

Эффект Аскарьяна и радиометоды детектирования нейтрино сверхвысоких энергий

"I have done a terrible thing. I have
postulated a particle that cannot be
detected"

Wolfgang Pauli



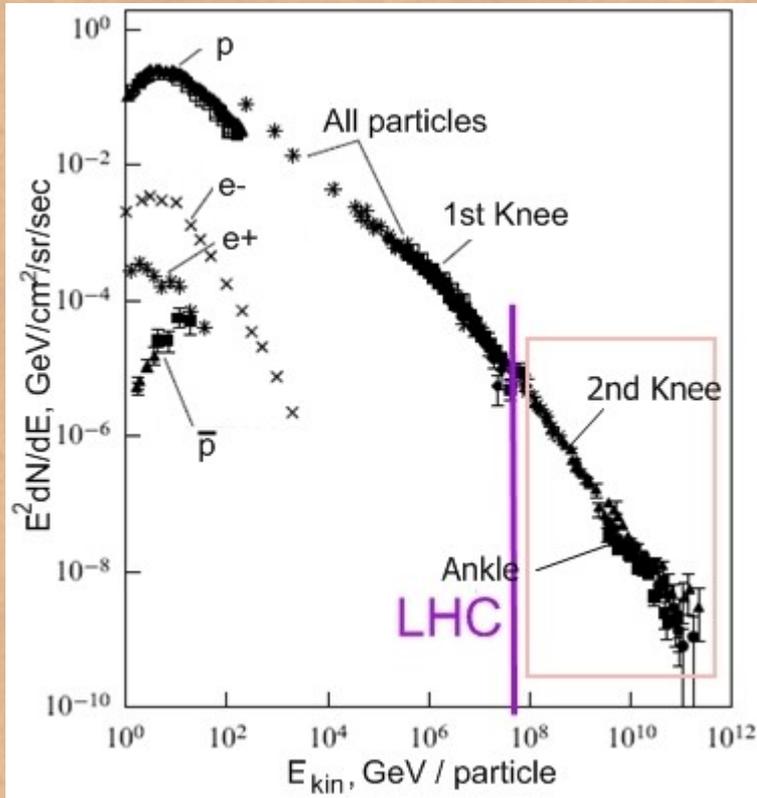
Евгения В. Кравченко
Р.Д. Дагкесаманский
И.М. Железных
В.А. Рябов

ВАК-2010

Совещание «Астрофизика объектов с
сверхвысокой яркостной
температурой»

ПРАО АКЦ ФИАН, Пущино

Космические

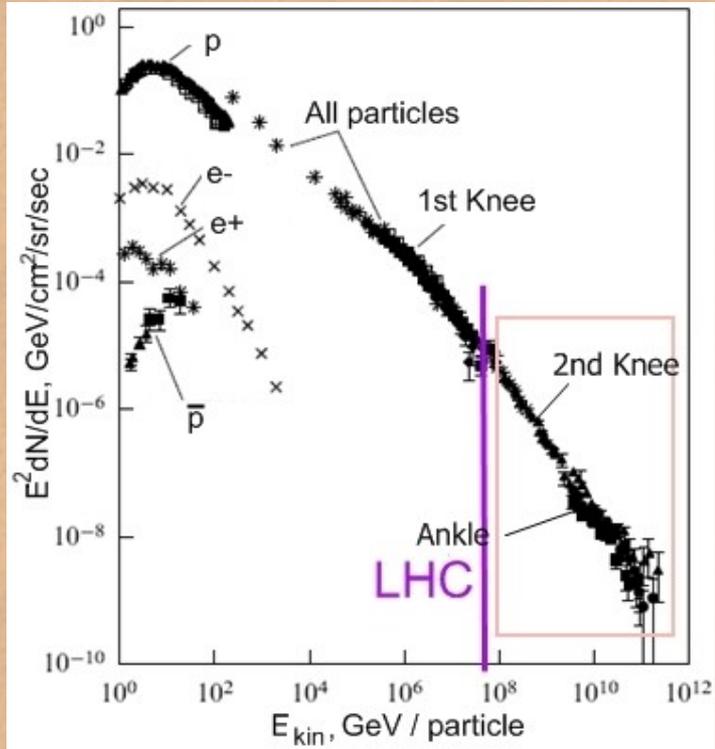


Космические лучи с энергией $2 \cdot 10^{20}$ эВ соответствуют энергии в СЦИ

ЛНС работает до энергий 14 ТэВ, что эквивалентно энергии частицы

$$8 \cdot 10^{16} \text{ eV}$$

Космические

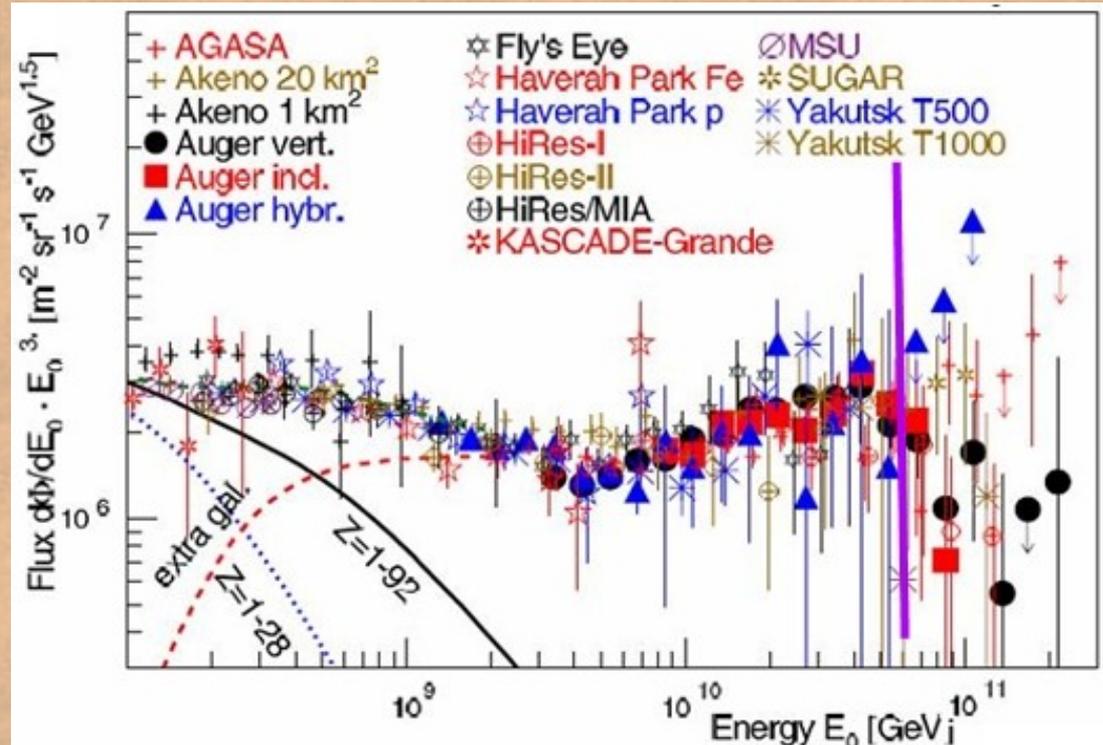


Космические лучи с энергией $2 \cdot 10^{20}$ эВ соответствуют энергии в СЦИ

ЛНС работает до энергий 14 ТэВ, что эквивалентно энергии частицы

$$\sqrt{s} = 700 \text{ ТэВ}$$

$$8 \cdot 10^{16} \text{ eV}$$



Нейтрино

$$m_\nu < 1 \text{ эВ}$$

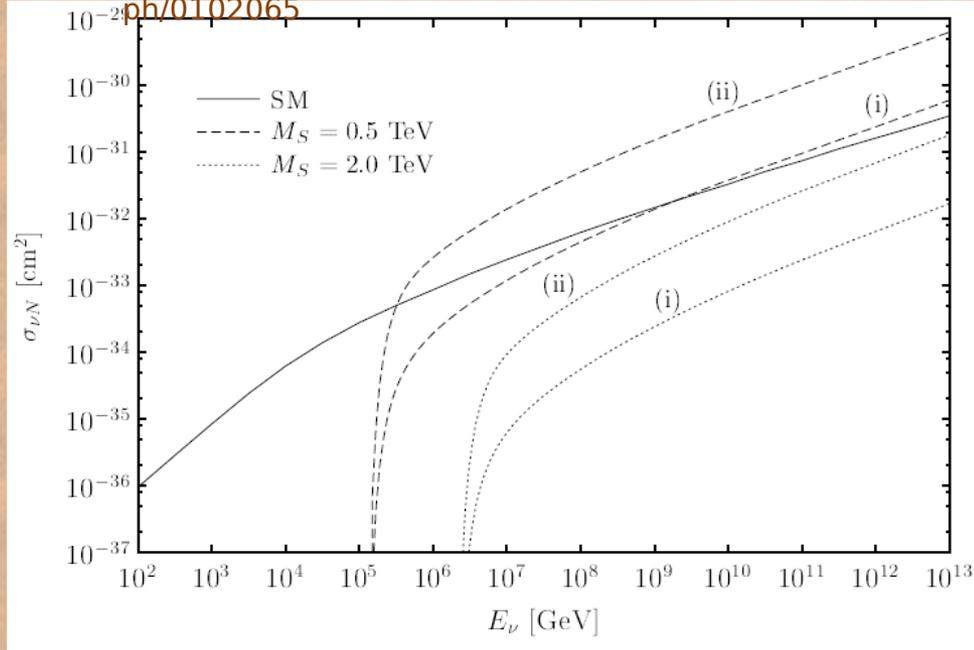
электрически
нейтрально

стабильно

слабо взаимодействует

Вероятность взаимодействия на
расстоянии 5 Гпк - меньше 5%

"TeV Strings and the Neutrino-Nucleon Cross Section
at Ultra-high Energies", F. Cornet, arXiv:hep-
ph/0102065



$$\nu + \gamma_{CMB} \rightarrow \nu + \gamma \quad \sigma = 10^{-66} \text{ cm}^{-2}$$

$$\nu + \gamma_{CMB} \rightarrow \nu + \gamma + \gamma \quad \sigma = 10^{-52} \text{ cm}^{-2}$$

$$\nu + \gamma_{CMB} \rightarrow \nu + e^- + e^+ \quad \sigma = 10^{-47} \text{ cm}^{-2}$$

$$\nu + \gamma_{CMB} \rightarrow l^\mp + W^\pm \quad \sigma = 8 \cdot 10^{-34} \text{ cm}^{-2}$$

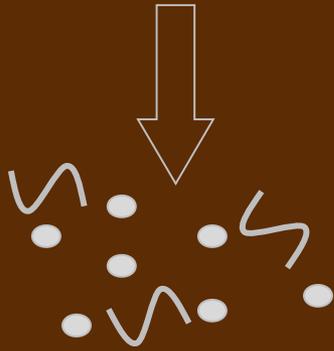
не взаимодействует с магнитным
полем \rightarrow сохраняет направление от
источника, в котором было
образовано

слабо взаимодействует со средой
 \rightarrow может распространяться на
большие расстояния

ИСТОЧНИКИ

Top-down:

Распад или аннигиляция



Распад массивных "X" частиц

Топологические дефекты:

Космические струны
Сверхпроводящие струны

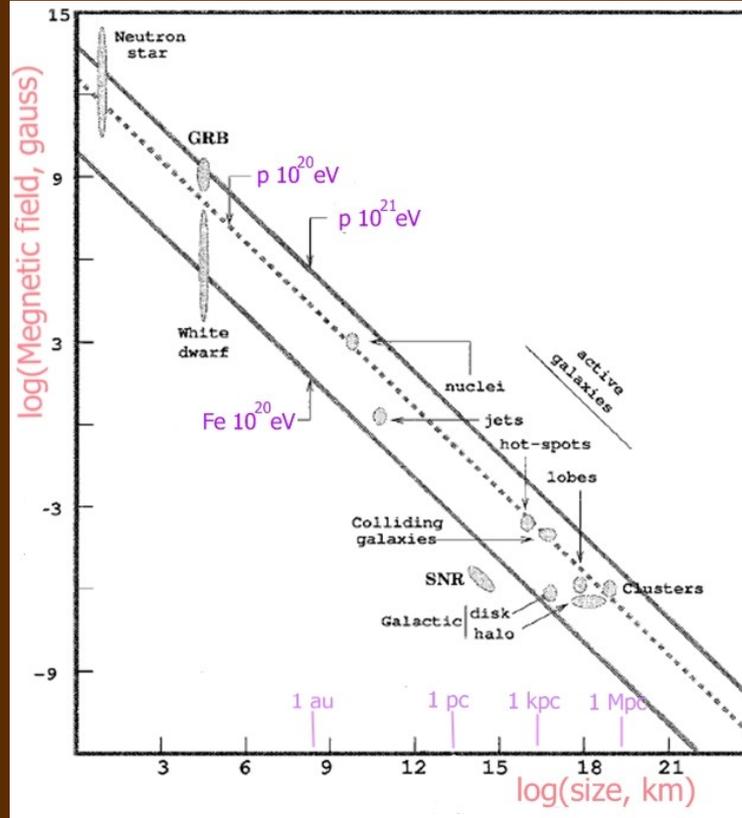
Магнитные монополи

Космические петли

Вортоны

Z-вспышки

Существование топологических дефектов предсказывает, что космические частицы ультра-высоких энергий преимущественно протоны



Bottom-up:



ускорение

> ТэВ

1-10 МэВ

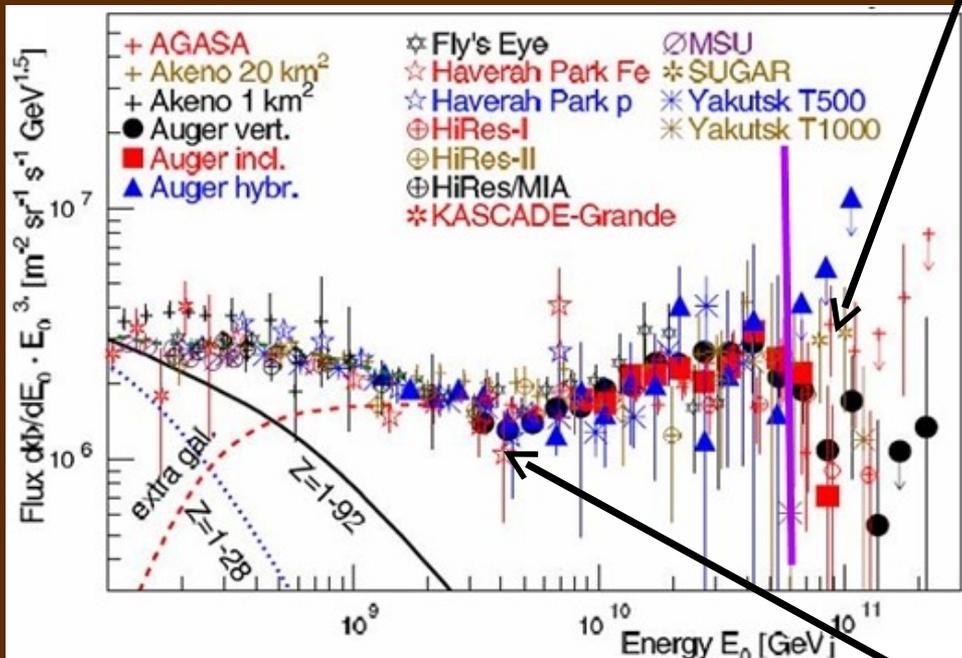
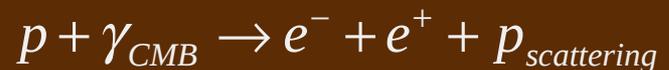
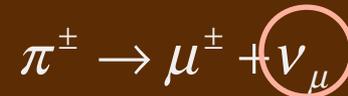
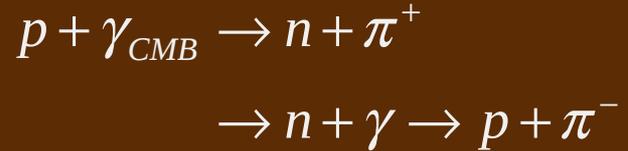
Активные ядра галактик
Гамма-всплески
GZK-нейтрино
Магнетары, Нейтронные звезды

Двойные спиральные галактики
Взрывы сверхновых
Остатки сверхновых
Микроквезары

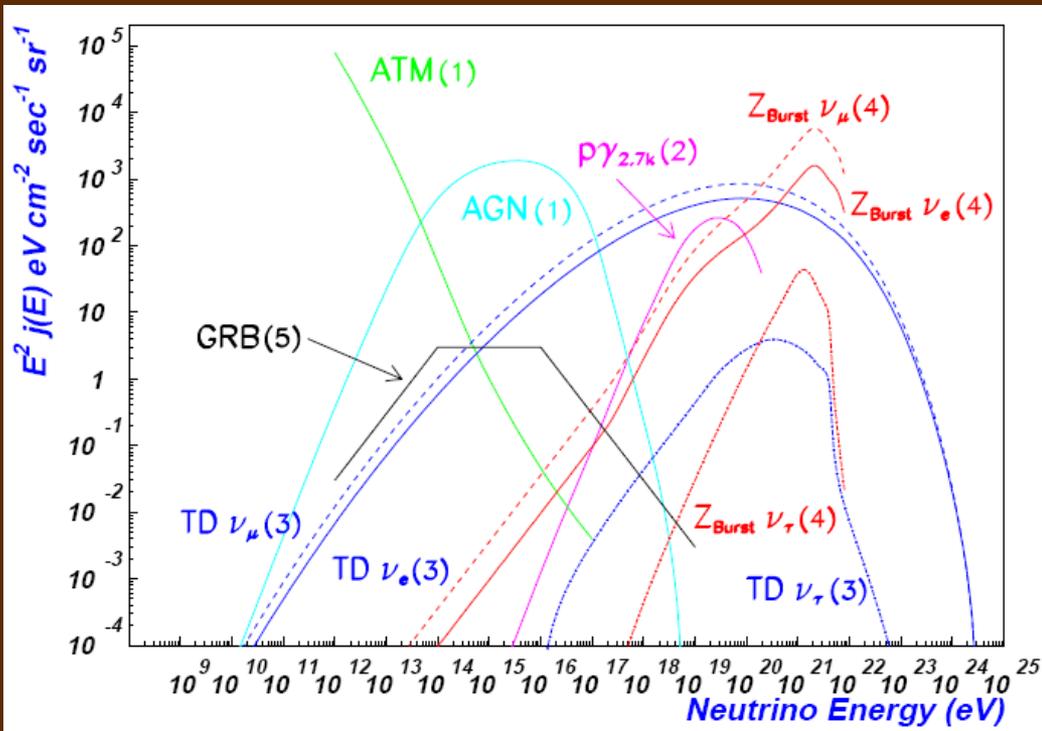
GZK-нейтрино

Грейзен - Зацепин - Кузьмин(GZK) cut-off at $6 \cdot 10^{19}$ эВ

$L_{int} < 50$ Мпк

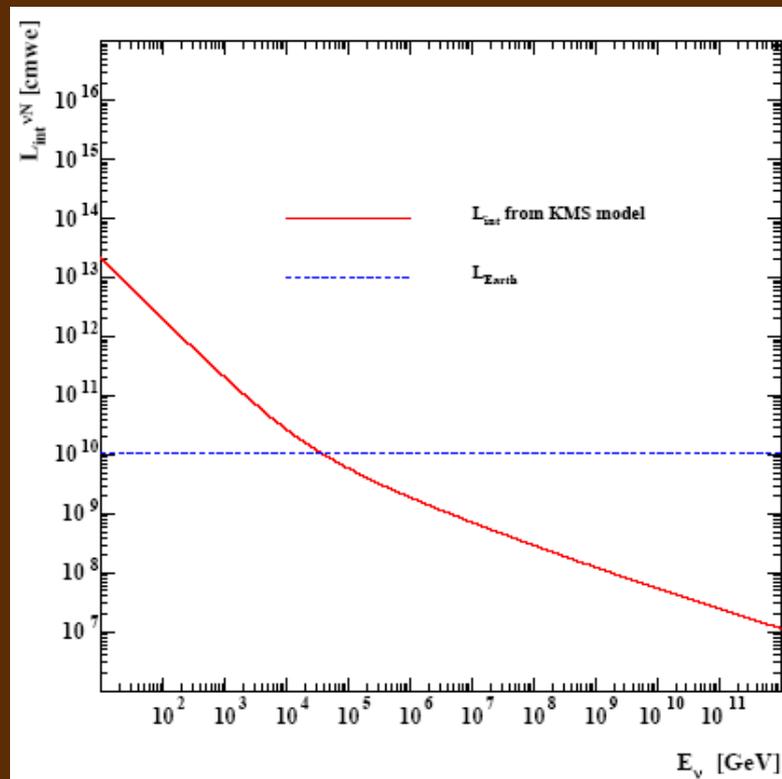


$412 \gamma_{cmb}$ на см⁻²



Поток GZK-ν $E=10^{19} - 5$
 частиц/км²/год
 $E \geq 10^{20}$ эВ - 1 частица/км²/100 лет

Огромные
 Объемы
 Мишеней!



Методы

ы



оптическое
Черенковское
излучение



вода

Baikal



лед

IceCube

Различные методы регистрации нейтрино



акустическое
Черенковское
излучение

ANTARES
IceCube



широкие
атмосферные ливни



космически
EUSO^e
OWL



наземные
PAO



радио
Черенковское
излучение

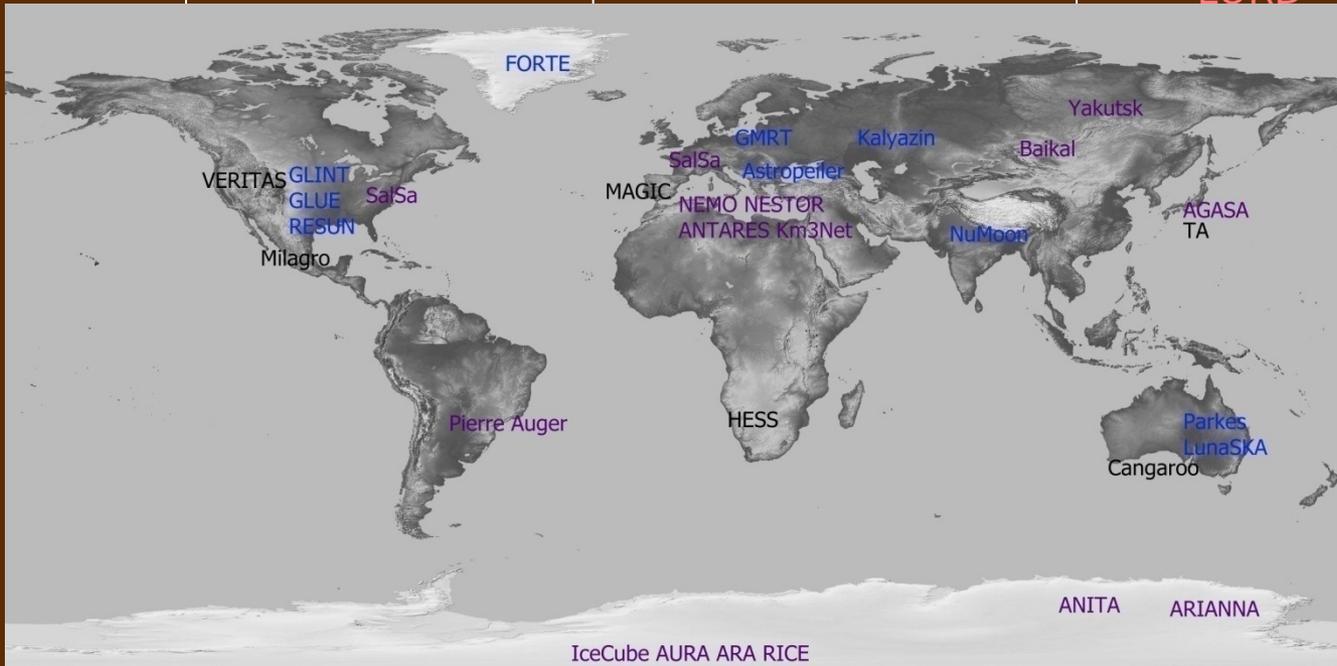


космически
ANITA^e
LORD

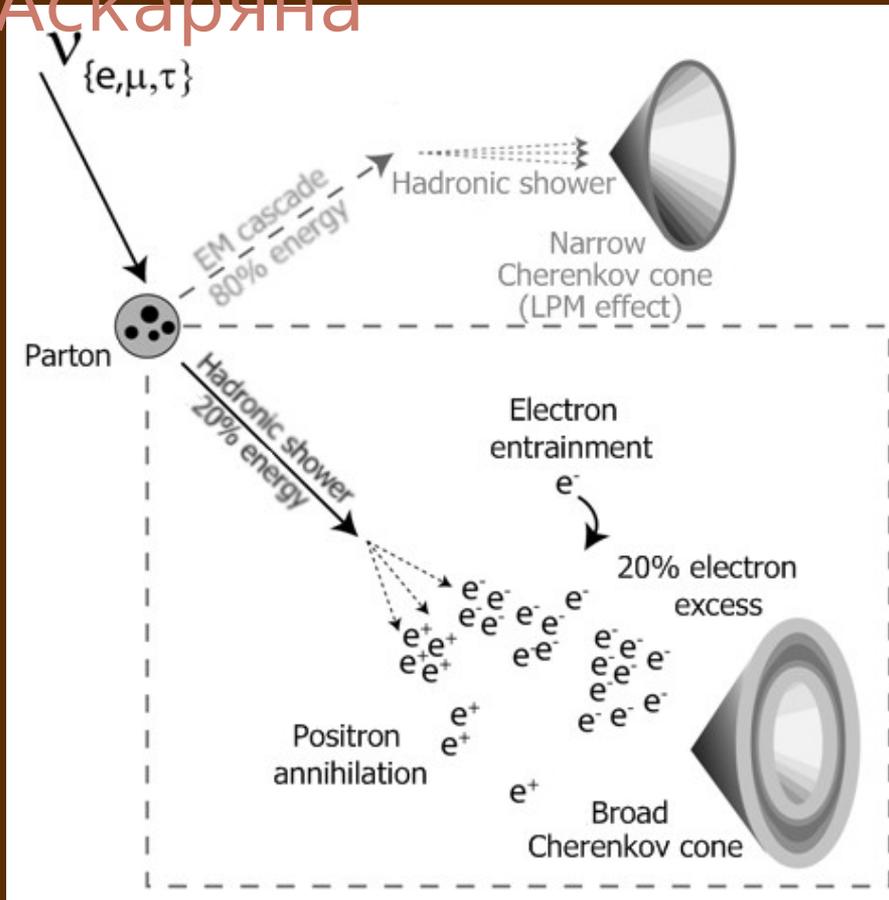


наземные
RESUN
GLINT
Astropeiler
NuMoon
GMRT
RICE
SaSa
ARIANNA
ARA
LunaSKA
LOFAR

ANTARES
NEMO
NESTOR
(KM3Net)



Эффект Аскар'яна



Было предсказано в 1965
Гургеном Аскар'яном

$$\gamma + e^-_{at} \rightarrow \gamma + e^-$$

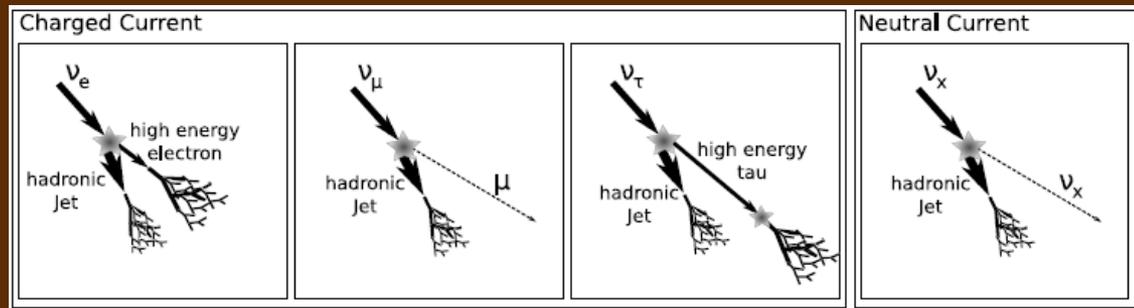
$$e^+ + e^-_{at} \rightarrow e^+ + e^-$$

$$e^- + e^-_{at} \rightarrow e^- + e^-$$

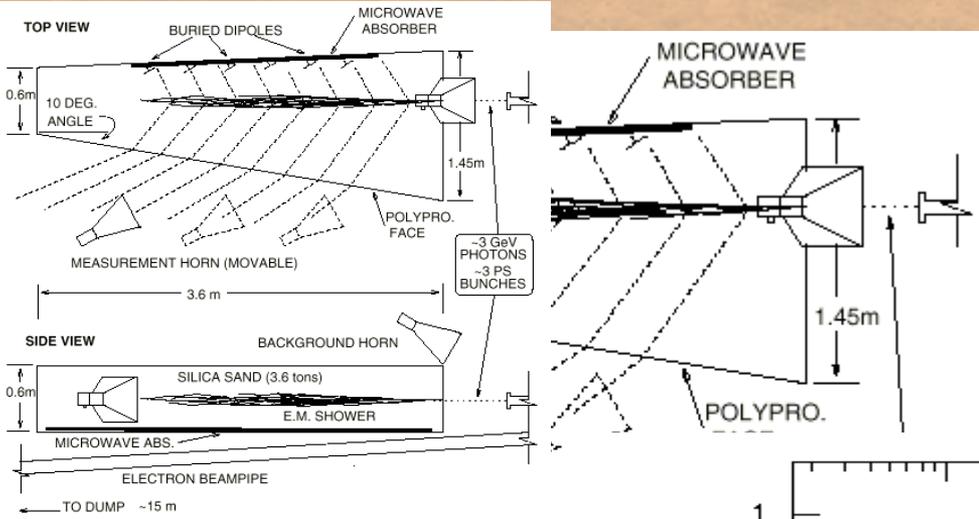
$$e^+ + e^-_{at} \rightarrow \gamma + \gamma$$

Длина ливня ~ 1.5 м
 Поперечный размер ливня ~ 10 см
 Когерентность до ~ 3 ГГц
 Размер ливня $\sim 2-6$ нс

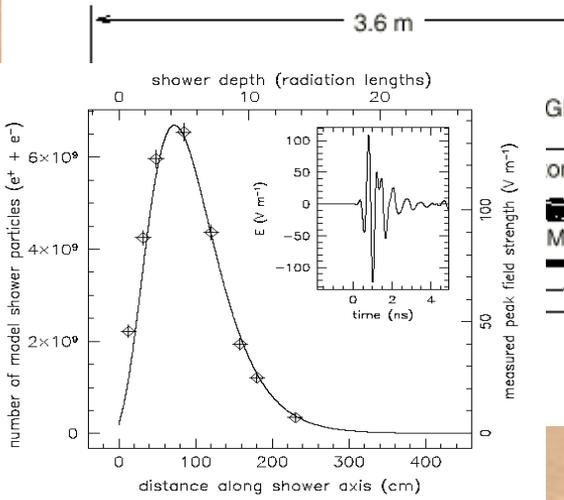
Длина затухания на 1 ГГц в
 лунном реголите - 18 м
 льду - 1 км



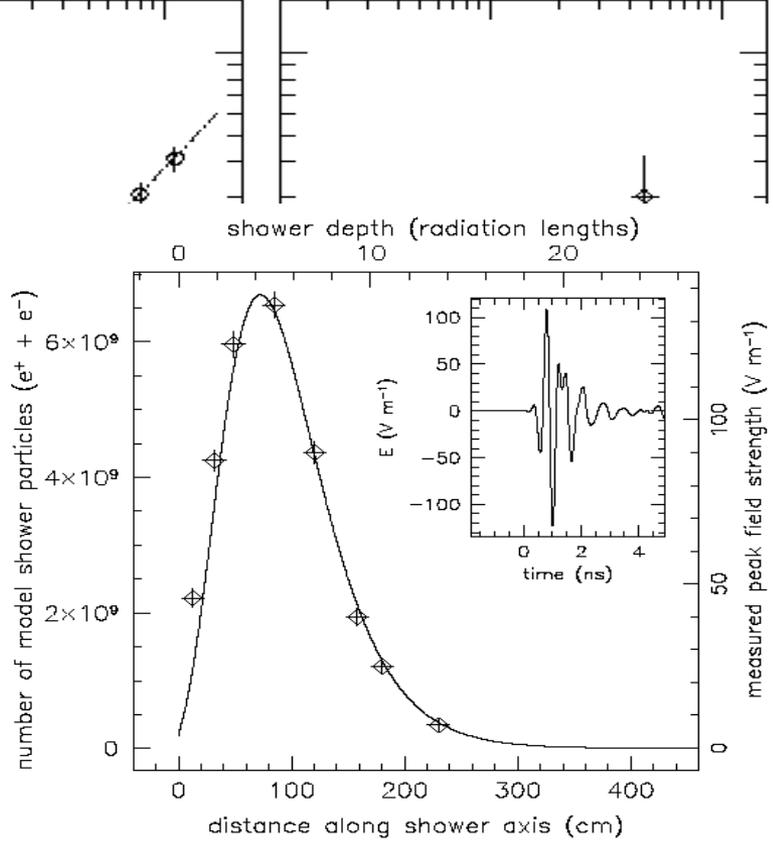
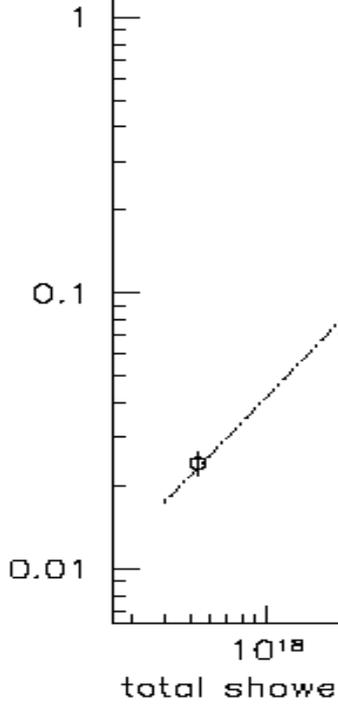
Эксперимент



Было предсказано в 1965
Гургеном Аскаряном,
было подтверждено в
2000 году на установке
SLAC

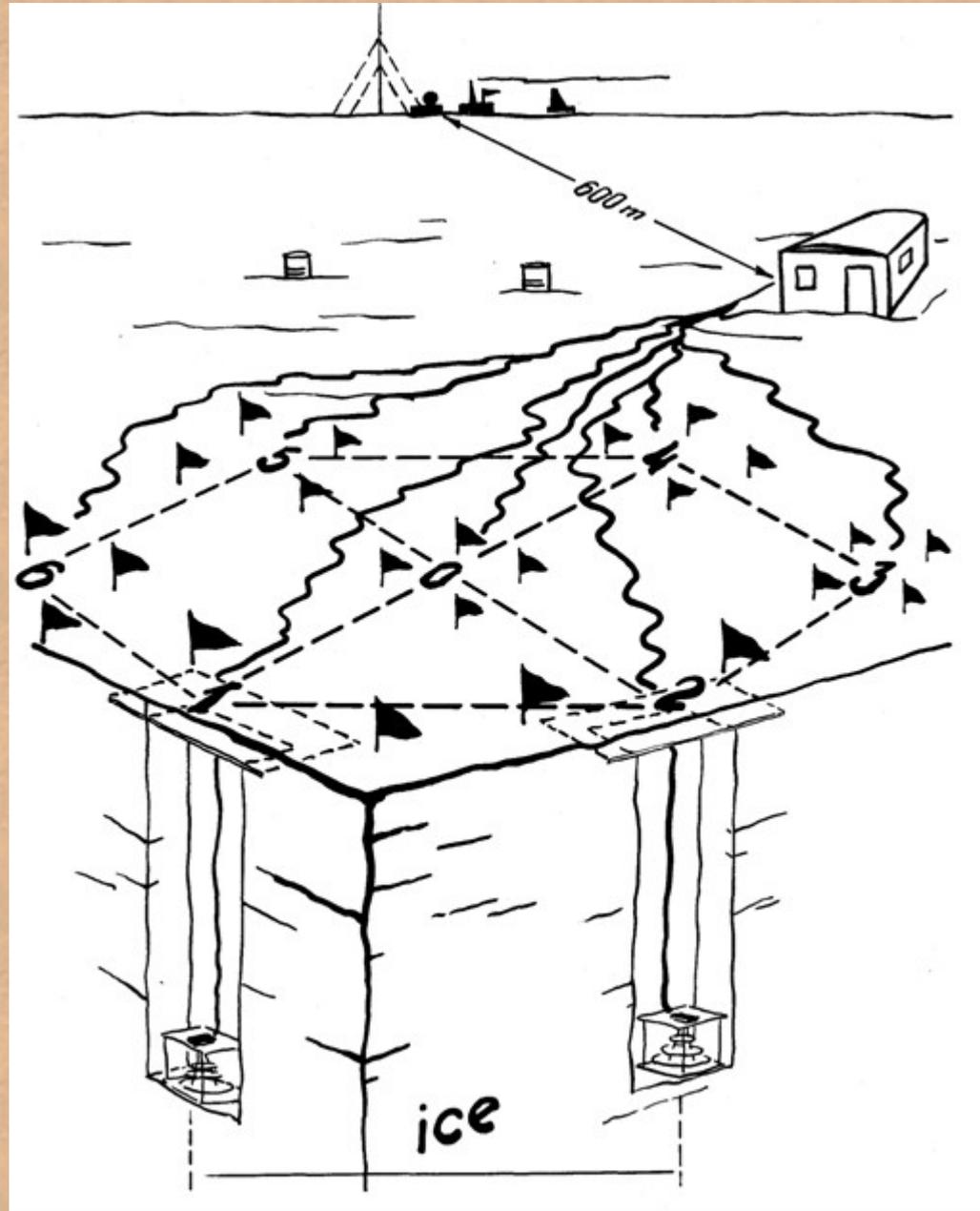


$E \text{ (V m}^{-1} \text{ MHz}^{-1} \text{ at 1 m)}$

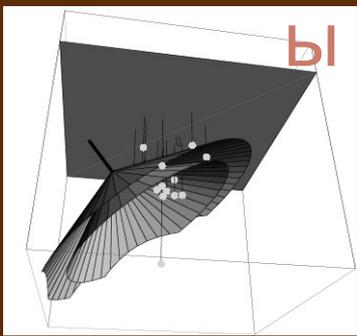


Рустам. Д. Дагкесаманский, Нижний Архыз, ВАК-2010

RAMAND-

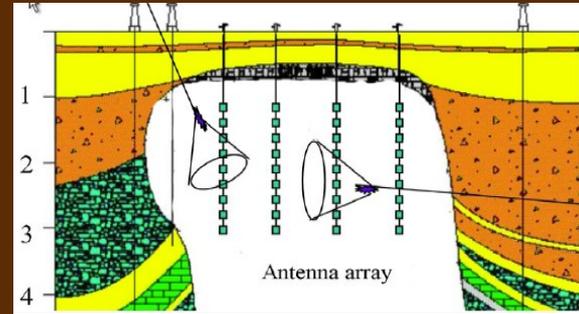
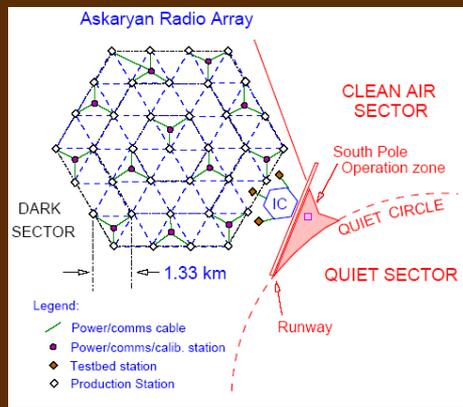


Эксперимент



RICE

ARA



SalSa

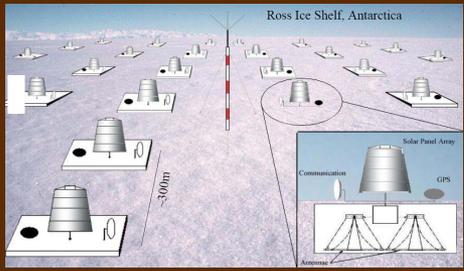


ANITA

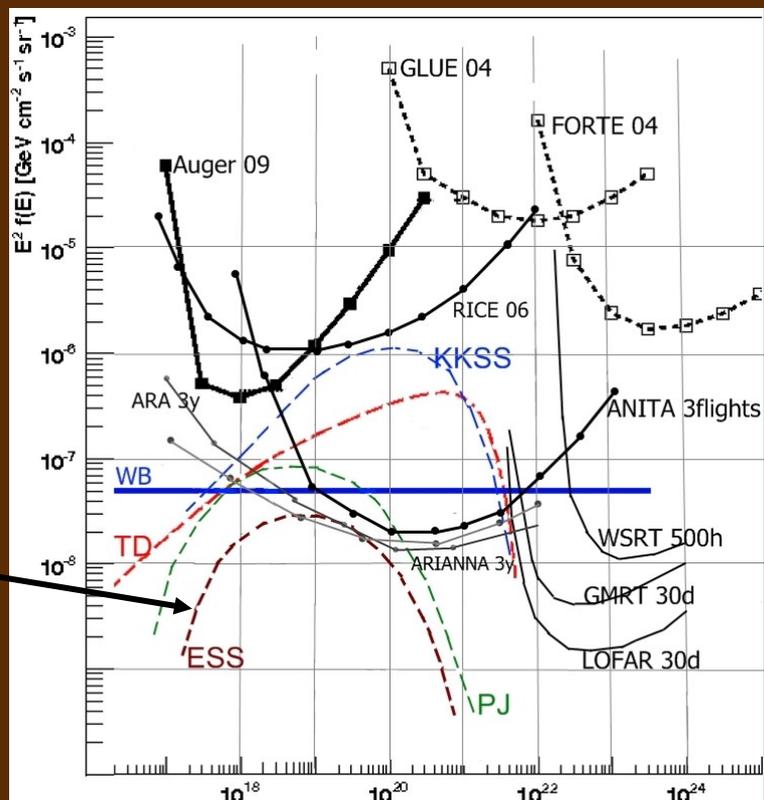


ARIANN

AURA



Cosmic rays are protons



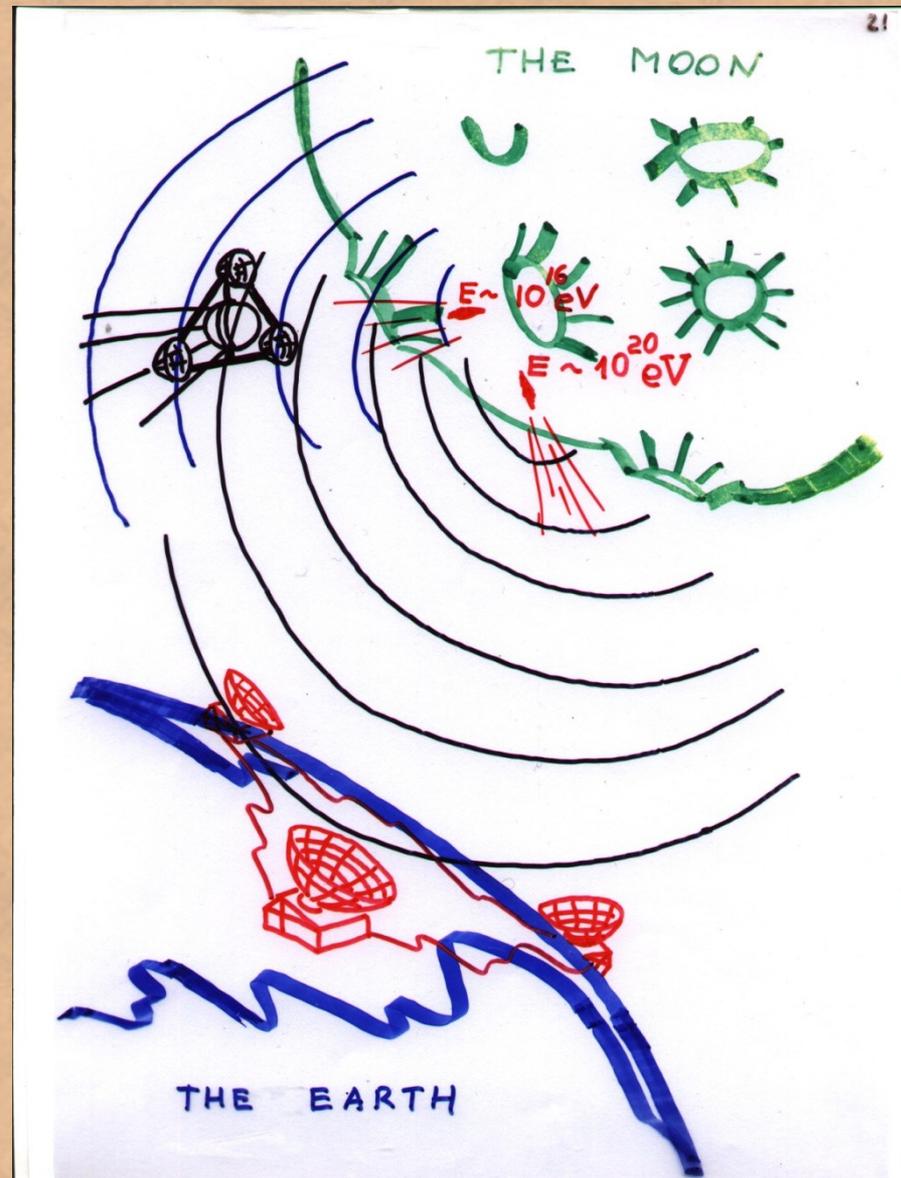
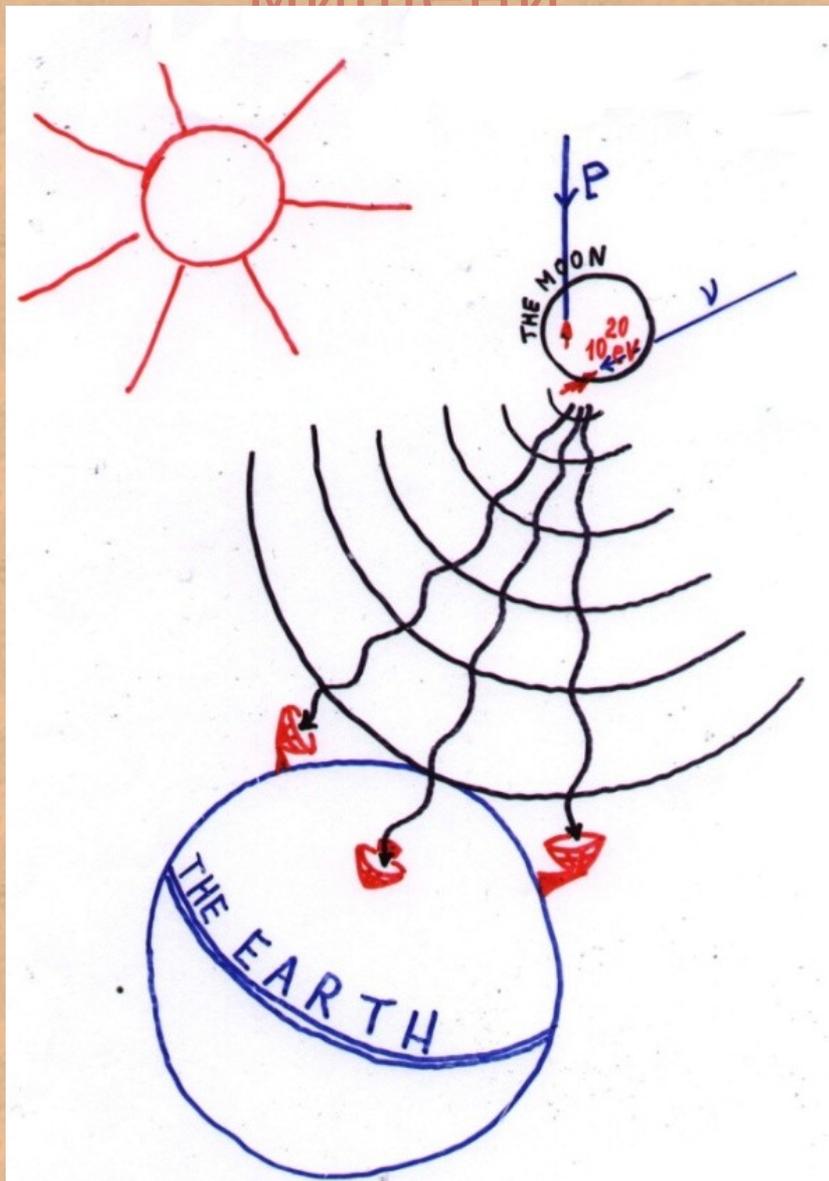
"Radio Detection of GZK Neutrinos - AURA status and plans", H. Landsman etc, Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference, Vol. 4, p827-830

"Simulation of the Event Reconstruction of Ultra High Energy Cosmic Neutrinos with Askaryan Radio Array", Shang-Yu Sun, Pisin Chen and Melin Huang, 2010,

Рустам. Д. Дагкесаманский, Нижний Архыз, ВАР-2010

Луна в качестве

мишени



Эксперимент



Ы

GLUE
2004



Kalyazin
2005



Parkes
2007



NuMoon



GMRT

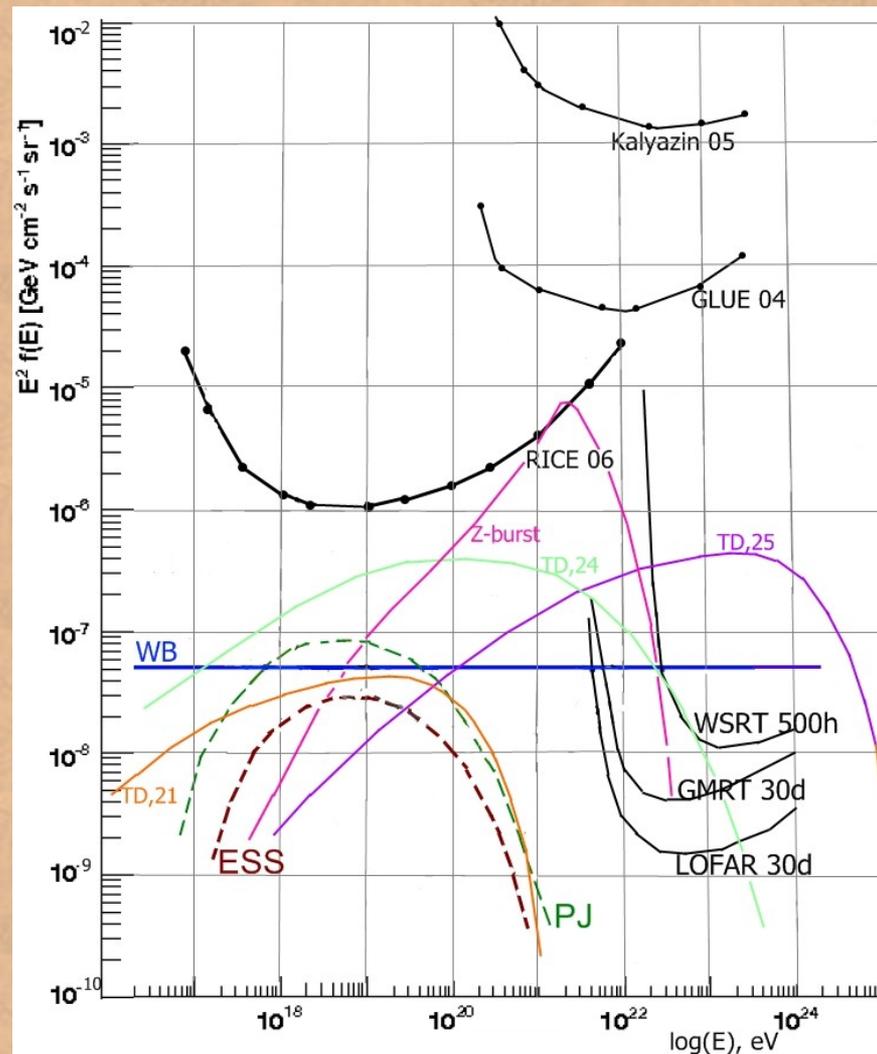


RESUN

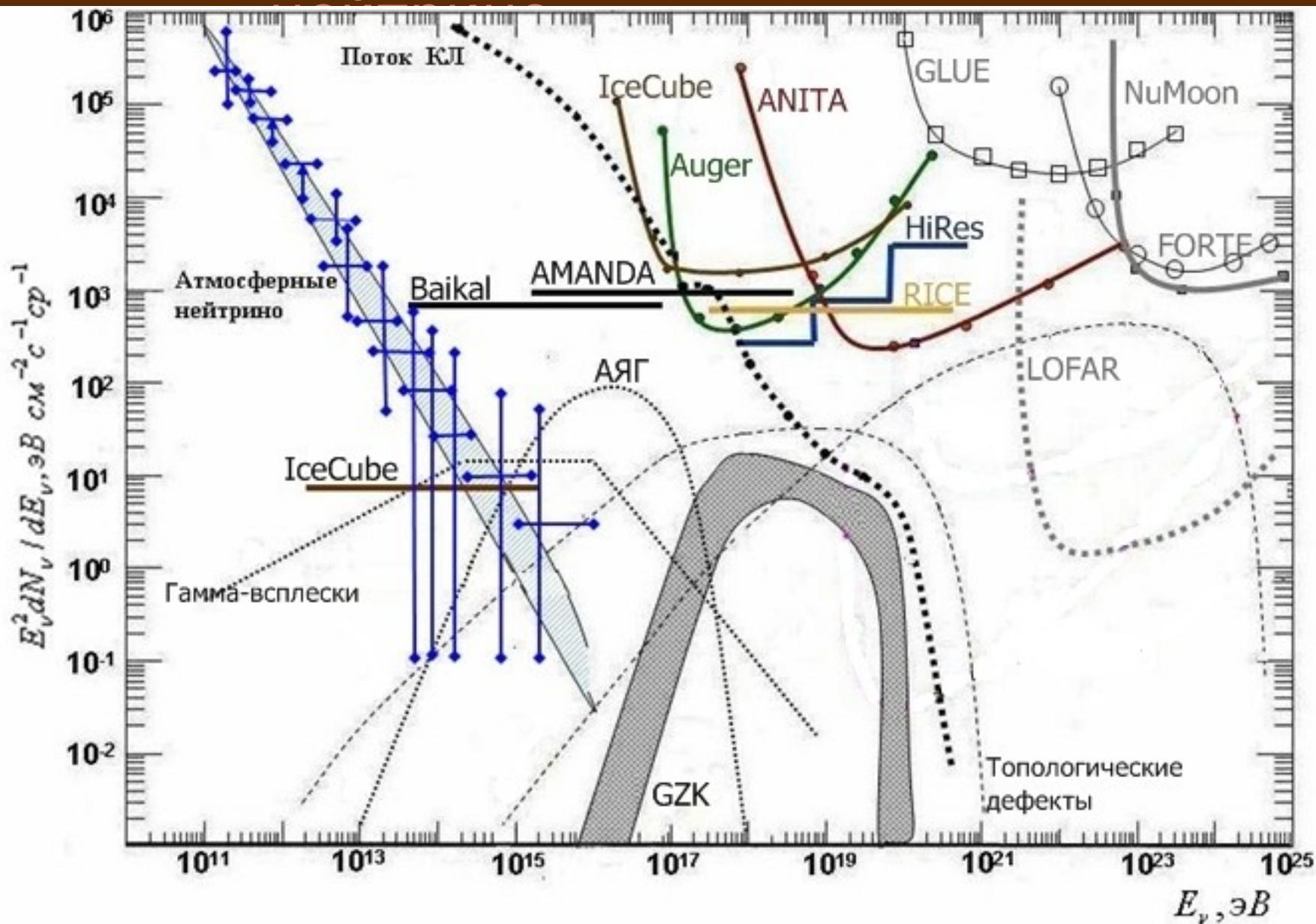
GLINT



LOFAR LunaSKA (ATCA)



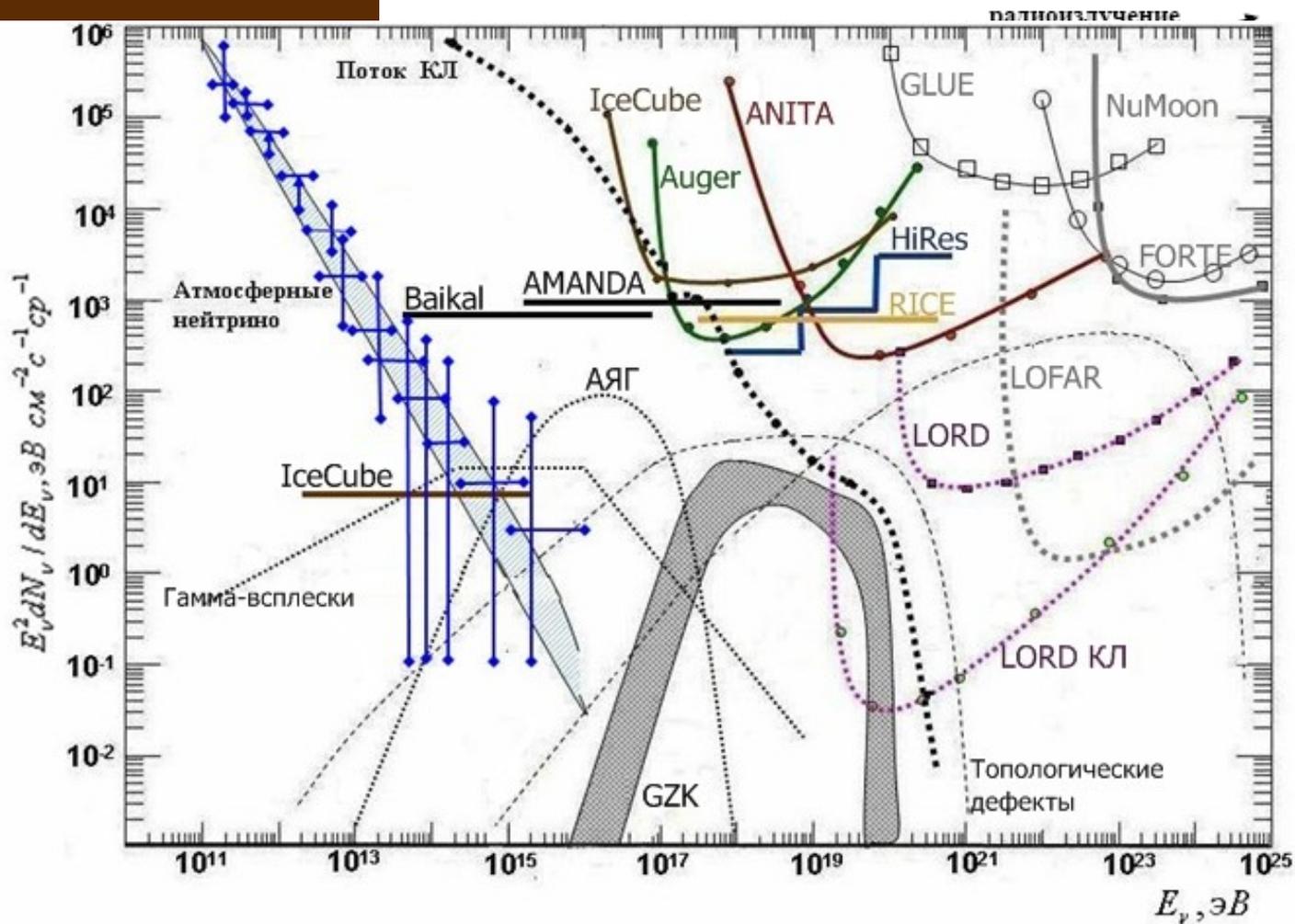
Ограничения на поток



Детектор

ЛОРД

Объем мишени - $V_{\text{eff}} \sim 10^5$
(км.в.э.)³



Лунный
Орбитальный
Радио
Детектор

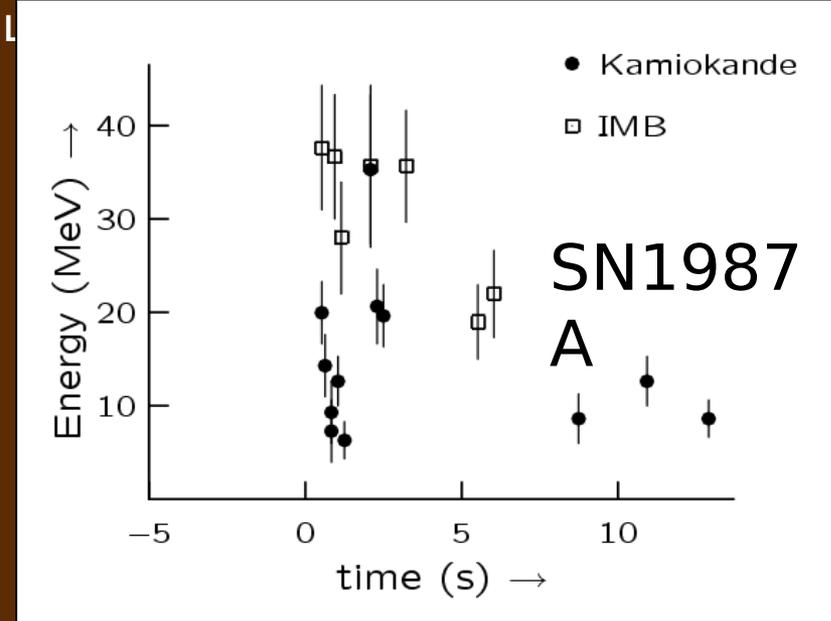
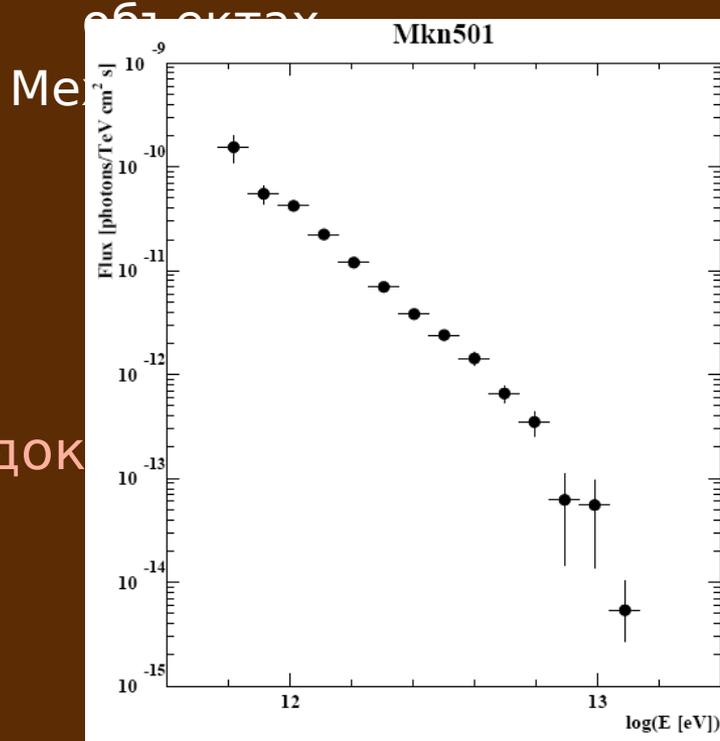


Цели изучения

Сечение взаимодействия нейтрино с веществом
Физика элементарных частиц в области ультра-высоких энергий

Объяснение природы темной материи

Изучение физических процессов в астрофизических объектах



Markarian 501
136 Mpc
 10^{13} eV γ $L_{int} \sim 70$ Mpc

Парадокс

СПАСИБ
О!



Эффект Аскарьяна и радиометоды
детектирования нейтрино сверхвысоких
энергий

Р. Д. Дагкесаманский
И.М. Железных
Е.В. Кравченко
В.А. Рябов

ВАК-2010
Совещание «Астрофизика объектов с
сверхвысокой яркостной температурой»
ПРАО АКЦ ФИАН, Пущино