

# О наземных космофизических экспериментах



[github.com/e-dmi](https://github.com/e-dmi)

# Частицы высокой энергии в Космосе

Протоны



# Частицы высокой энергии в Космосе

Протоны

Ядра  
тяжелых  
атомов



# Частицы высокой энергии в Космосе

Протоны

Ядра  
тяжелых  
атомов

Космические лучи

The image features a deep black space background densely populated with small, bright white stars of varying sizes. Two distinct blue nebulae are visible: one in the upper right quadrant and another in the lower left quadrant. The text "Ну и что с ними делать?" is centered in the image in a clean, white, sans-serif font.

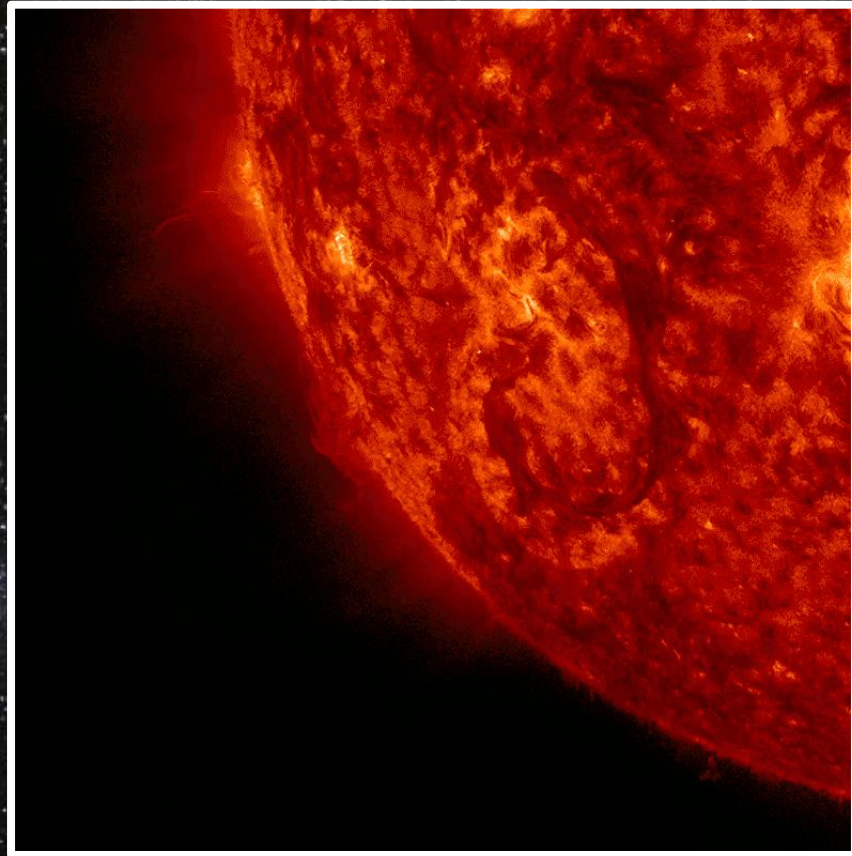
Ну и что с ними делать?



# Польза



# Польза





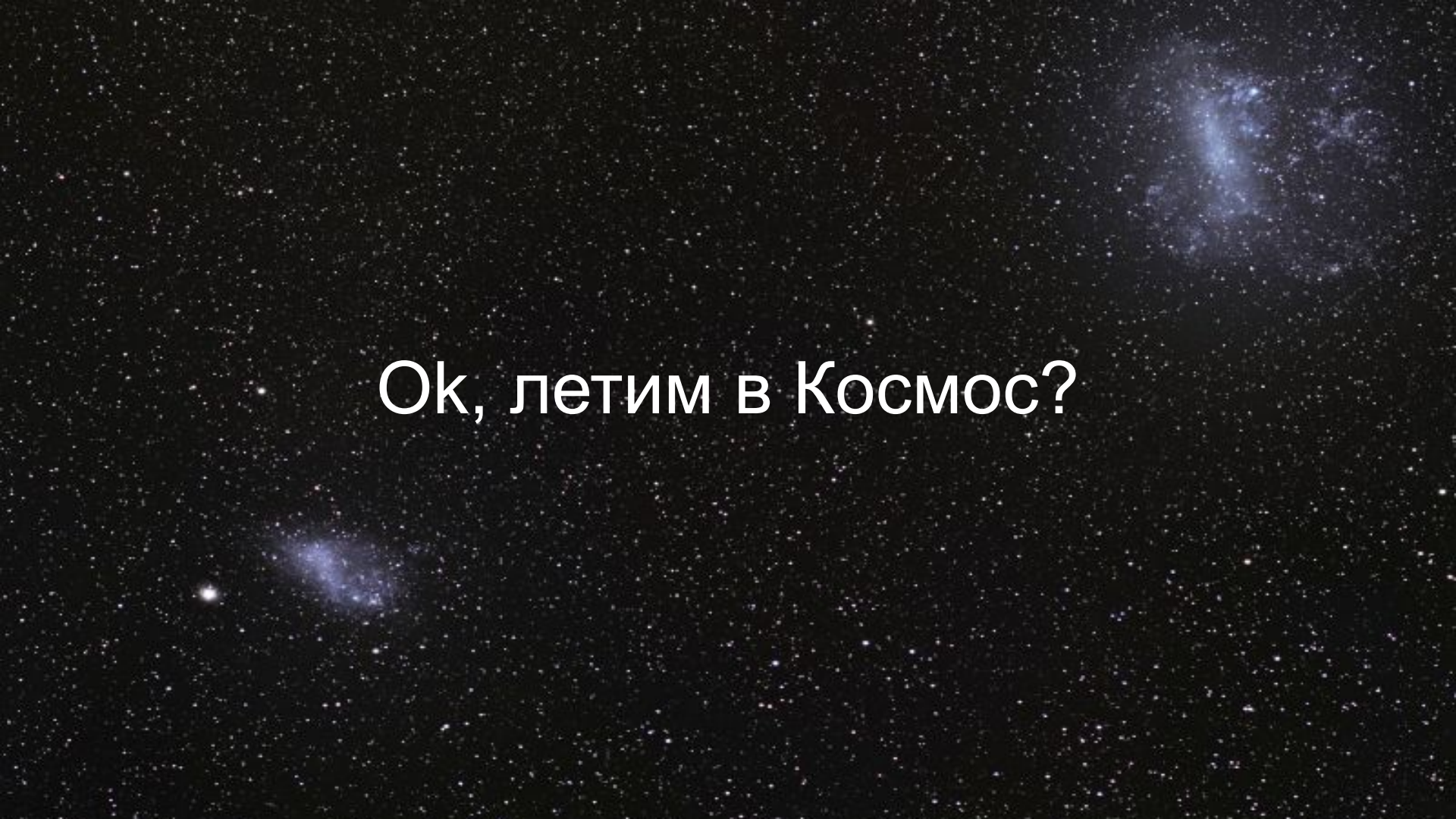
# Польза





# Польза



The image features a deep black space background densely populated with small, bright white stars of varying magnitudes. Two distinct blue nebulae are visible: one in the upper right quadrant and another in the lower left quadrant. The text "Ok, летим в Космос?" is centered in the image in a clean, white, sans-serif font.

Ok, летим в Космос?





Или нет...

1 кг в космос:

от *тысяч*  
до *десятков тысяч*  
долларов

Массы детекторов  
космических лучей:

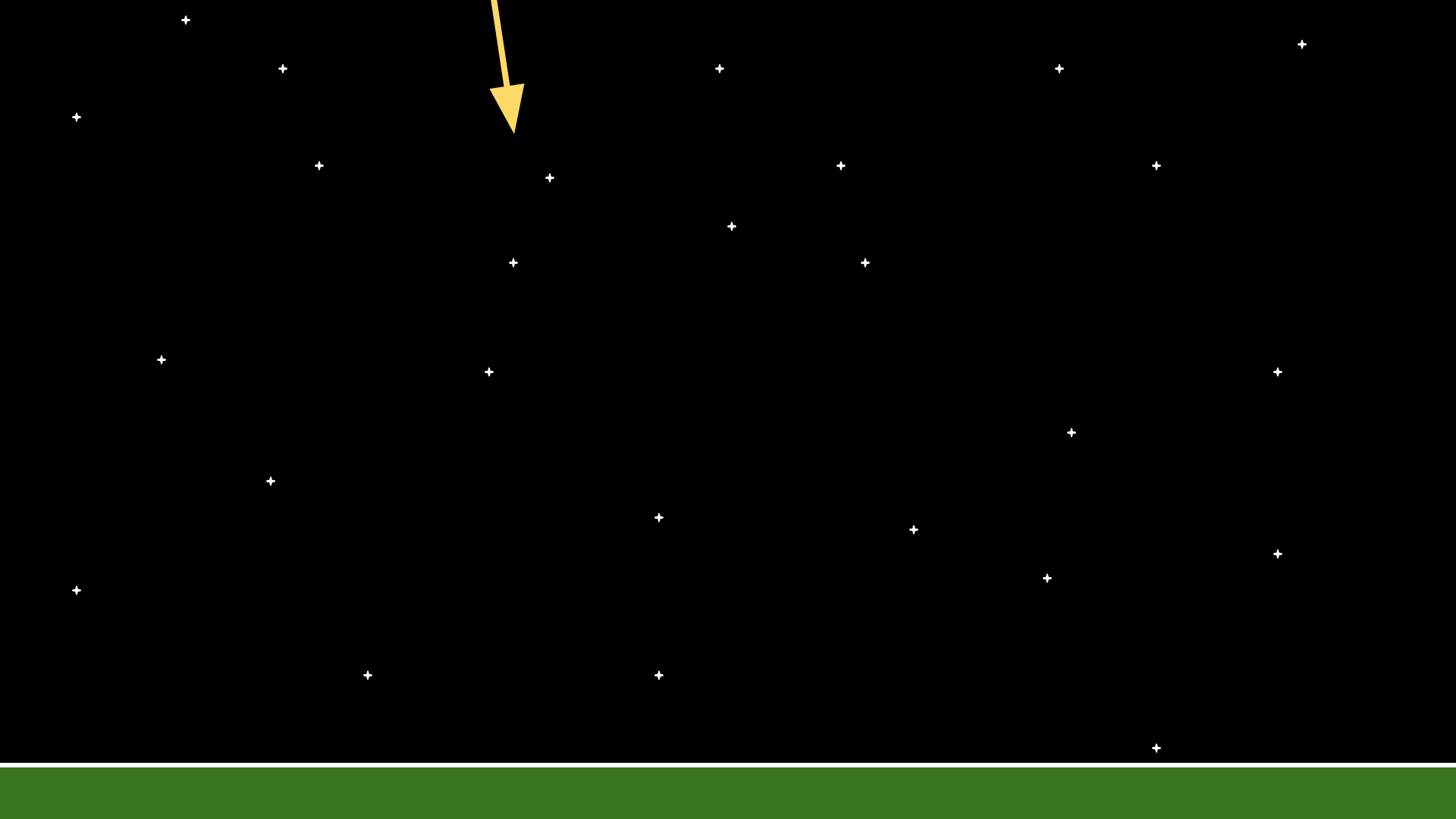
Сотни килограмм,  
Тонны

A dark, starry night sky with two prominent blue nebulae. One is in the upper right and the other is in the lower left. The text "Ok, ловим на Земле" is centered in white.

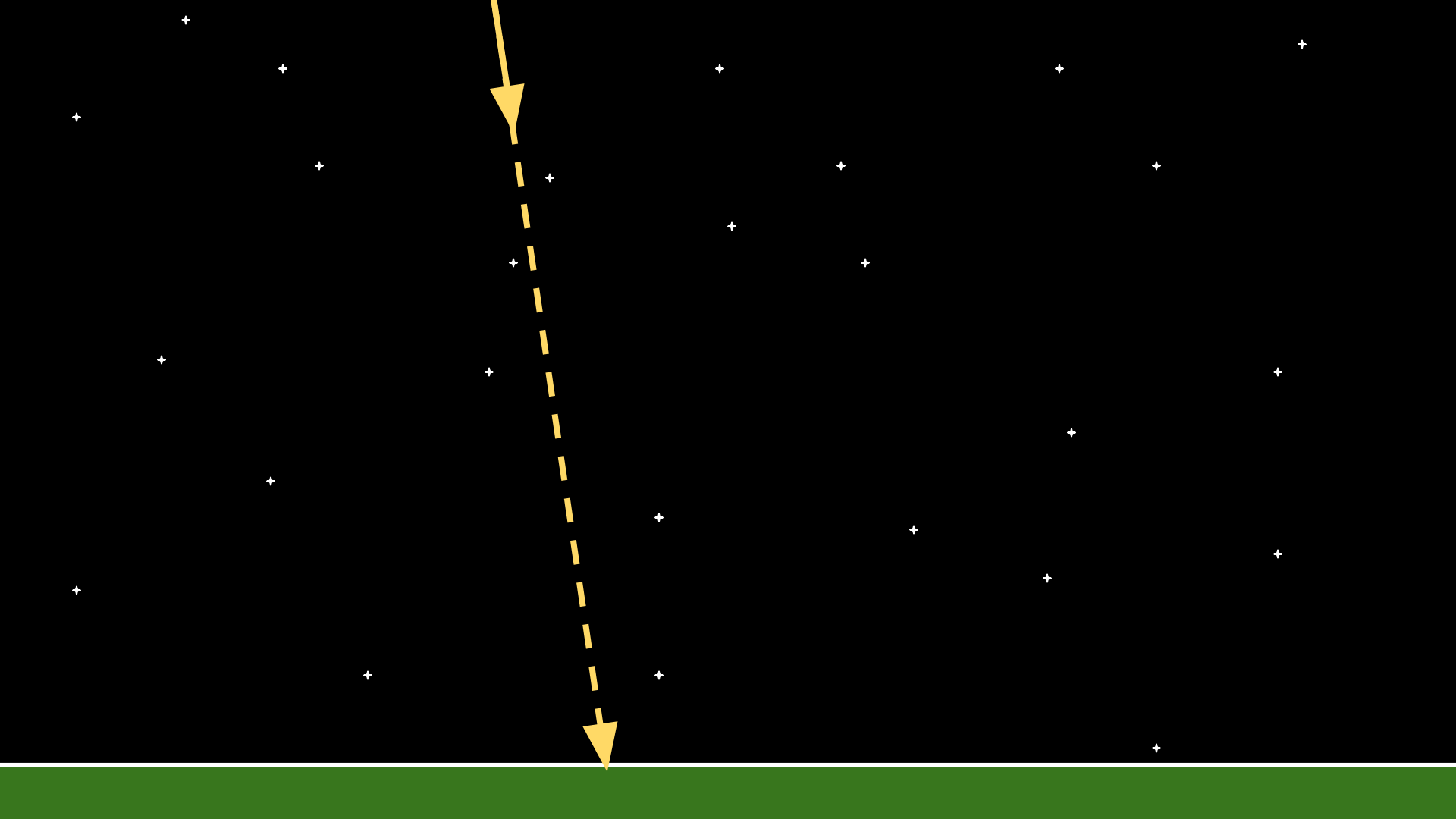
Ok, ловим на Земле



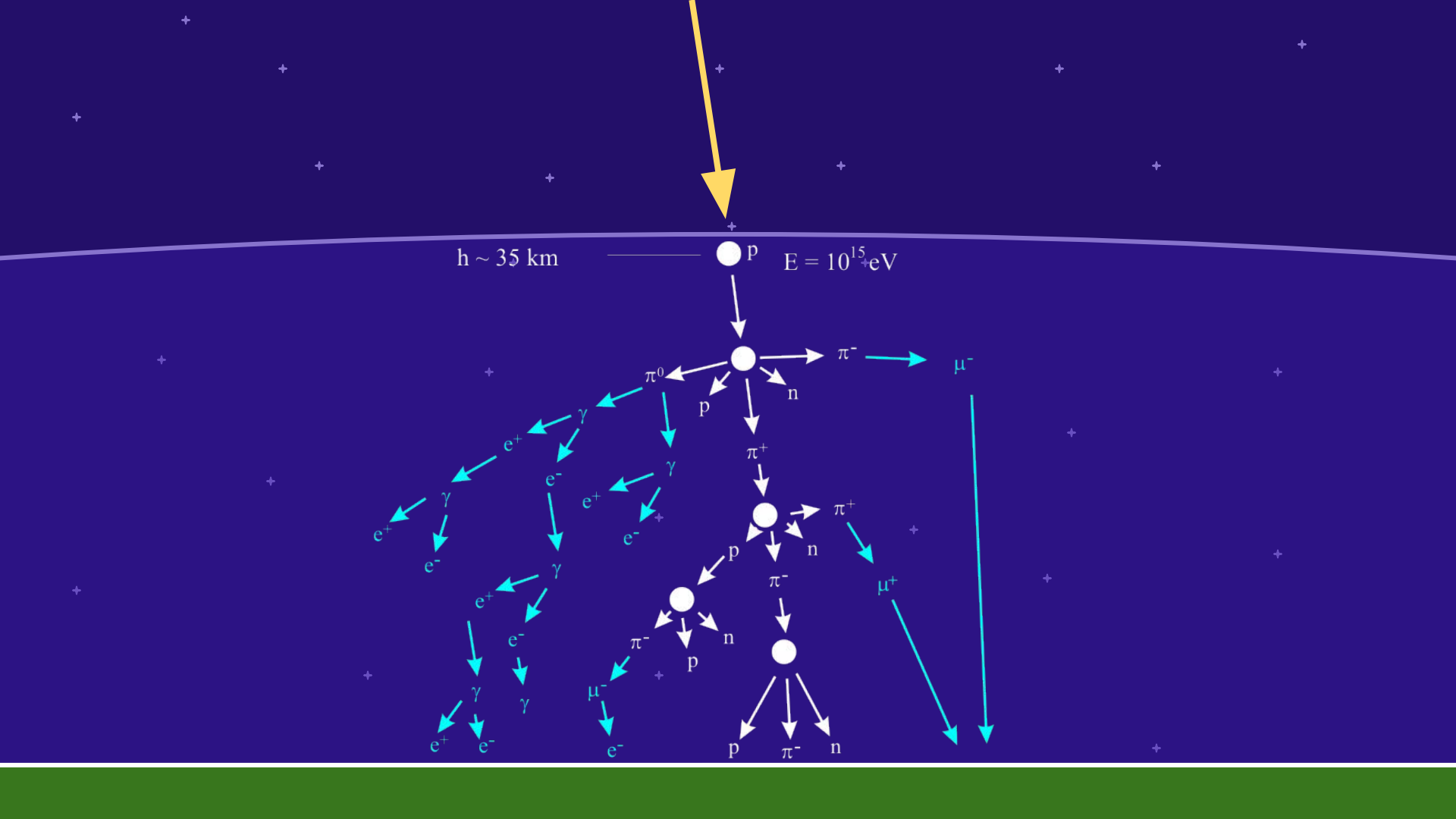














$\mu$  Мюон

$\nu$  Нейтрино

$\mu$  Мюон — может долететь до Земли

$\nu$  Нейтрино

$\mu$  Мюон — может долететь до Земли

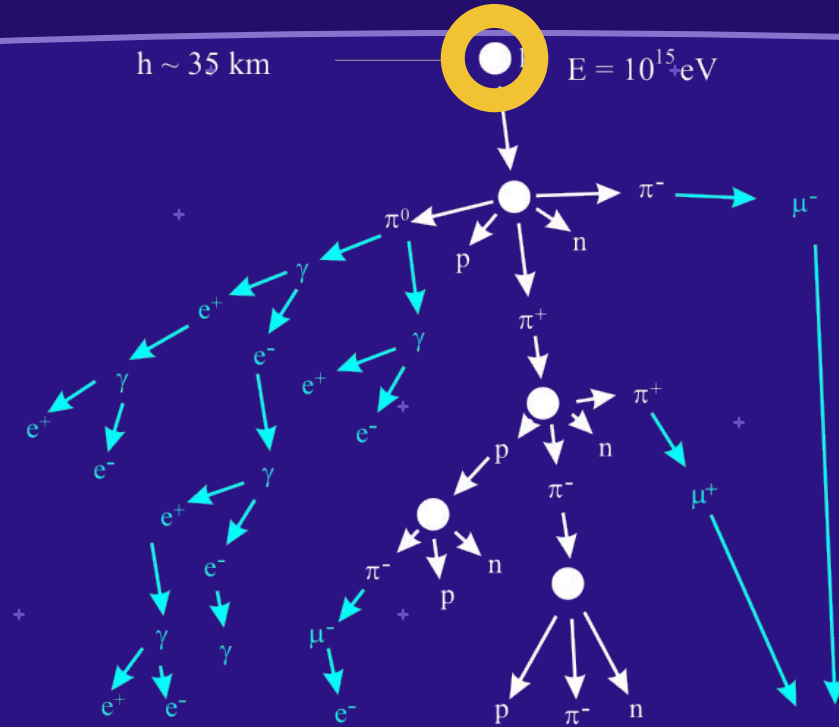
$\nu$  Нейтрино — почти не взаимодействует





Два типа задач:

# 1) Интересно все про первичную частицу



электрон

ядро железа

ядро лития

нейтрон

кусочек чего-нибудь

Что за частица?

протон

позитрон

неизвестная  
никому хрень

квант света

ядро гелия



100 ТэВ

10 ТэВ

1 ТэВ

5,5 ТэВ

Сотни ТэВ

# Какой энергии?

3 ТэВ

ПэВ

Дохрена ТэВ

Много ПэВ и  
страданий

< 1 ТэВ

Из солнечной  
системы

Известно лишь  
направление

Из какой-то  
звезды

Из слияния двух  
массивных тел

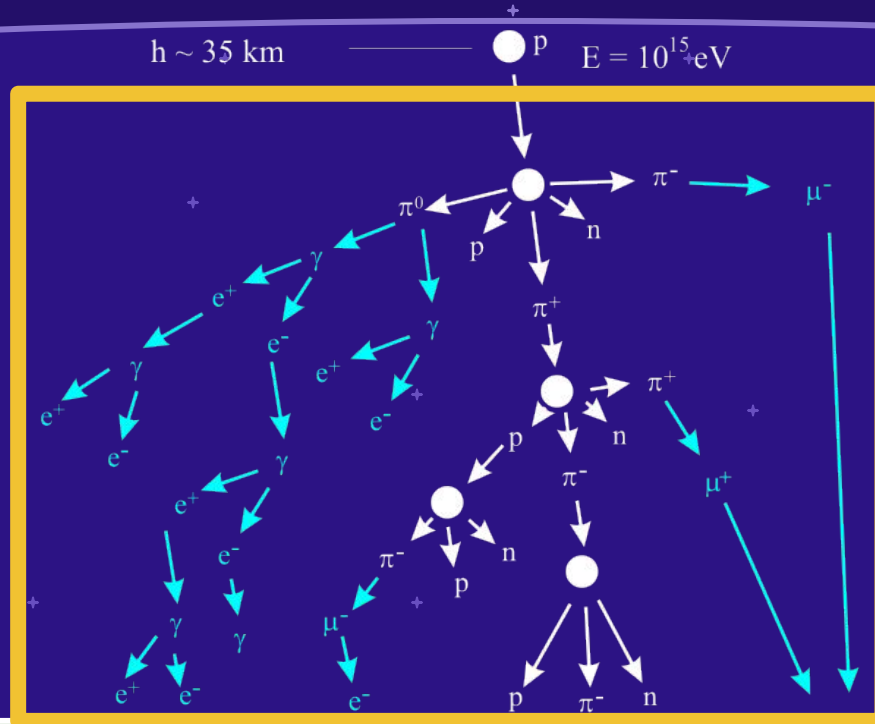
Откуда?

Из Солнца

Из известной  
галактики

Из взрыва  
сверхновой

## 2) Интересно все про взаимодействие с ВЕЩЕСТВОМ





электрон

ядро железа

ядро лития

нейтрон

кусок чего-нибудь

Что за частица?

протон

позитрон

неизвестная  
никому хрень

квант света

ядро гелия

300 ГэВ/м

ТэВ/м

5 ГэВ/м

10 ГэВ/м

Сотни ТэВ

# Как теряется энергия?

никак

50 ГэВ/м

полностью

10 ГэВ/м

< ГэВ/м

прямо

по кривой

известен трек

X3

# Как летит?

известны точки  
трека

криво в магнитном  
поле

не отклоняется  
полем



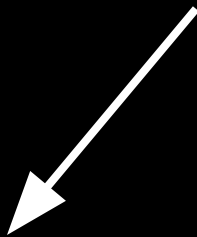
Нам нужны детекторы

Детекторы → какую задачу решают?



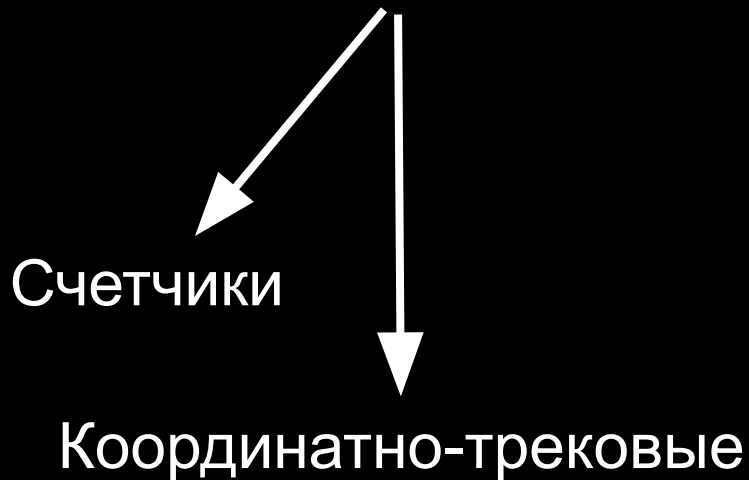
Детекторы → какую задачу решают?

Детекторы → какую задачу решают?

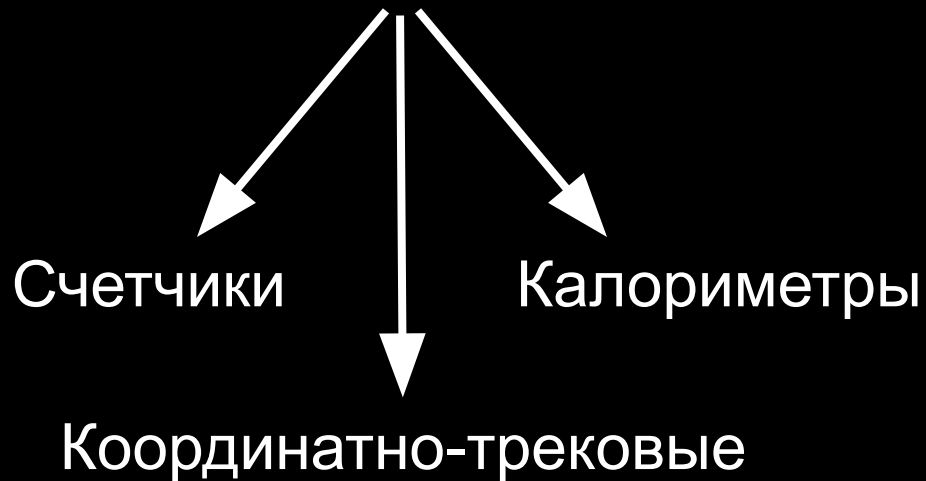


Счетчики

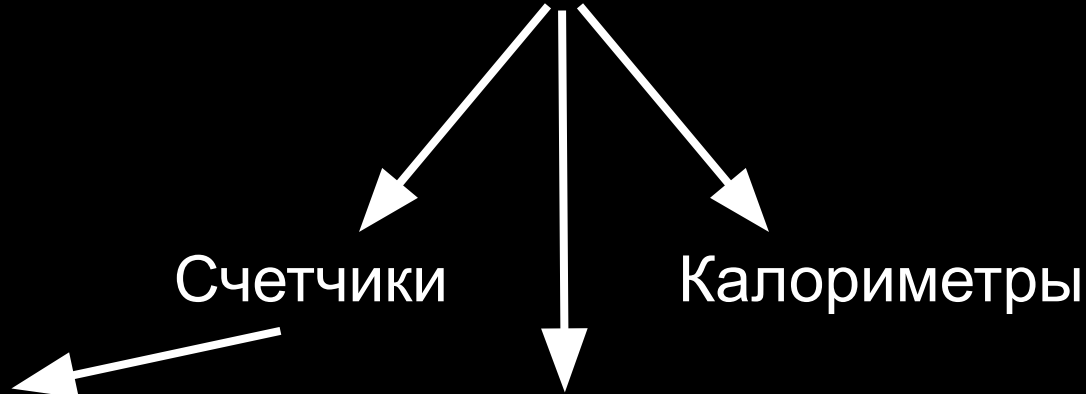
Детекторы → какую задачу решают?



Детекторы → какую задачу решают?



Детекторы → какую задачу решают?



Сколько?  
Каких?

Координатно-трековые



Детекторы → какую задачу решают?



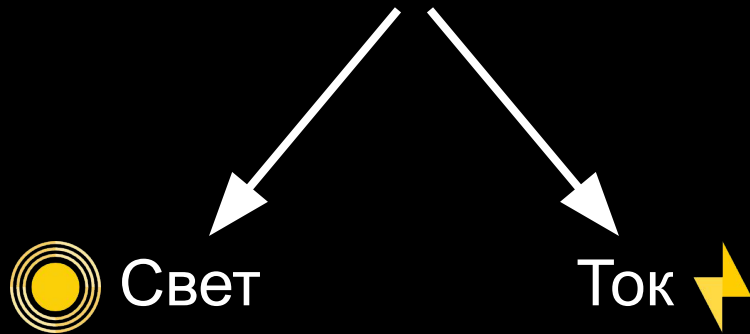
Детекторы → какую задачу решают?



Детекторы → что фиксируют?

 Космолучи + вещество 

 Космолучи + вещество 





⚡ Космолучи + вещество 🧪

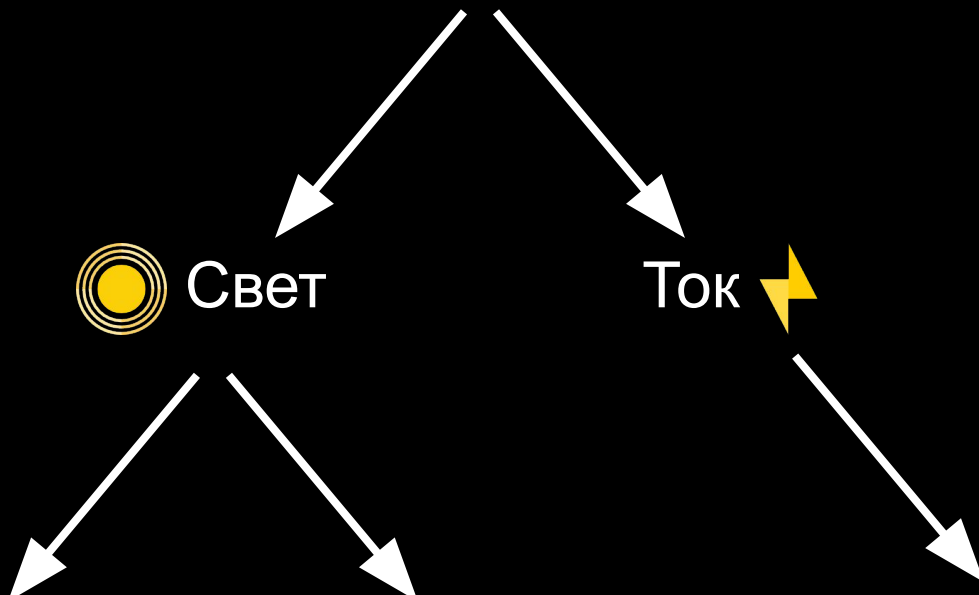
☉ Свет

Ток ⚡

Черенковское  
излучение

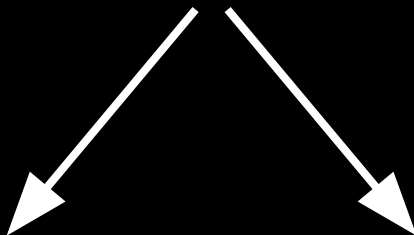
Сцинтилляция

Ионизация



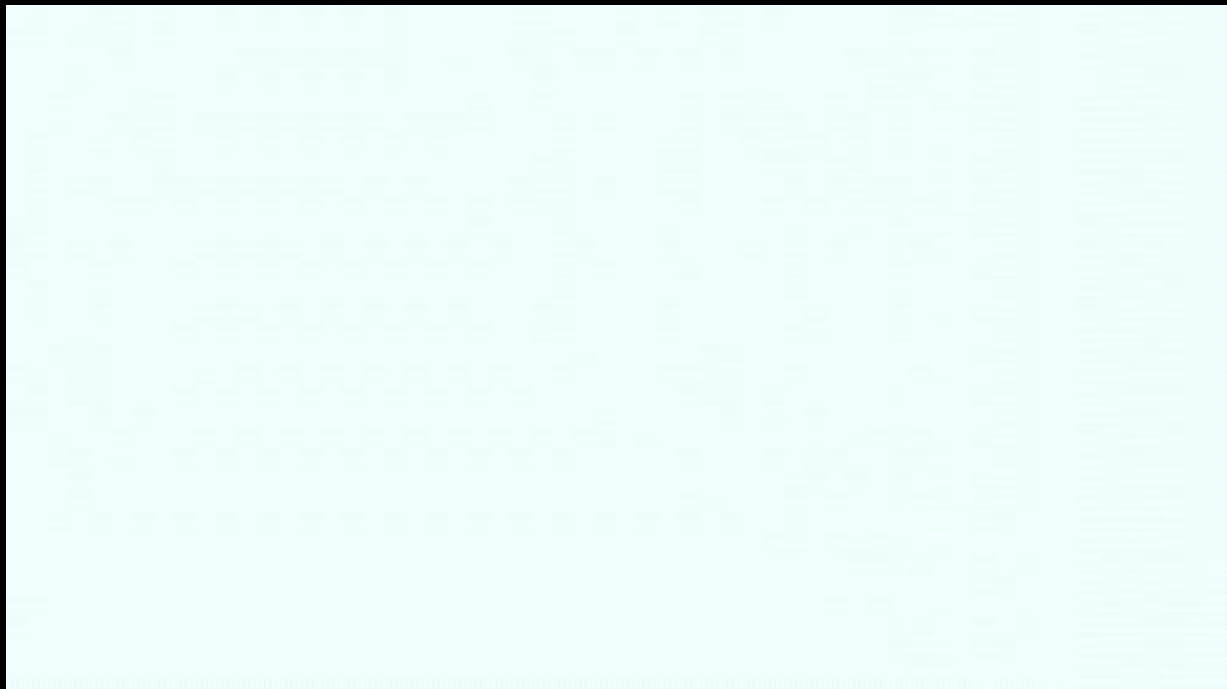


Свет

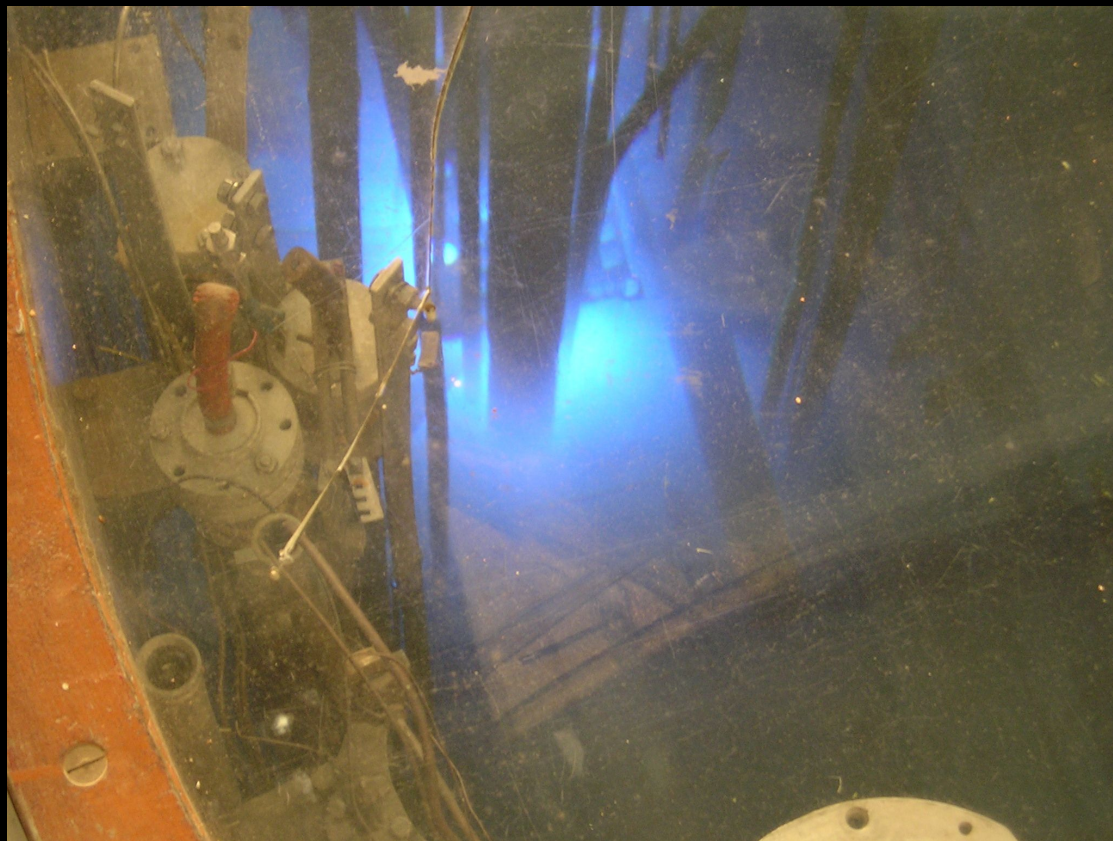


Черенковское  
излучение

Сцинтилляция



Черенковское излучение



Черенковское излучение



Вакуумный фотоэлектронный  
умножитель



Кремниевый фотоумножитель

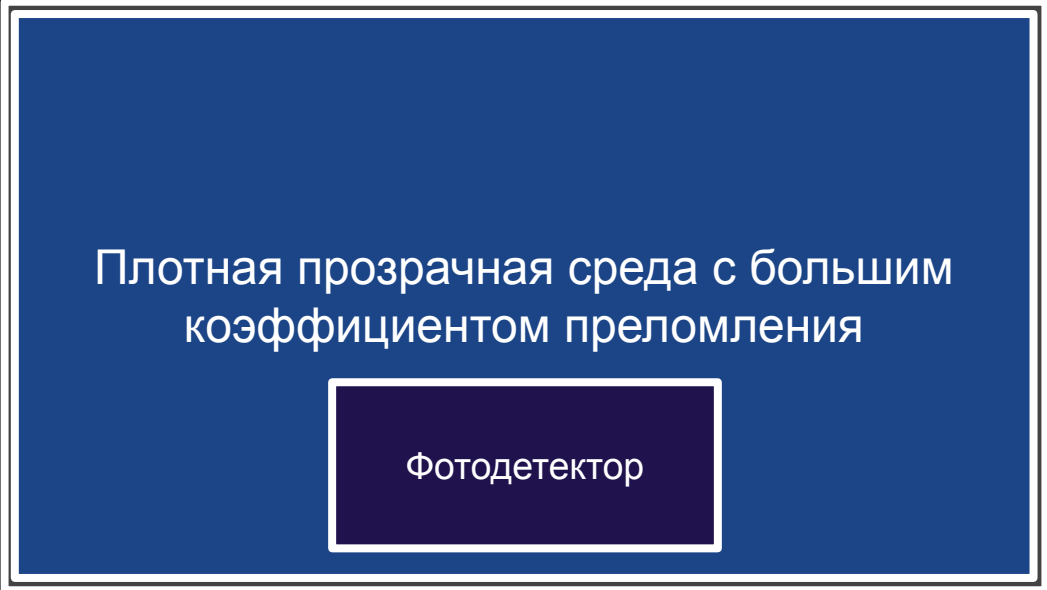


Светоизолированный  
объем

Плотная прозрачная среда с большим  
коэффициентом преломления

Светоизолированный  
объем



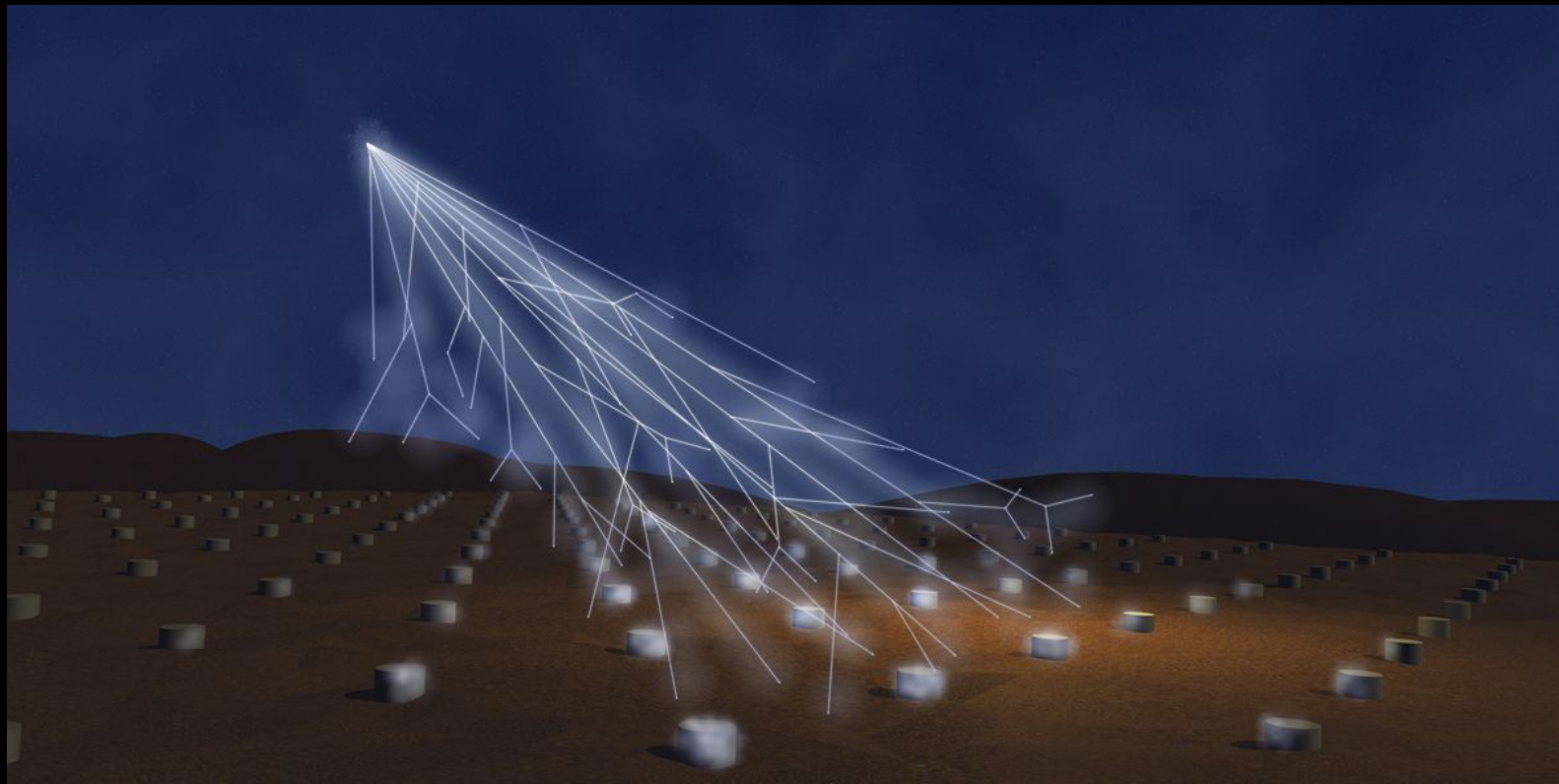
A diagram showing a large blue rectangle representing a light-isolated volume. Inside this rectangle, centered, is a smaller dark purple rectangle representing a photodetector. The text 'Плотная прозрачная среда с большим коэффициентом преломления' is centered within the blue rectangle, and 'Фотодетектор' is centered within the purple rectangle.

Плотная прозрачная среда с большим  
коэффициентом преломления

Фотодетектор

Светоизолированный  
объем

# Pierre Auger observatory — массив **Черенковских** **СЧЕТЧИКОВ**



# Pierre Auger observatory — массив **Черенковских** **СЧЕТЧИКОВ**



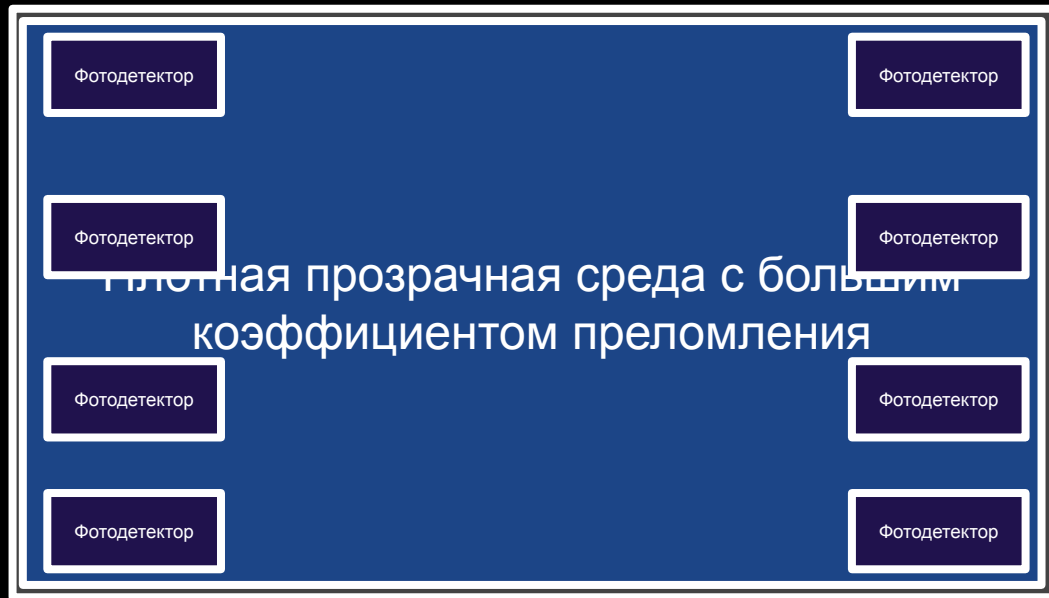


Светоизолированный  
объем

Плотная прозрачная среда с большим  
коэффициентом преломления

Светоизолированный  
объем

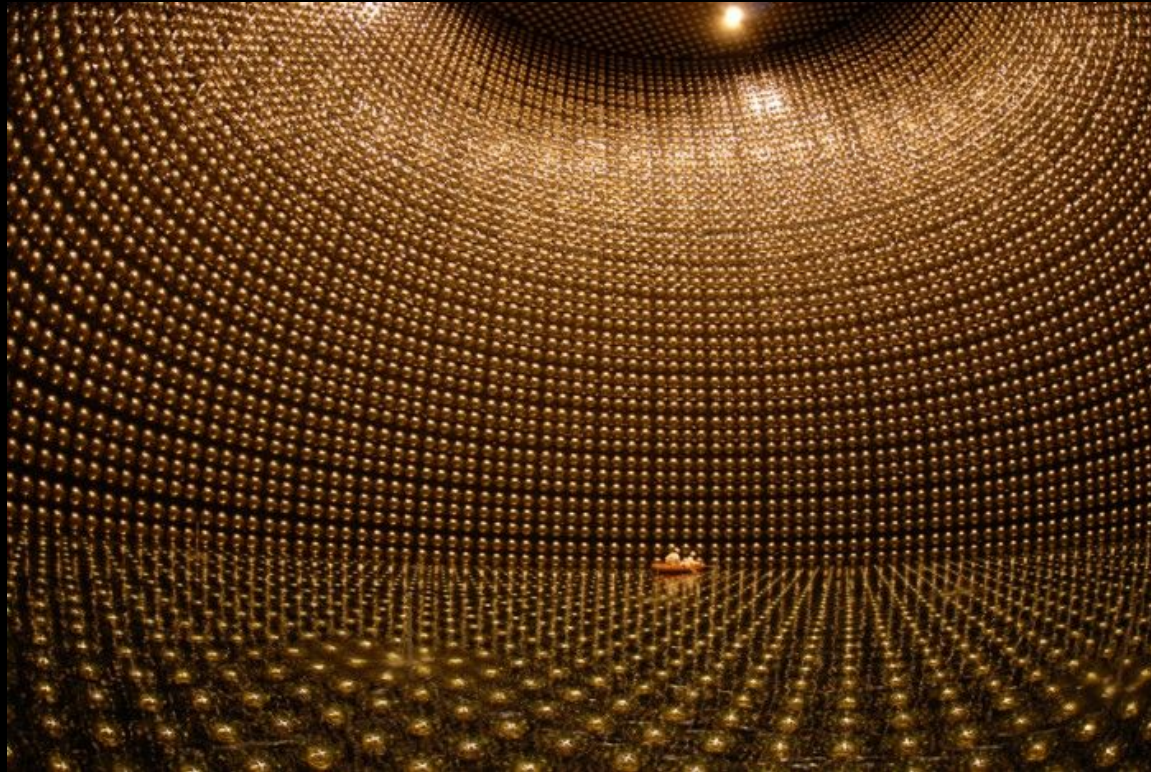


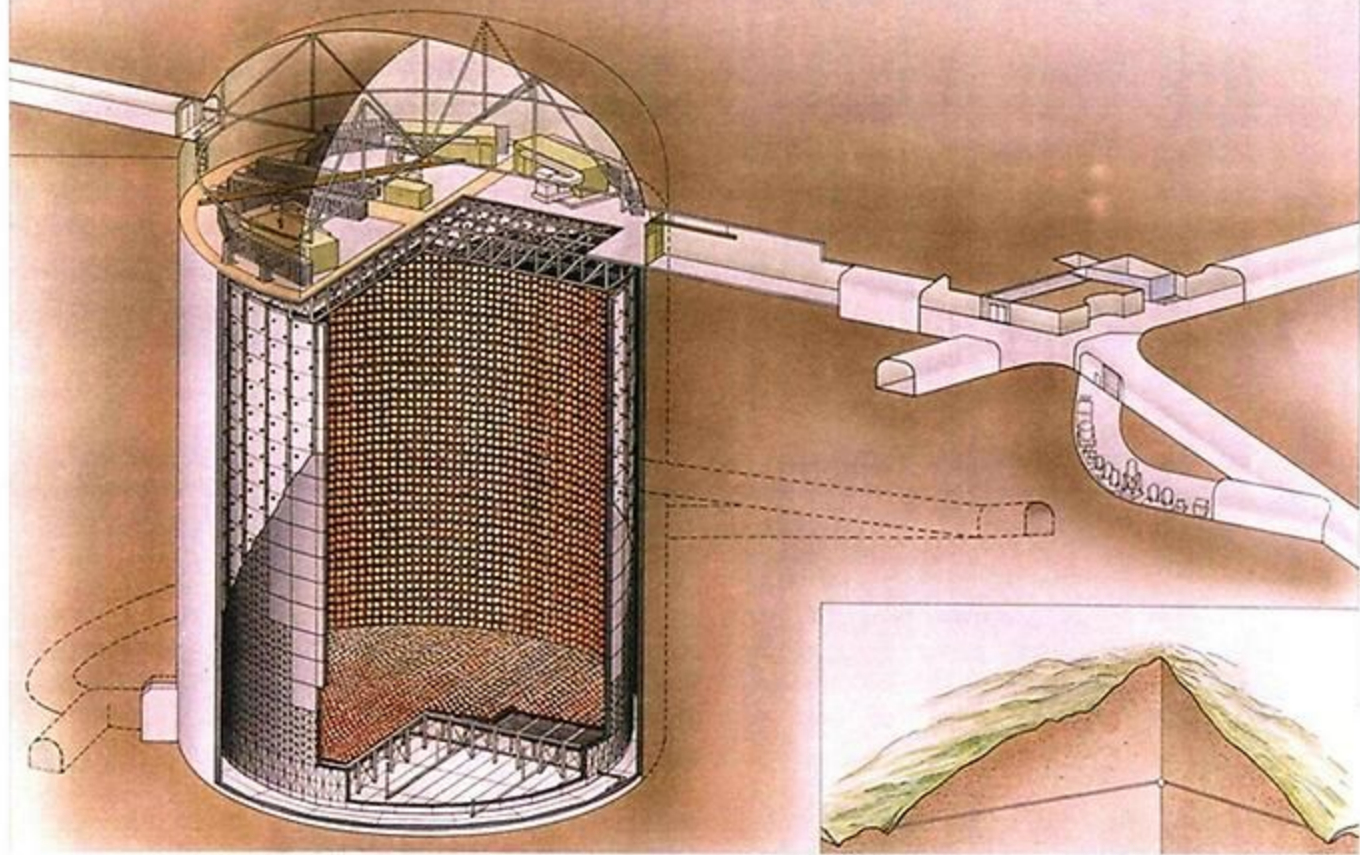


Светоизолированный  
объем



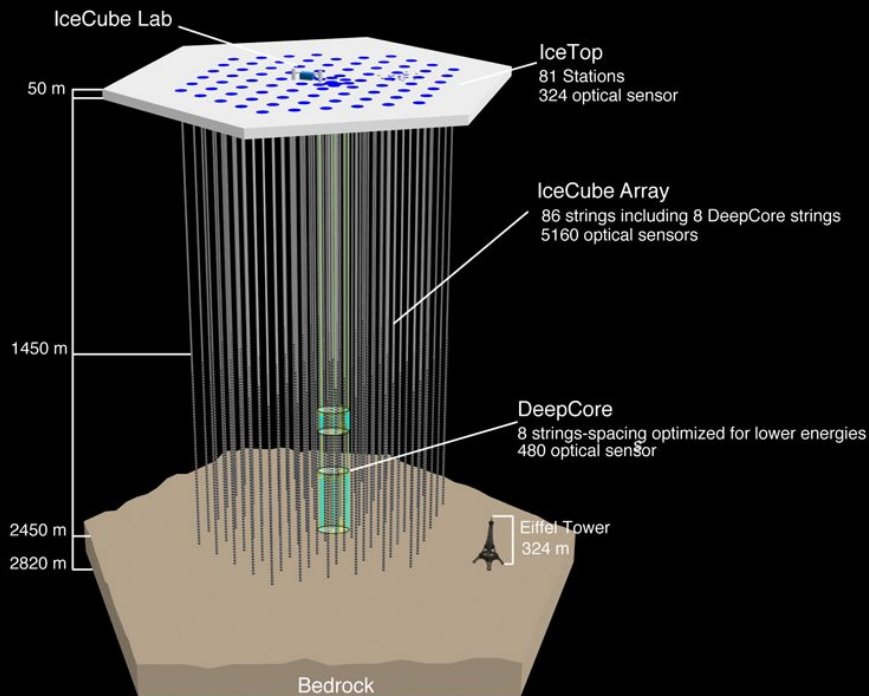
# Super Kamiokande — черенковский трековый детектор и калориметр





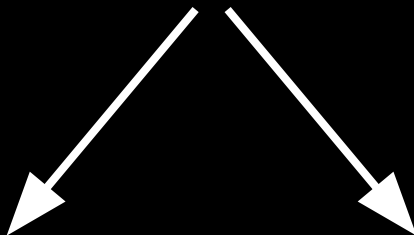
SUPERKAMIOKANDE INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH UNIVERSITY OF TOKYO

# IceCube — черенковский трековый детектор и калориметр





Свет



Черенковское  
излучение

Сцинтилляция





Сцинтилляторы



Вакуумный фотоэлектронный  
умножитель



Кремниевый фотоумножитель



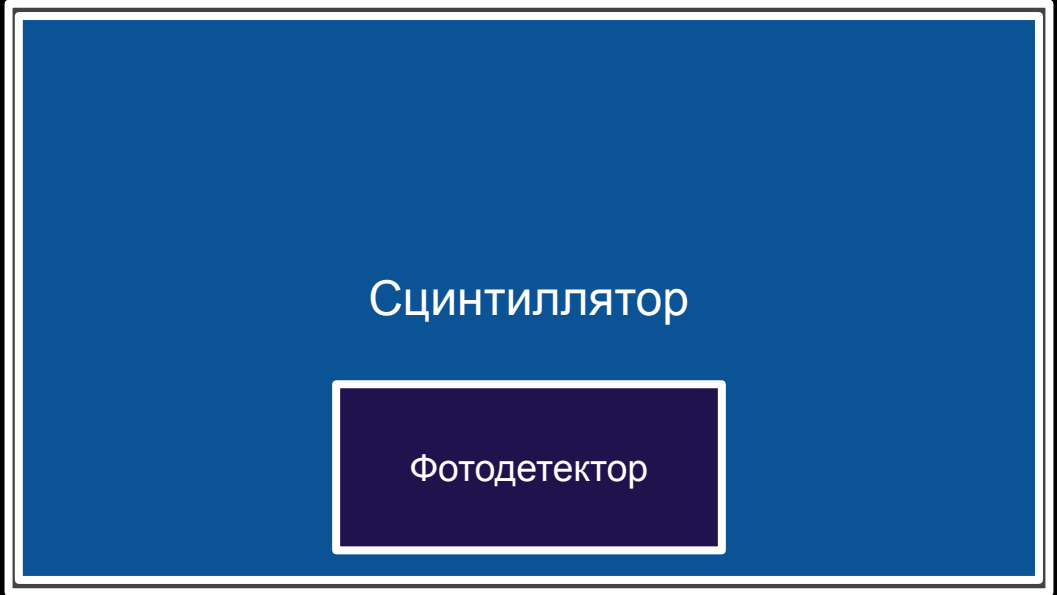
Светоизолированный  
объем





Сцинтиллятор

Светоизолированный  
объем



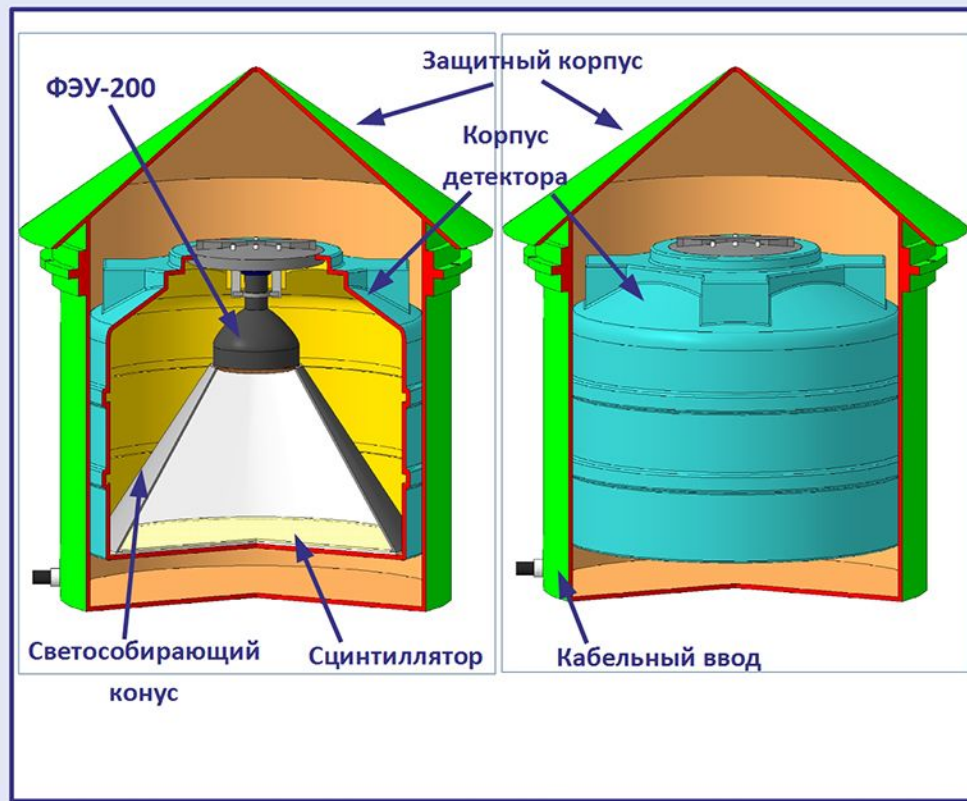
Сцинтиллятор

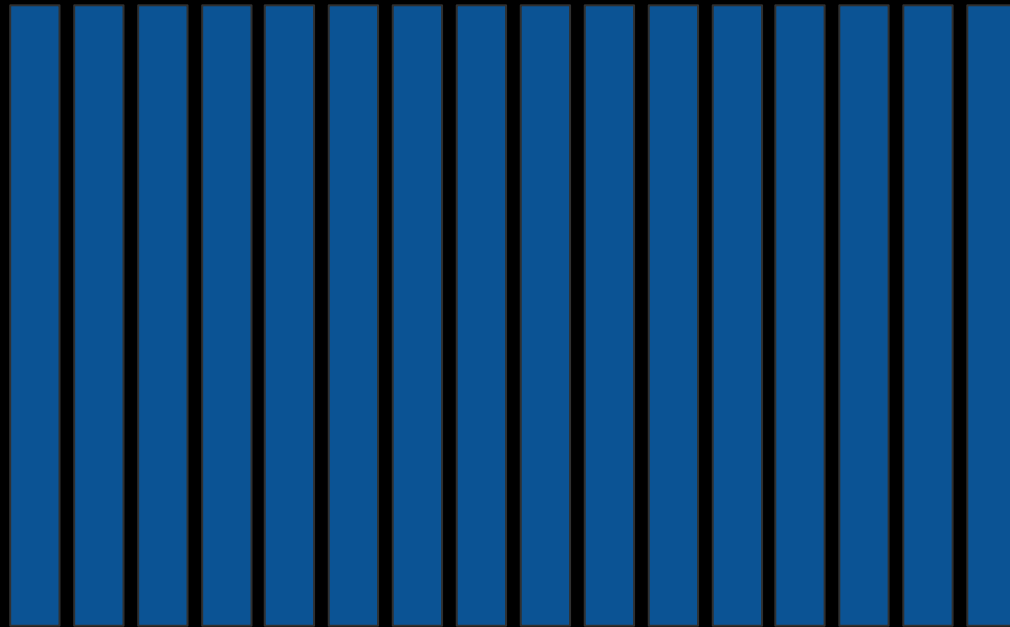
Фотодетектор

Светоизолированный  
объем

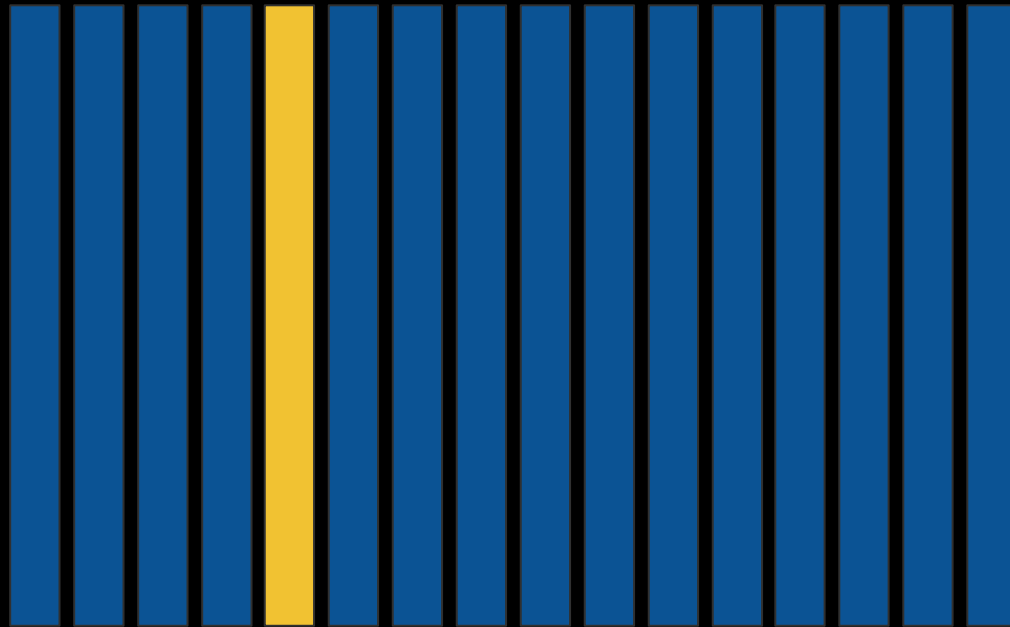
# УРАН — массив **СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ**

## Конструкция счетчика УРАН

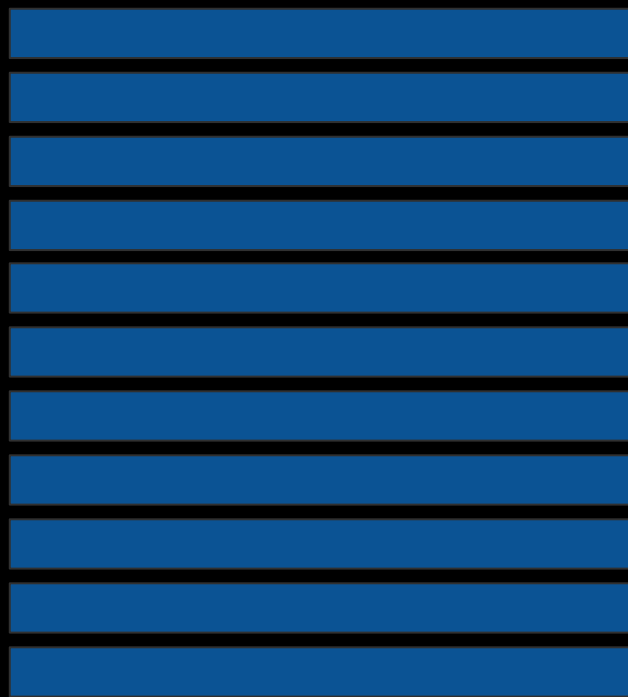




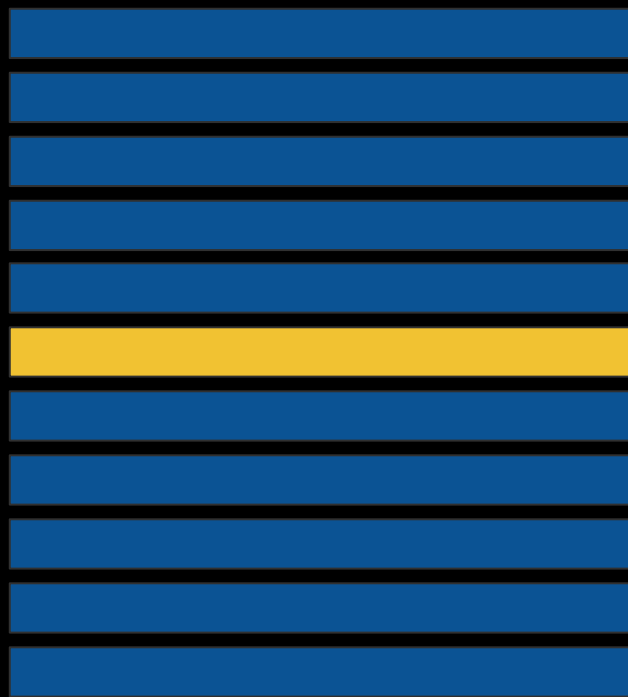
Полоски сцинтиллятора с  
фотодетекторами



Полоски сцинтиллятора с  
фотодетекторами

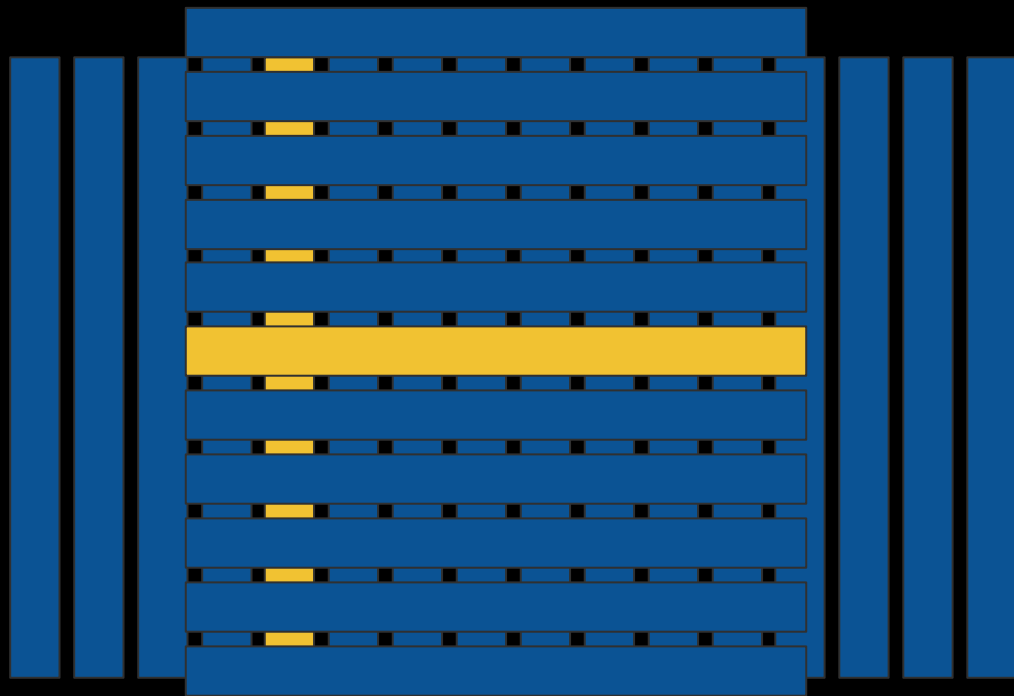


Полоски сцинтиллятора с  
фотодетекторами

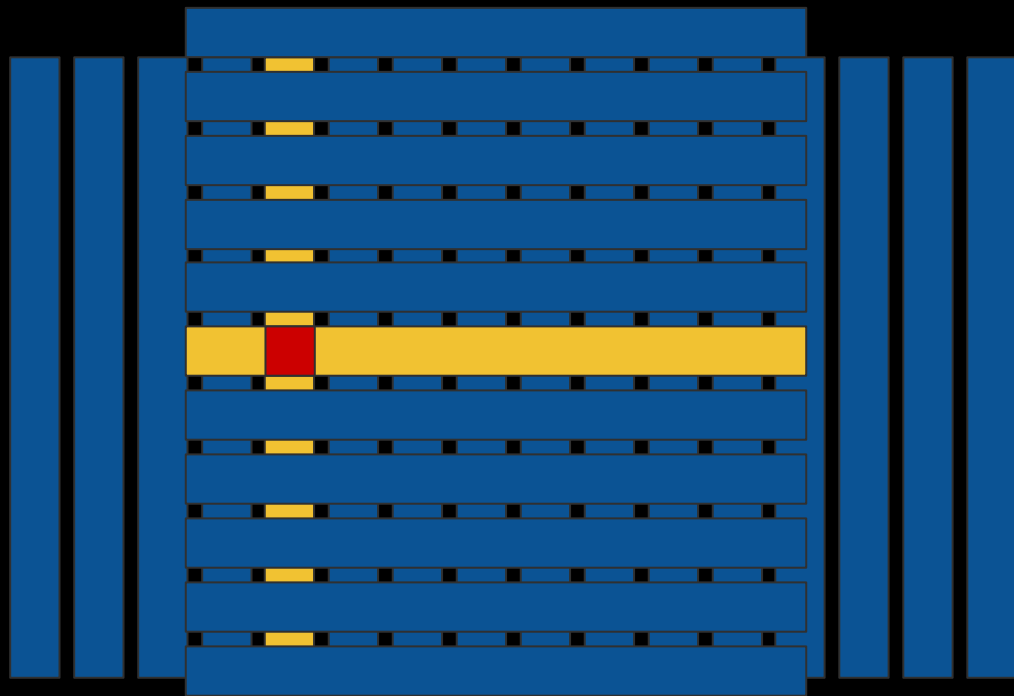


Полоски сцинтиллятора с  
фотодетекторами





Полоски сцинтиллятора с  
фотодетекторами



Полоски сцинтиллятора с  
фотодетекторами

# СЦМГ — сцинтилляционный трековый детектор

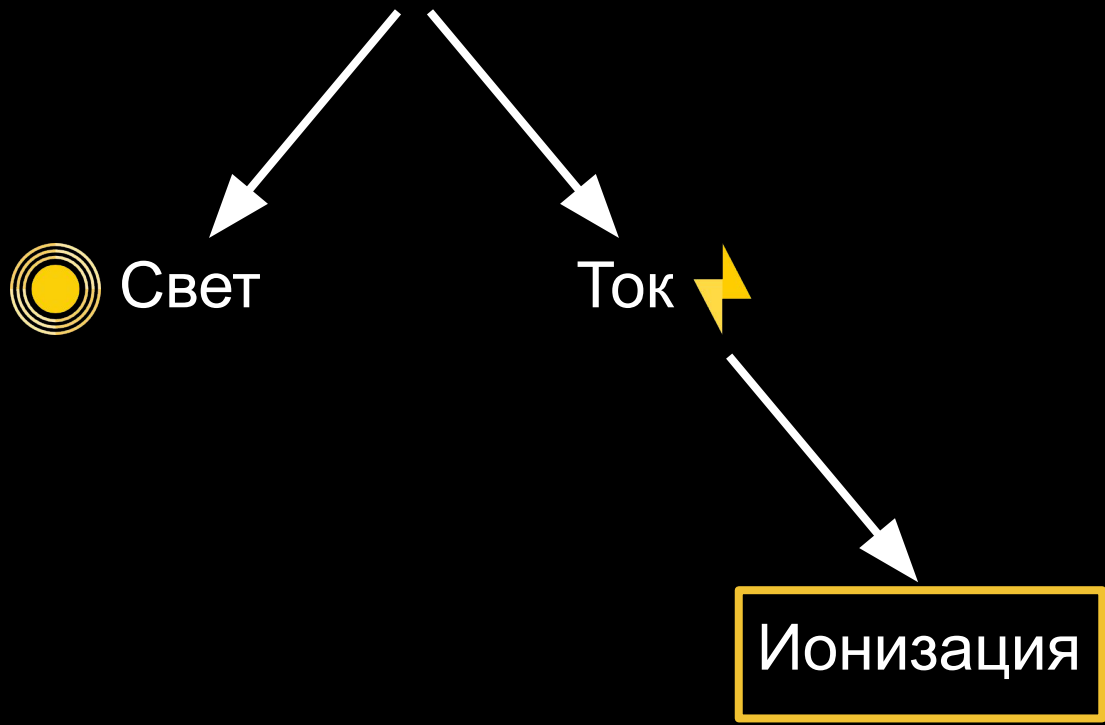


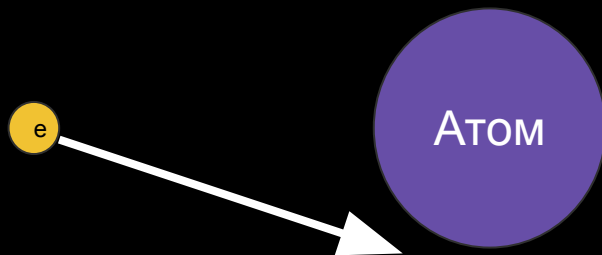
⚡ Космолучи + вещество 🧪

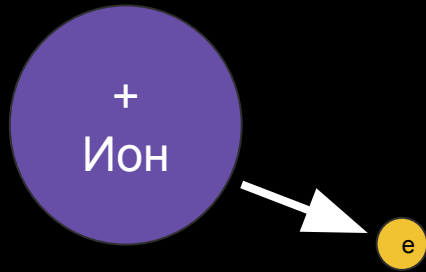
☉ Свет

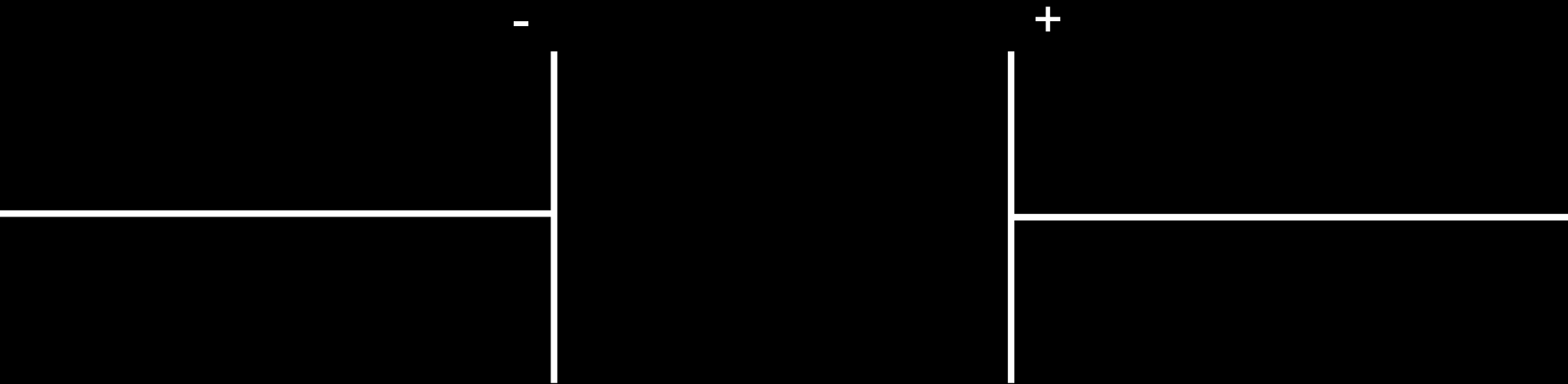
⚡ Ток

Ионизация







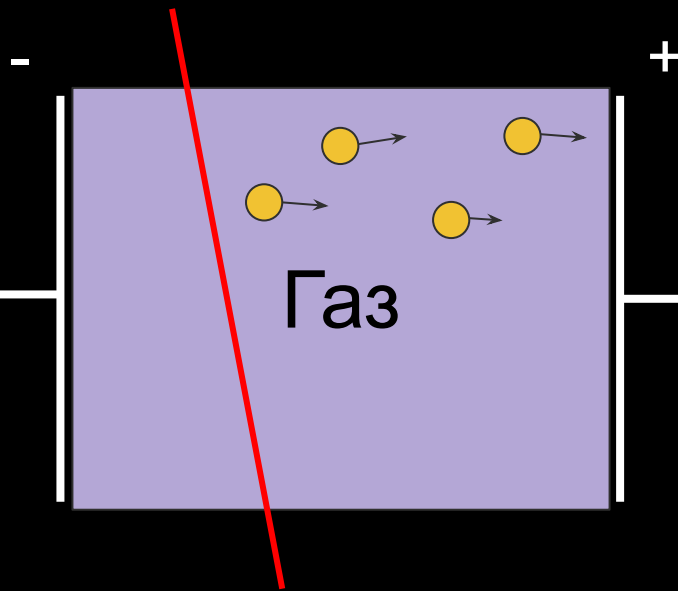


Электроды под  
напряжением

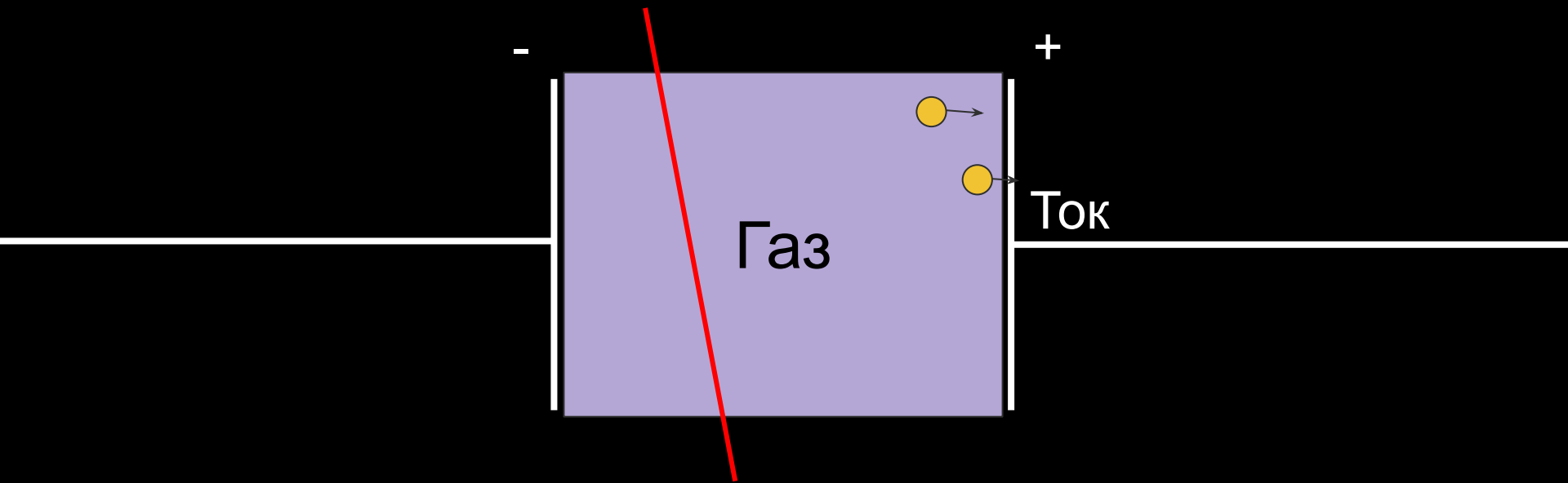


Электроды под  
напряжением

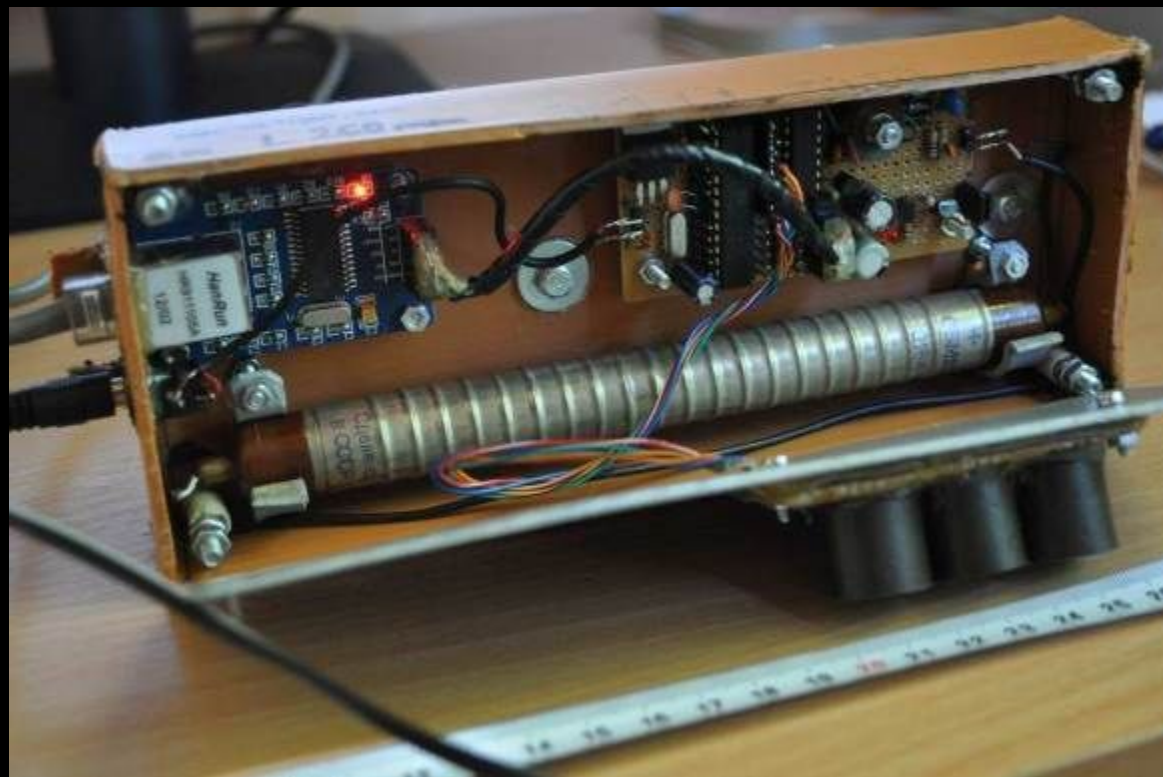




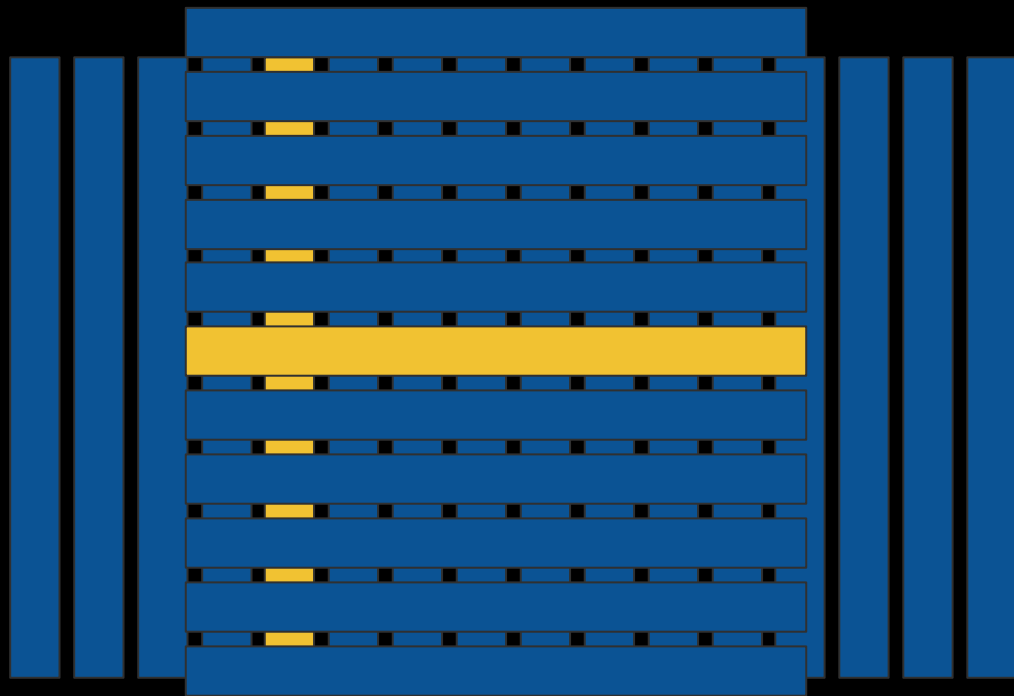
Электроды под  
напряжением



Электроды под  
напряжением

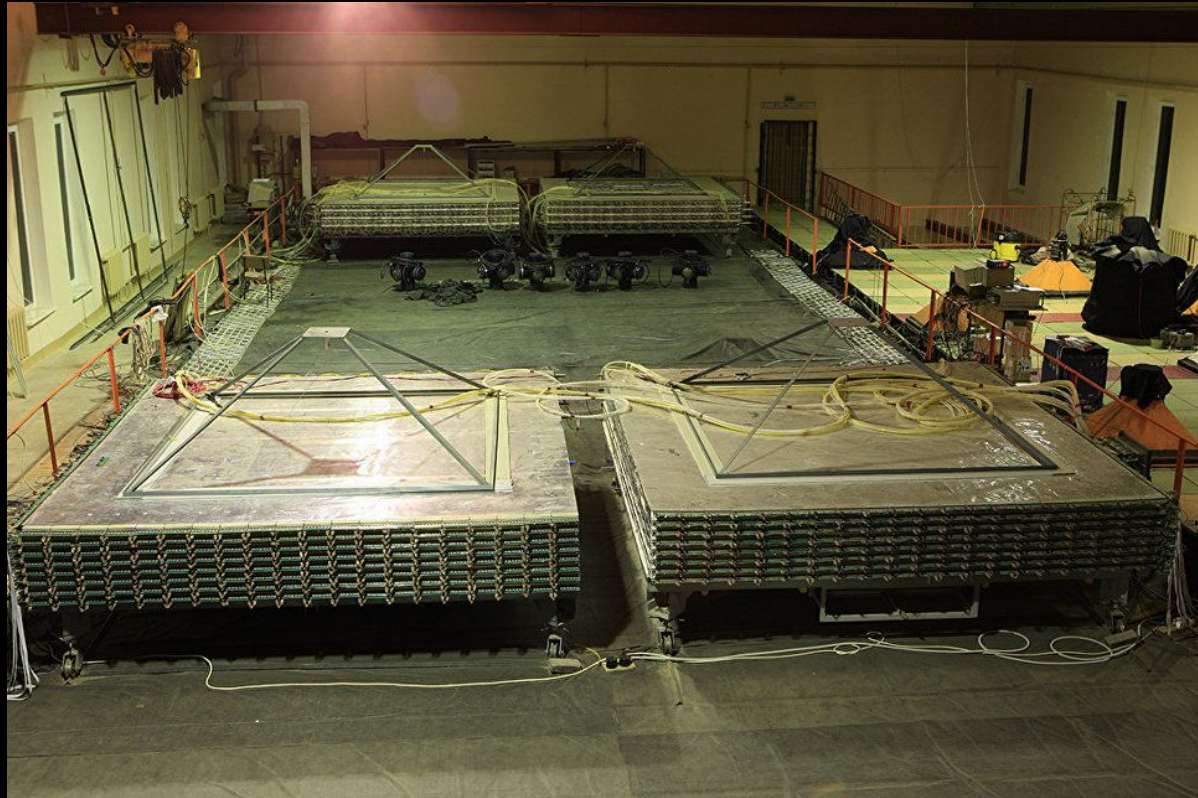


Счетчик Гейгера



Трубки с газом и тонкими  
проволочками

# УРАГАН — координатно-трековый ионизационный детектор





The background is a deep black space filled with a dense field of small, white stars. Two distinct blue nebulae are visible: one in the upper right quadrant and another in the lower left quadrant. The word "ИТОГИ" is centered in the middle of the image in a white, sans-serif font.

ИТОГИ

# ИТОГИ

*в Космосе:*

Протоны

Ядра

# ИТОГИ

*в Космосе:*

Протоны

Ядра

*в атмосфере:*

Вторичные  
частицы



# ИТОГИ

*в Космосе:*

Протоны

Ядра

*в атмосфере:*

Вторичные  
частицы

*на Земле:*

Детекторы  
**тока и света**

- Тип частиц
- Энергия
- Траектория

# ИТОГИ

*в Космосе:*

Протоны

Ядра

*в атмосфере:*

Вторичные  
частицы

*на Земле:*

Детекторы  
**тока и света**

- Тип частиц
- Энергия
- Траектория

*исследуем:*

- Взаимодействие с веществом
- Свойства источника
- Солнечные возмущения

Что почитать?

Гальпер А. М. — Космические Лучи

<http://bit.do/15x4-cr>

Спасибо за внимание!

<http://bit.do/15x4-cr>



[github.com/e-dmi](https://github.com/e-dmi)