

Современная астрофизика элементарных частиц

И. Ткачев

иЯИ

27 Октября 2009

Что это такое,

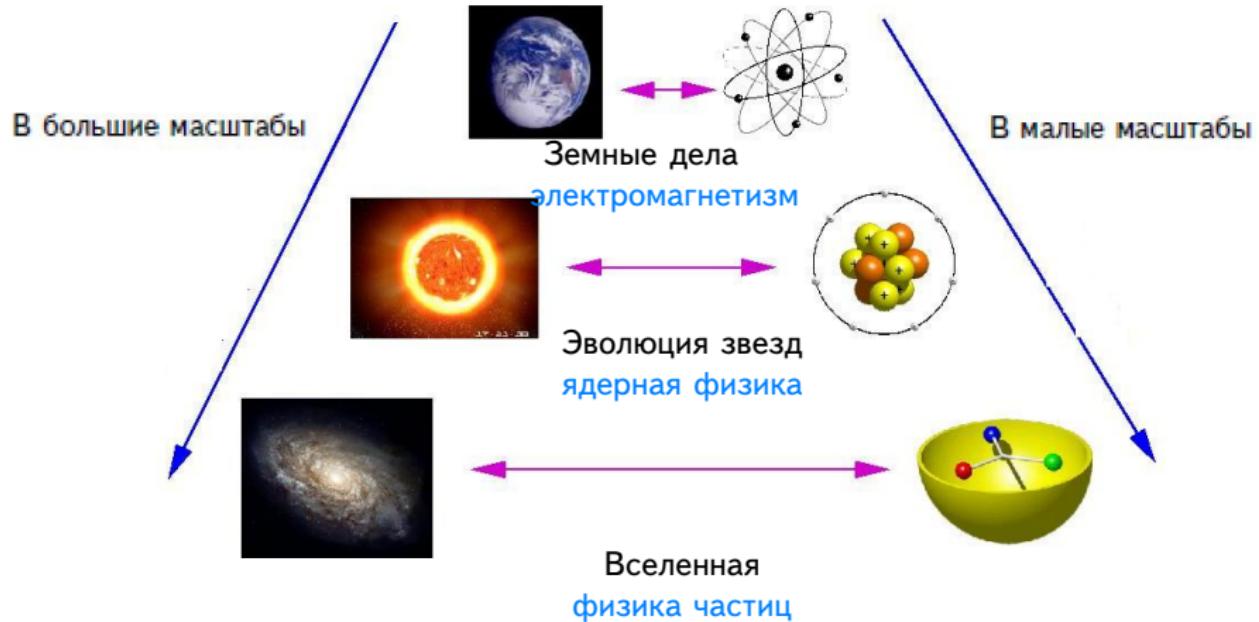
Физика частиц и космология



Astroparticle physics ?

- Новая самостоятельная ветвь науки
- Здесь мы хотим
 - Найти проявления новой физики изучая космологию и астрофизику
 - Понять как новые знания в физике частиц могут изменить наши представления о Вселенной

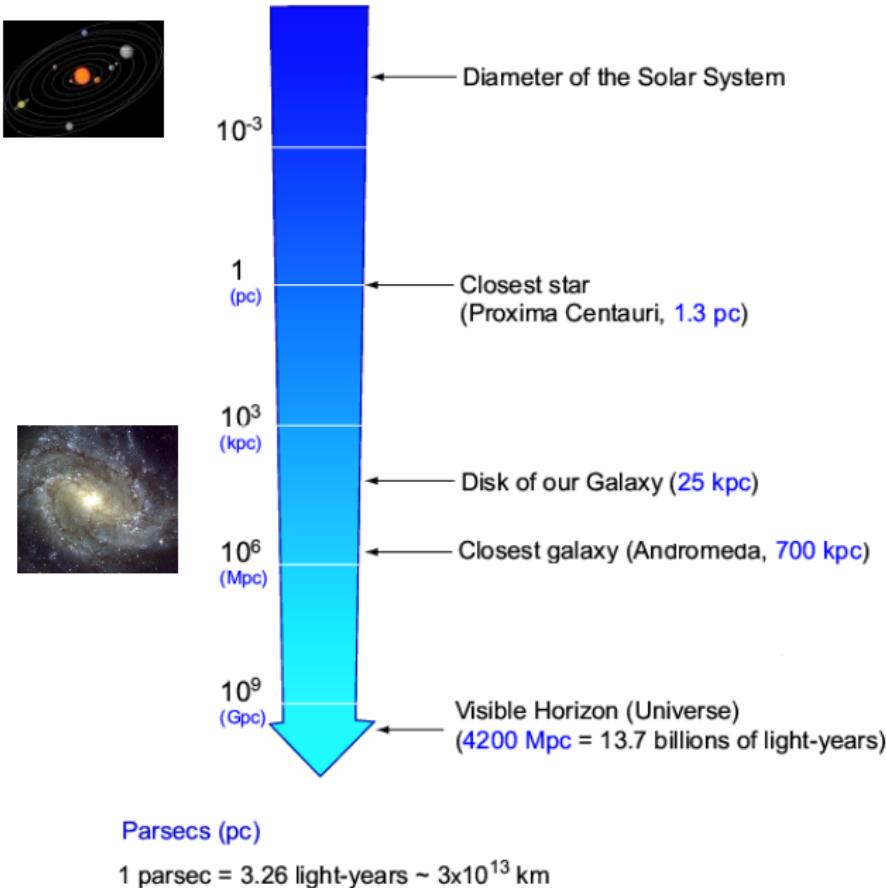
Большое и малое



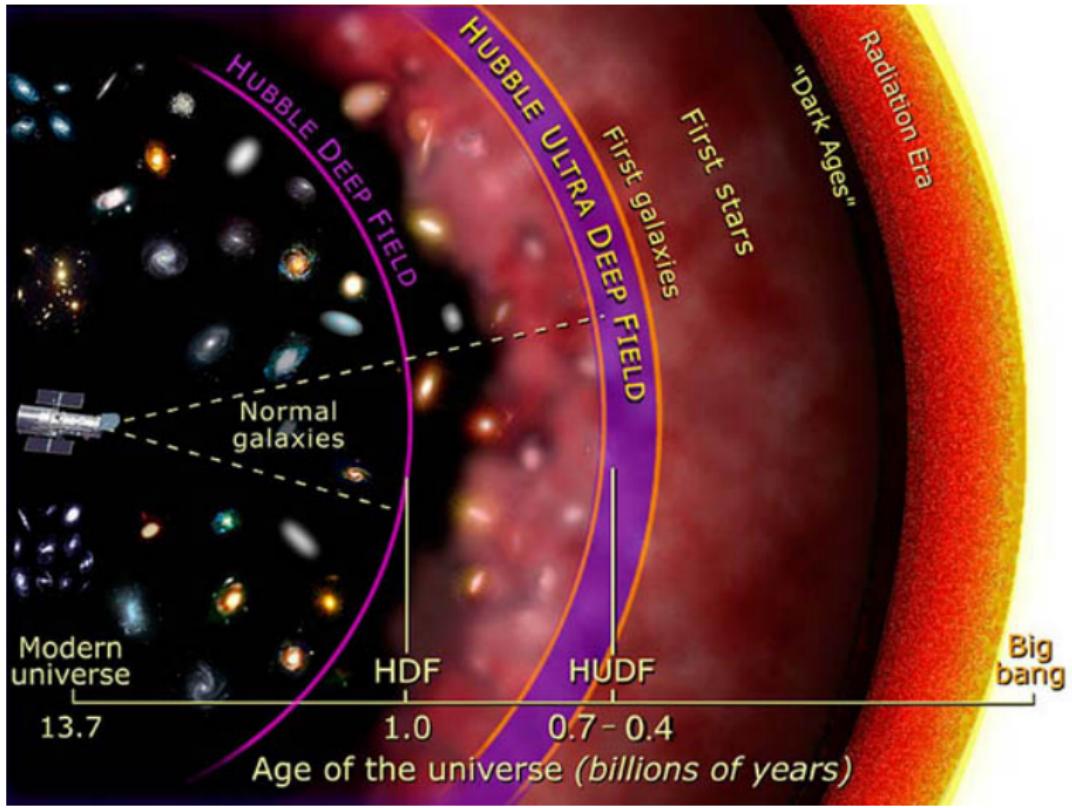
В малые масштабы



В большие (астрономические) масштабы



Машина времени



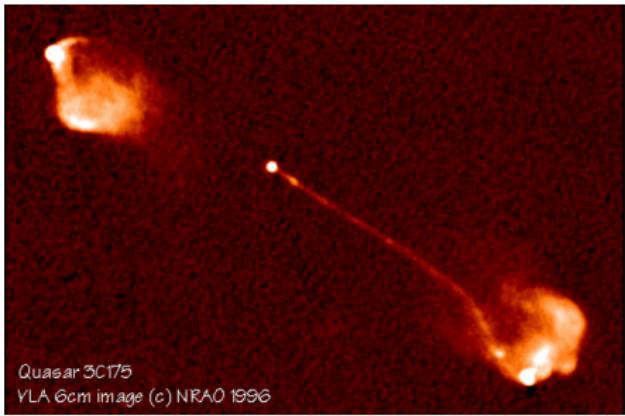
- Самые большие масштабы и ранняя Вселенная
 - Космология (Рубаков, следующая лекция)
- Галактические масштабы и современная Вселенная
 - Астрофизика (лекция сегодня)

- Эксперименты в контролируемых лабораторных условиях
 - Ускорители
 - Основа
 - Подземные и подводные лаборатории
 - Поиск темной материи
 - Поиск Великого Объединения
 - Нейтринные обсератории
- Астрофизические наблюдения
 - Фотон
 - Основа астрономии
 - Нейтрино
 - Новая физика связанная с массой нейтрино
 - Космические лучи
 - Поиск новой физики
 - Зарождение новой ветви астрономии заряженных частиц

Радиоастрономия



Радиотелескоп VLA

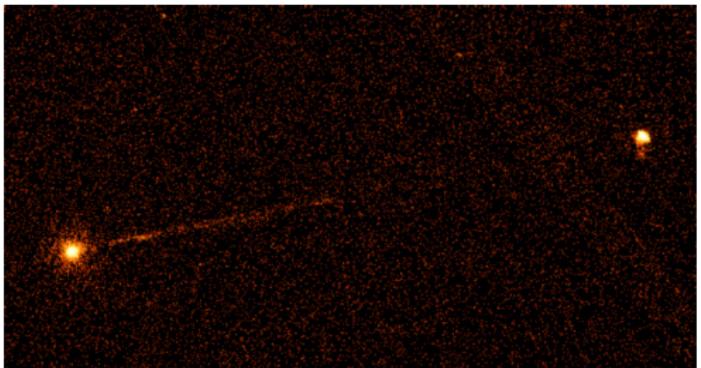


и изображение квазара 3C175

Рентгеновская астрономия



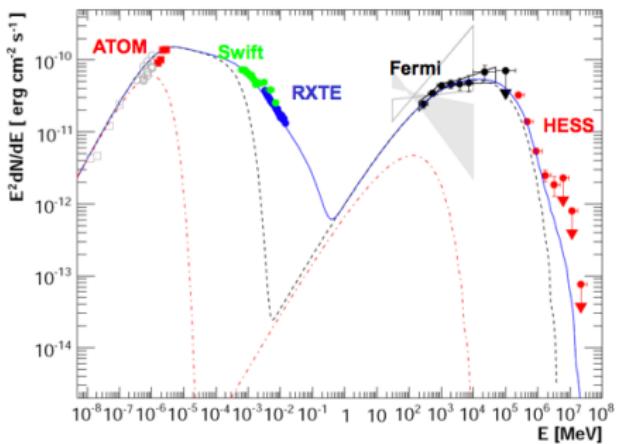
Телескоп Chandra



и изображение квазара Pictor A



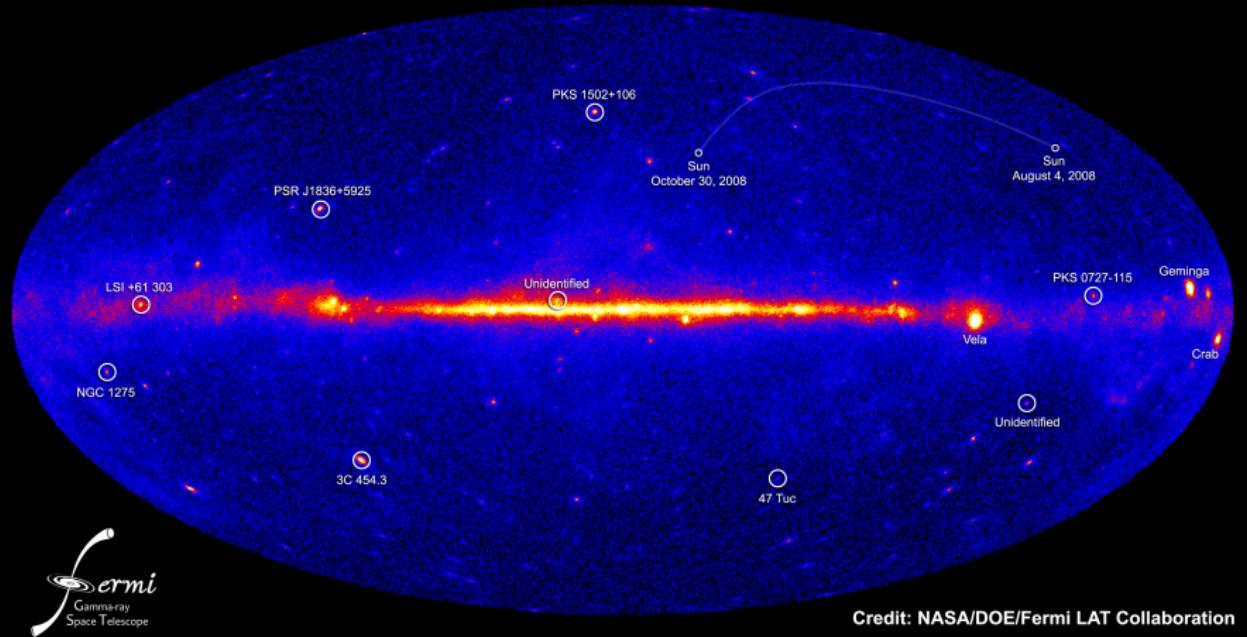
Черенковский телескоп HESS



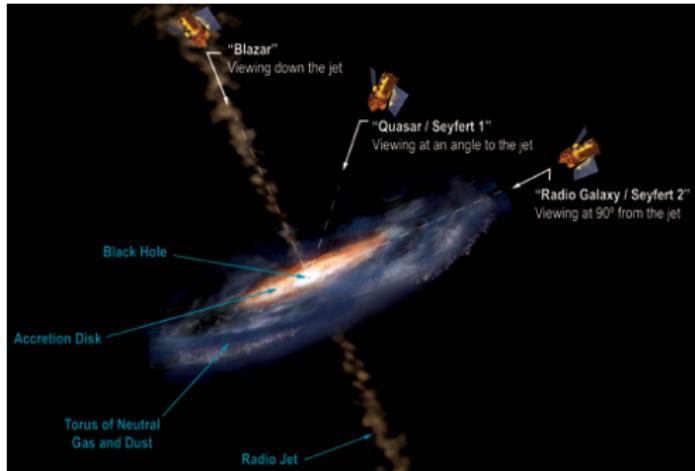
и спектр блазара PKS 2155-304

Карта неба в γ -лучах

NASA's Fermi telescope reveals best-ever view of the gamma-ray sky



Сердце квазара черная дыра



Схематическое изображение
активного ядра галактики

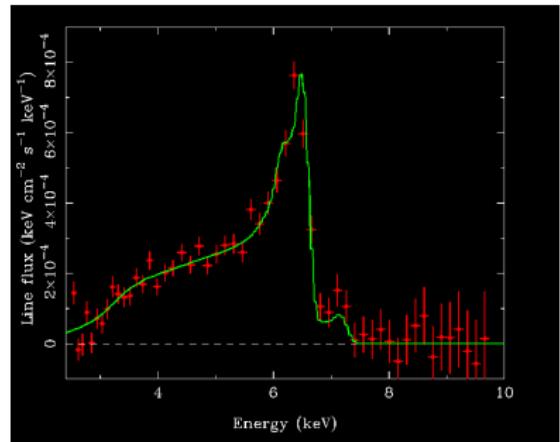
Типичная масса черной дыры
в квазаре $M_{BH} \sim 10^9 M_{\odot}$

Соответствующий размер
горизонта $\sim 20 AU$

В центре нашей галактики
 $M_{BH} \sim 3 \cdot 10^6 M_{\odot}$

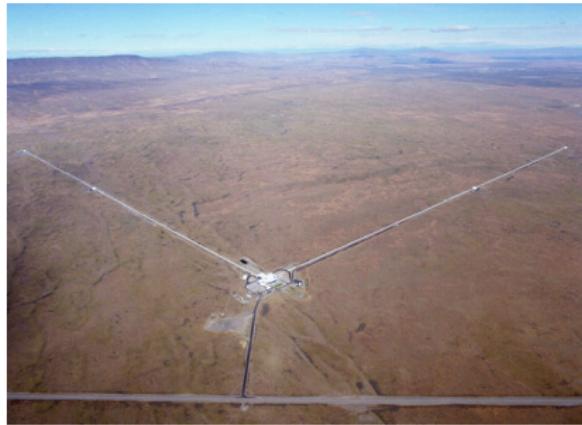


Орбитальный телескоп
XMM-Newton

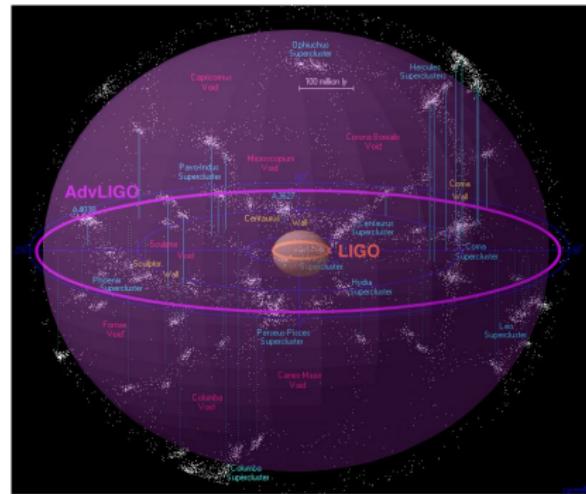


и эмиссионная линия железа в
спектре АЯГ 1ES 1333-340

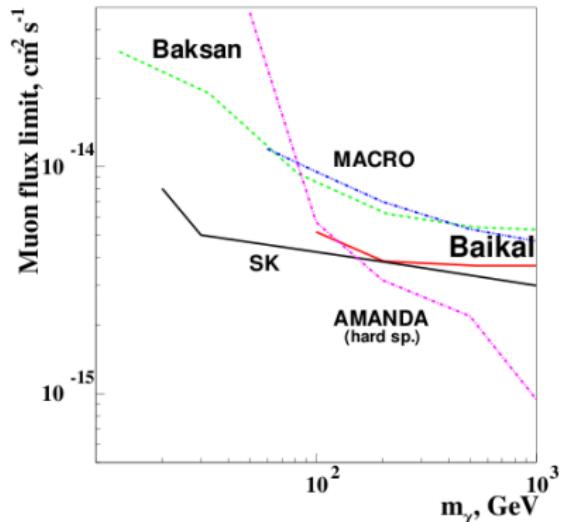
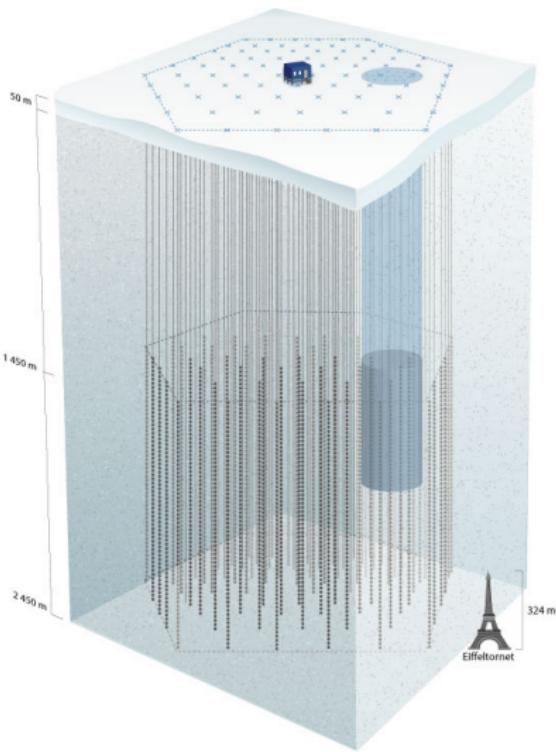
Гравитационная астрономия



Гравитационный телескоп LIGO



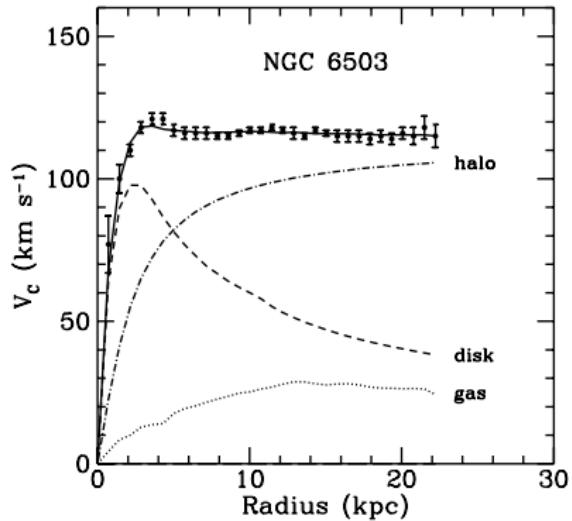
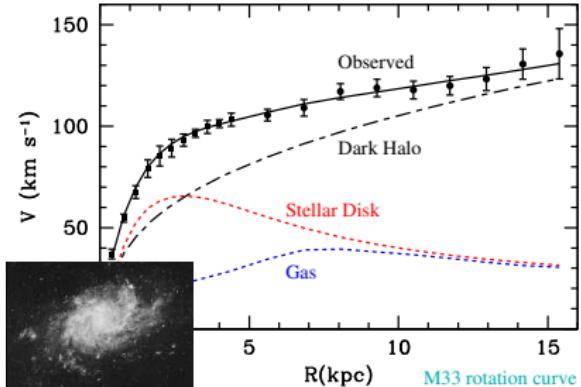
После 2014 г. гравитационные
сигналы возможно будут наблюдаваться
ежедневно



Баксанский и Байкальский
нейтринные телескопы являются
подразделениями ИЯИ РАН

Нейтринный телескоп IceCube

Темная материя в галактиках



Ньютонаовская динамика:

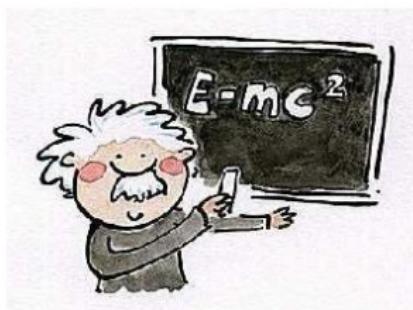
$$\frac{v_{\text{rot}}^2}{r} = \frac{G M(r)}{r^2} \quad \rightarrow \quad v_{\text{rot}} = \sqrt{\frac{G M(r)}{r}}$$

	кандидат	масса
	Гравитон	10^{-21} eV
	Аксион	10^{-5} eV
	Стерильное нейтрино	10 keV
	Зеркальное вещество	1 GeV
	WIMP	100 GeV
	WIMPZILLA	10^{13} GeV

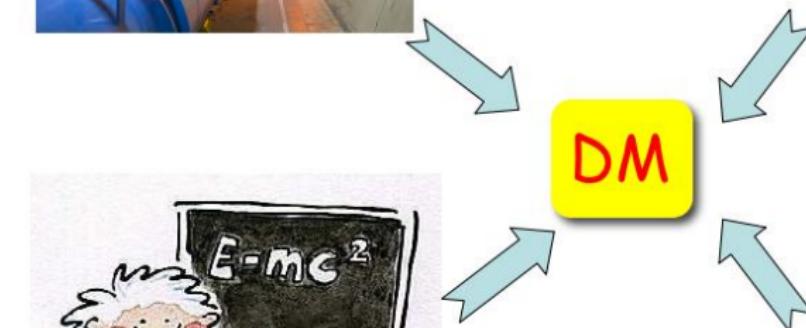
	кандидат	масса
	Гравитон	10^{-21} eV
	Аксион	10^{-5} eV
	Стерильное нейтрино	10 keV
	Зеркальное вещество	1 GeV
	WIMP	100 GeV
	WIMPZILLA	10^{13} GeV

Какая модель лучше или на худой конец менее спекулятивна ?
Вопрос в такой постановке не имеет смысла.
Слово здесь за экспериментом.

Стратегия поисков

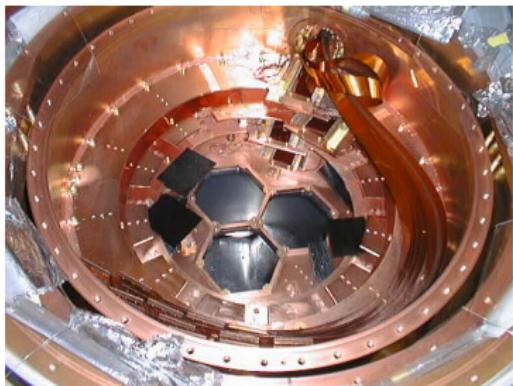


DM

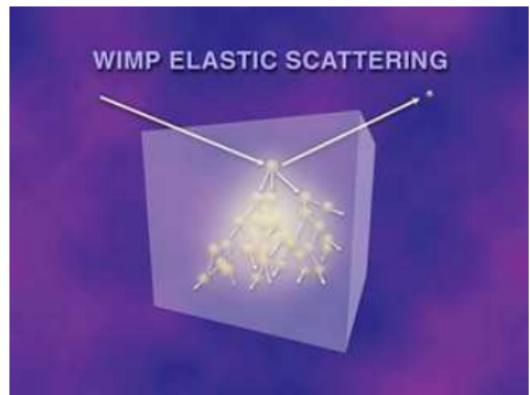


В ряде случаев темная материя может быть надежно идентифицирована только в комплексной программе поисков

Поиски темной материи в подземных лабораториях

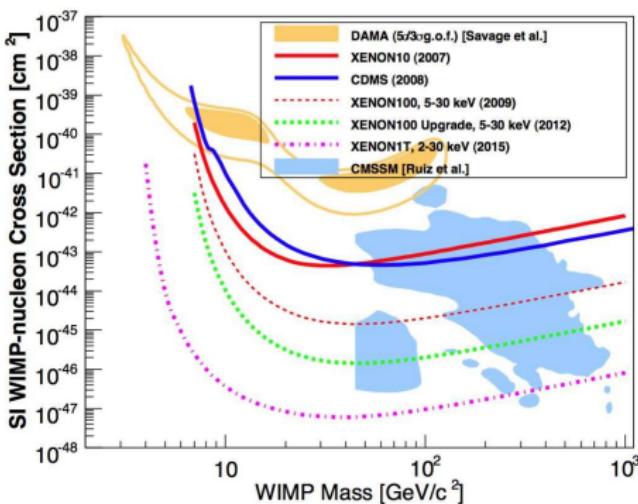


Ожидается 1 событие в день на 10 кг вещества детектора

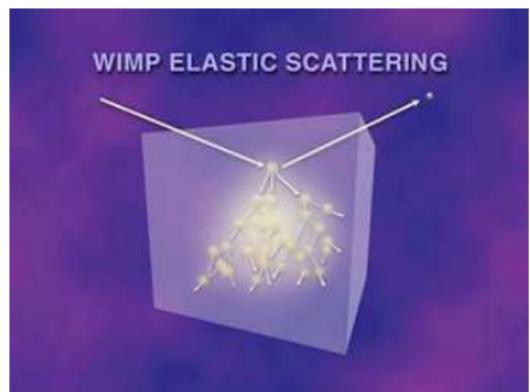


Все на глубине 1 км

Поиски темной материи в подземных лабораториях



Ожидается 1 событие в день на 10 кг вещества детектора

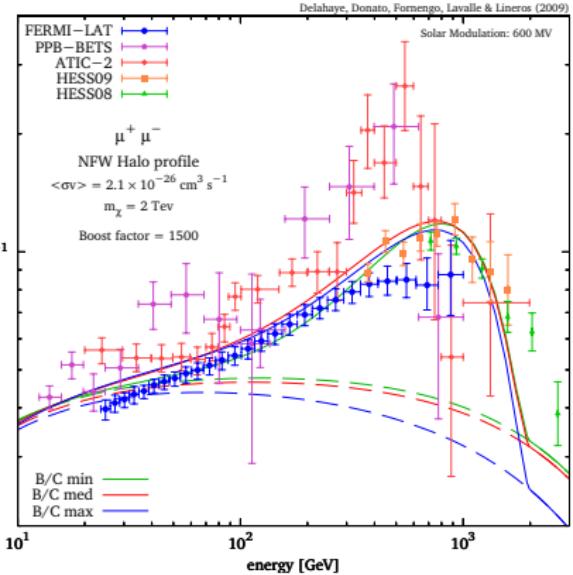


Все на глубине 1 км

Косвенные поиски темной материи



Орбитальный телескоп FERMI - LAT

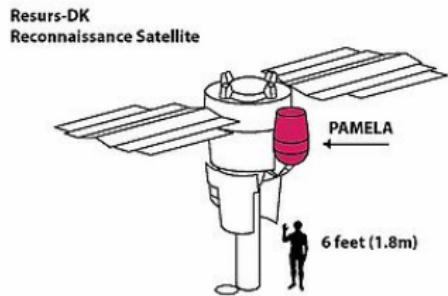


Избыток позитронов: сигнал от темной материи???

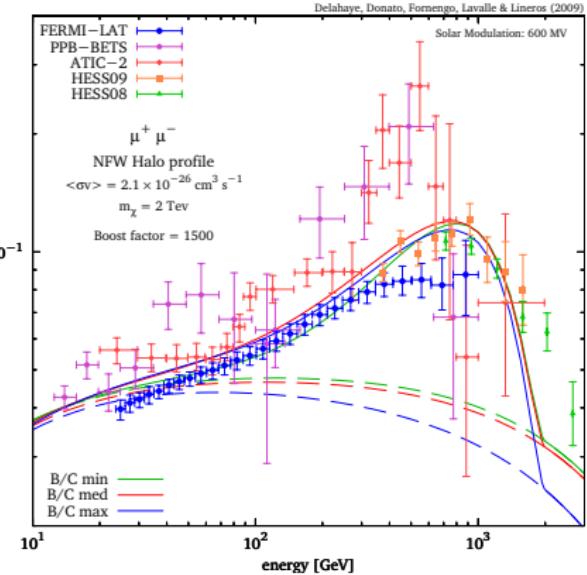
Косвенные поиски темной материи



Орбитальный телескоп FERMI - LAT



Pamela

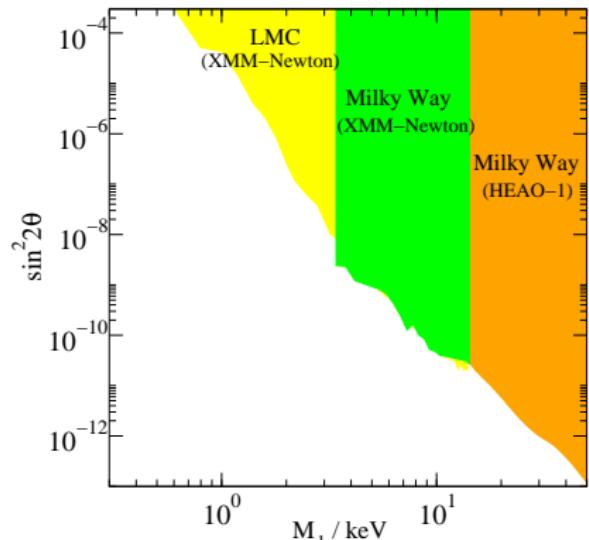


Избыток позитронов: сигнал от темной материи???

Косвенные поиски темной материи

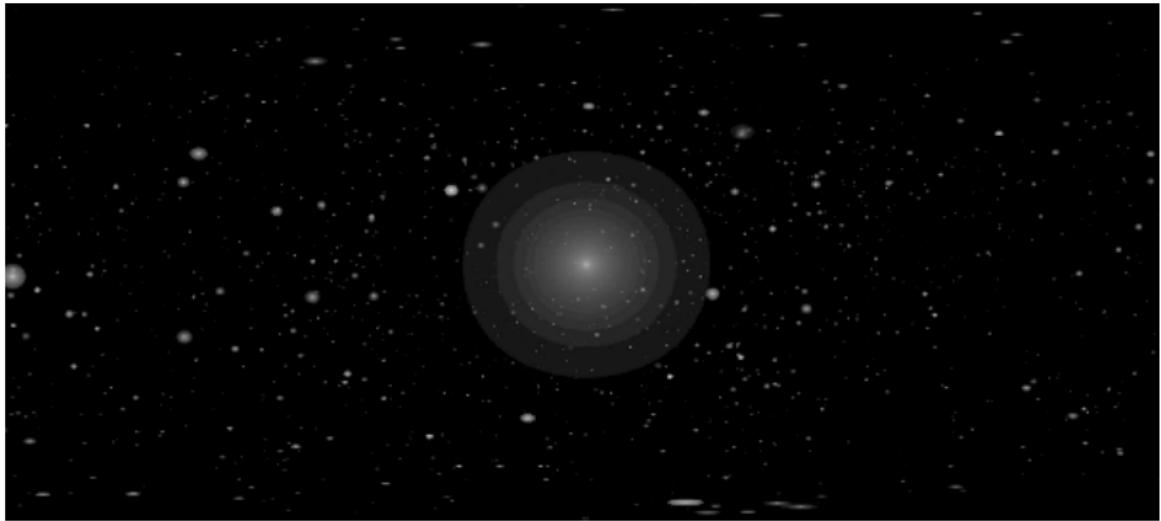


Орбитальный телескоп XMM-Newton



Ограничения на параметры
стерильных нейтрино

Аннигиляция в γ



Численное моделирование свечения темной материи в Галактике

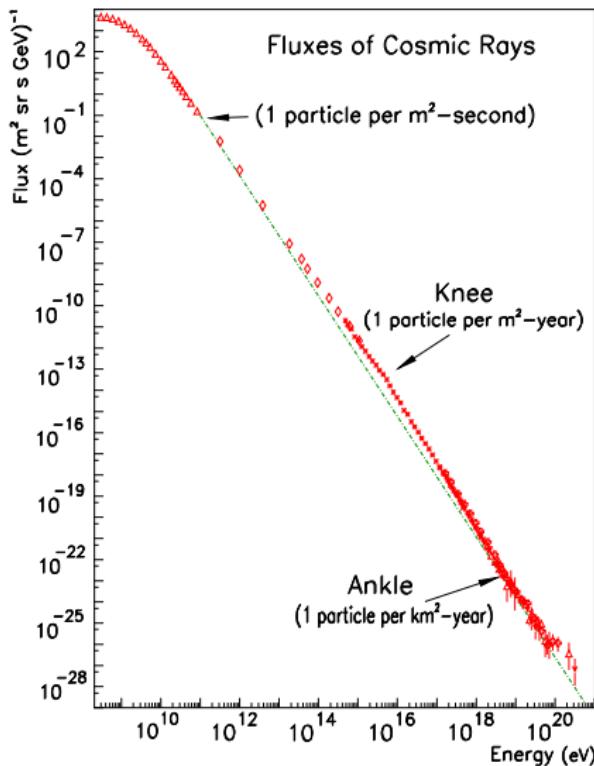
$$\frac{dN_\gamma}{d\Omega dt} = D\mathcal{P}$$

where

$$D = \frac{1}{4\pi} \int_{\text{LOS}} \rho^2(r) dl \quad \text{and}$$

$$\mathcal{P} = \int_{E_{th}}^{M_\chi} \sum_i \frac{\langle \sigma v \rangle_i}{M_\chi^2} \frac{dN_{\gamma,i}}{dE} dE$$

Космические лучи



- Спектр $\propto E^{-3}$
- Измерен вплоть до $\sim 10^{20}$ eV
- Поток на самых высоких энергиях: одна частица на km^2 за сто лет

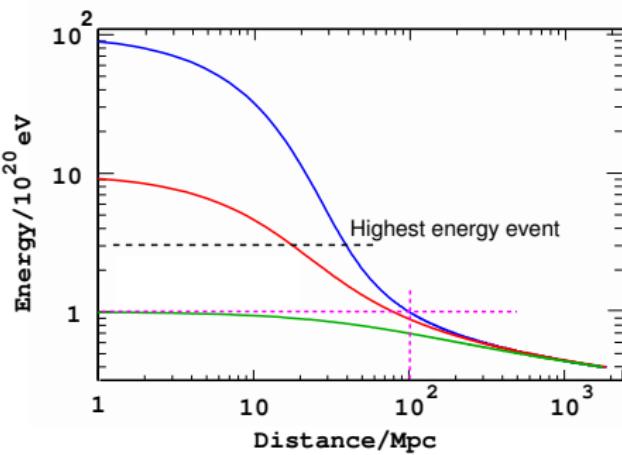
Новая физика открытая в космические лучах:

- ▶ 1927 Д.В. Скобельцын сфотографировал следы КЛ в пузырьковой камере помещенной в магнитное поле
- ▶ 1932 Используя эти методы К. Андерсон открыл антиматерию - позитрон
- ▶ 1935 К. Андерсон и С. Недермайер: открытие мюона
- ▶ 1947 Открытие пиона, странности (К-мезон)
- ▶ Процесс продолжался до появления ускорителей в 1950х

Возможно это не конец истории открытий

Эффект Грейзена-Зацепина-Кузьмина

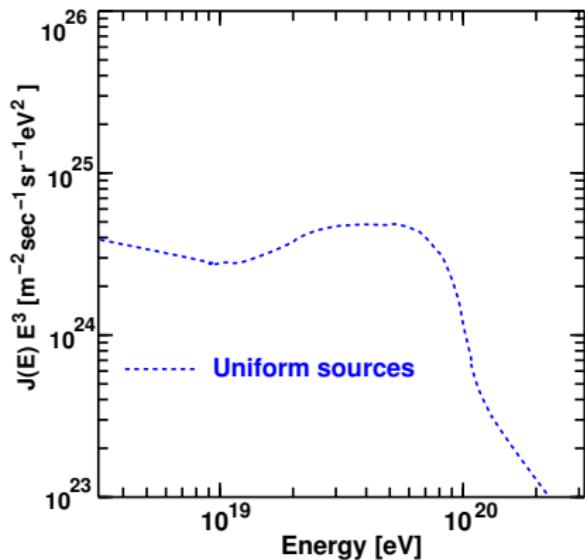
Космические лучи теряют энергию во взаимодействиях с космологическим излучением $p + \gamma_{\text{cmb}} \rightarrow N + \pi$



Источник протонов зарегистрированных с $E > 10^{20}$ еВ
должен находиться в области $R < 100$ Мpc

- В спектре космических лучей должно быть обрезание при $E > 10^{20}$ eV
- Направления прихода космических лучей самых высоких энергий должны указывать на их источники находящиеся в сфере $R < 100$ Мpc

Теоретическое ожидание ...



Предсказание ГЗК

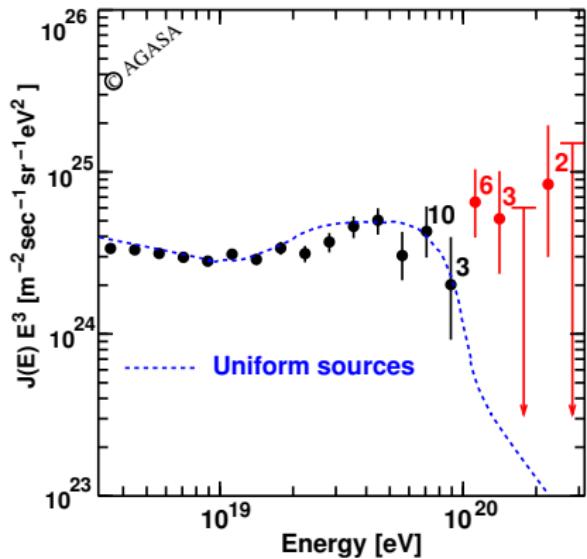


Г.Т. Зацепин



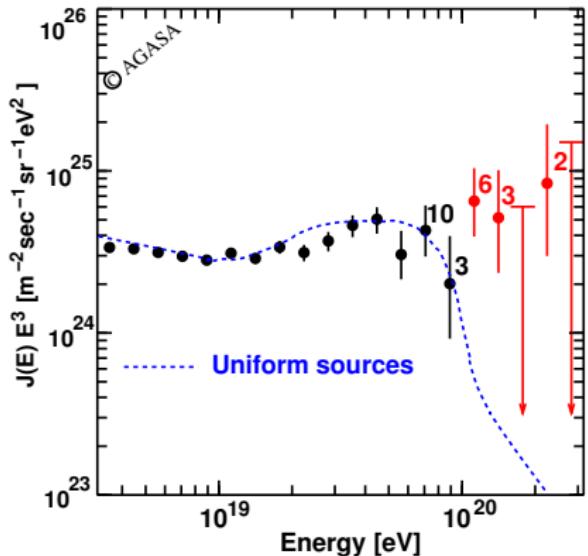
Б.А. Кузьмин

Измерение ...



Спектр измеренный установкой
AGASA

Измерение ...



Спектр измеренный установкой
AGASA

Вопросы:

- Где возникают частицы таких высоких энергий?
- Как объяснить отсутствие обрезания?
- Почему направления прихода не указывают на возможные источники?

Новая физика:

- ▶ Топологические дефекты
- ▶ Сверхтяжелая темная материя
- ▶ Сильные взаимодействия нейтрино
- ▶ Экзотические первичные частицы
- ▶ Нарушение Лоренц-инвариантности

Экзотическая астрофизика:

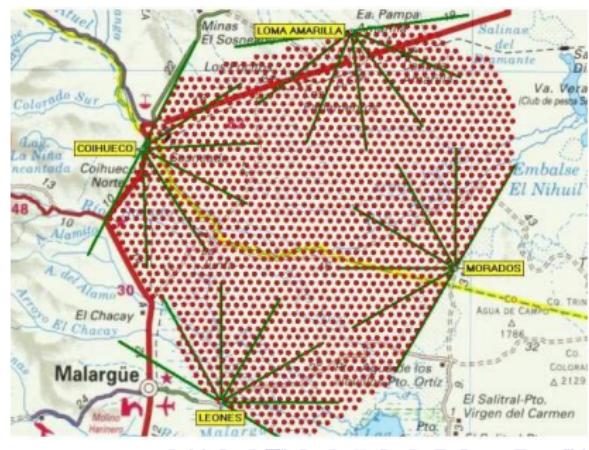
- ▶ Экстремально высокие потоки нейтрино
- ▶ Мертвые квазары

Новое поколение экспериментов

Обсерватория им. Пьера Оже



Южное полушарие



Новое поколение экспериментов

Telescope Array

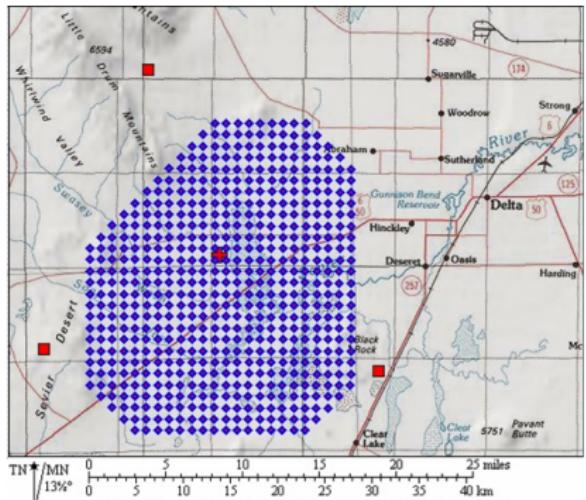


Северное полушарие



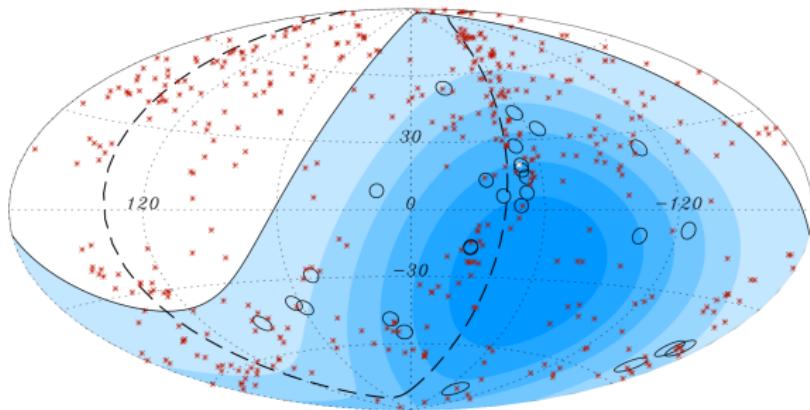
Новое поколение экспериментов

Telescope Array



Северное полушарие

Начало астрономии заряженных частиц?



Pierre Auger collaboration (2007)



Cen A