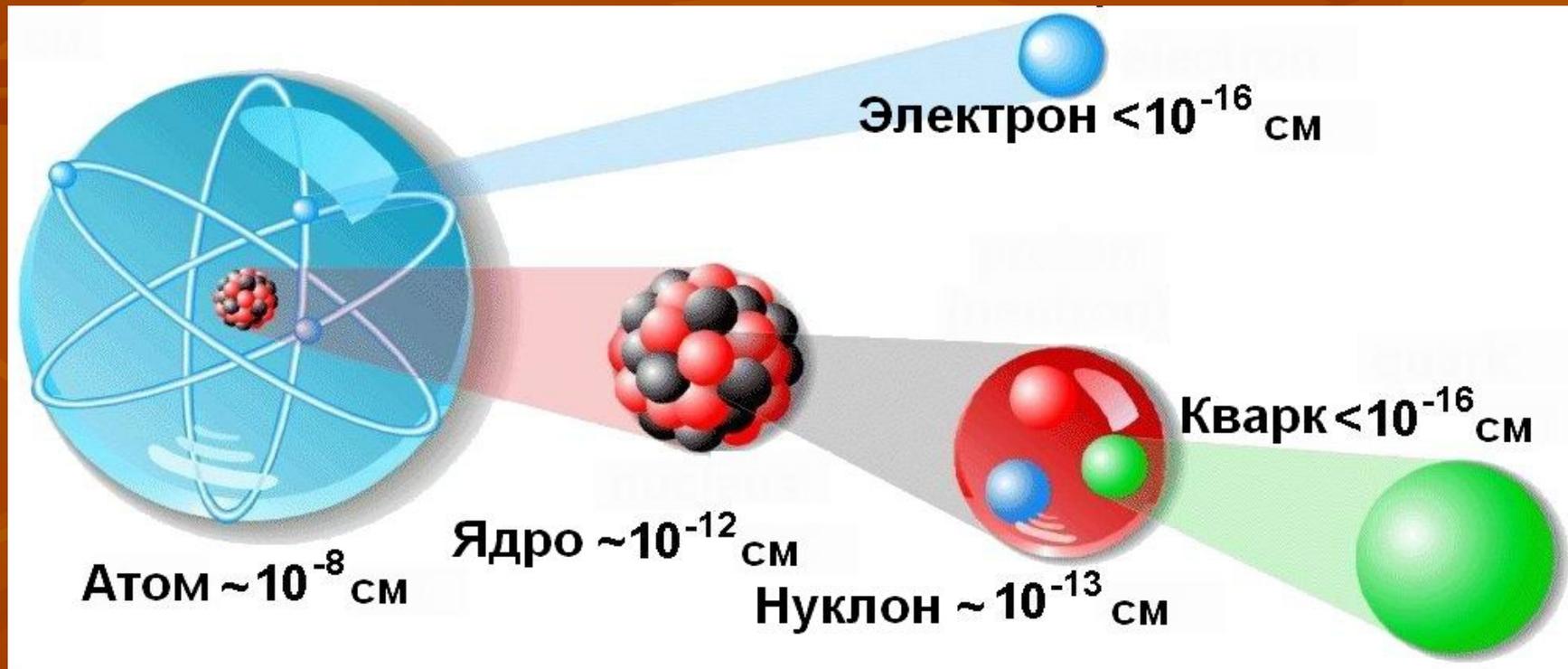


# NICA и Байкальский нейтринный телескоп – крупнейшие отечественные проекты в физике частиц



# Структура вещества



# Методы исследования в микромире

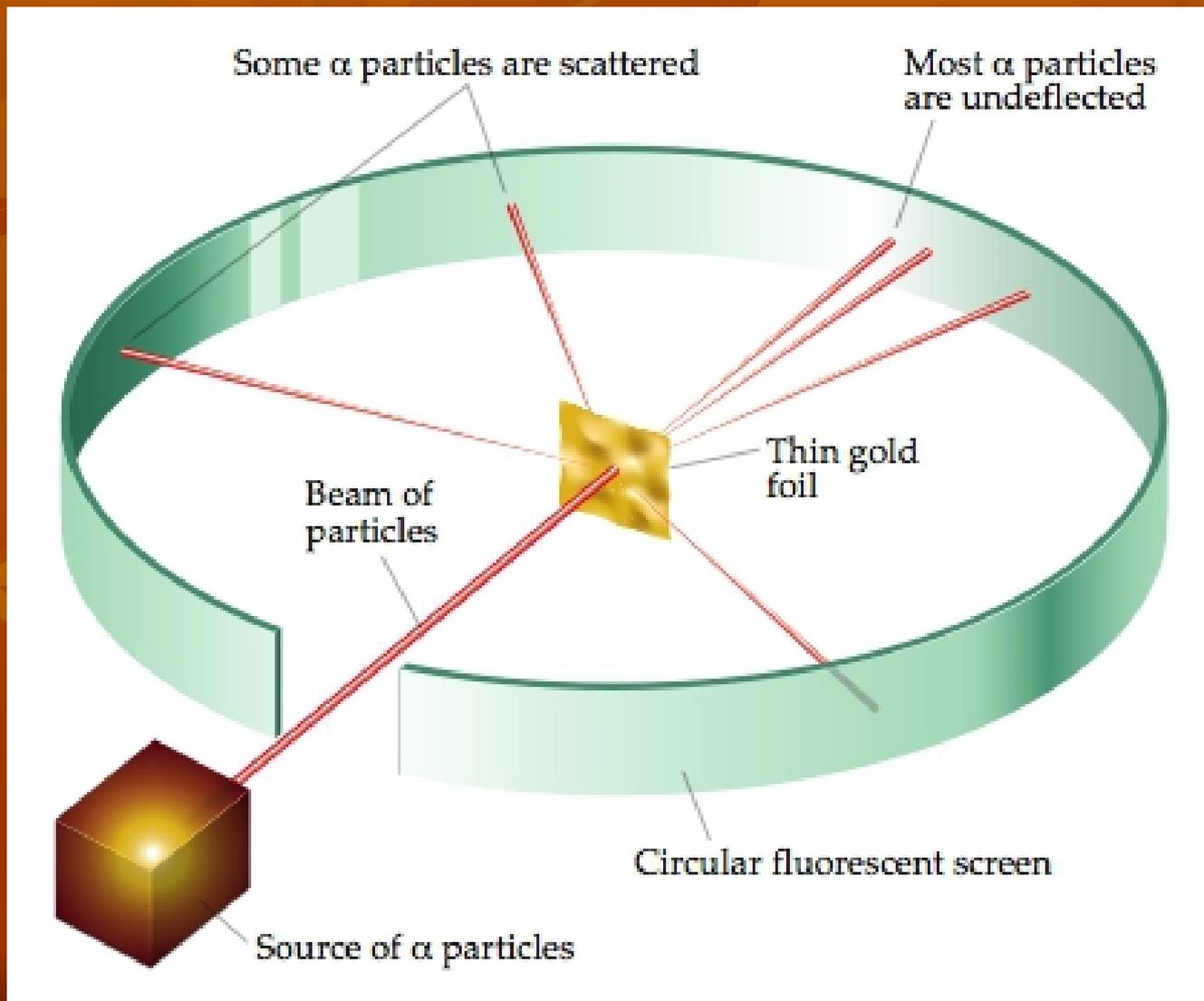
**эксперимент  
в микромире**



**макроскопический  
опыт**



# Опыт Резерфорда (1911 г.)



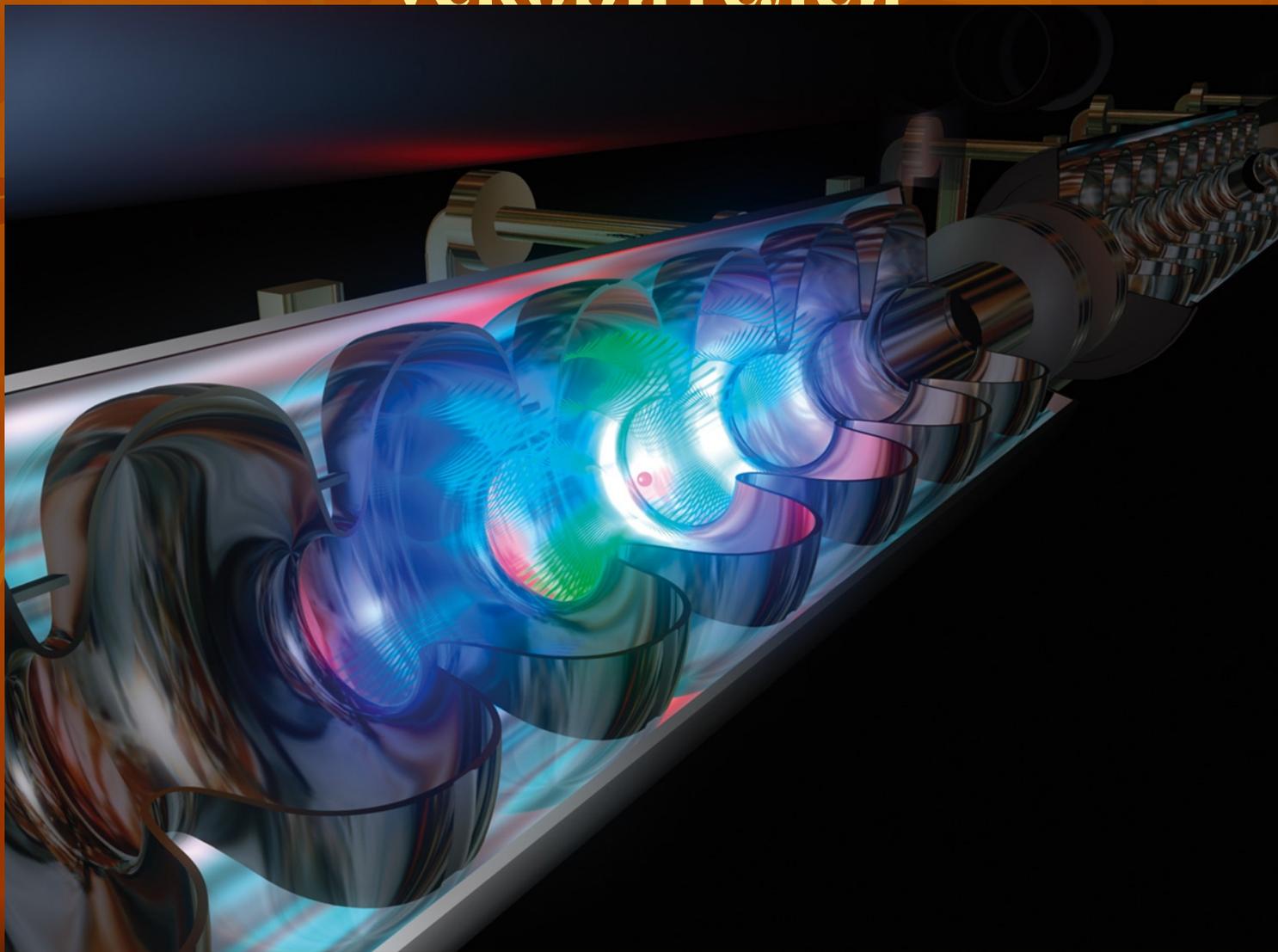
# Основное правило

- Чем меньше объект – тем больше энергии необходимо для исследований

# Инструменты..



# Общий принцип работы ускорителей

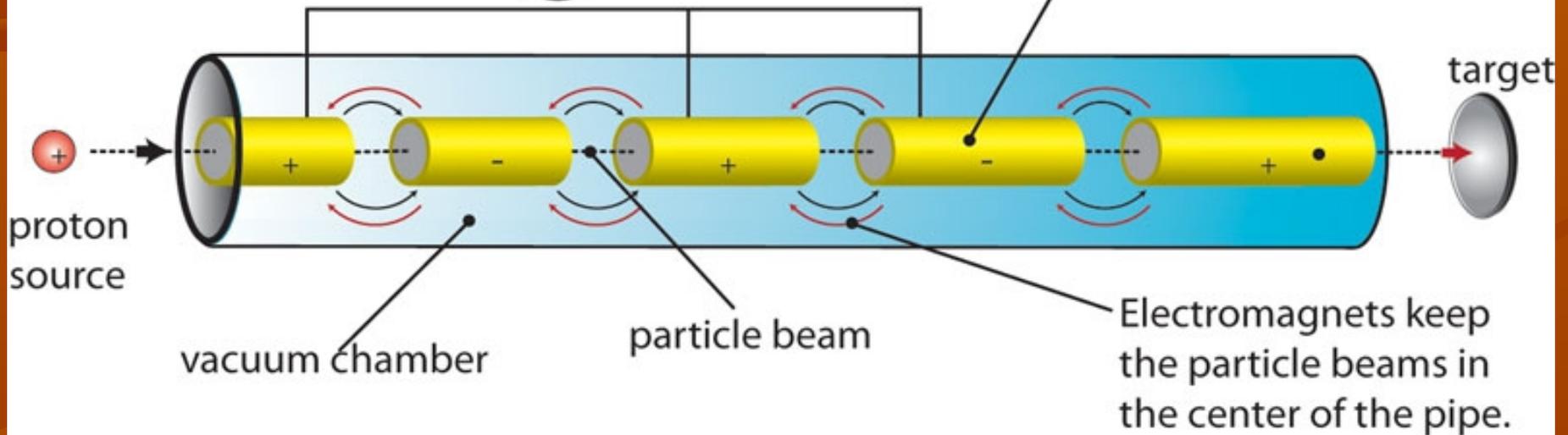


**Ускоряются ТОЛЬКО заряженные  
частицы (протоны, электроны и  
тяжёлые ионы)!**

High frequency alternating current voltage is used to create magnetic fields.



Drift tubes increase acceleration by managing the magnetic fields.



proton source

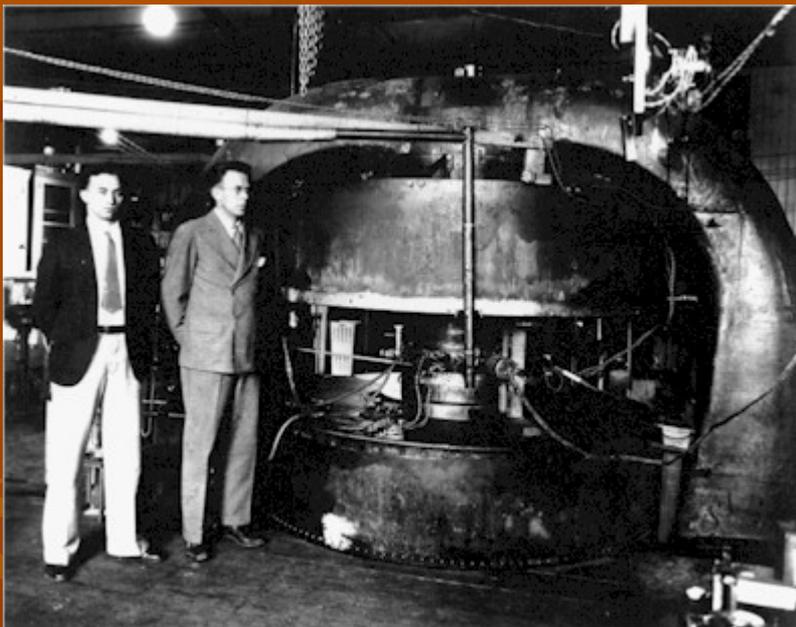
vacuum chamber

particle beam

Electromagnets keep the particle beams in the center of the pipe.

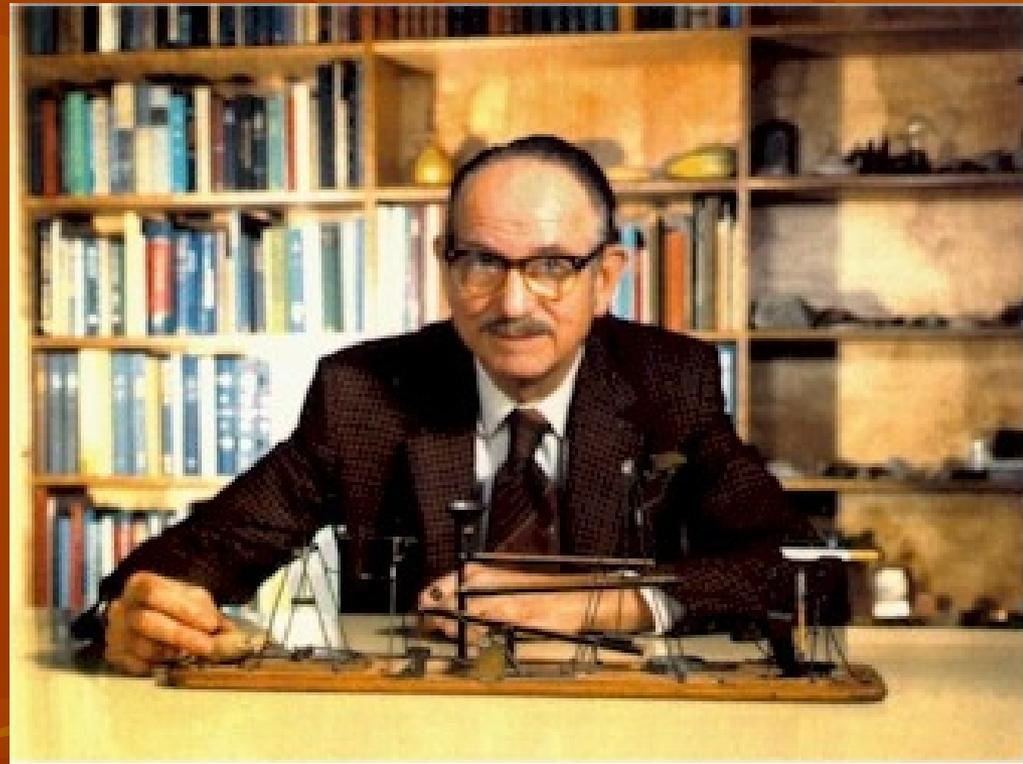
target

# Циклотрон (Э.Лоуренс, 1930 г)

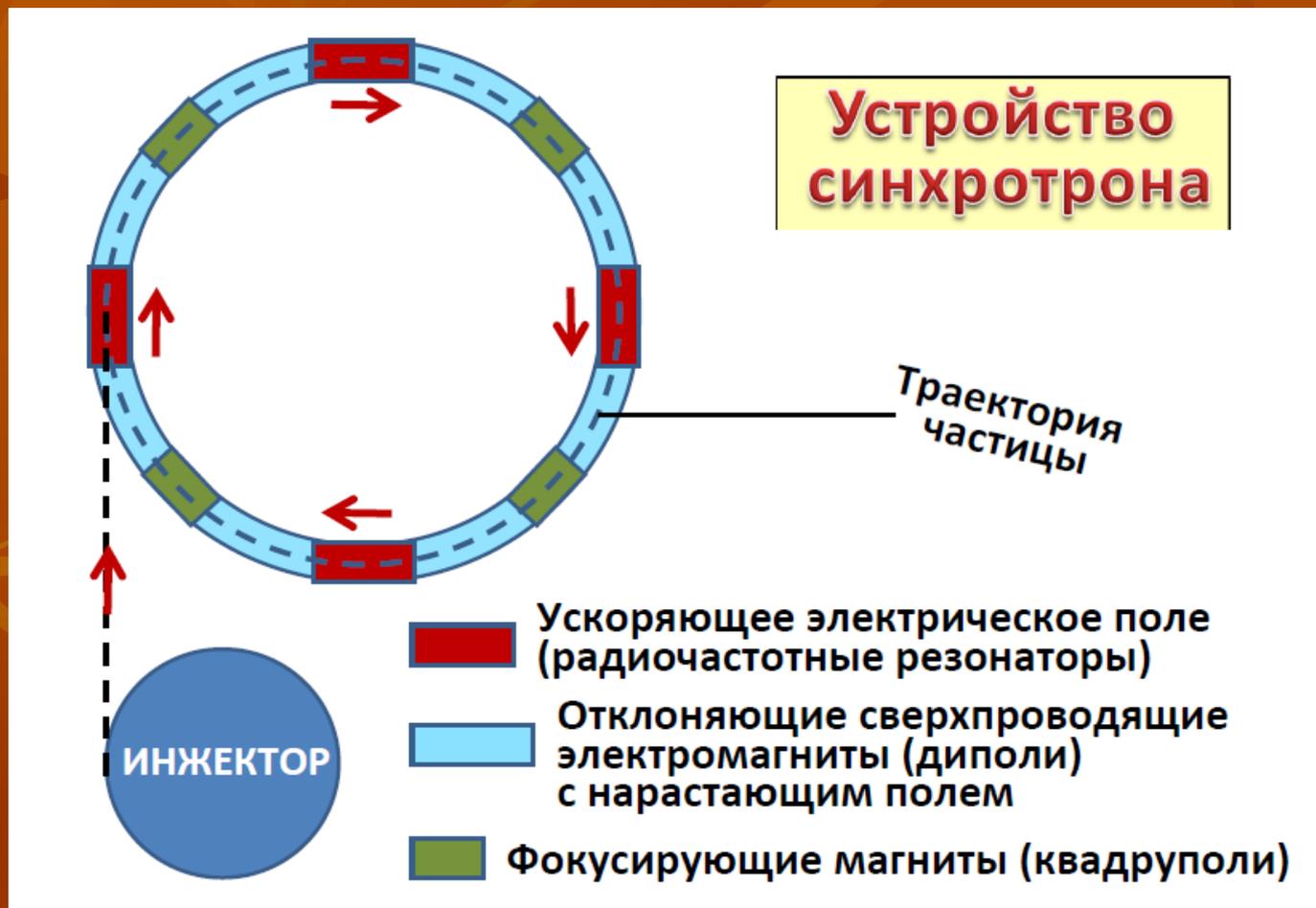


Нобелевская премия, 1939 г.

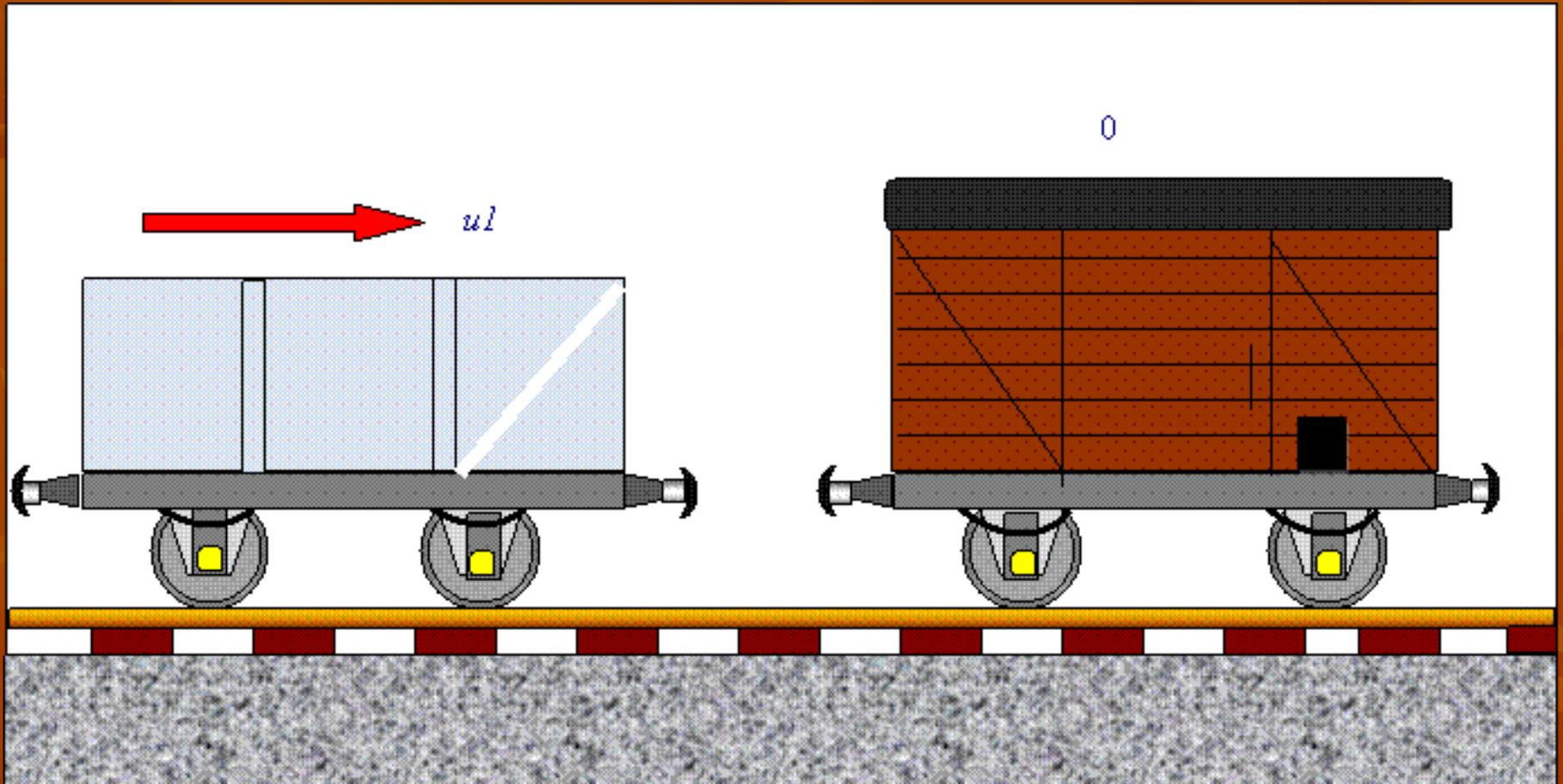
# Принцип автофазировки (В.И.Векслер 1944 г., С.М.Иллан 1945 г.)



# Синхротрон (В.И.Векслер, 1944 г.)



# Преимущества коллайдерной схемы



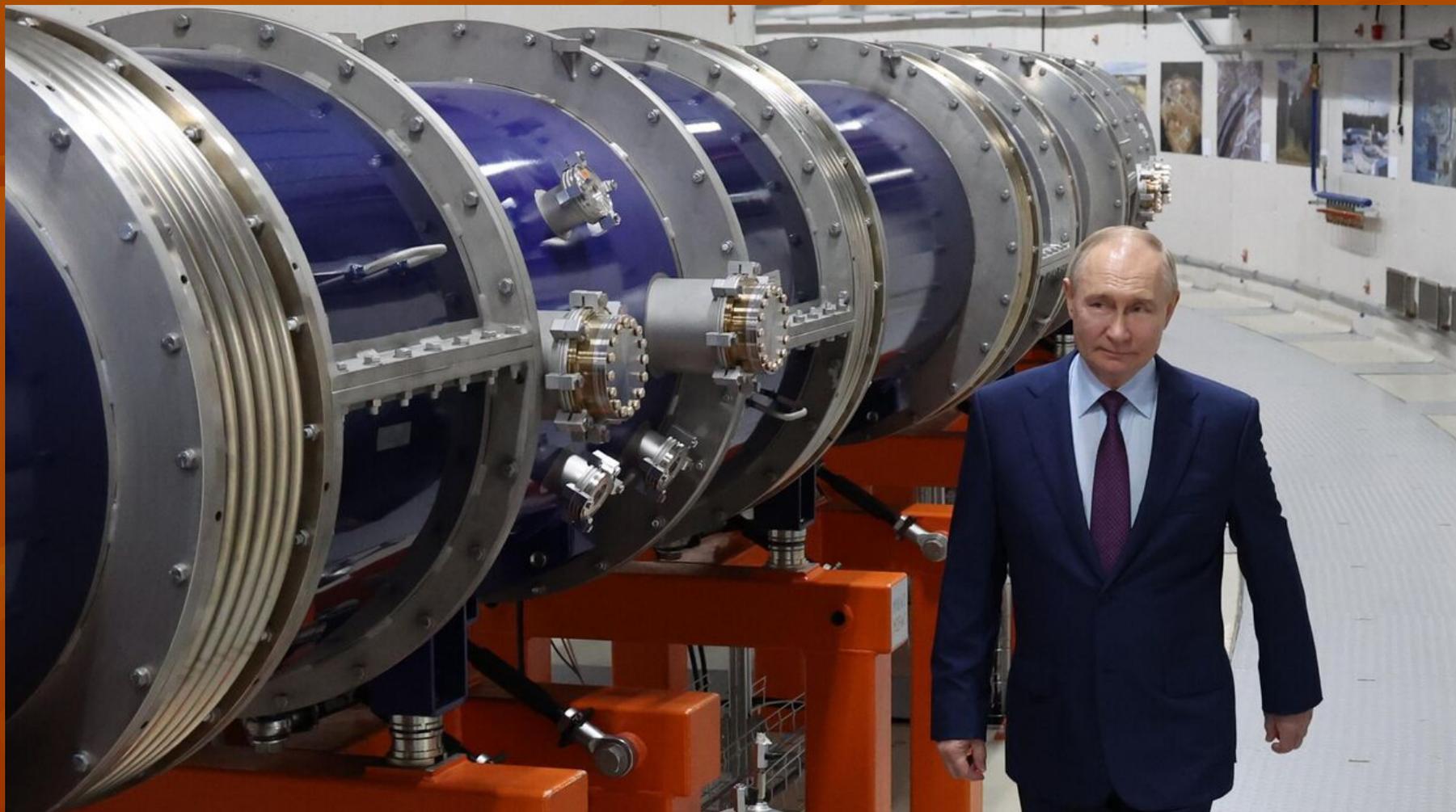
# Дубна, ОИЯИ



# Сооружение 2013-2024 гг.



# Технический пуск – лето 2024 г.



Да вот...только это «совсем другая  
история»

НАШ ОТВЕТ БОЛЬШОМУ  
АДРОННОМУ КОЛЛАЙДЕРУ



# Другой ускоритель...

## Характеристики коллайдеров

**БАК** (CERN, Швейцария)



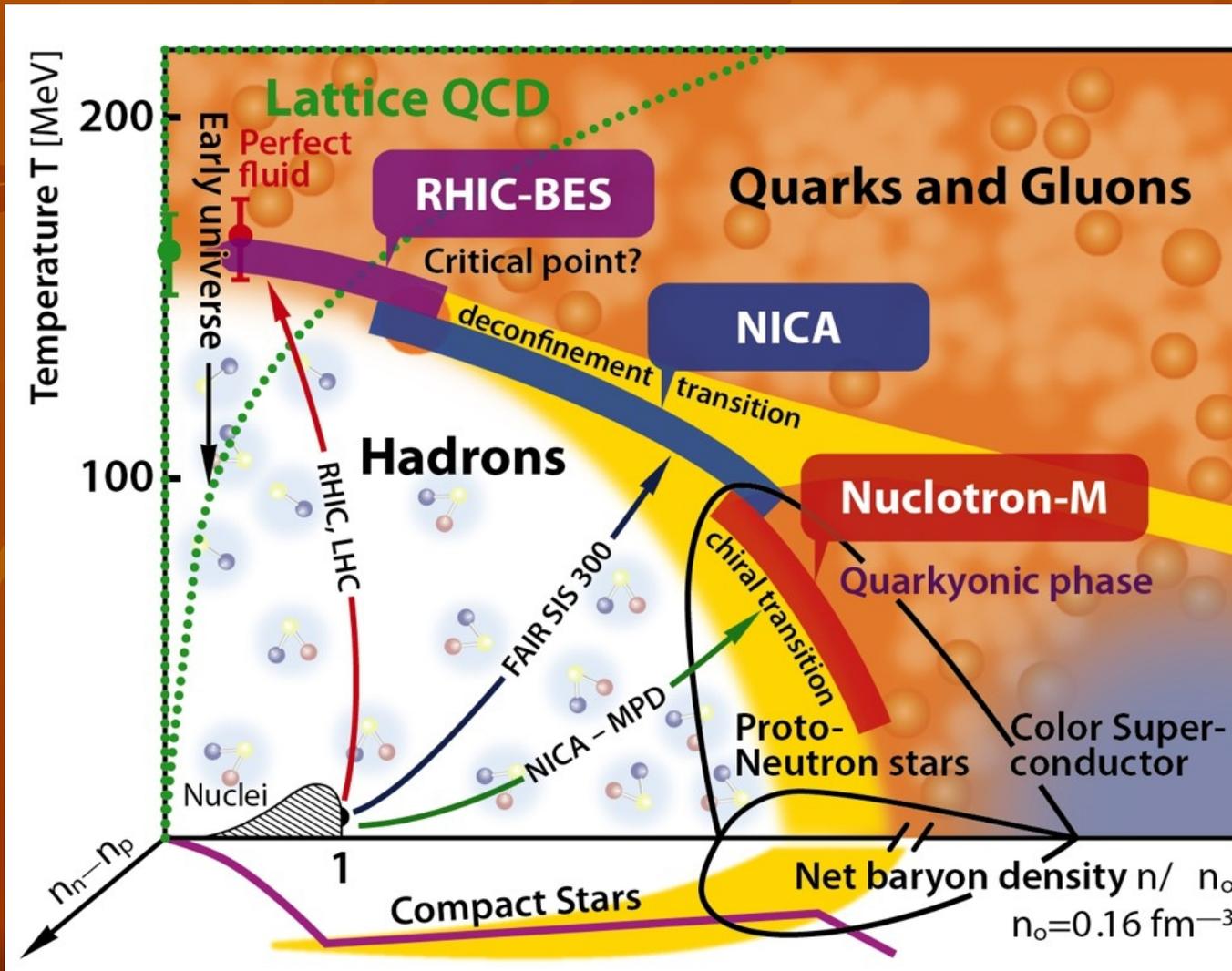
Протяжённость кольца: **27 км**  
Энергия: до **25 ГэВ/нуклон**  
Частицы:  $p$ ,  $Pb^+$

**NICA** (ОИЯИ, Россия)

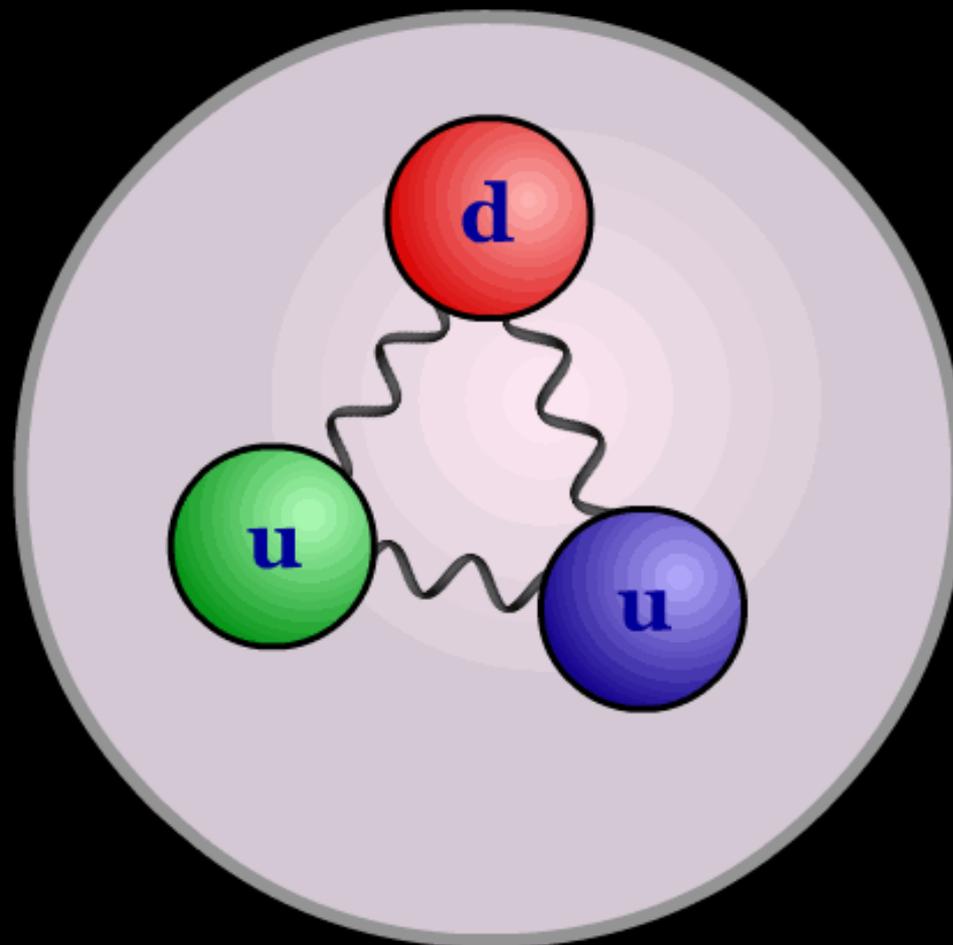


Энергия: до **4,5 ГэВ/нуклон**  
Частицы:  $D$  (дейтроны),  $C^+$ ,  
 $Kr^+$ ,  $Xe^+$ ,  $Au^+$ ,  $Pb^+$

# ...с другими задачами

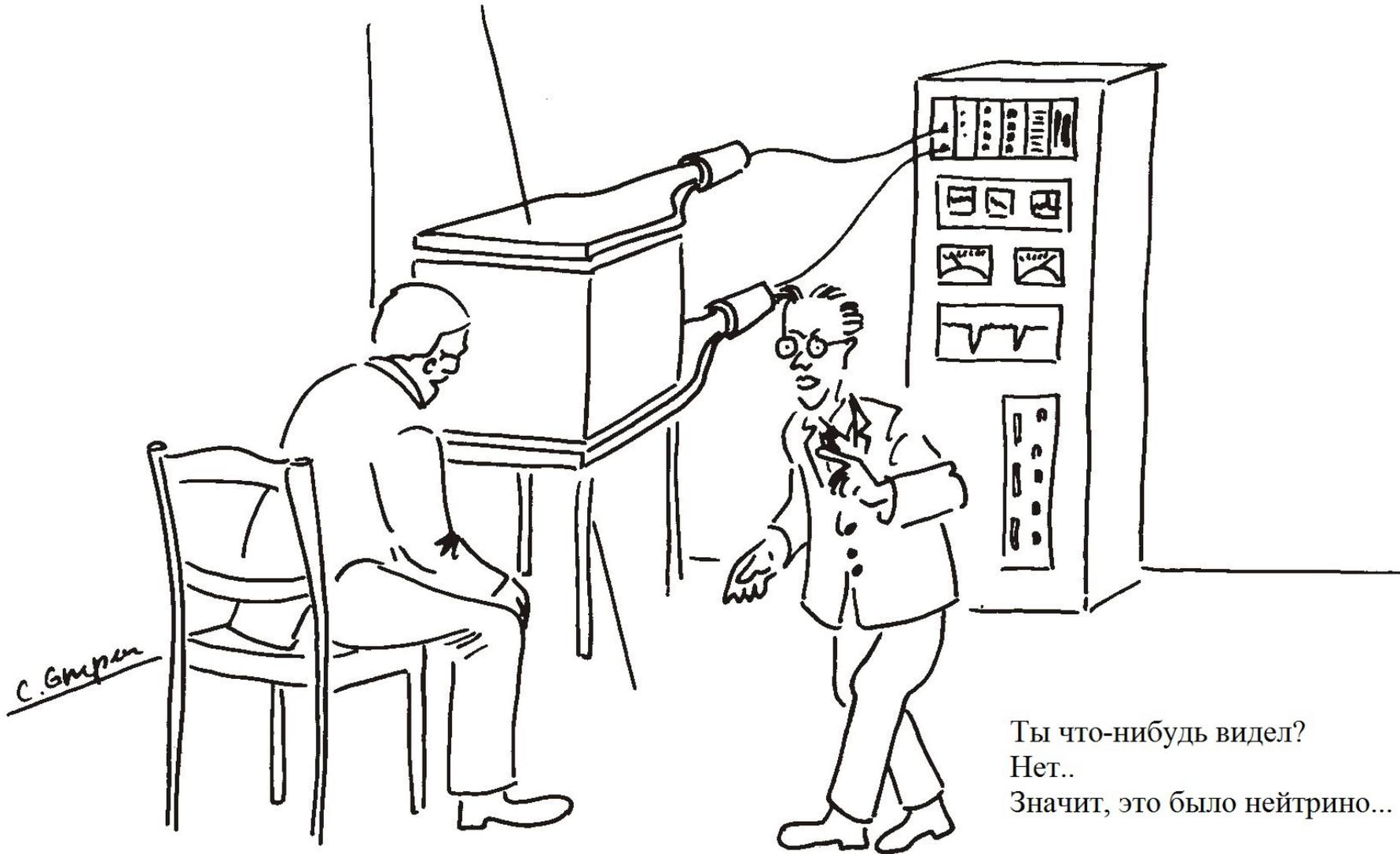


# Модель протона



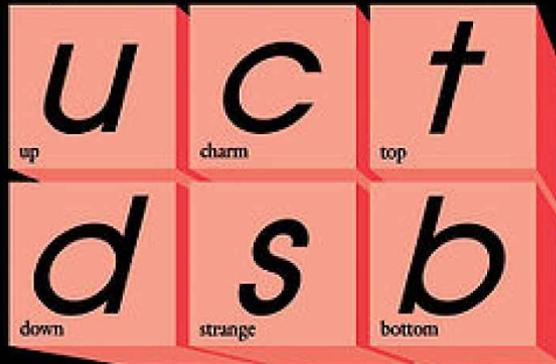
# А пока смотрим в будущее



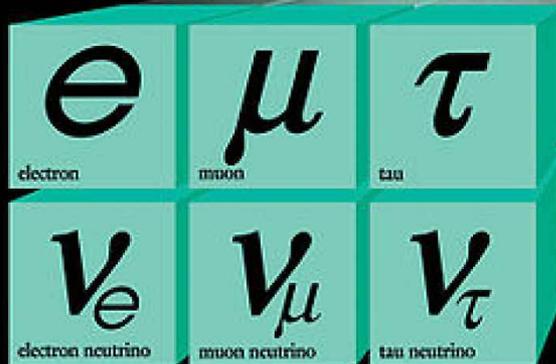
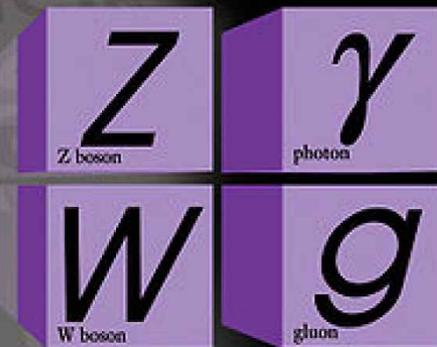


Ты что-нибудь видел?  
Нет..  
Значит, это было нейтрино...

# Quarks

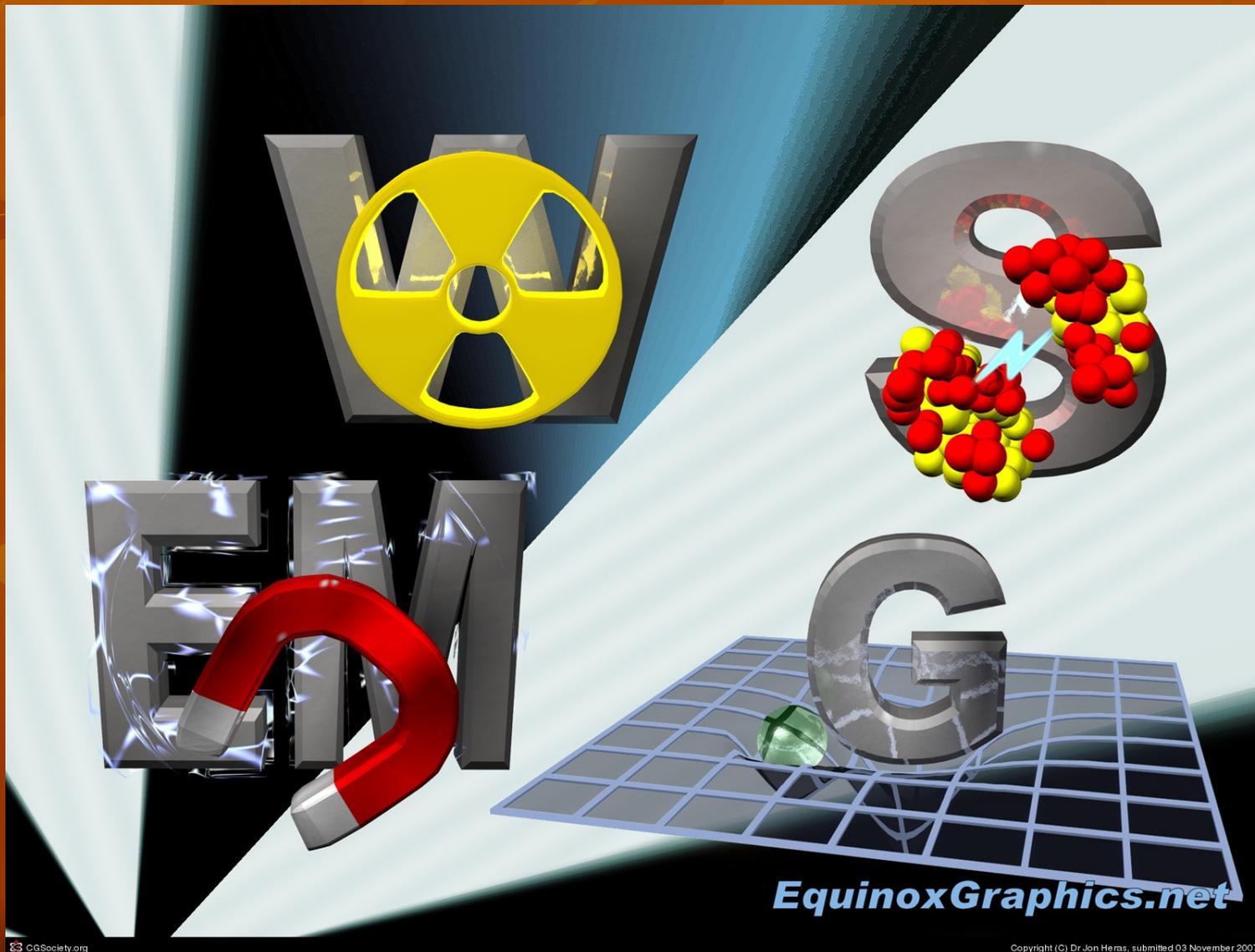


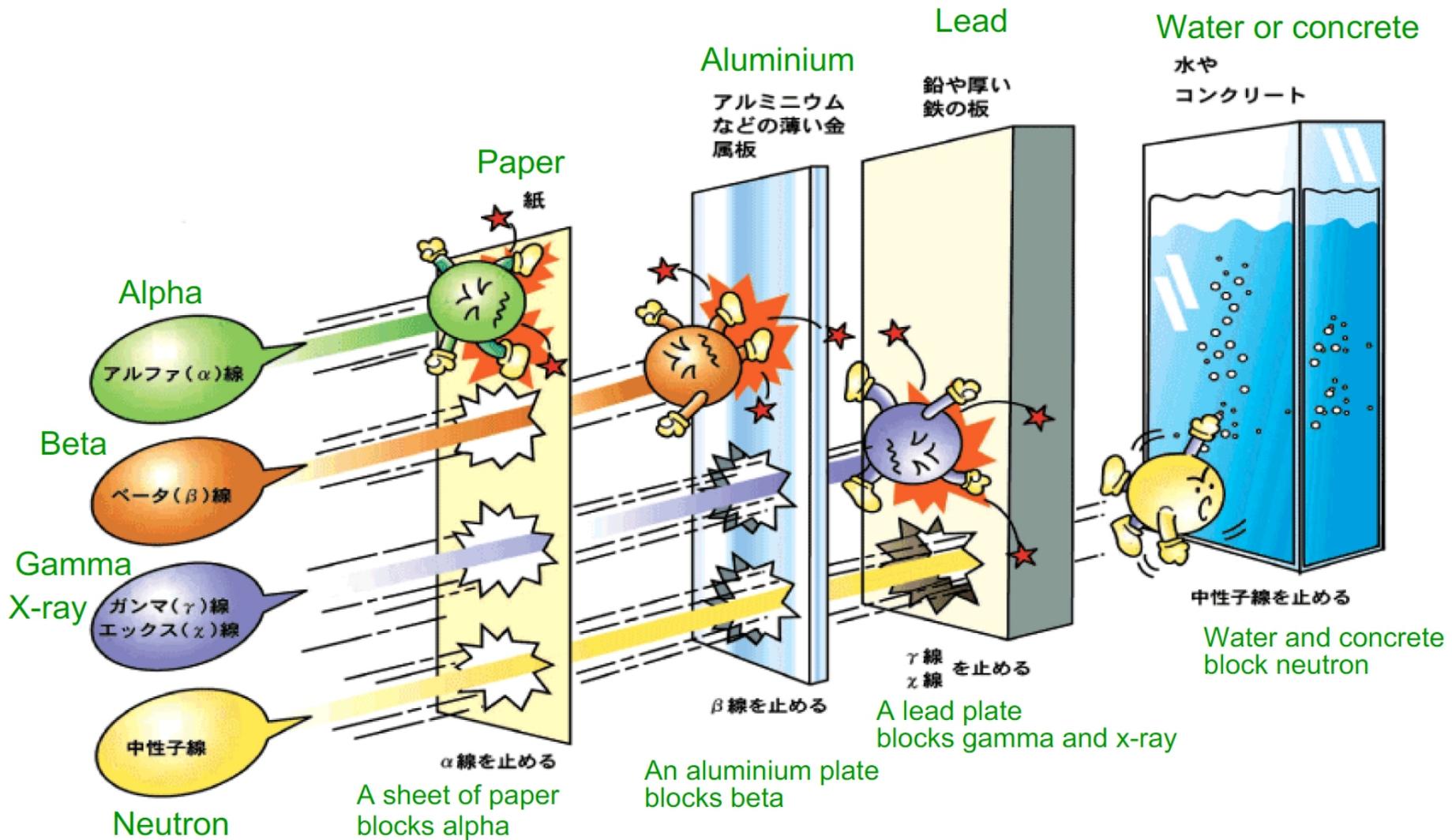
# Forces



# Leptons

# Виды взаимодействий





Muon Spectrometer

Muon

Neutrino

Hadronic Calorimeter

Proton

Neutron

The dashed tracks are invisible to the detector

Electromagnetic Calorimeter

Photon

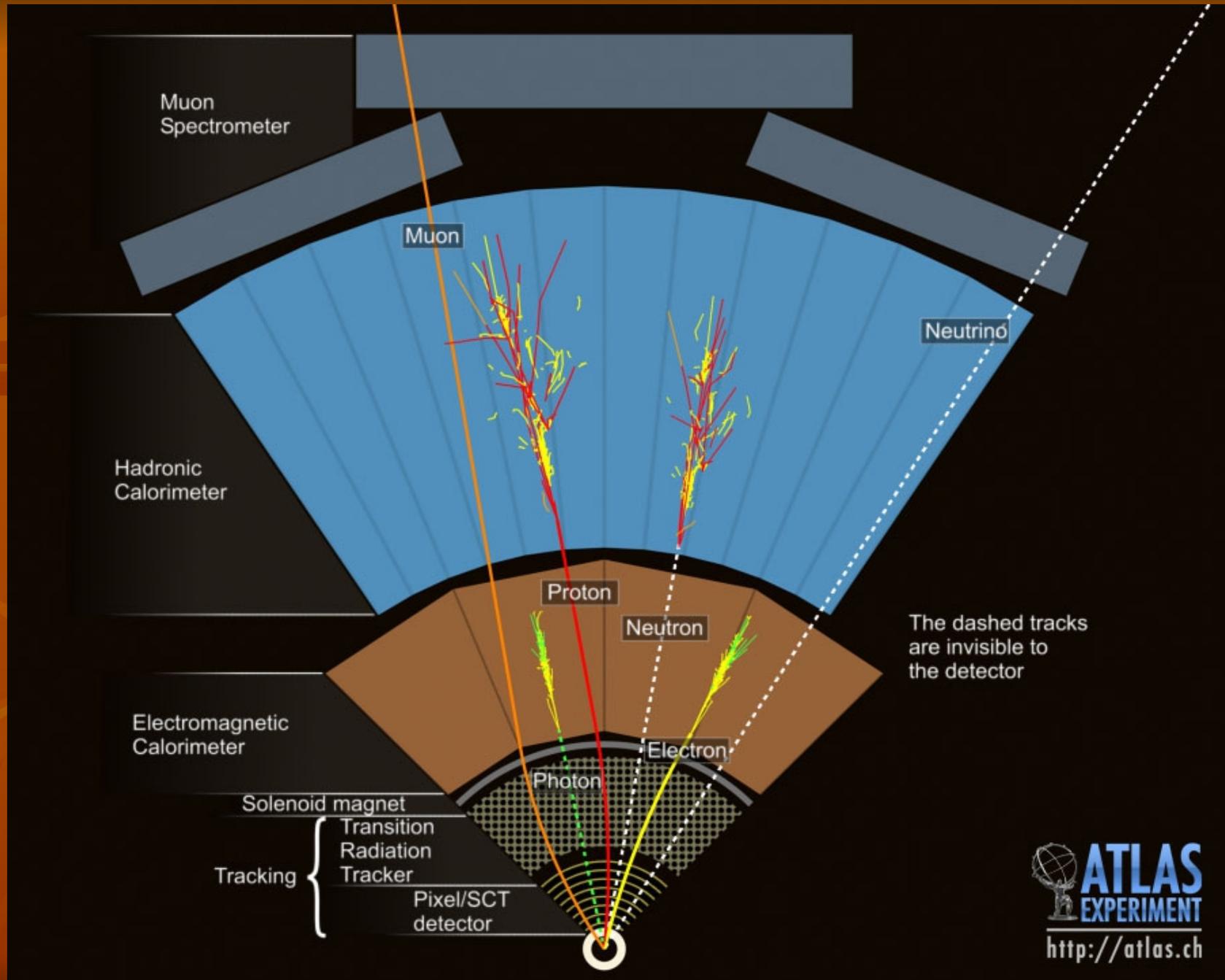
Electron

Solenoid magnet

Tracking

Transition Radiation Tracker

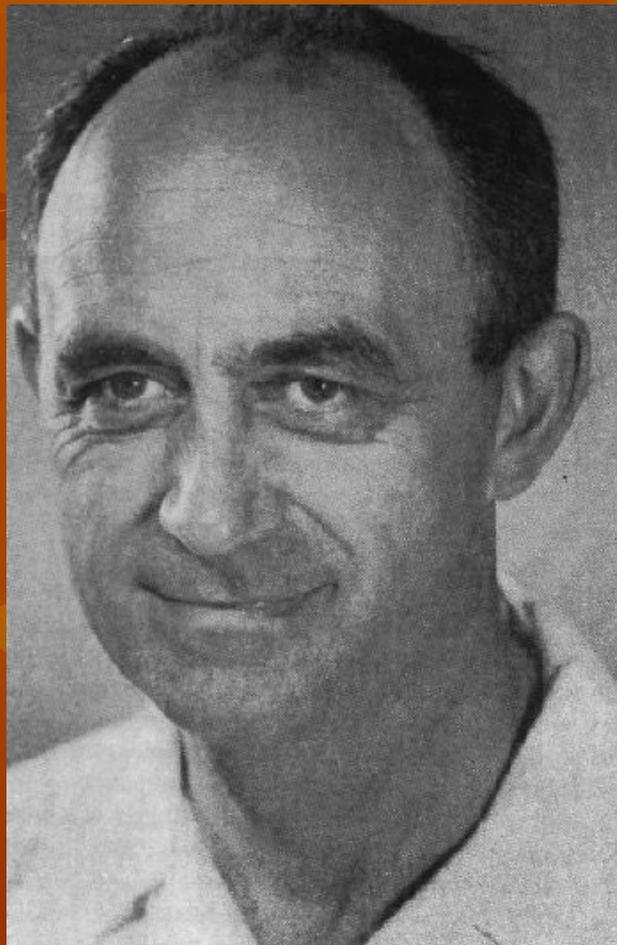
Pixel/SCT detector



# Главная особенность

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

# Гипотеза нейтрино (1930 г.)



Энрико Ферми



Вольфганг Паули

$37\text{Cl} + \nu e \rightarrow 37\text{Ar} + e^-$  (1945 г.)



Бруно Понтекорво

Малая  
вероятность =  
большой объём  
регистрирующего  
вещества

# Регистрация (анти)нейтрино (1956 г.)



Ф.Райнес (Нобелевская премия 1995 г.)



К.Коуэн

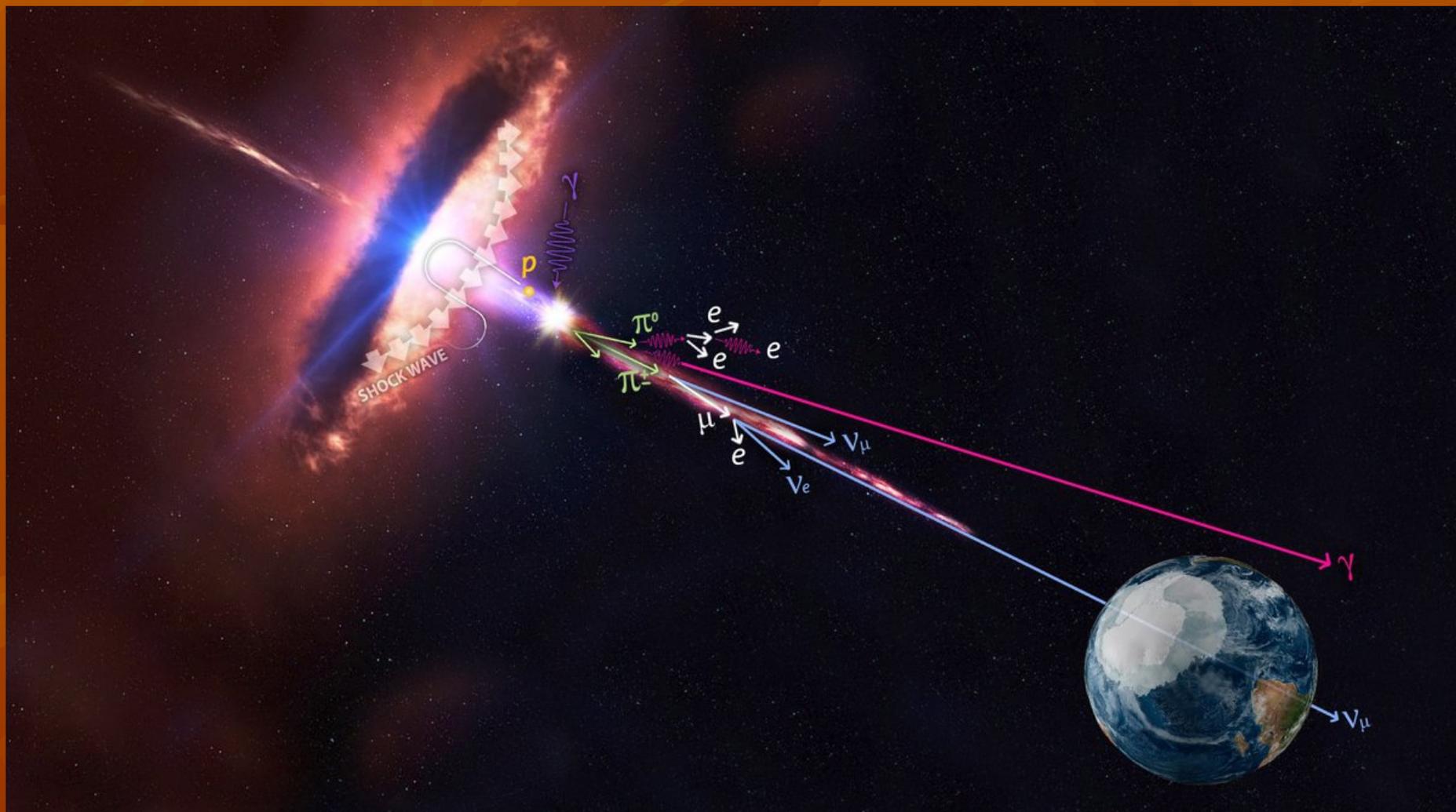
# «Ароматы» нейтрино



# Как же изучать нейтрино?

- 1) Изменить вероятность взаимодействия?
- 2) Найти вещества с высокой вероятностью взаимодействия?
- 3) Увеличивать объёмы регистрирующих установок?

# Нейтринные телескопы



# Черенковский метод регистрации



# Мультимессенджер

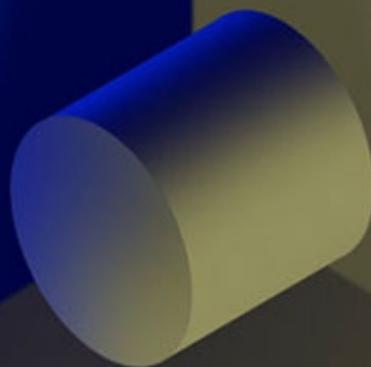
ПРАВДА



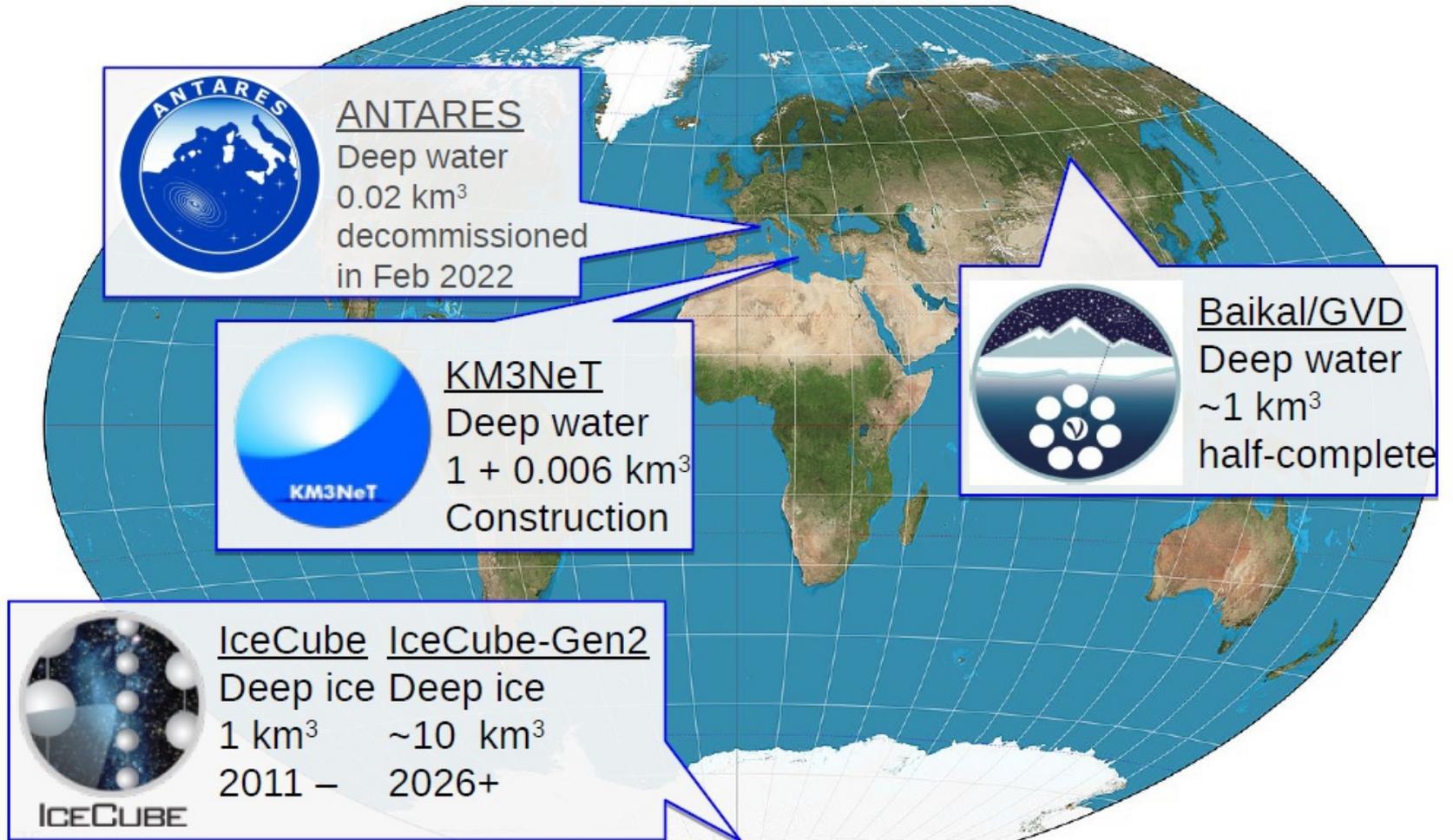
ПРАВДА



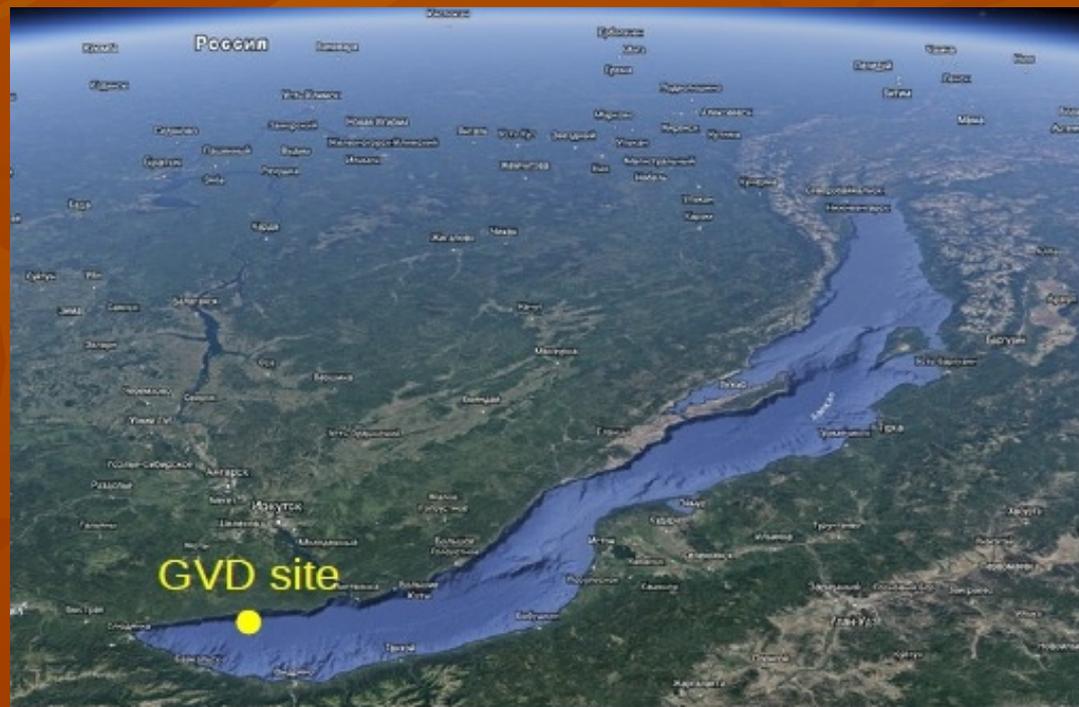
ИСТИНА



# Neutrino telescope world map 2022



# Проект Байкал-GVD



# Г.В.Домогацкий (1941-2024 гг.)

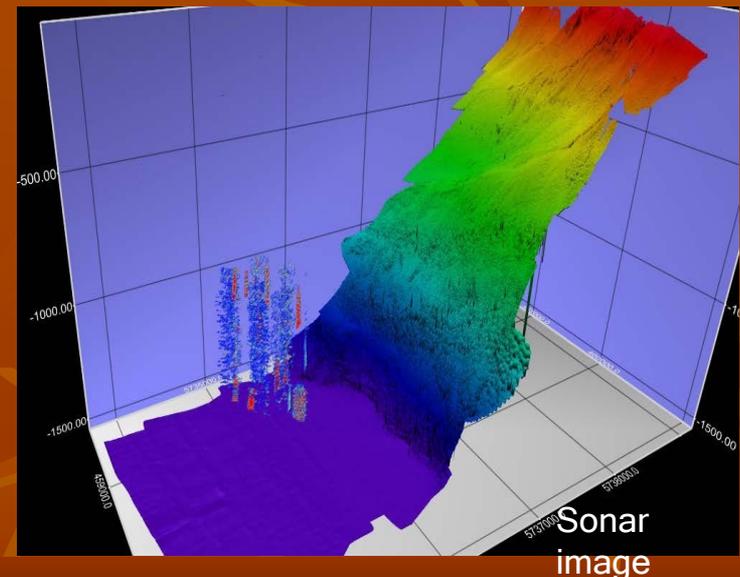


# Расположение телескопа



- $51^{\circ} 46' N$   $104^{\circ} 24' E$
- Southern basin of Lake Baikal
- $\sim 4$  km away from shore
- Flat area at depths 1366 – 1367 m
- Stable ice cover for 6–8 weeks in
- February – April: detector deployment & maintenance

- High water transparency
  - ✓ Absorption length: 22 m
  - ✓ Scattering length: 30 – 50 m ( $L_{eff} \approx 480$  m)
- Moderately low optical background: 15–40 kHz (PMT R7081-100  $\varnothing 10''$ ) $10''$ )



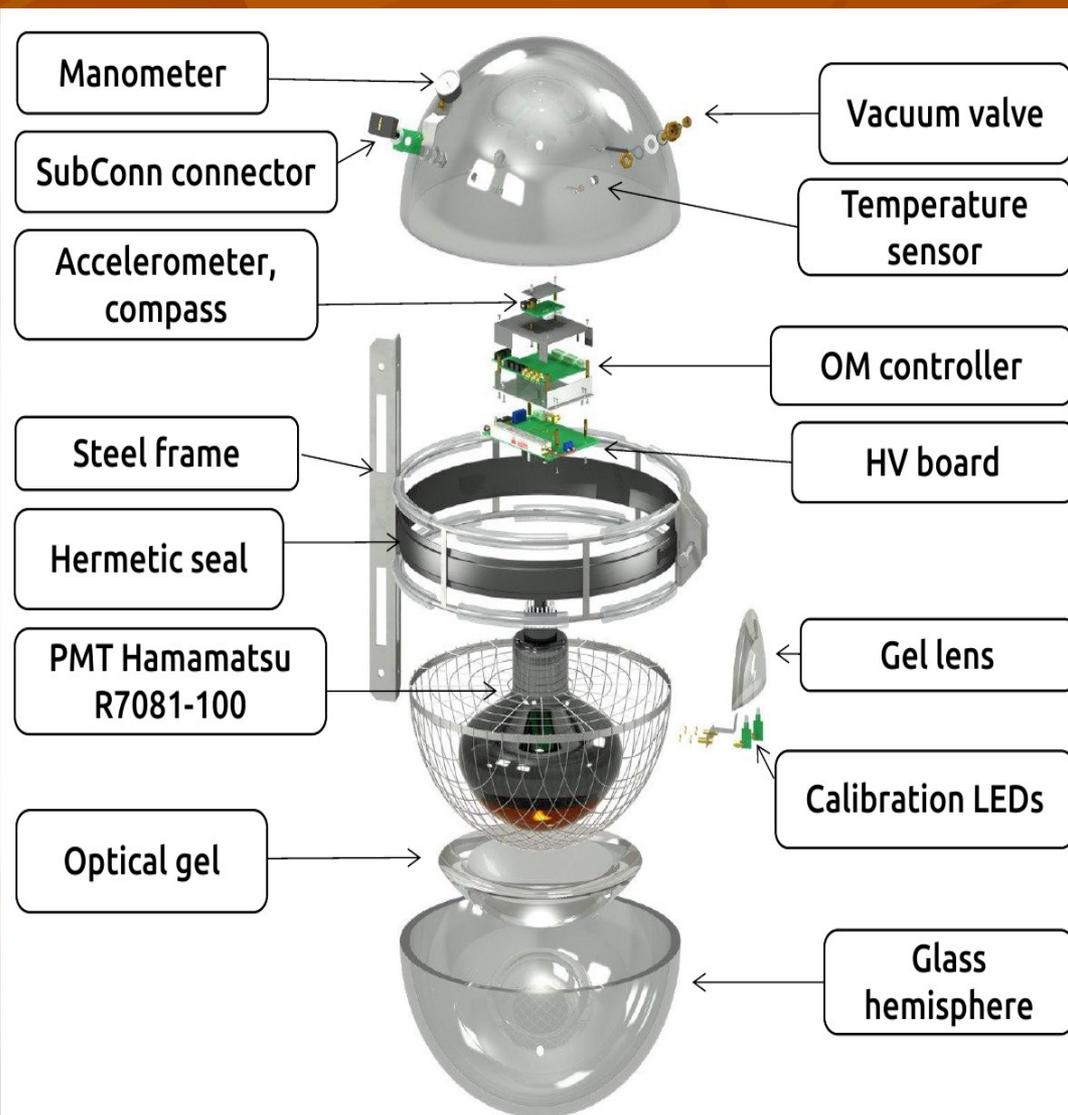
# Участники проекта

12 organisations from 5 countries, ~70 collaboration members



- Institute for Nuclear Research RAS (Moscow)
- Joint Institute for Nuclear Research (Dubna)
- Irkutsk State University (Irkutsk)
- Skobeltsyn Institute for Nuclear Physics MSU (Moscow)
- Nizhny Novgorod State Technical University (Nizhny Novgorod)
- Saint-Petersburg State Marine Technical University (Saint-Petersburg)
- Institute of Experimental and Applied Physics, Czech Technical University (Prague, Czech Republic)
- EvoLogics (Berlin, Germany)
- Comenius University (Bratislava, Slovakia)
- Institute of Nuclear Physics (Almaty, the Republic of Kazakhstan)

# Оптические модули – «глаза» телескопа



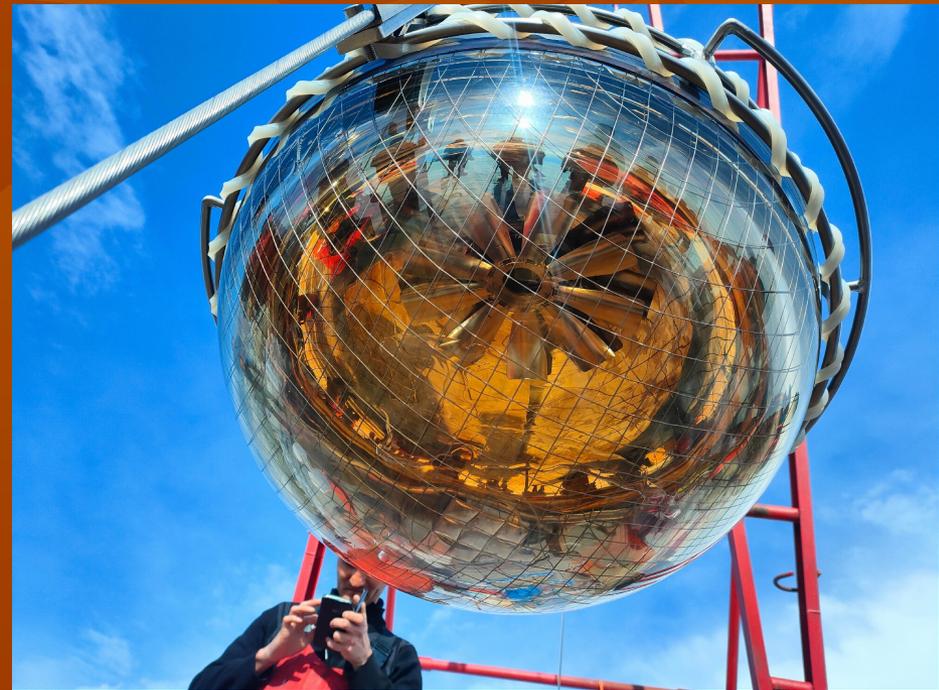
# Экспедиция



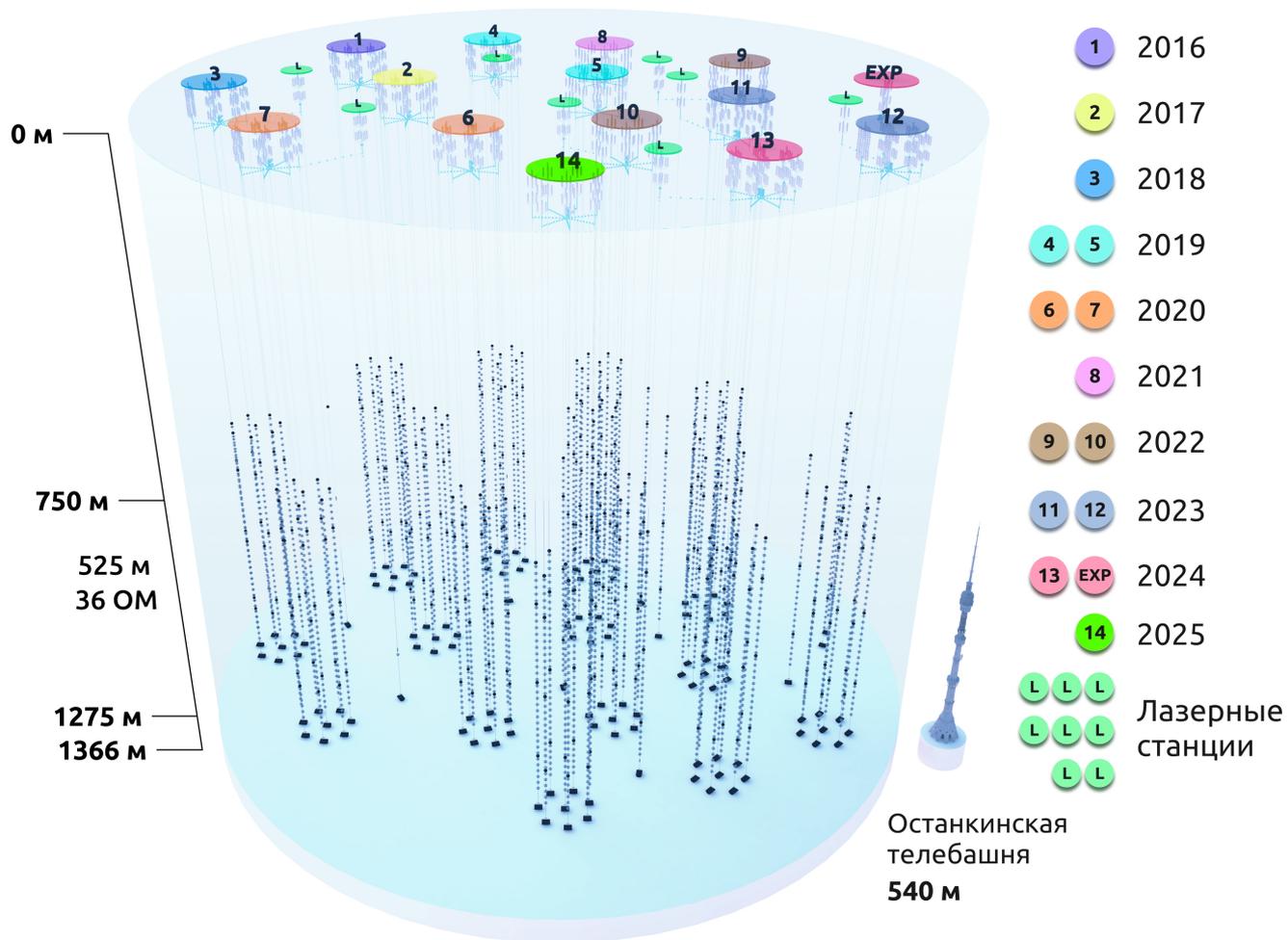




# Экспедиция 2024 г.



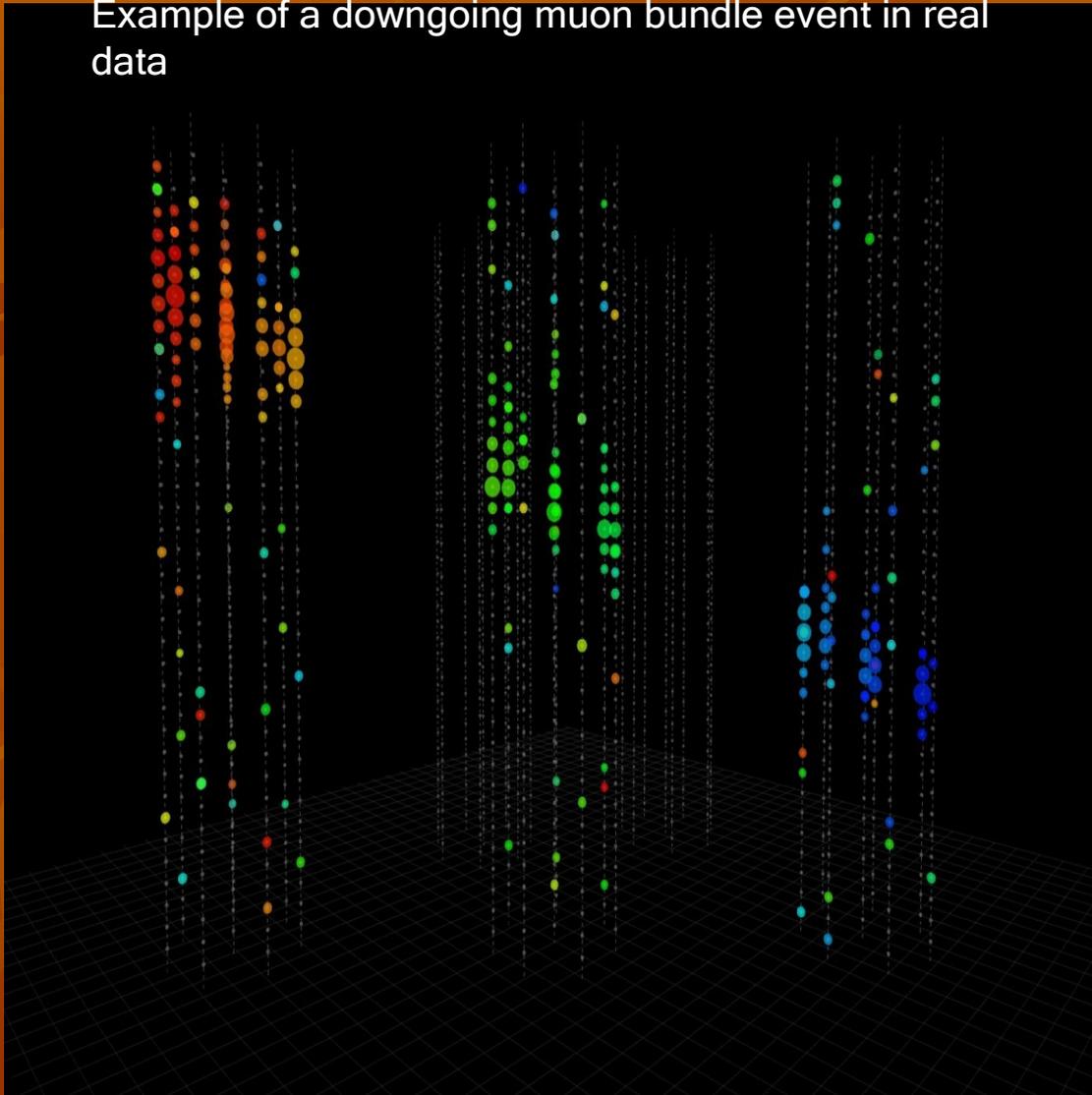
# Статус детектора на 2025 г. (0.8 куб км.)



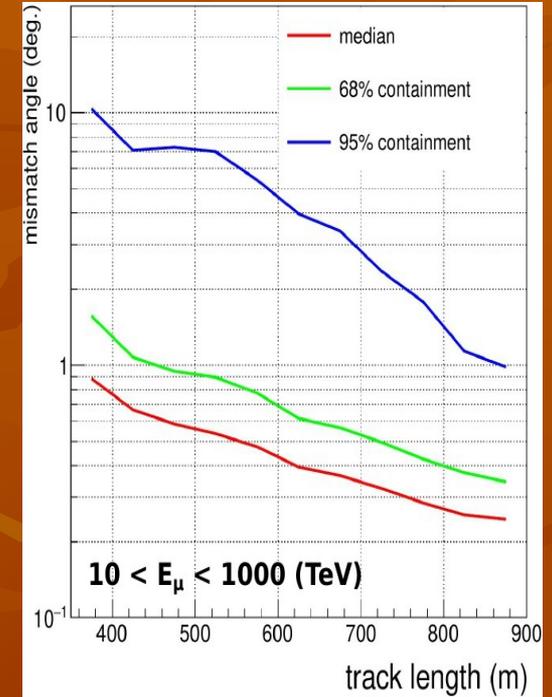
# События в телескопе

Example of a downgoing muon bundle event in real data

late



early

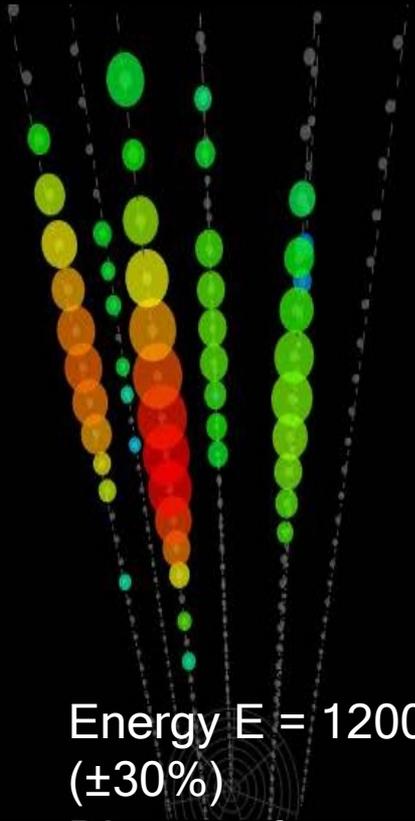


Median energy  $\sim 4$   
TeV

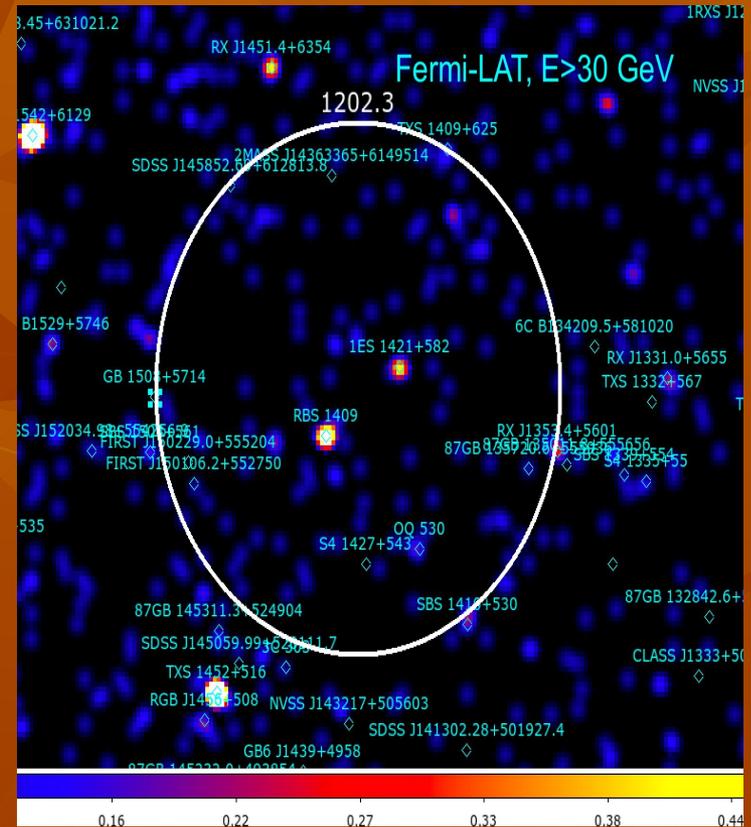
Work in  
progress !

# Сверхвысокая энергия

GVD\_2019\_112\_N



Energy  $E = 1200 \text{ TeV}$   
( $\pm 30\%$ )  
Distance from central  
string  $r = 91 \text{ m}$  Zenith  
angle =  $61^\circ$



Fermi sources in  $5^\circ$  circle:  
RBS 1409 BL Lac  
 $z = \text{unknown}$  1ES  
1421+582  $z = \text{unknown}$   
both with hard spectrum

В планах – значительно больший объём!



Спасибо за внимание!

