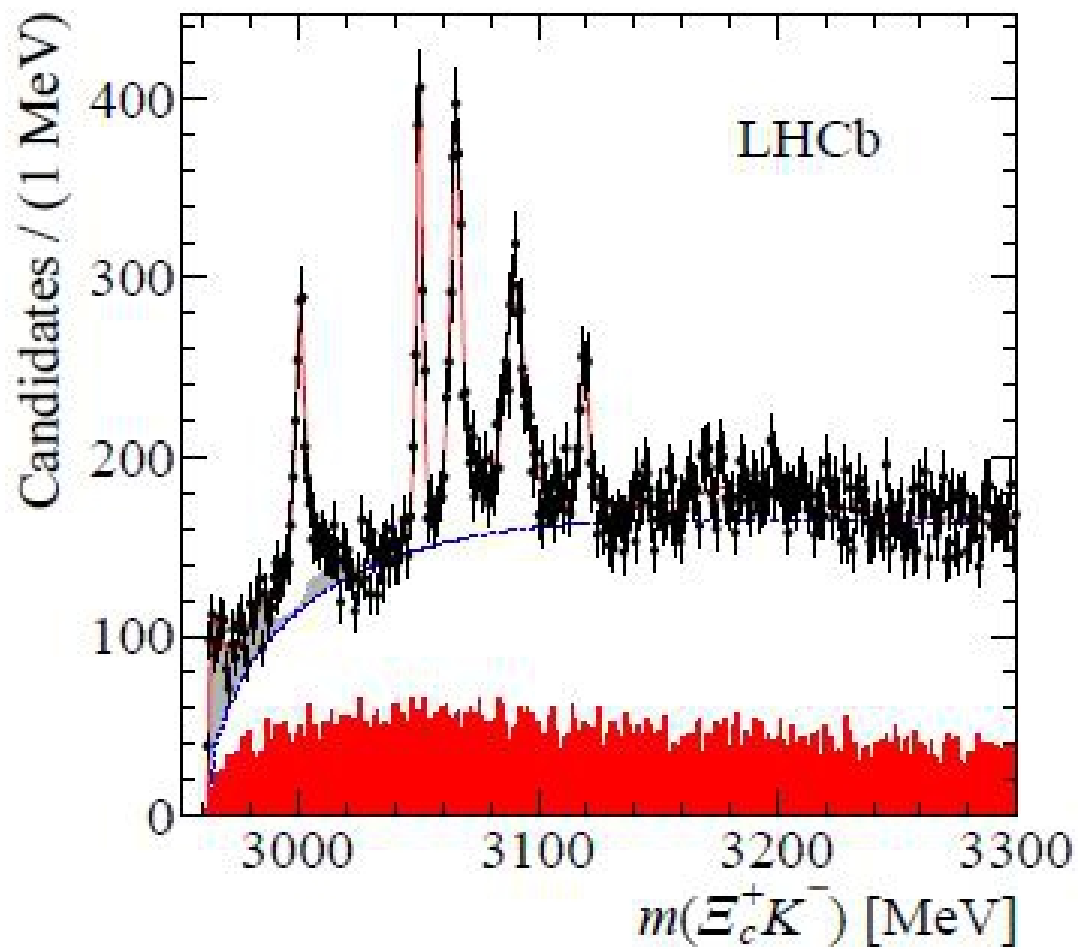
# С апреля 2015 года БАК работает в режиме максимальной энергии

В конце мая 2015 года достигнута энергия протонов 6.5 ТэВ, близкая к максимальной

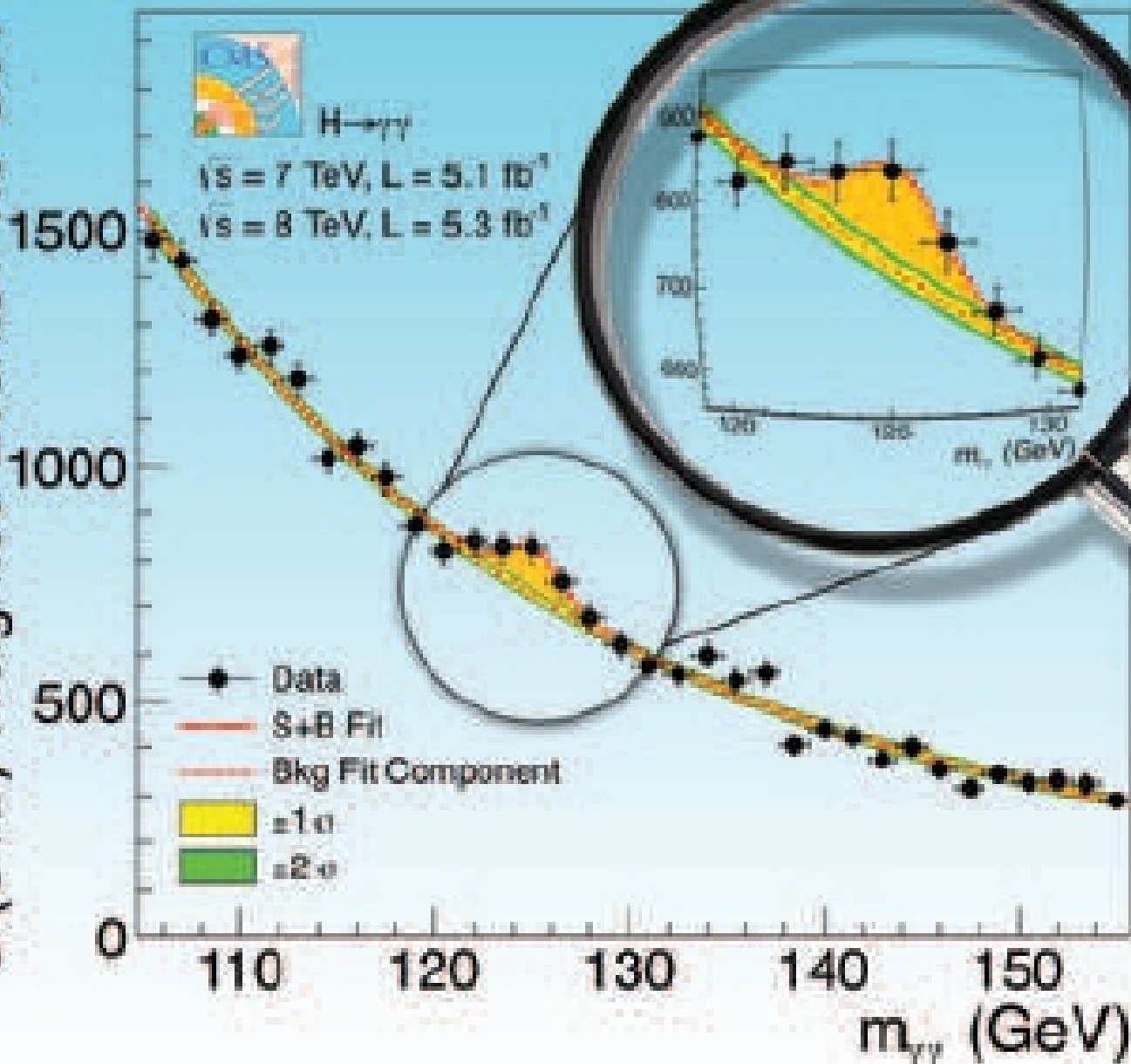
# Детектор ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)



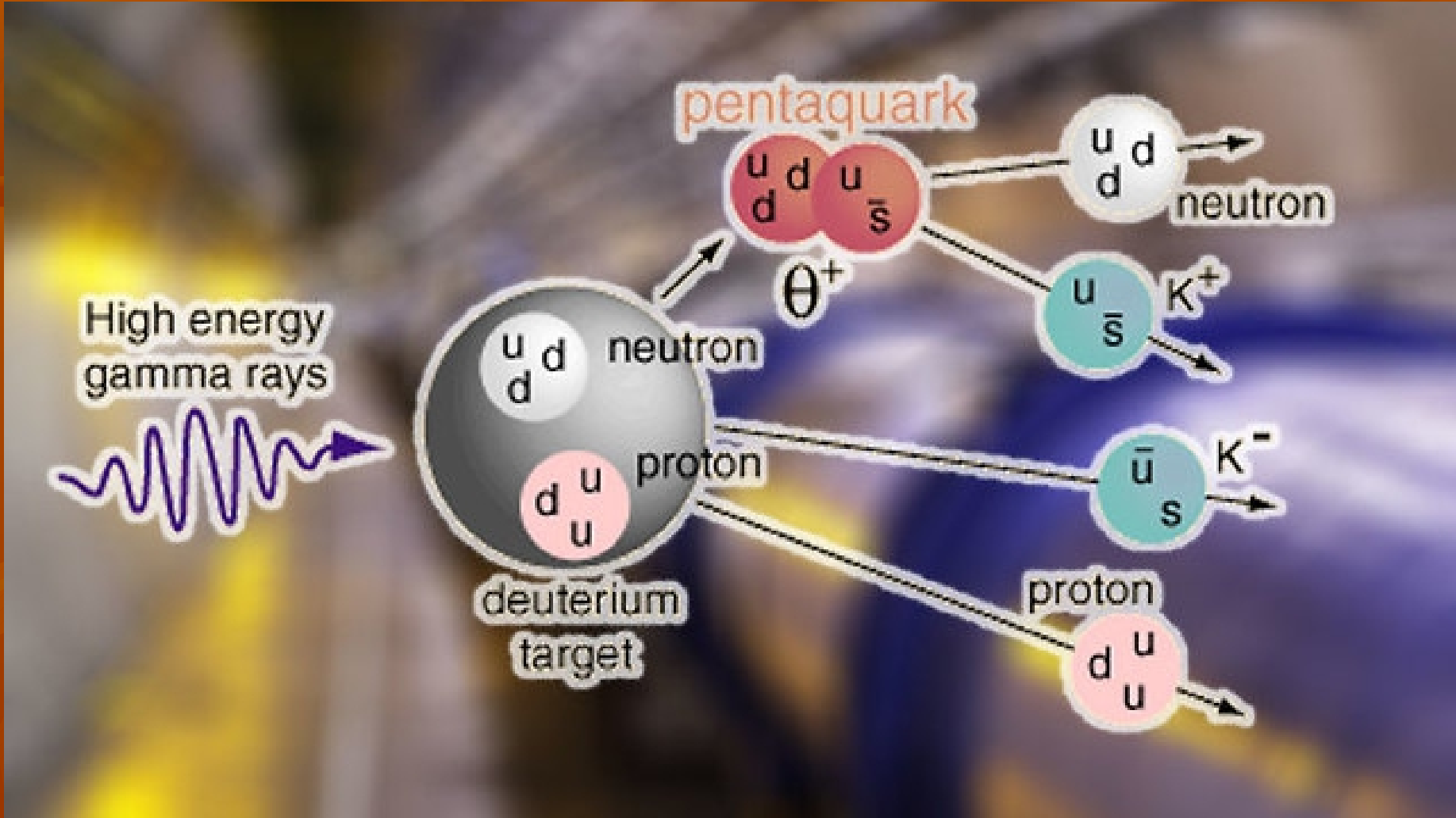
# Открытие частиц



S/(S+B) Weighted Events / 1.5 GeV



# Пентакварк?





# «После LHC»

- Проектный срок работы коллайдера-до 2018 г. Что дальше?

NICA, ILC, VLHC

# International Linear Collider

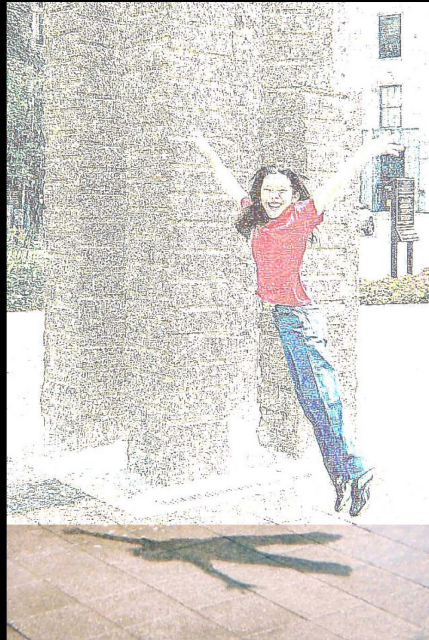
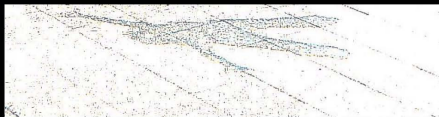
TEV  $\rightarrow$  LHC  $\rightarrow$  ILC

$E$   
 $\uparrow$

LHC

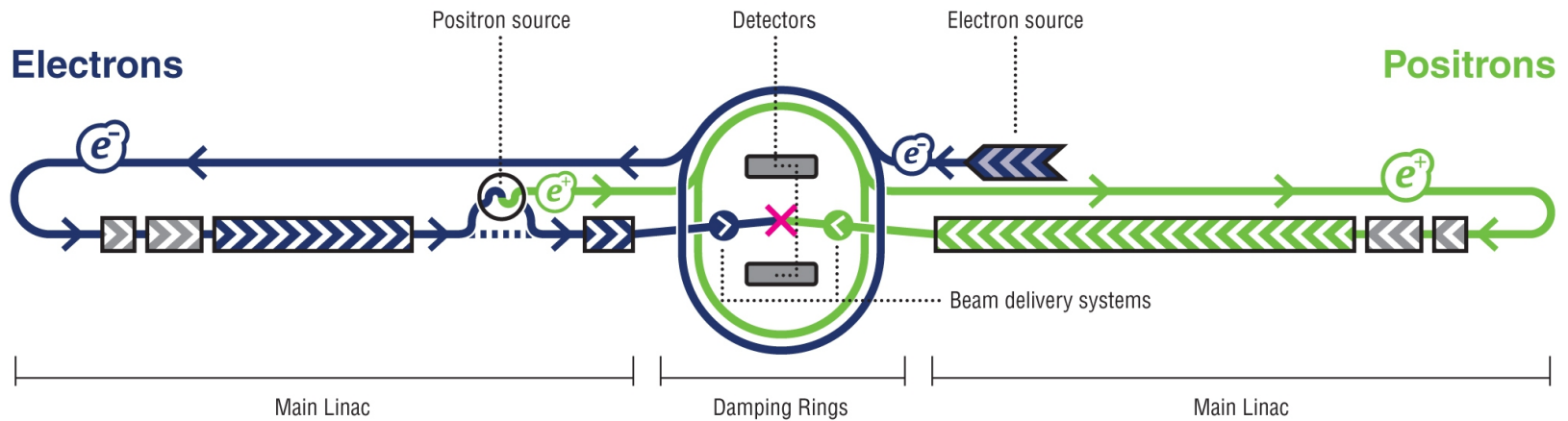
ILC

Tevatron  
HERA  
LEP2



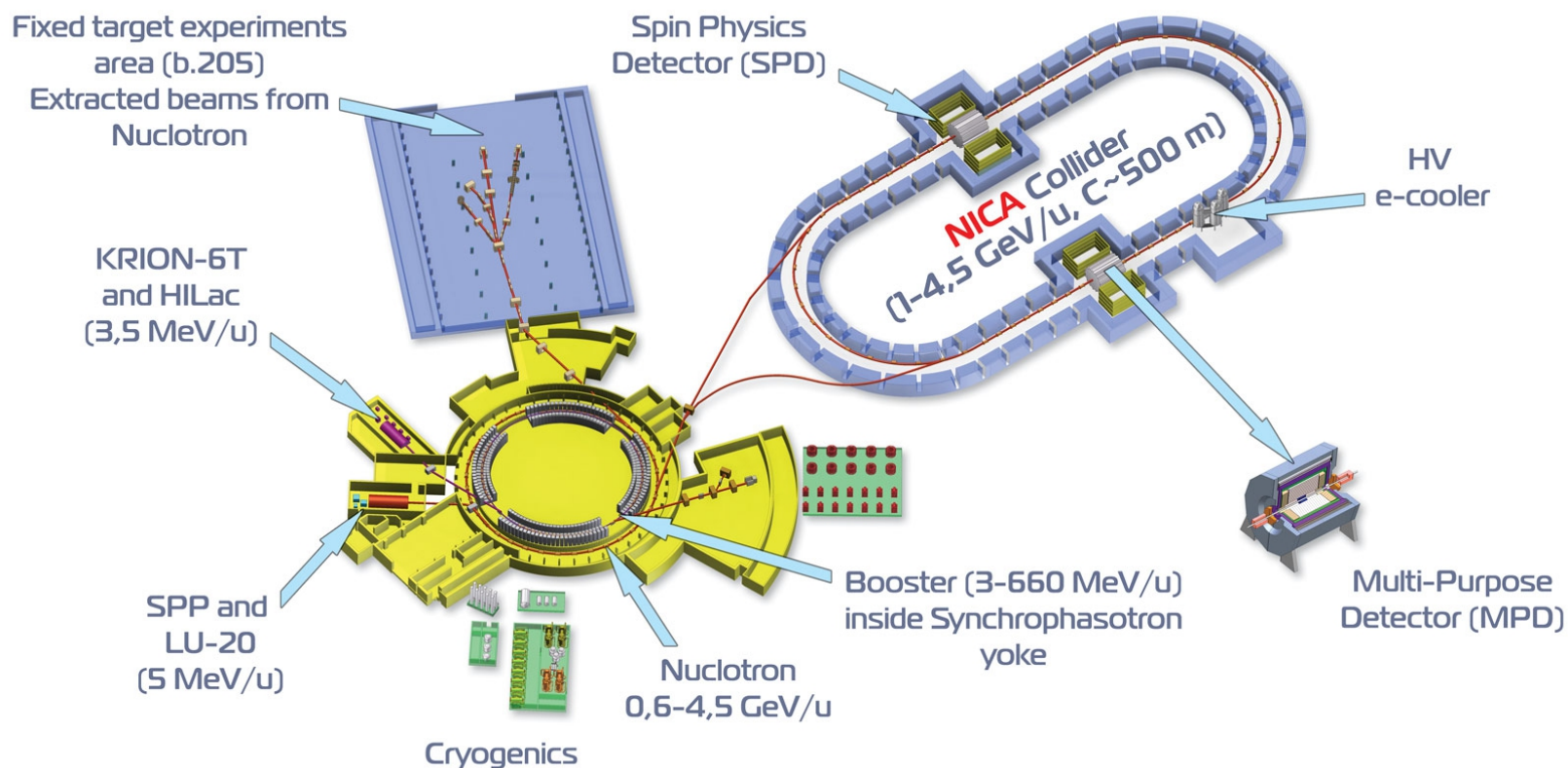
$\rightarrow$   
Precision

# International Linear Collider

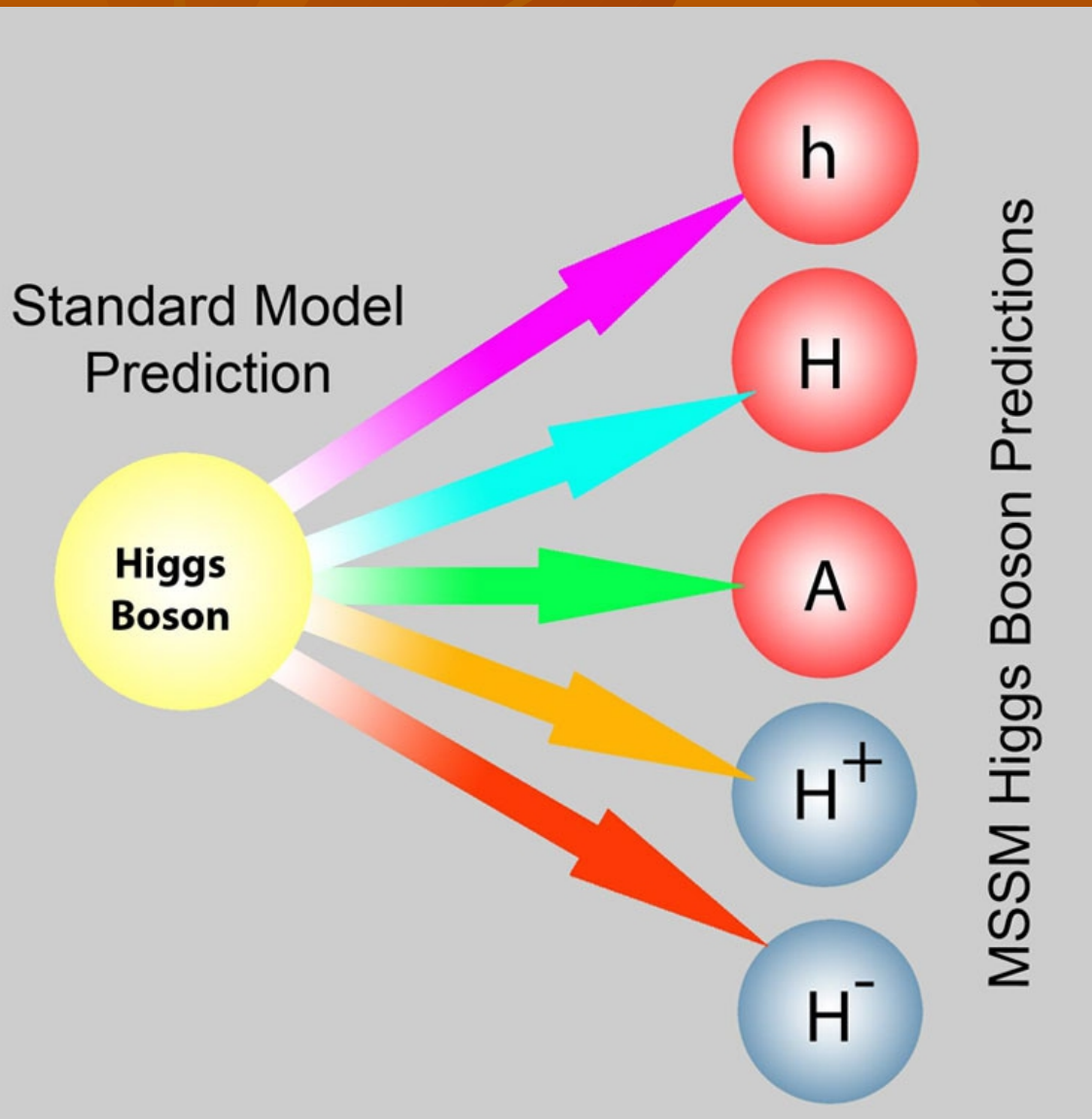


# Проект NICA

## Superconducting accelerator complex **NICA** (**N**uclotron based **I**on **C**ollider **f**Acility)



# Стандартная модель

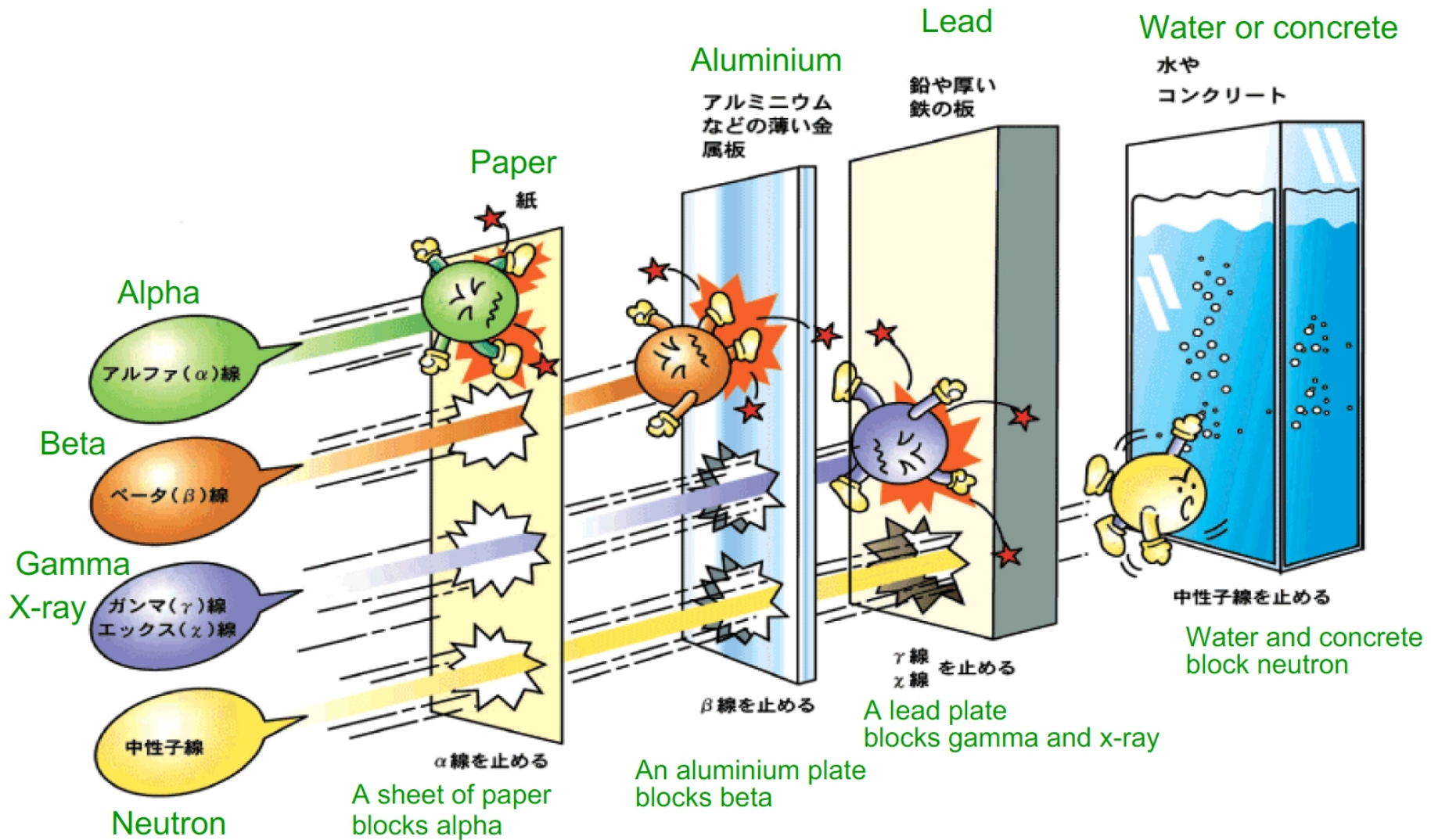


# Супер-Хиггс (700 ГэВ)?

- Первые сообщения о возможном открытии сверхтяжёлой частицы появились осенью 2015 г.
- Совместный анализ данных с детекторов ATLAS и CMS при высокой светимости не продемонстрировал наличие частицы в этом диапазоне

# Нейтринная физика







Muon Spectrometer

Muon

Neutrino

Hadronic Calorimeter

Proton

Neutron

The dashed tracks are invisible to the detector

Electromagnetic Calorimeter

Photon

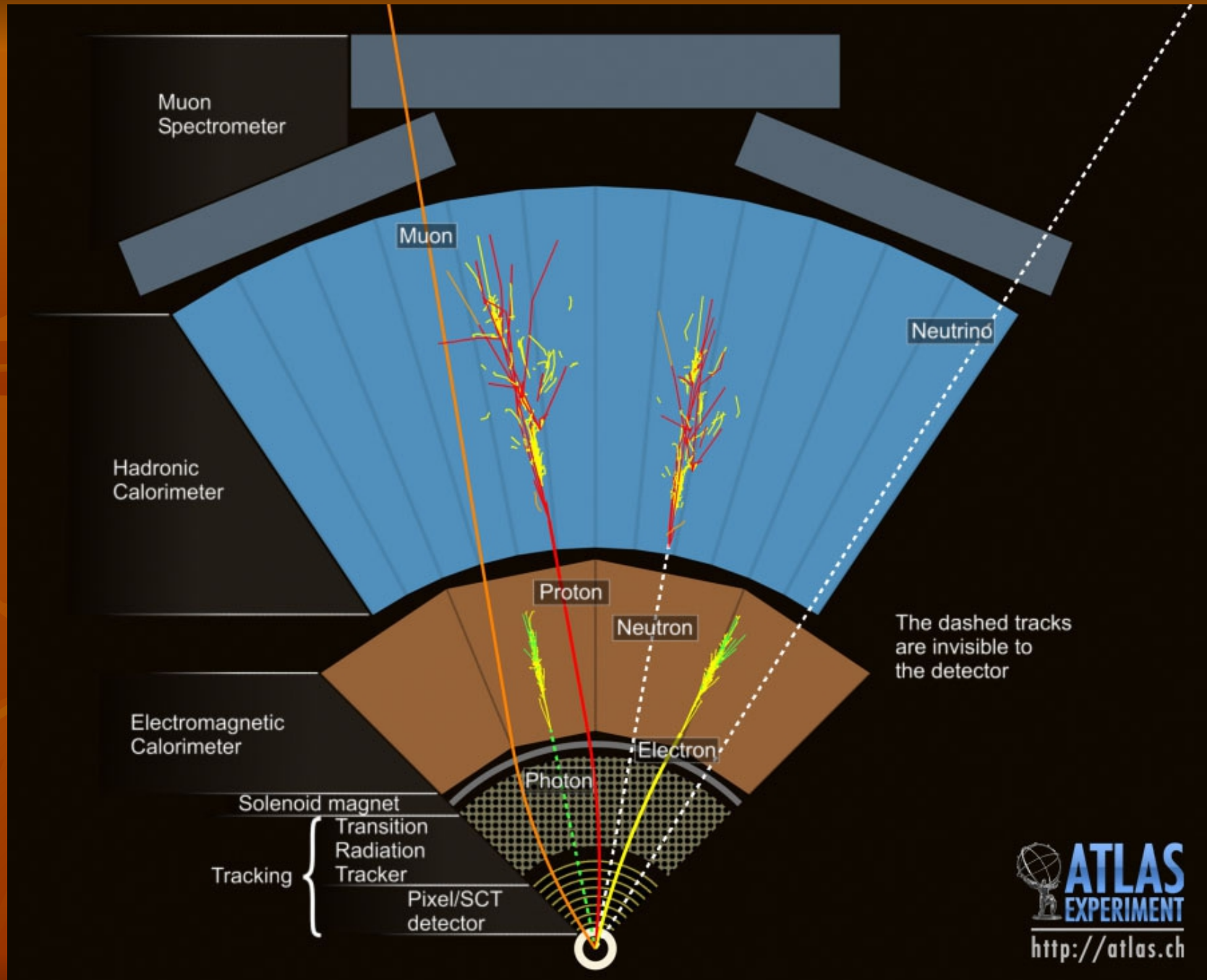
Electron

Solenoid magnet

Tracking

Transition Radiation Tracker

Pixel/SCT detector



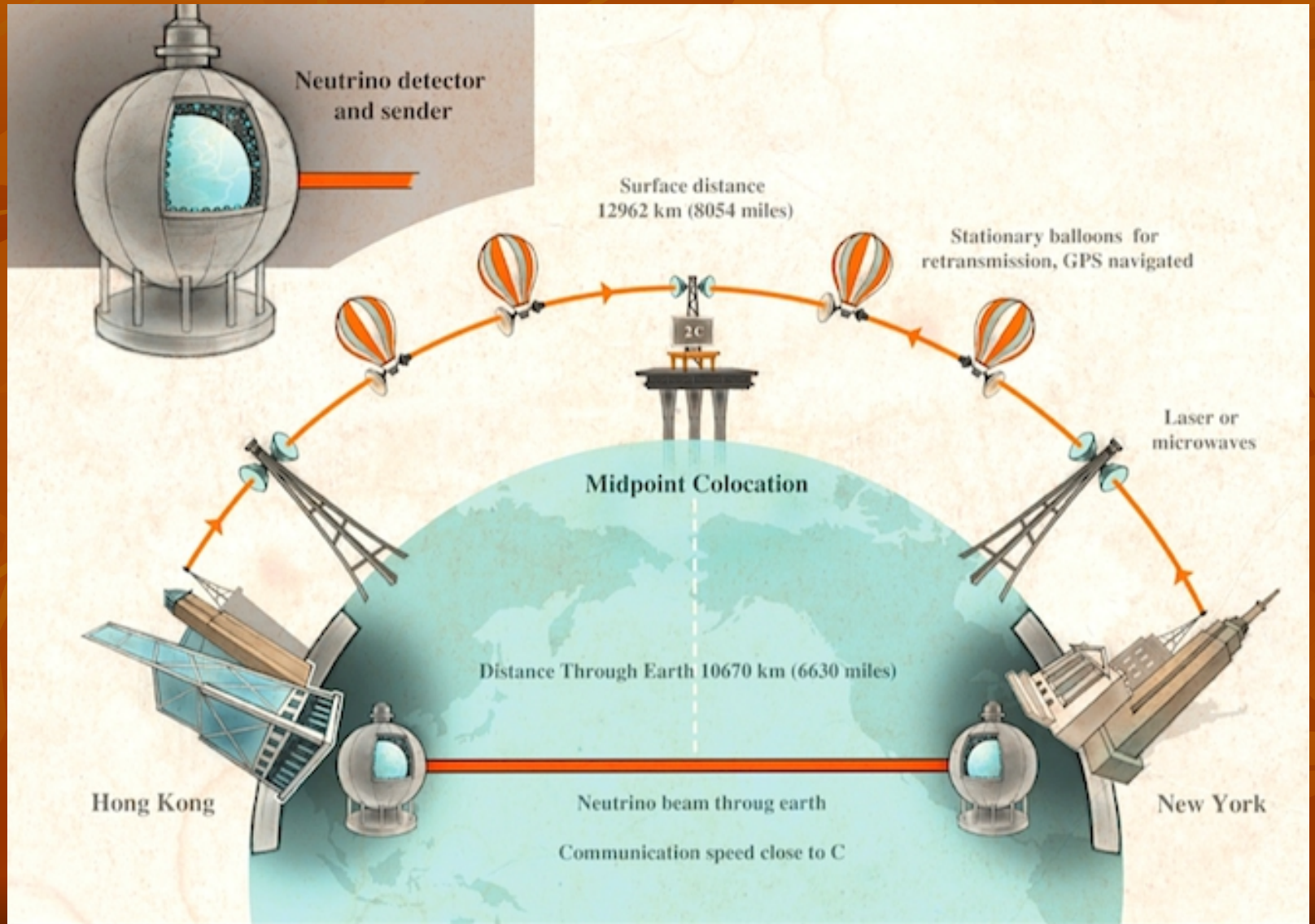
# Главная особенность

- Чрезвычайно малая вероятность взаимодействия с веществом. Нейтрино способно проходить в относительно плотной среде космические расстояния, не взаимодействуя.

**1 million neutrinos/day  
per banana**



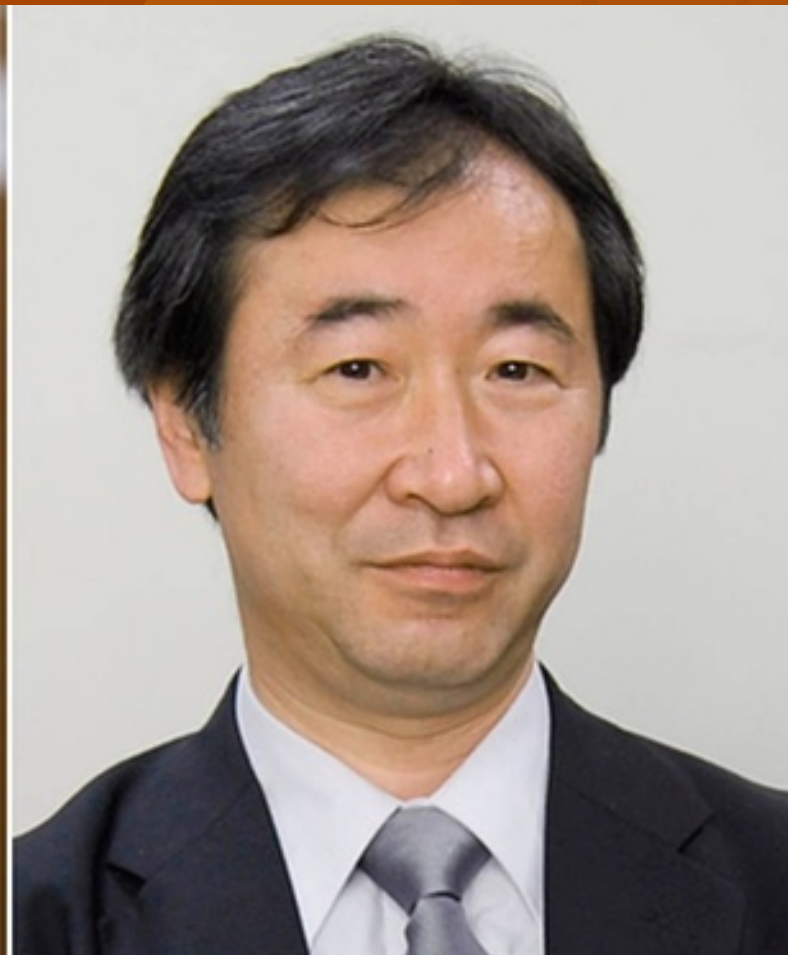
# Средство связи?



# Нобелевская премия по физике



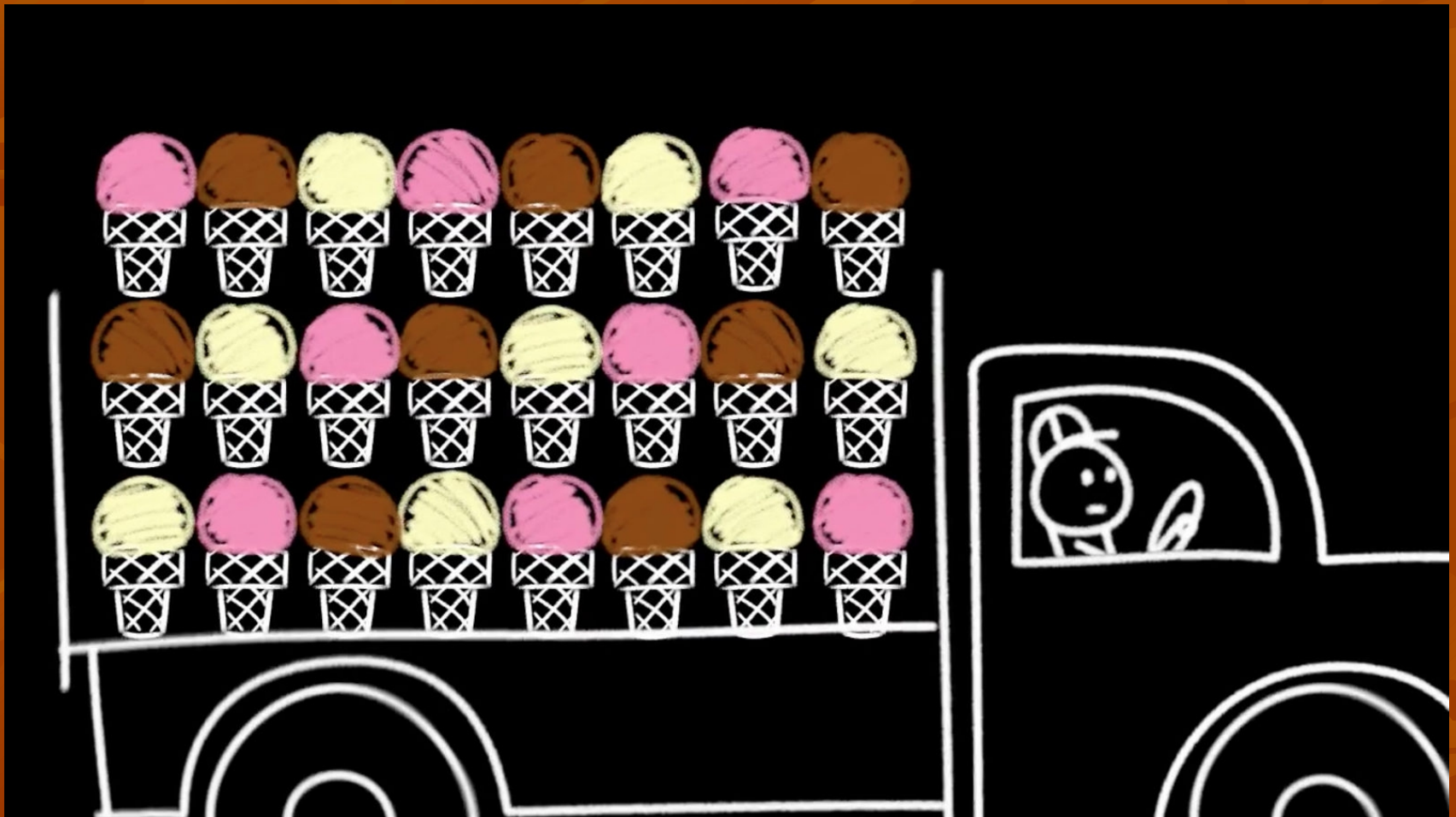
Артур Мак-Дональд



Такааки Каджита

"за открытие нейтринных осцилляций, демонстрирующих наличие массы у нейтрино"

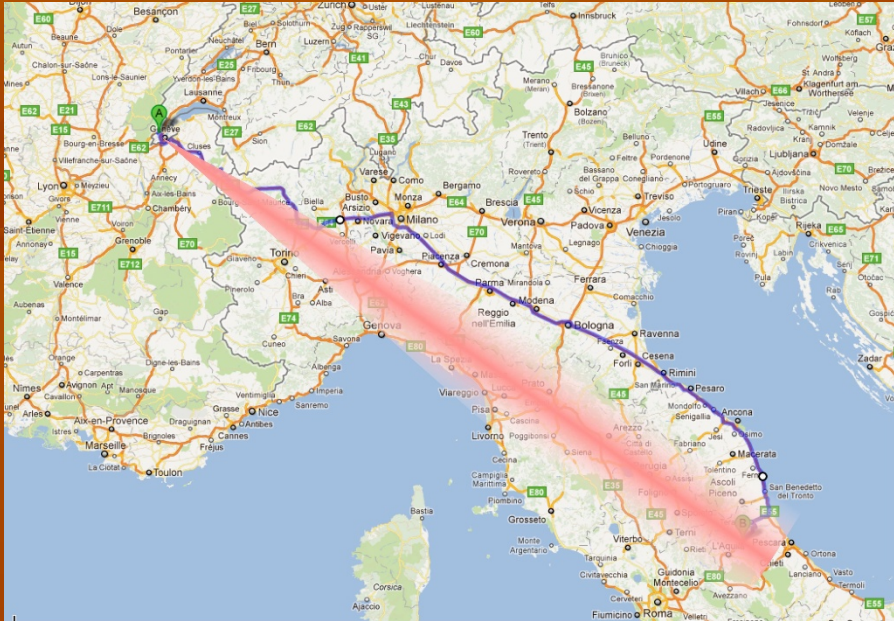
# Осцилляции нейтрино



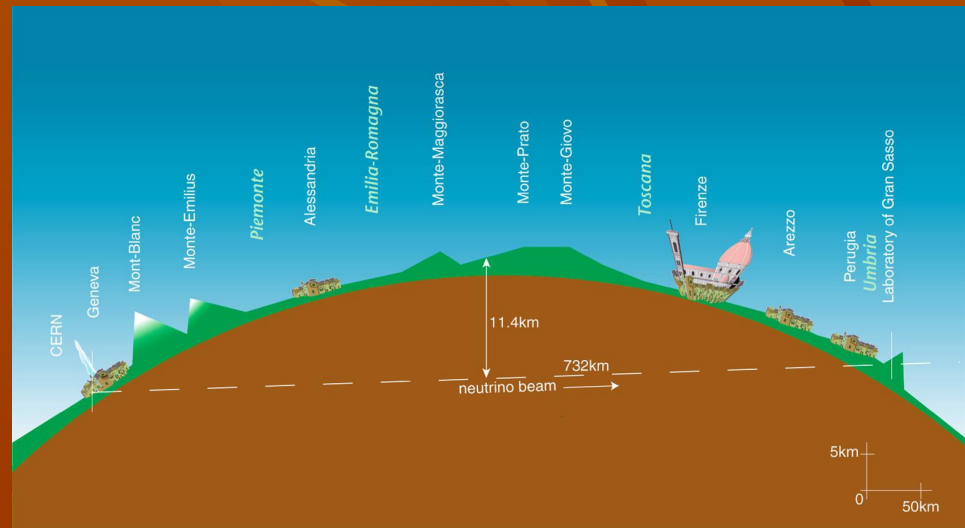


Полкило нейтрино?  
Да я даже не знаю,  
сколько весит одно!

# Осцилляци



OPERA, Nova  
LBNL





# Эксперимент NOvA (результаты 2014-15 гг.)

## NOvA

### A broad physics scope

Using  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ ,  $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$  ...

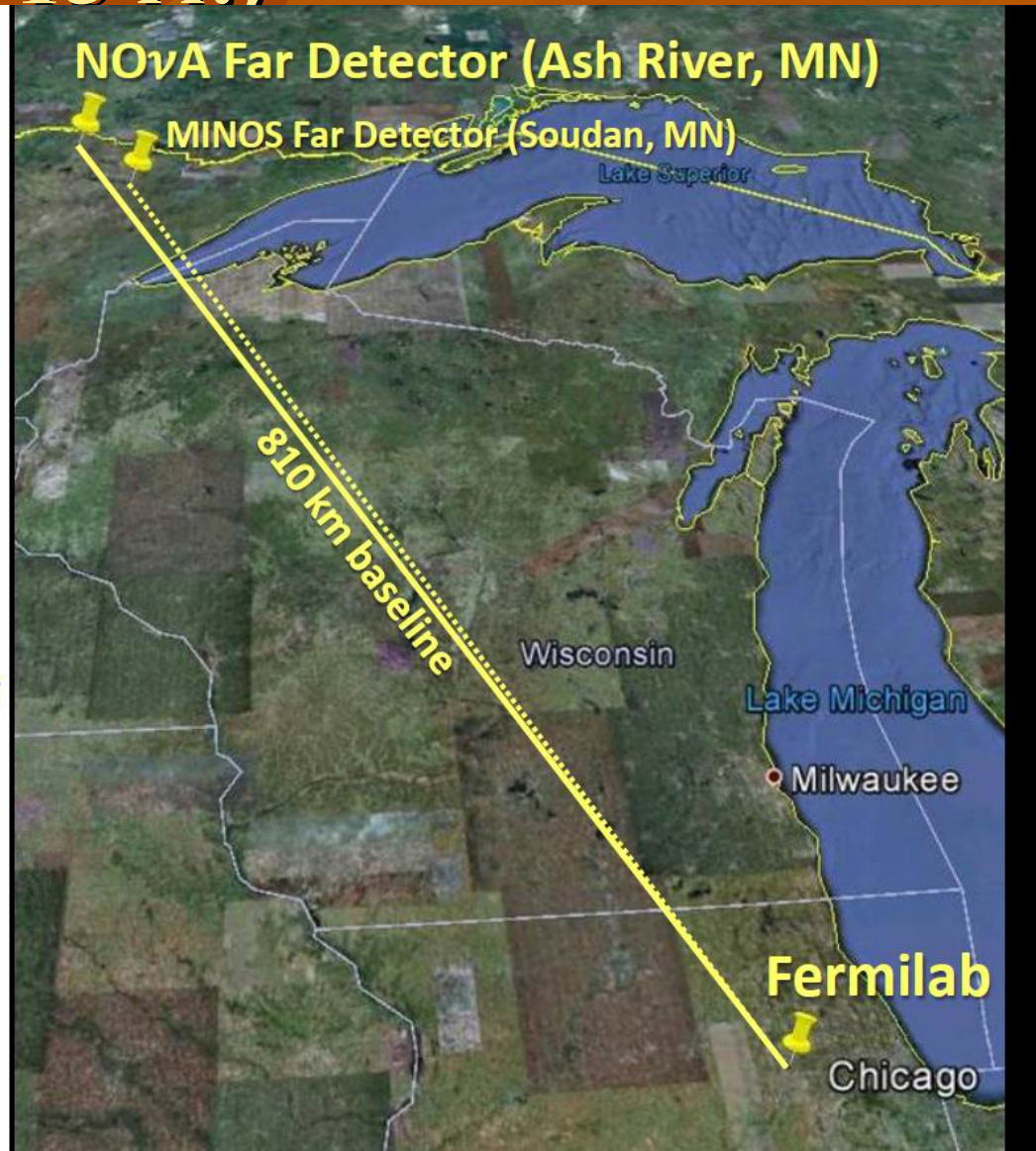
- Determine the  $\nu$  mass hierarchy
- Determine the  $\theta_{23}$  octant
- Constrain  $\delta_{CP}$

Using  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ ,  $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$  ...

- Precision measurements of  $\sin^2 2\theta_{23}$  and  $\Delta m_{32}^2$ .  
(Exclude  $\theta_{23} = \pi/4$ ?)
- **Over-constrain** the atmos. sector  
(four oscillation channels)

Also ...

- Neutrino cross sections at the NOvA Near Detector
- Sterile neutrinos
- Supernova neutrinos
- Other exotica



# Эксперимент NOvA (результаты 2014-15 гг.)

## Far Detector selected events

LID: 6  $\nu_e$  candidates

$3.3\sigma$  significance for  $\nu_e$  appearance

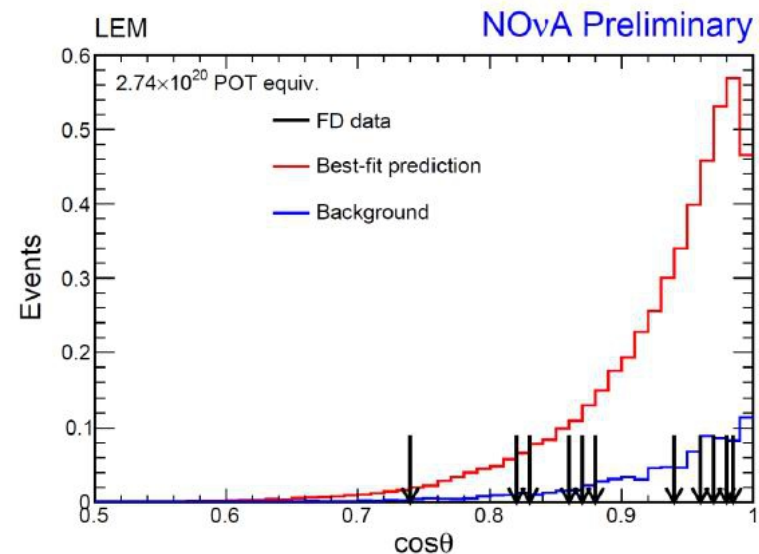
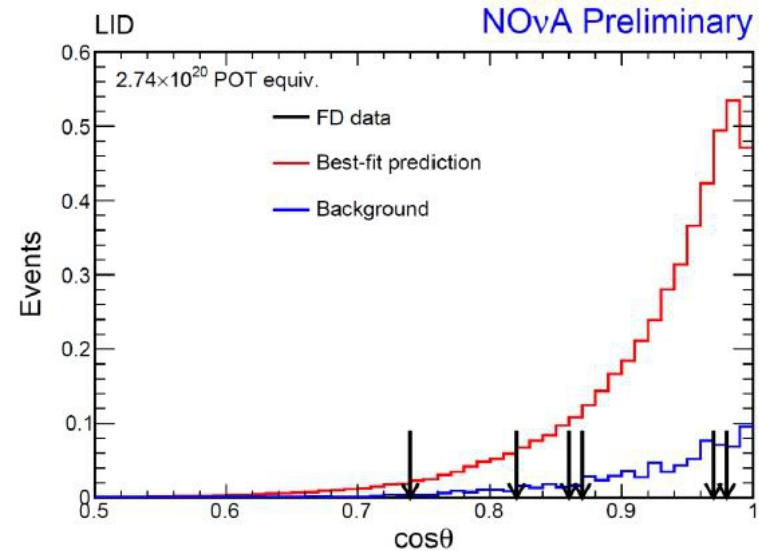
*At right:*

Reconstructed direction  
of leading shower

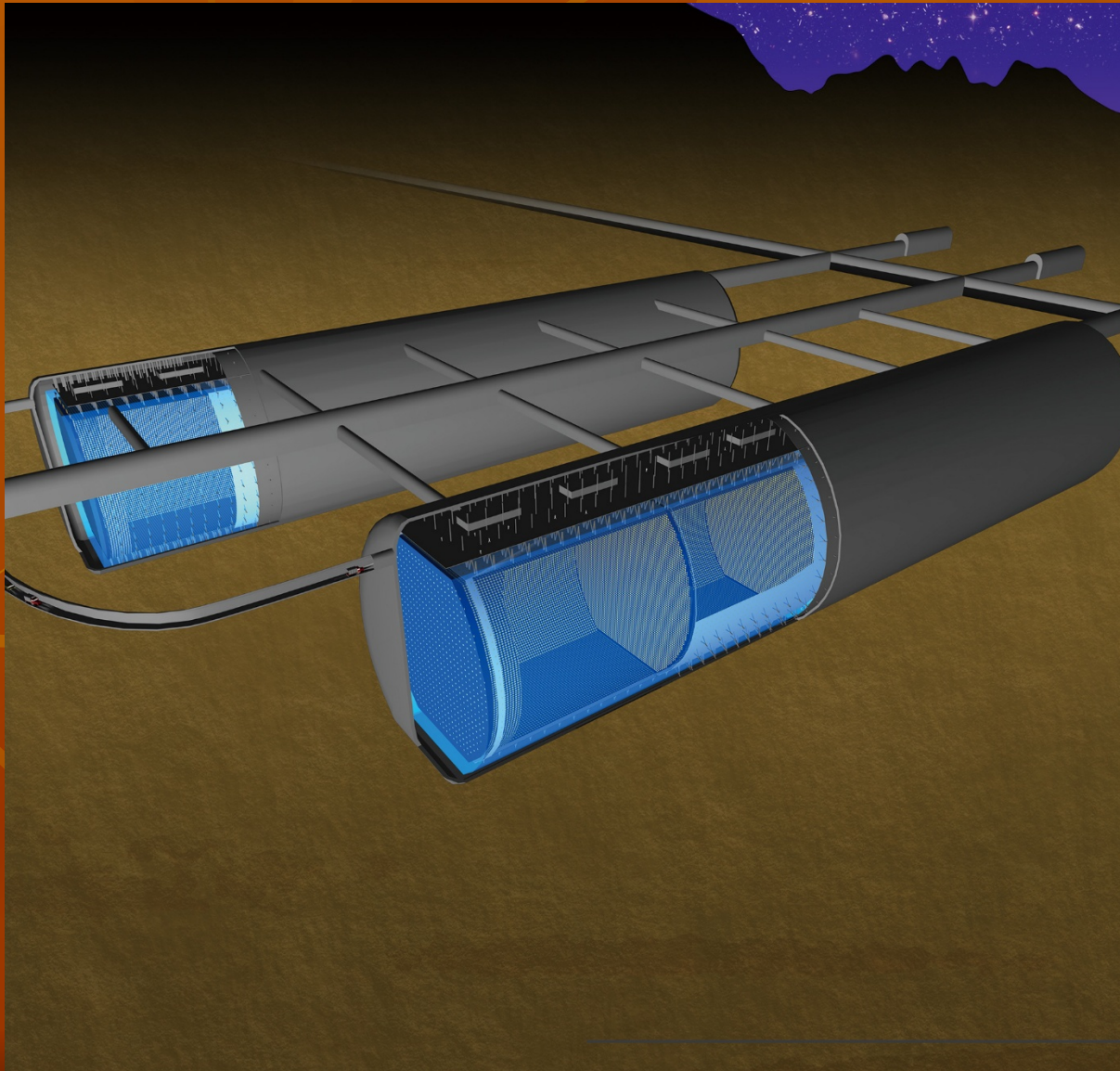
LEM: 11  $\nu_e$  candidates

$5.5\sigma$  significance for  $\nu_e$  appearance

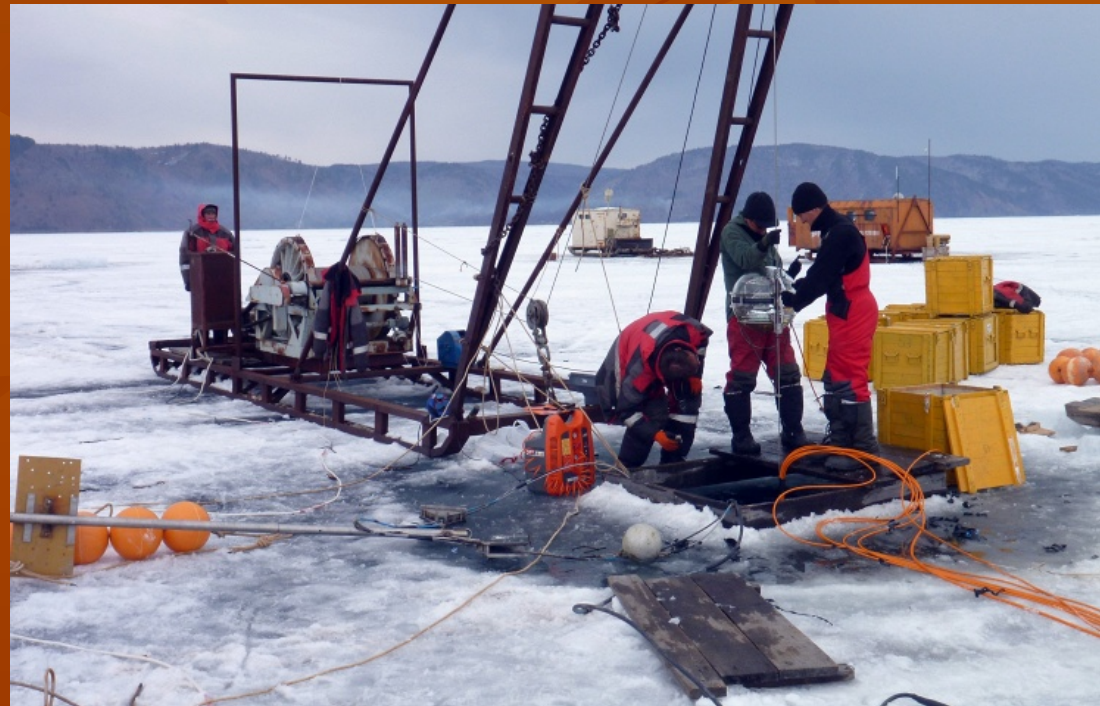
*(All 6 LID events present in LEM set)*



# Проект Hyperkamiokande



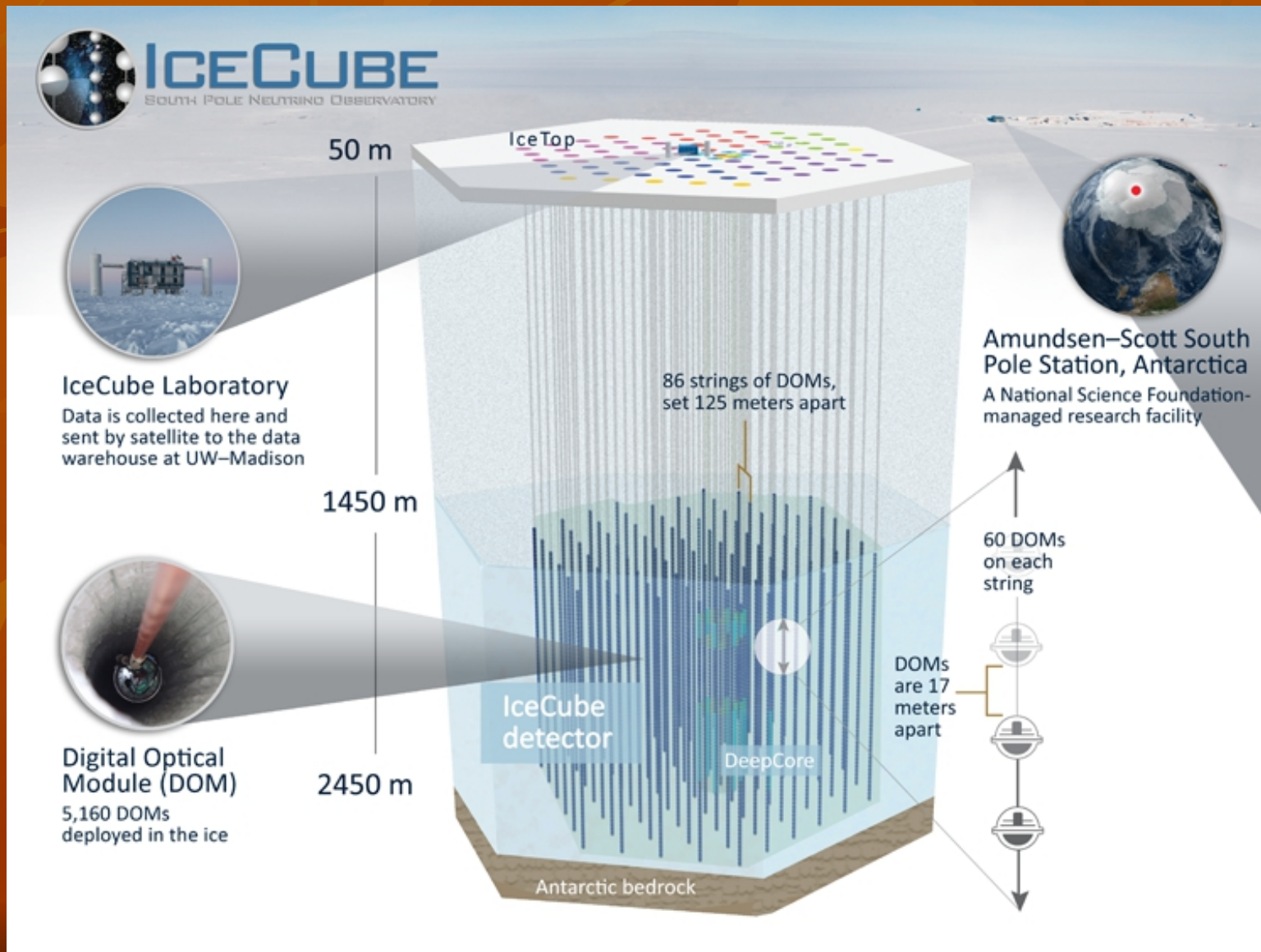
# Проект Байкал-GVD



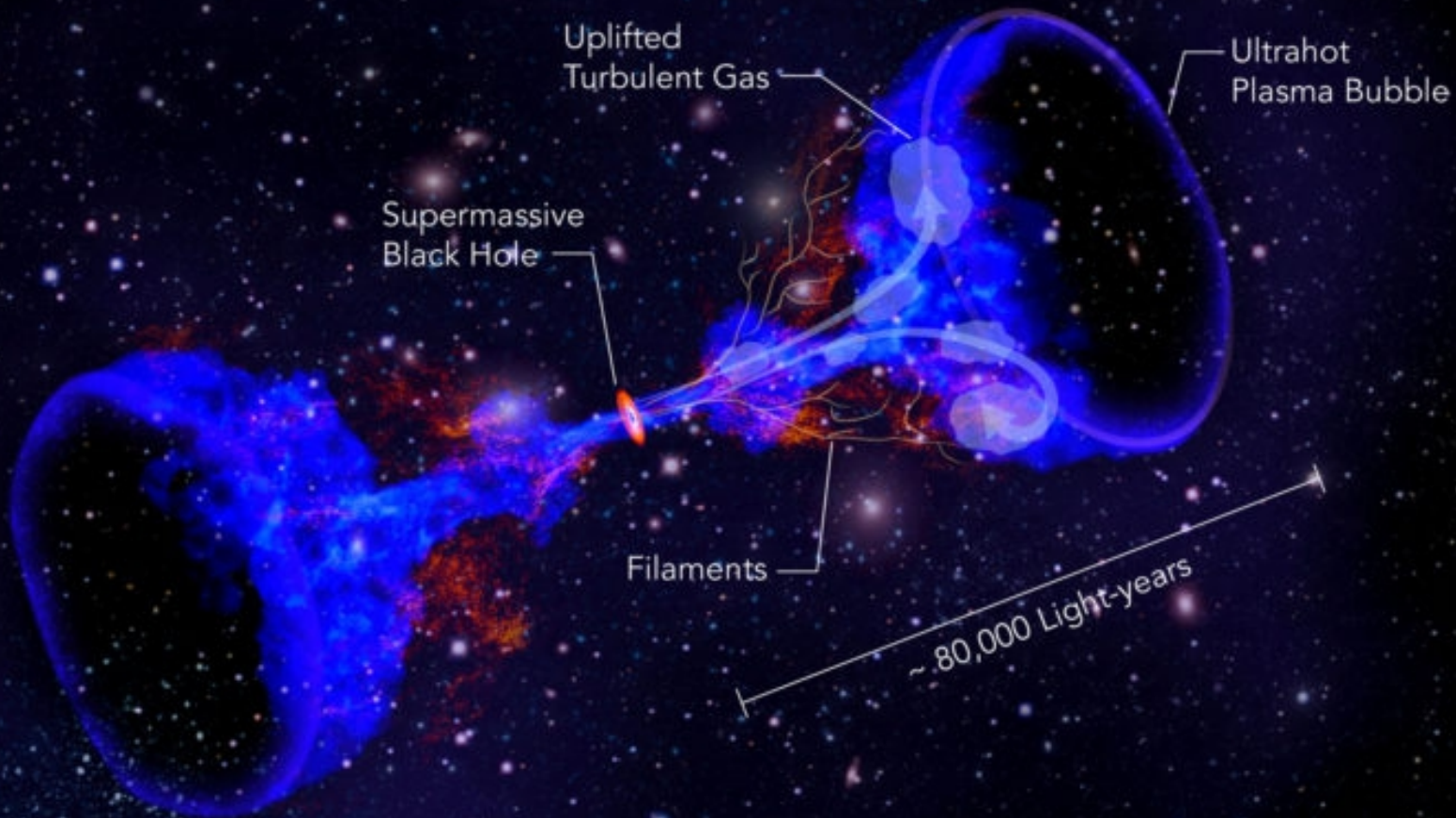
# Проект KM3Net



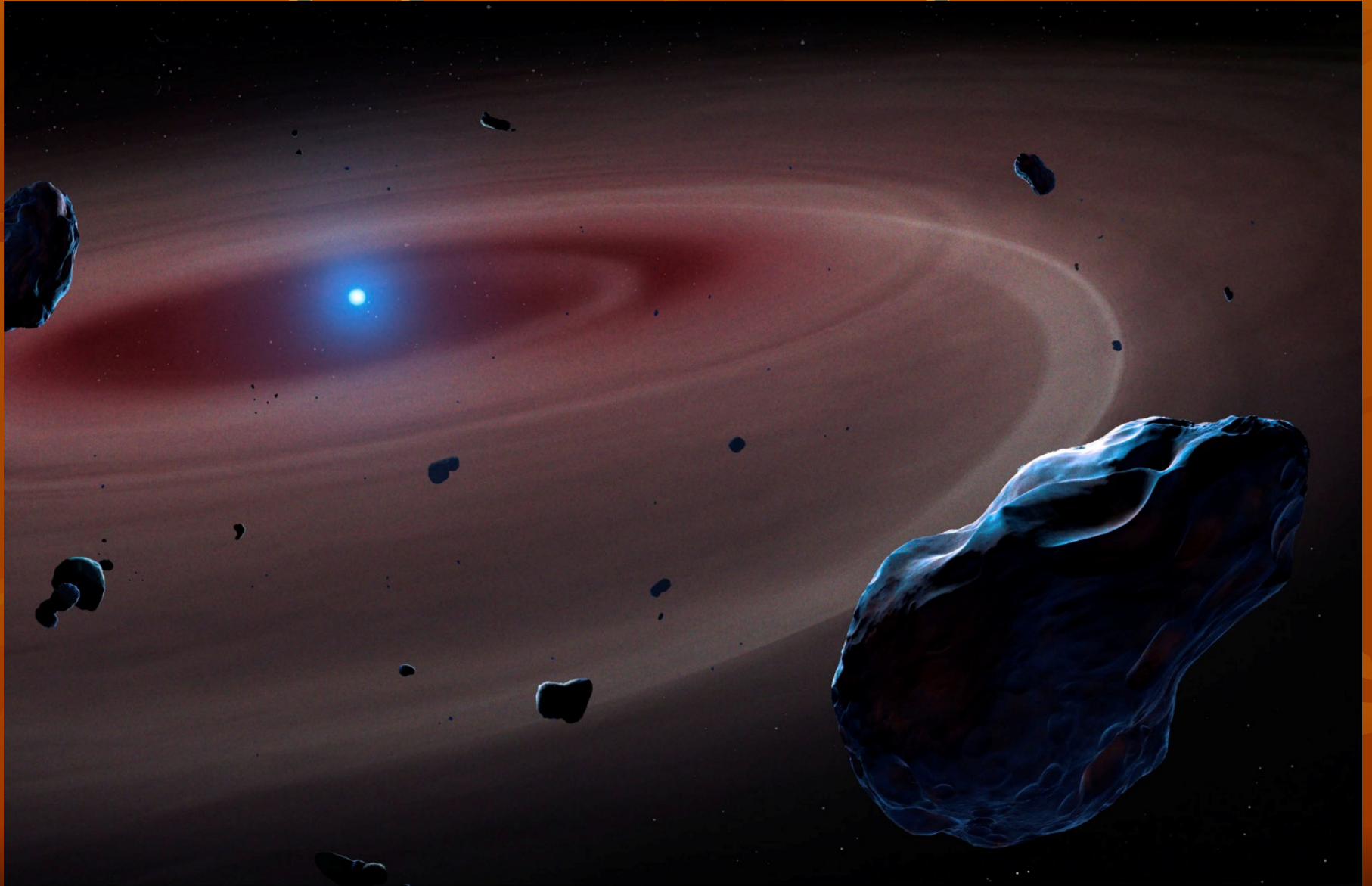
# Детектор IceCube



# Космические ускорители



# Астрофизические проекты





**Наблюдения, сделанные  
орбитальными телескопами  
Kepler, Hubble, Fermi-LAT,  
SWIFT, Chandra  
за последние 10-15 лет  
существенно изменили наши  
представления о космосе**

# Пузыри Ферми



# Формирование новых звёзд



# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Структура вещества на более глубоком уровне-нуклоны, кварки...?
- Нейтрино
- Удалённые астрофизические объекты
- Масса частиц
- Гравитация
- .....

# И ещё больше информации...

- Ядерно-космическое образование

<http://space.msu.ru>

- «От кварка до квазара» в соцсети ВКонтакте

[https://vk.com/quark\\_quasar](https://vk.com/quark_quasar)

«Ядерная физика в интернете»:

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>