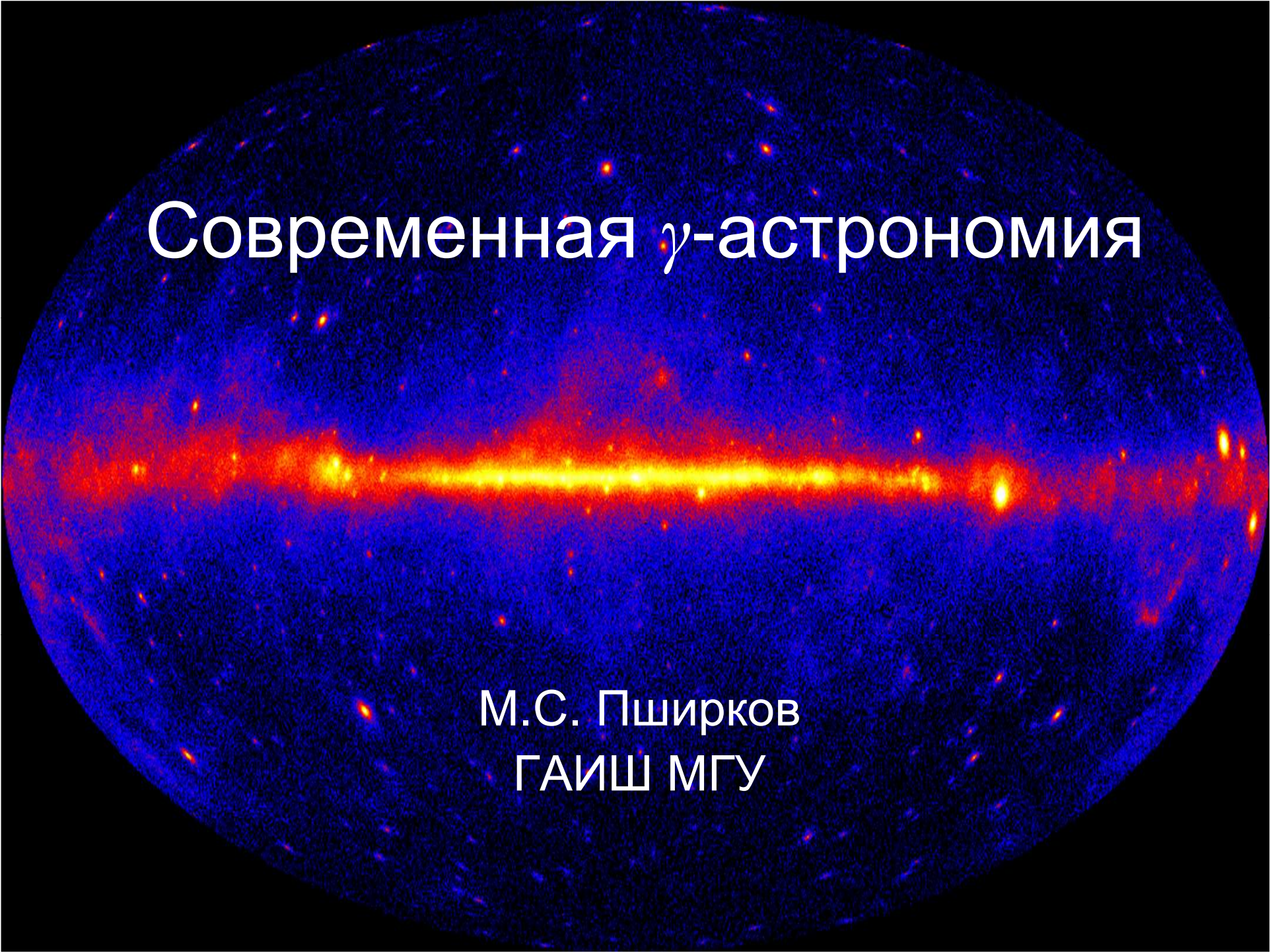


Сто часов астрономии – 2014

ГАИШ МГУ



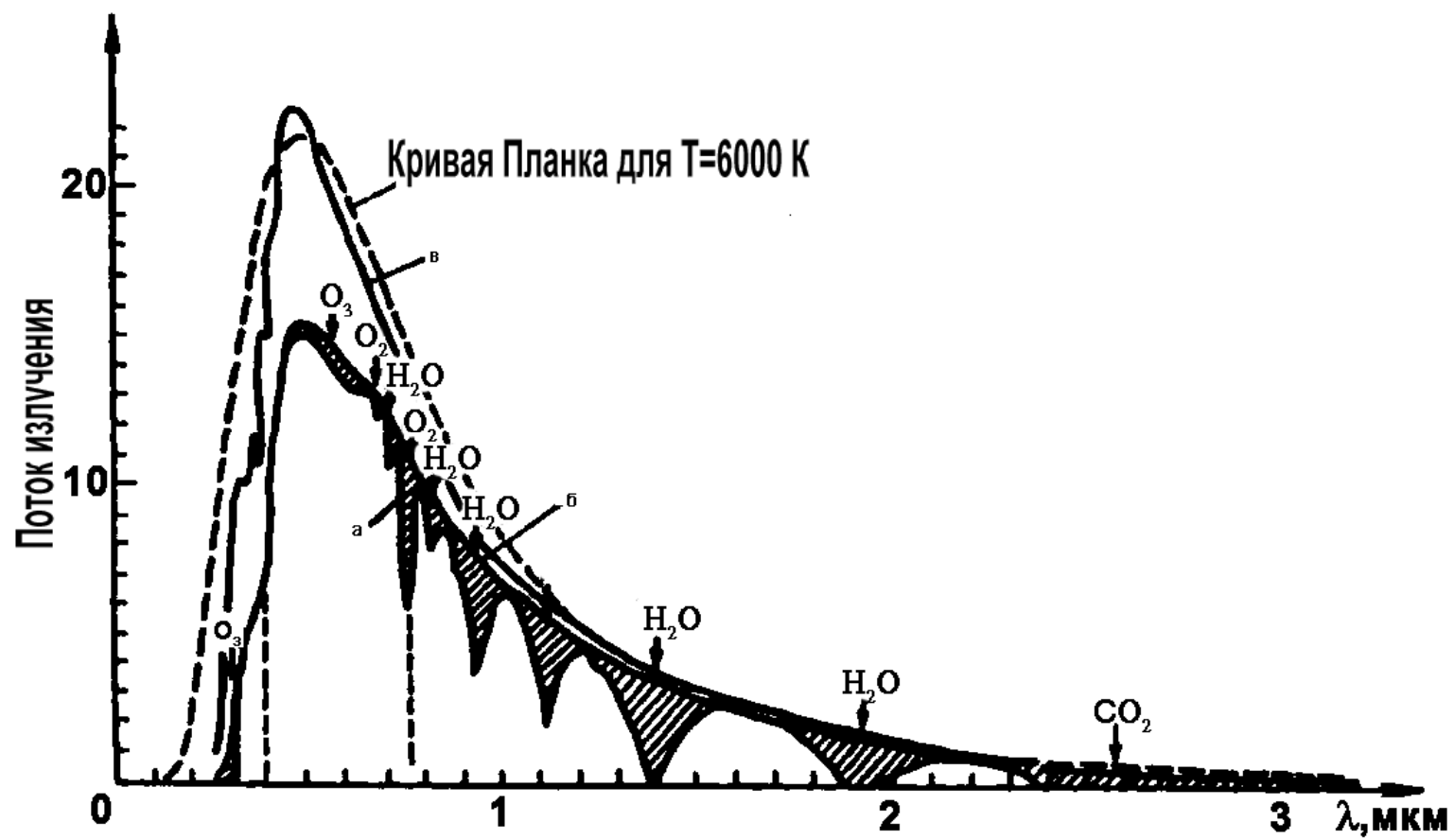


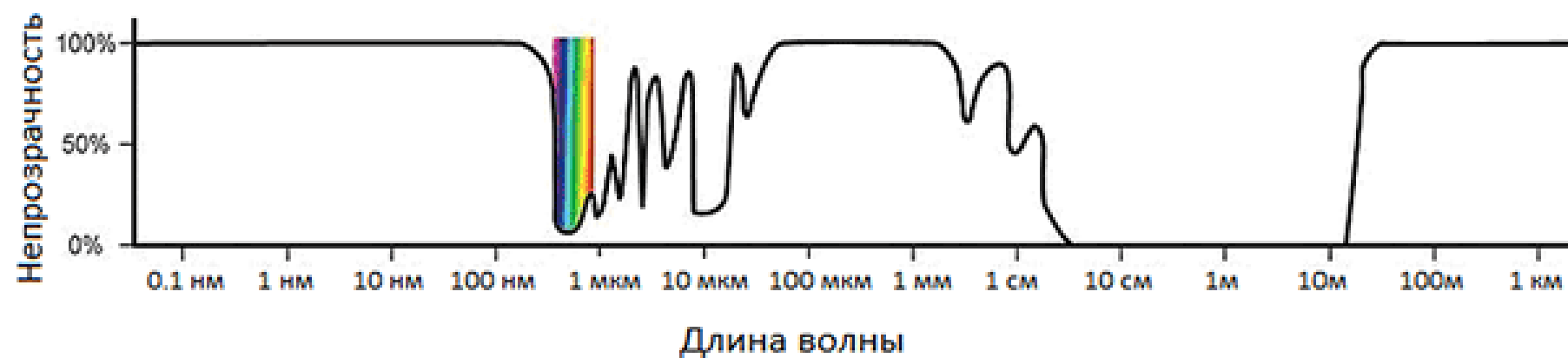
Современная γ -астрономия

М.С. Пширков
ГАИШ МГУ



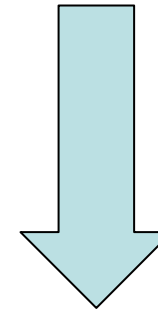
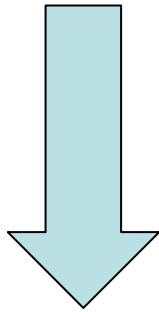
- На самом деле, никакого «на самом деле» не существует
- Такие представления о Вселенной являются отдаленными следствиями из физики звёзд (точнее, Солнца) и атмосферы





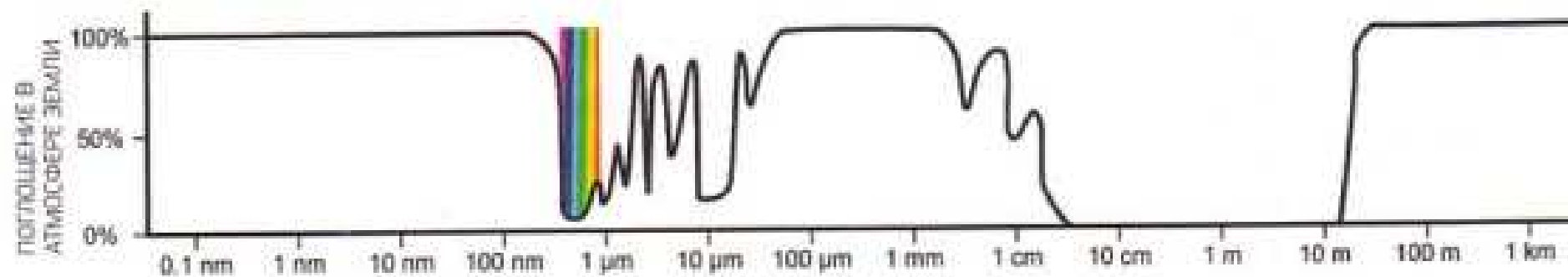
Солнце излучает
большинство фотонов в
«оптическом
диапазоне»

У атмосферы Земли в
«оптическом
диапазоне» --«окно
прозрачности»

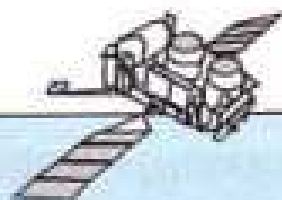


Мы будем видеть именно в этом диапазоне

Развитие технологий и выход за пределы
атмосферы позволили увидеть другую Вселенную



Рентгеновское, гамма-излучение и УФ-диапазон почти полностью поглощаются в атмосфере. Наблюдения в этих диапазонах можно вести только с помощью орбитальных телескопов



Для видимого света с ближним УФ и ИК земная атмосфера прозрачна



Большая часть ИК-диапазона поглощается в атмосфере, поэтому основные наблюдения ведутся в помощью орбитальных ИК-телескопов, а также со стратостатов

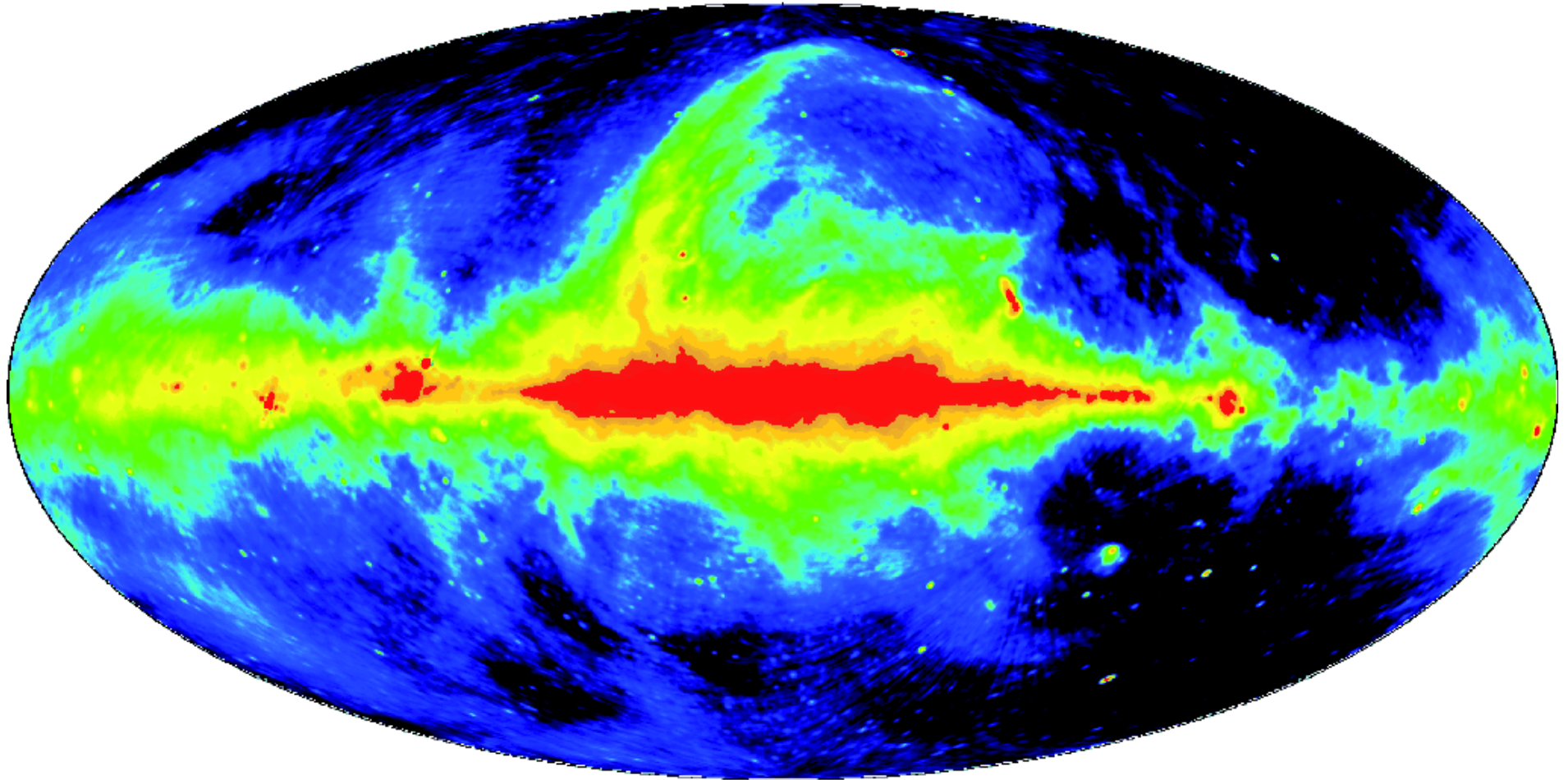


Волны с длинами более 30 м отражаются ионосферой – для них земная атмосфера непрозрачна

В радиодиапазоне (длины волн от 1 см до 30 м) земная атмосфера прозрачна

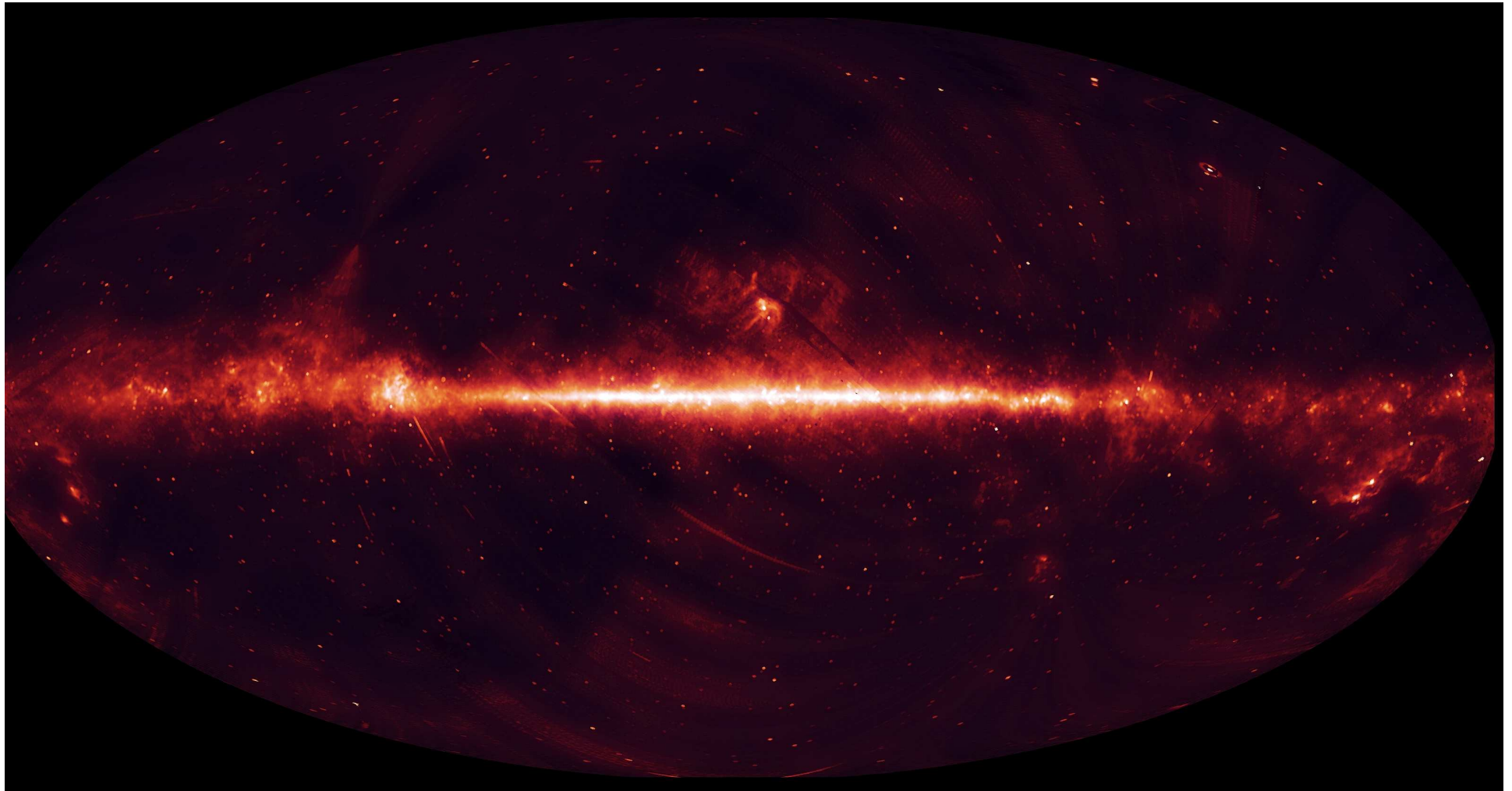


408 MHz



Jodrell-Bank 250-ft + Effelsberg 100-m + Parkes 64-m

Радионебо на честоте 408 МГц (73 см)

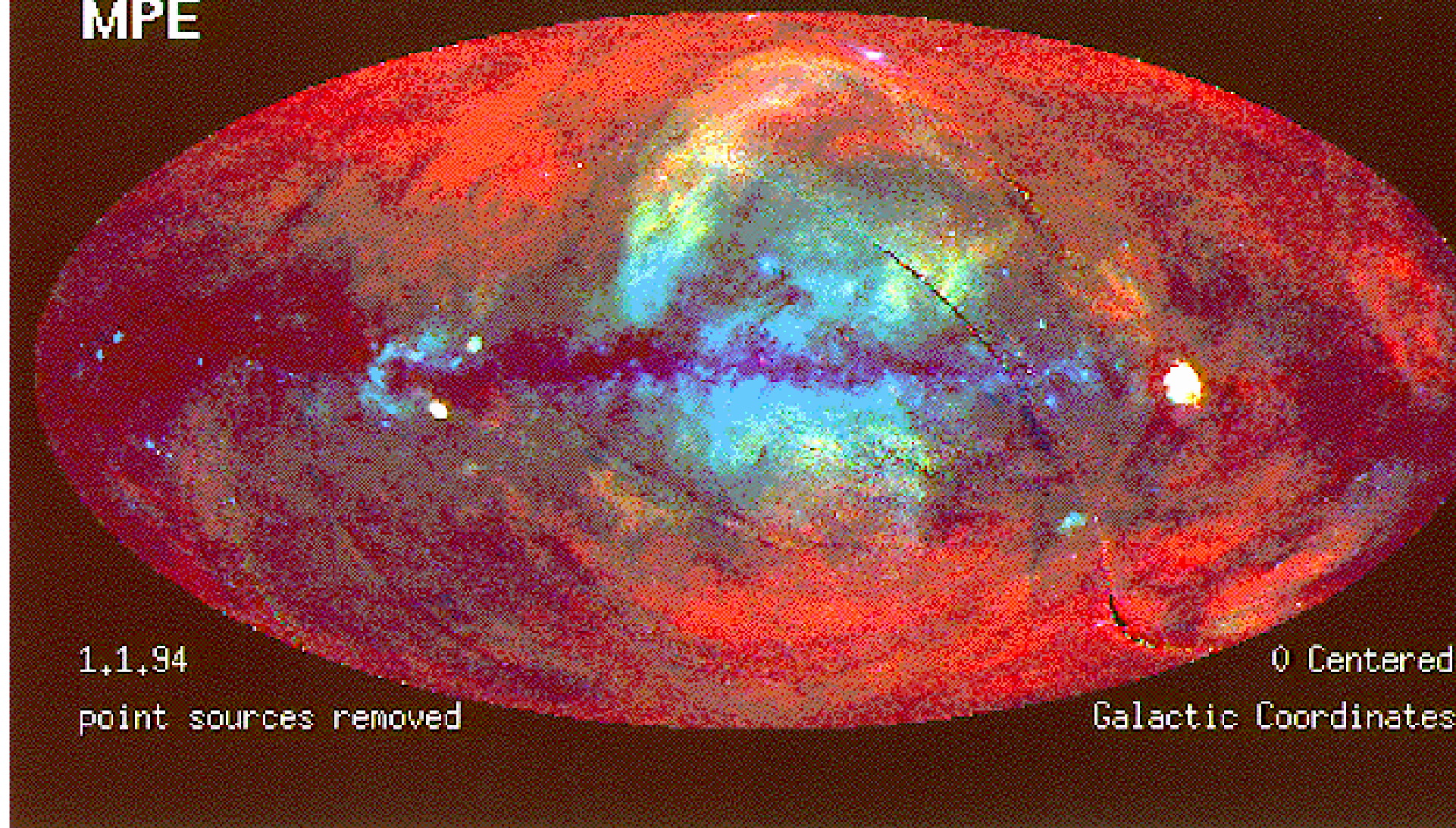


Небо в инфракрасных лучах.
Наблюдения спутника Akari (длина волны 9 микрон)

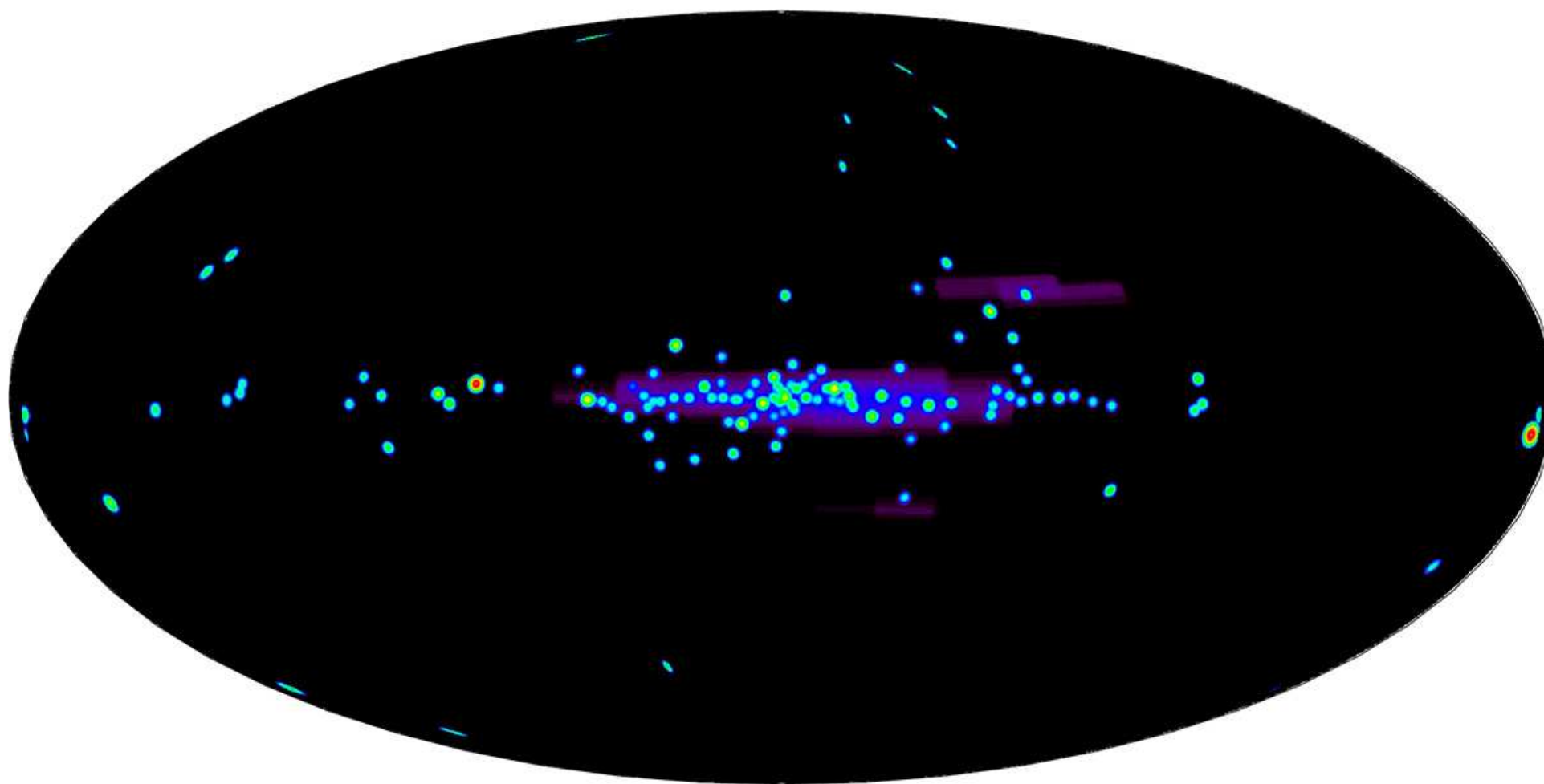
**ROSAT PSPC
MPE**

All-Sky Survey

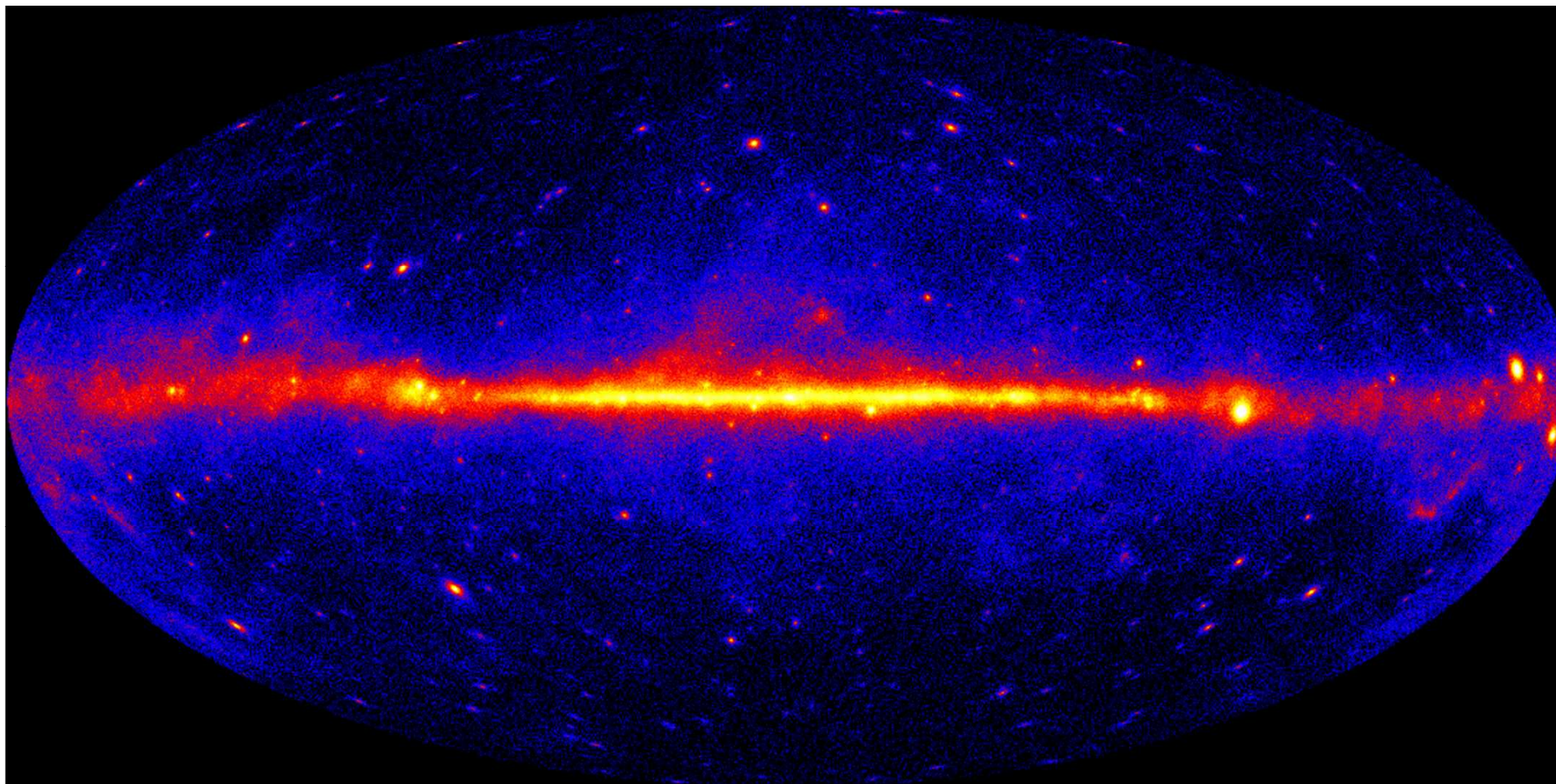
Multispectral



Рентген. ROSAT (~1 кэВ)



Жесткий рентген. Integral (50-100 кэВ)



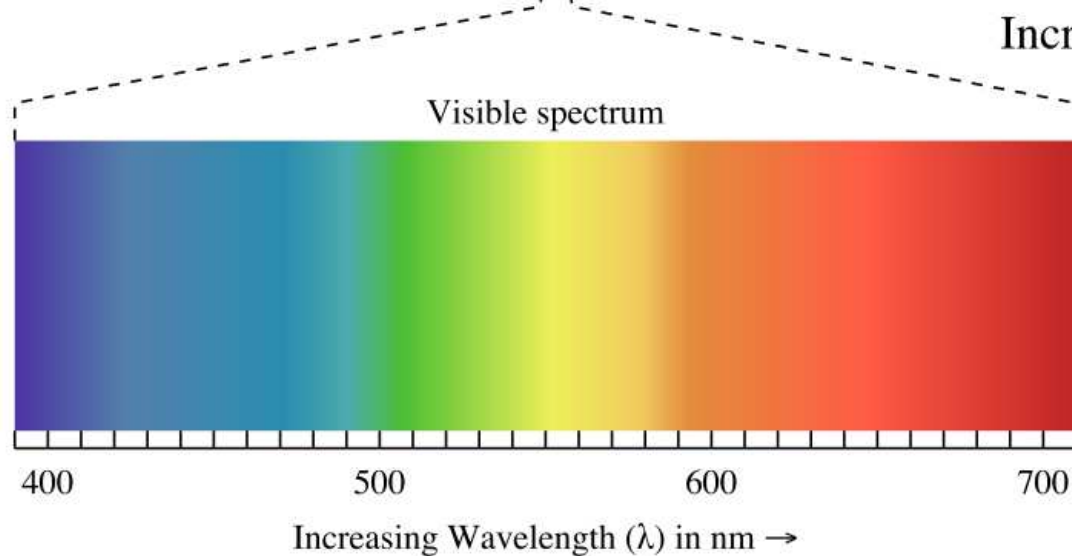
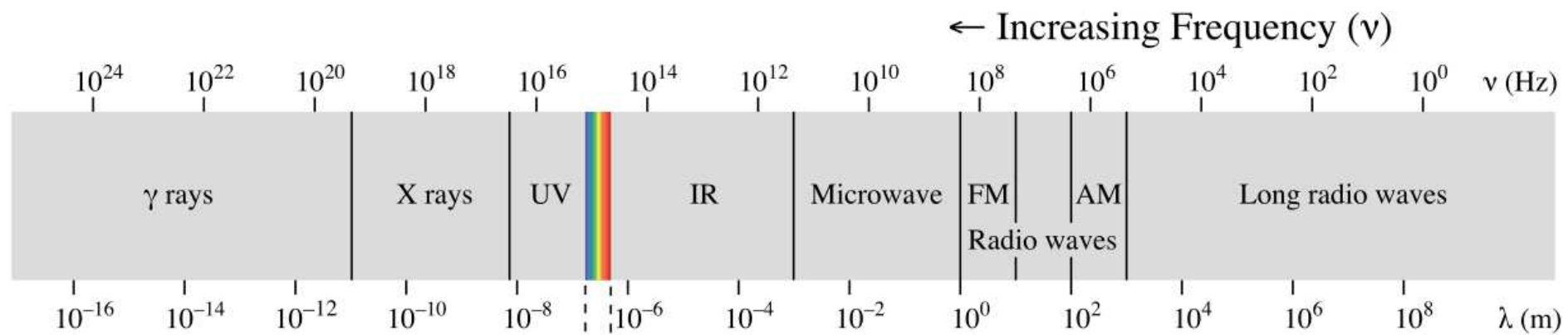
Гамма. Fermi-LAT (>100 МэВ)

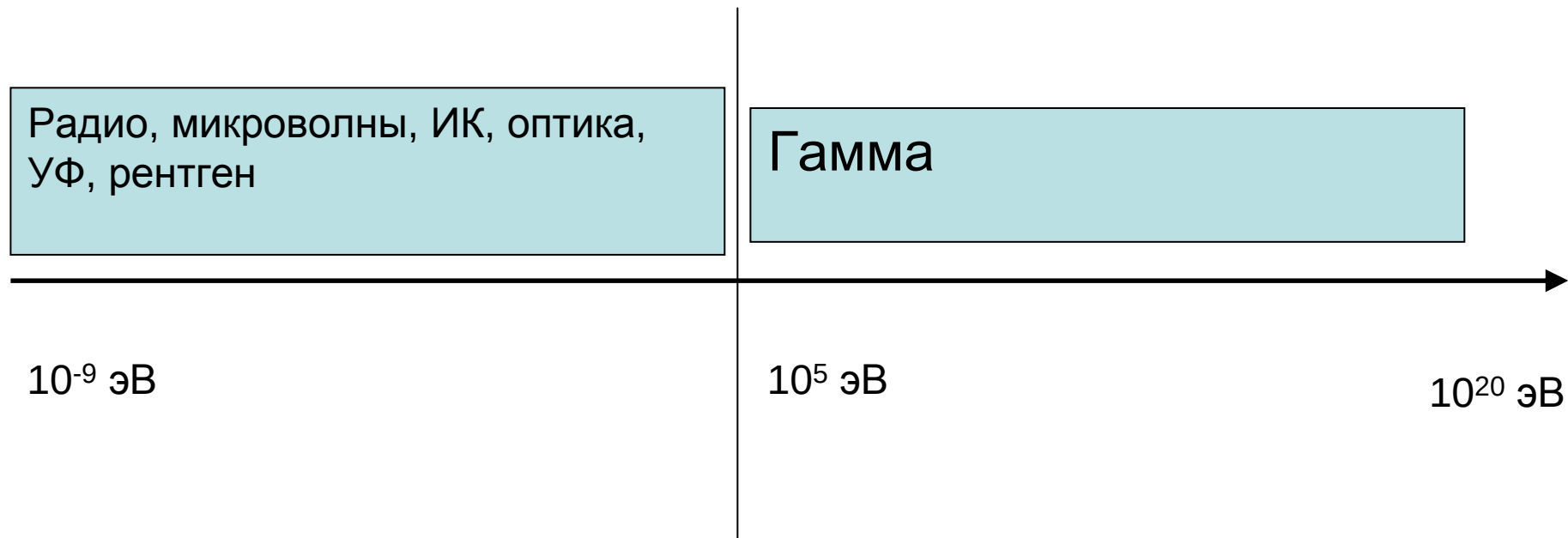
- ЭМ волна может характеризоваться частотой ν , длиной λ или энергией E

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$E = h\nu$$

- h –постоянная Планка, $h=6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
- Чаще всего используются не джоули (СИ), а электрон-вольты. $1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Дж
- **300 МГц $\Leftrightarrow$ 1 м $\Leftrightarrow$ 1.2 мкэВ (радио)**
- **$2.4 \cdot 10^{17}$ Гц $\Leftrightarrow$ 1.2 нм $\Leftrightarrow$ 1 кэВ (рентген)**



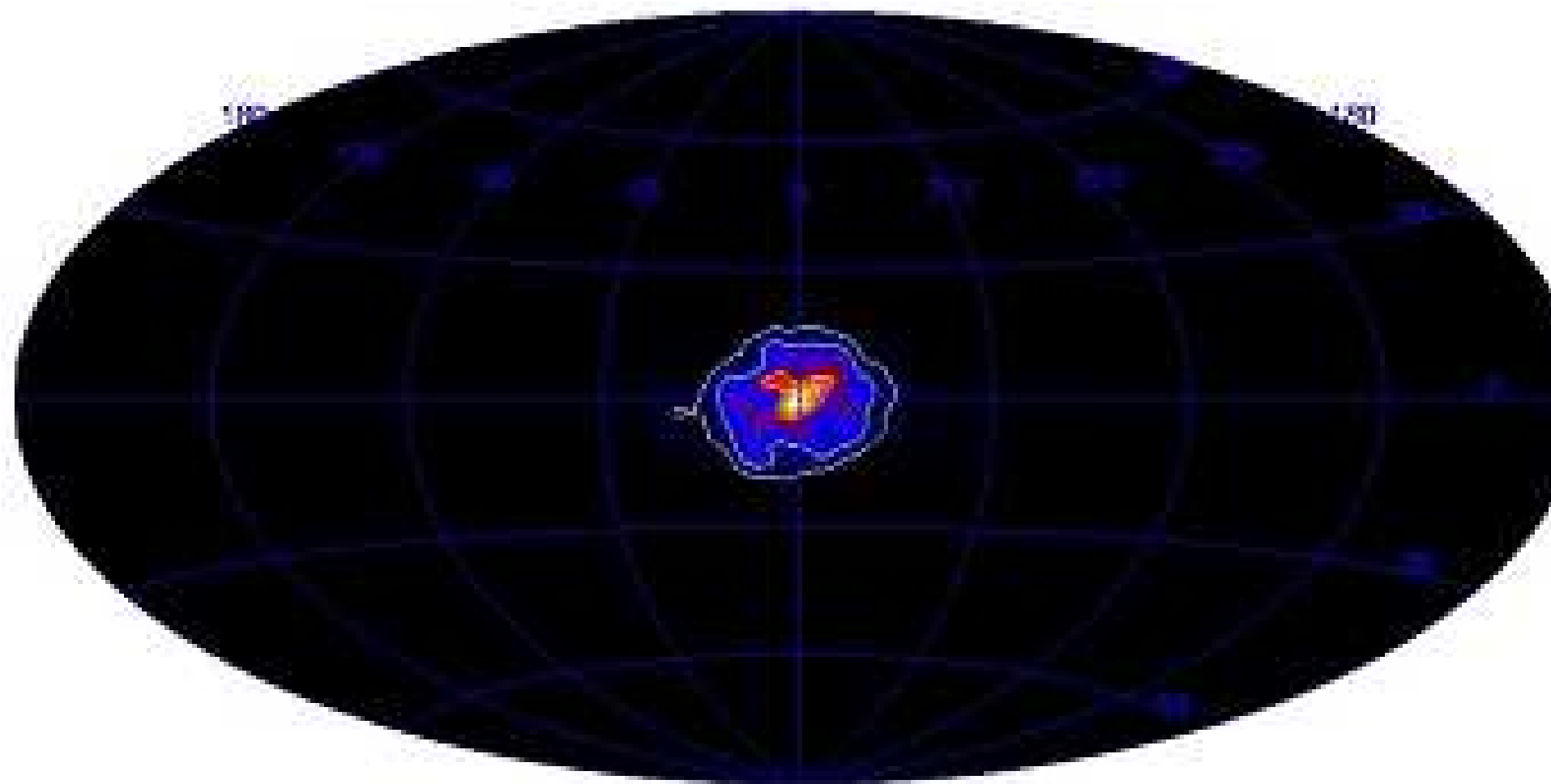


Процессы гамма-излучения

- Много различных источников на небе
- Все сводится к нескольким физическим процессам, тесно связанным с ускорением заряженных частиц
- Есть исключения (следующий слайд)

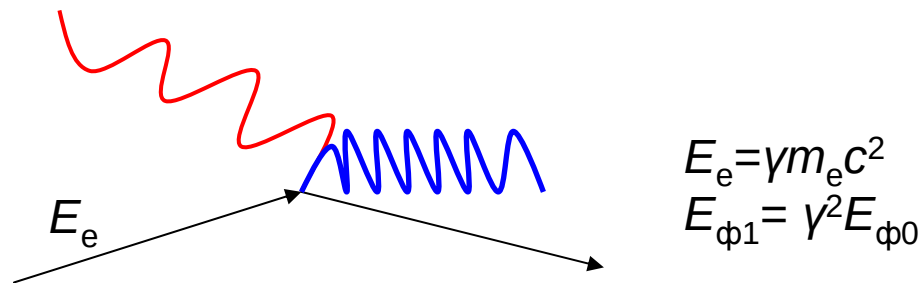
Исключения

- Гамма-излучение -- нетепловое ($1 \text{ эВ} \approx 10^4 \text{ К}$, $10^5 \text{ эВ} \approx 10^9 \text{ К}$)
- Исключение—гамма-всплески
- Также наблюдаются линии аннигиляции позитронов (511 кэВ)
- Совсем недавний результат (INTEGRAL, Чуразов и др., 2014), наблюдение линии $^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ (847 и 1237 кэВ). Радиоактивный кобальт образовался при взрыве близкой сверхновой SN2014J в галактике M82



Гамма-излучение 1/2

- Обратное комптоновское рассеяние
 - энергичный электрон с энергией $E_e \gg m_e c^2$ сталкивается с фотоном энергии $E_{\phi 0}$ и ускоряет его до энергии $E_{\phi 1}$.



- столкновение фотона видимого диапазона (~ 1 эВ) с 10 ГэВным электроном произведёт 100 МэВный гамма-квант
- взаимодействие с фотонами фона -- один из основных механизмов потери энергии релятивистскими электронами

Гамма-излучение 2/2

- Распад нейтральных пионов π^0
 - пионы образуются при столкновениях ускоренных протонов с частицами межзвездной среды:
$$p+p \rightarrow p+p+\pi^0$$
 - За 10^{-16} секунд π^0 распадается на два фотона:
$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$
 - Энергии фотонов начинаются от $m_{\pi^0}c^2/2=67.5$ МэВ, в среднем составляют $\sim E_p c^2/20$ и могут быть очень большими в случае энергичной первичной частицы.

Почему важны наблюдения в γ ?

- Процессы ускорения происходят в очень разнообразных условиях и источниках
- Получающиеся космические лучи являются одной из важнейших компонент межзвездной среды
- Непосредственная астрономия КЛ невозможна — отклонения в магнитном поле
- Зато можно изучать процесс ускорения по косвенным свидетельствам—гамма-излучению от взаимодействий ускоренных протонов/электронов



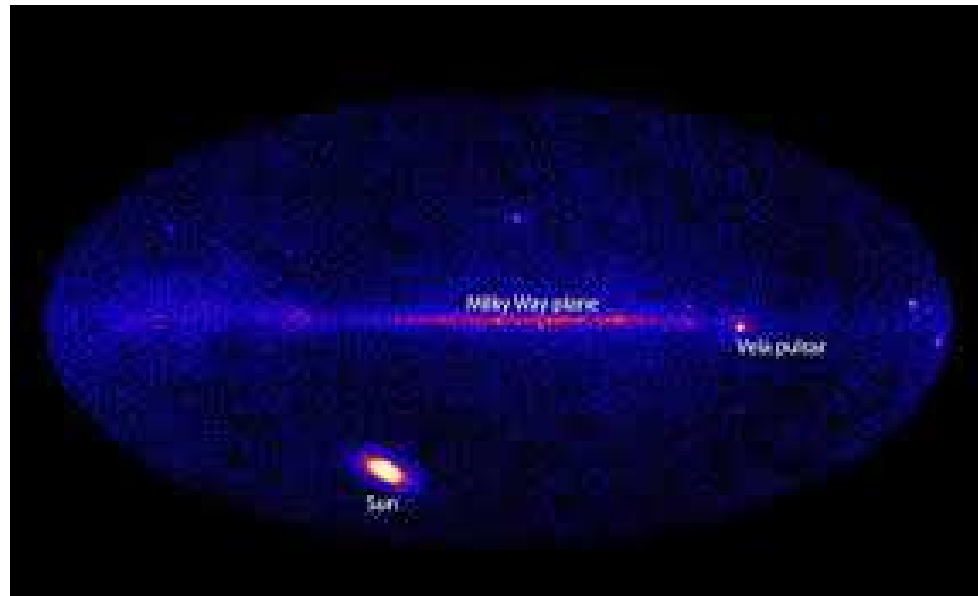
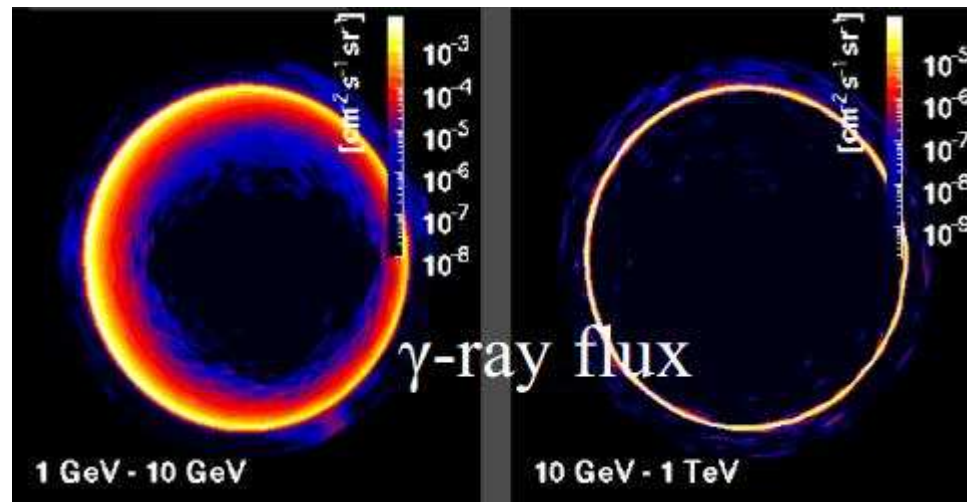
Источники гамма-излучения (1/3)

- Солнечная система

- » Земля(400 км)

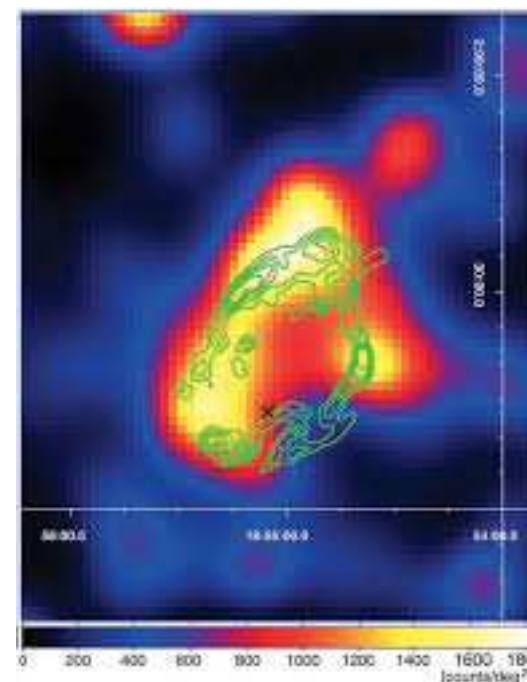
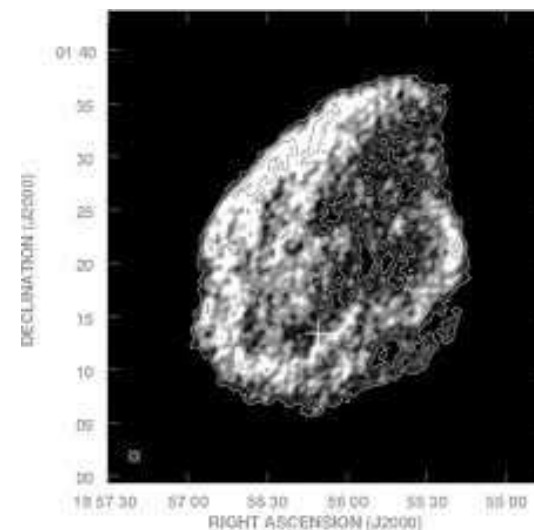
- » Луна

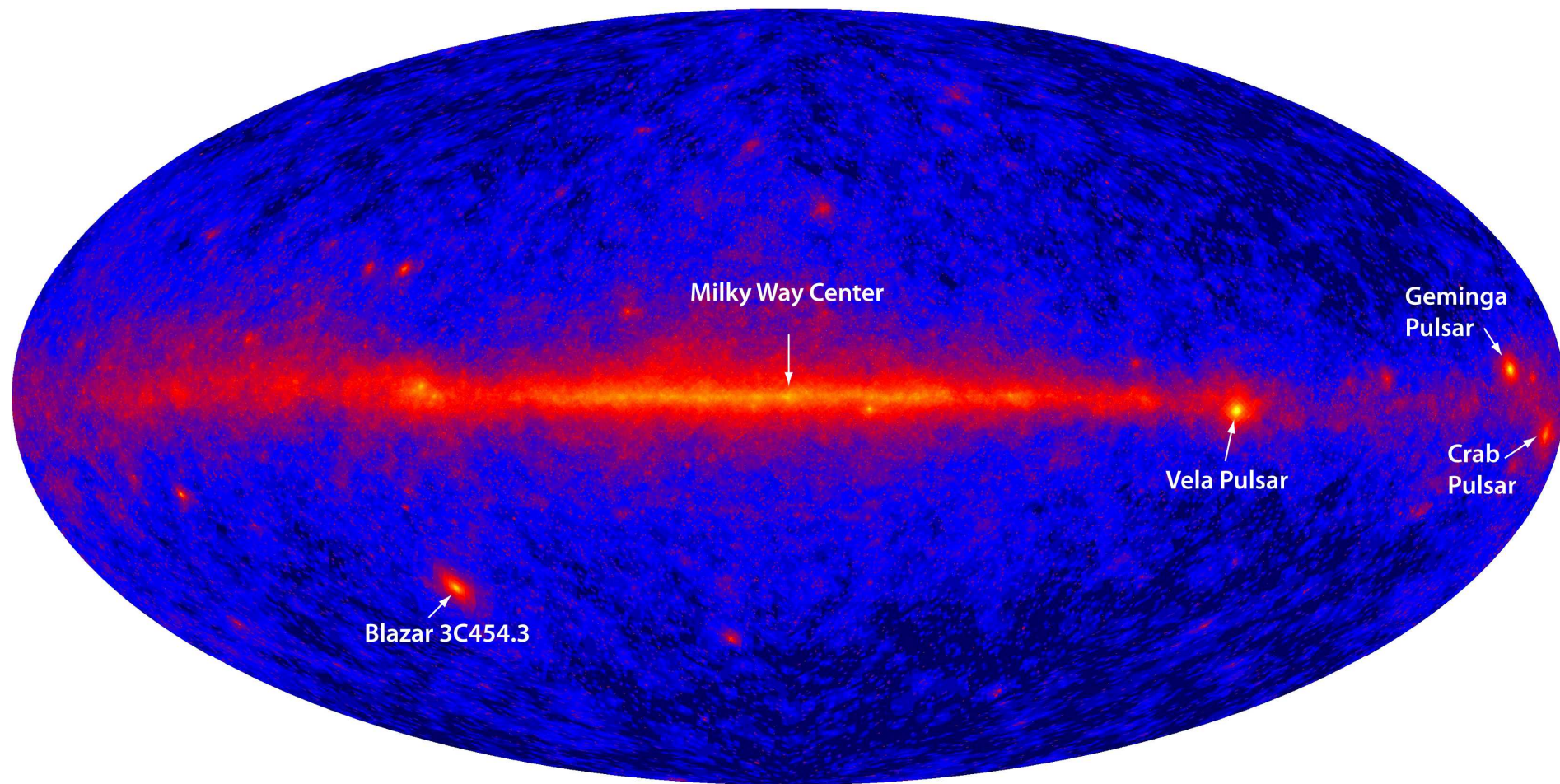
- » Солнце



Источники гамма-излучения (2/3)

- Галактика
 - » Остатки сверхновых
 - » Пульсары
 - » Новые звезды
 - » γ -двойные системы
 - » Межзвездная среда





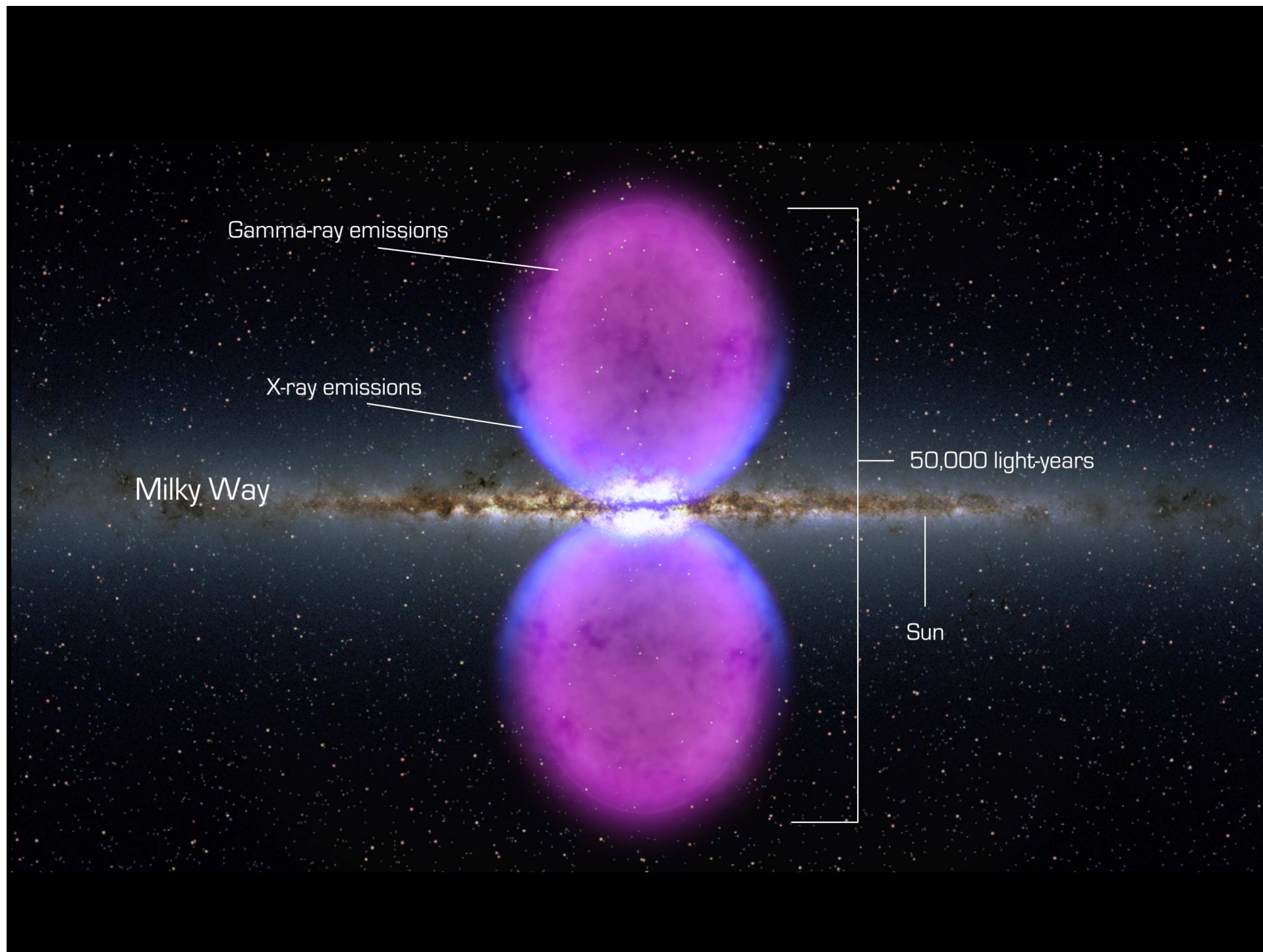
Milky Way Center

Geminga
Pulsar

Vela Pulsar

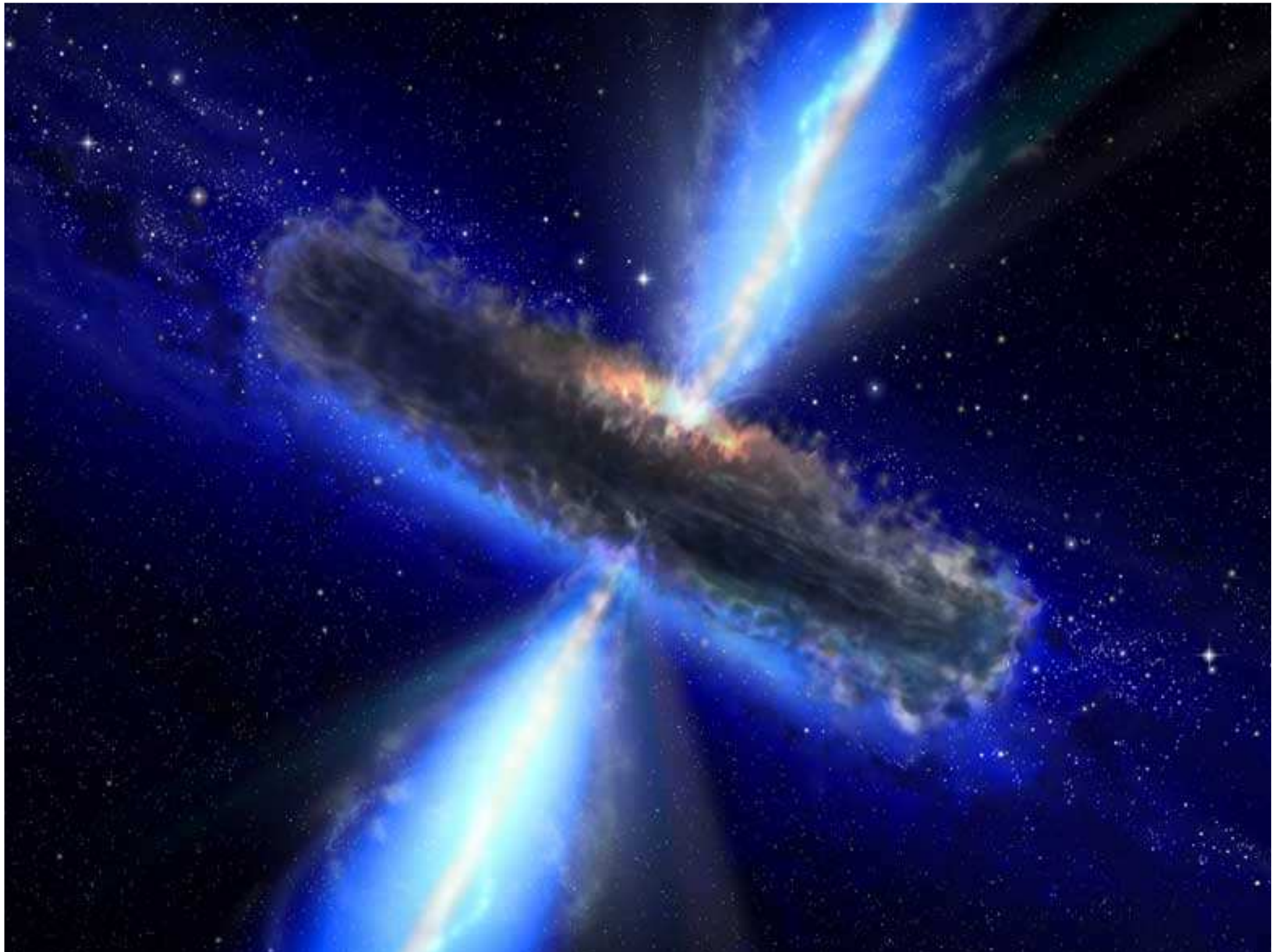
Crab
Pulsar

Blazar 3C454.3



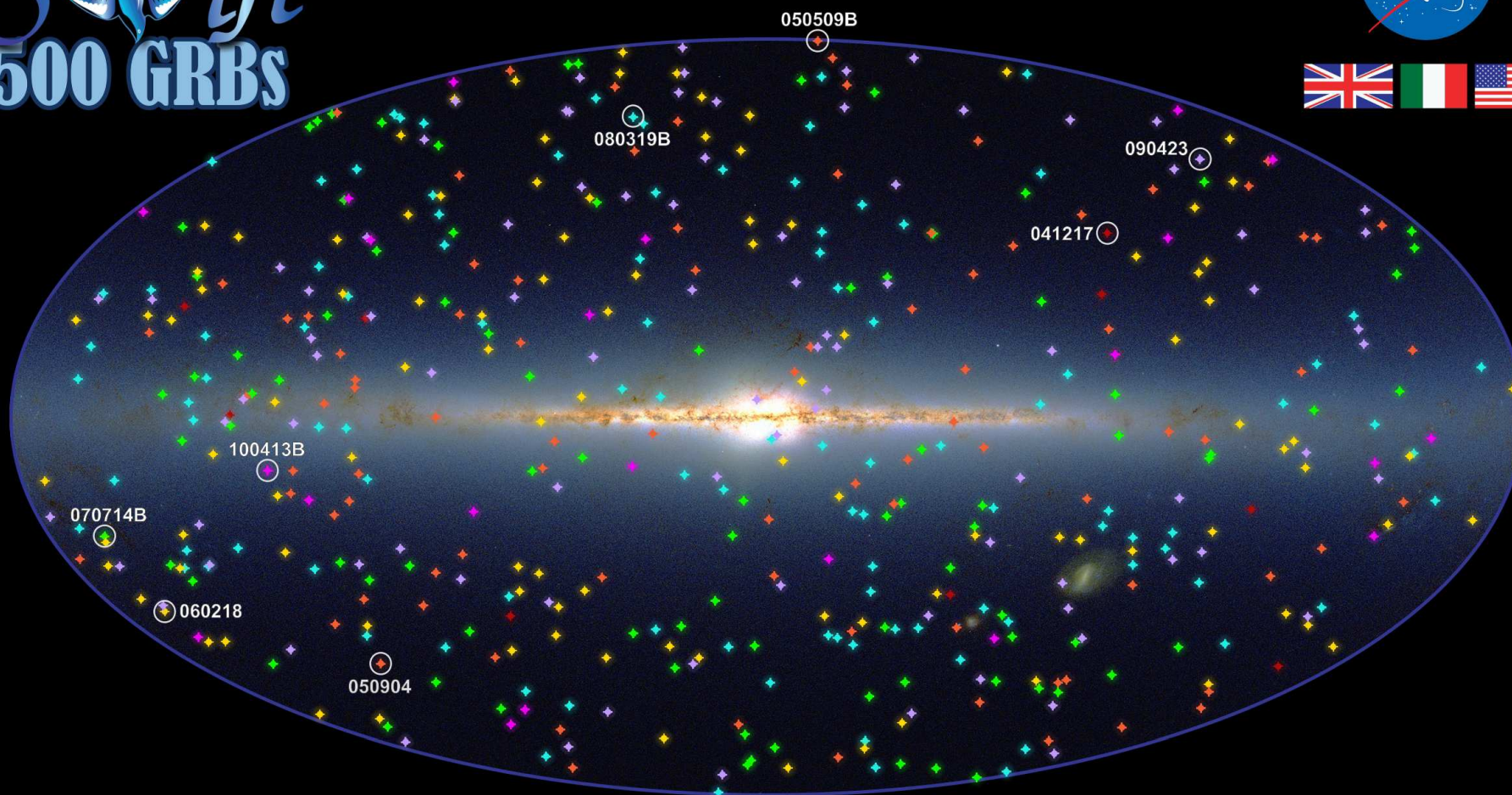
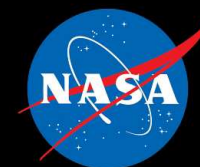
Источники гамма-излучения (3/3)

- За пределами Галактики
 - » Галактики с активным звездообразованием
 - » Активные ядра галактик (блазары)
 - » Гамма-всплески ($z_{\text{max}}=8.2$)





Swift 500 GRBs



2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010

www.nasa.gov/swift

Гамма-телескопы. Fermi

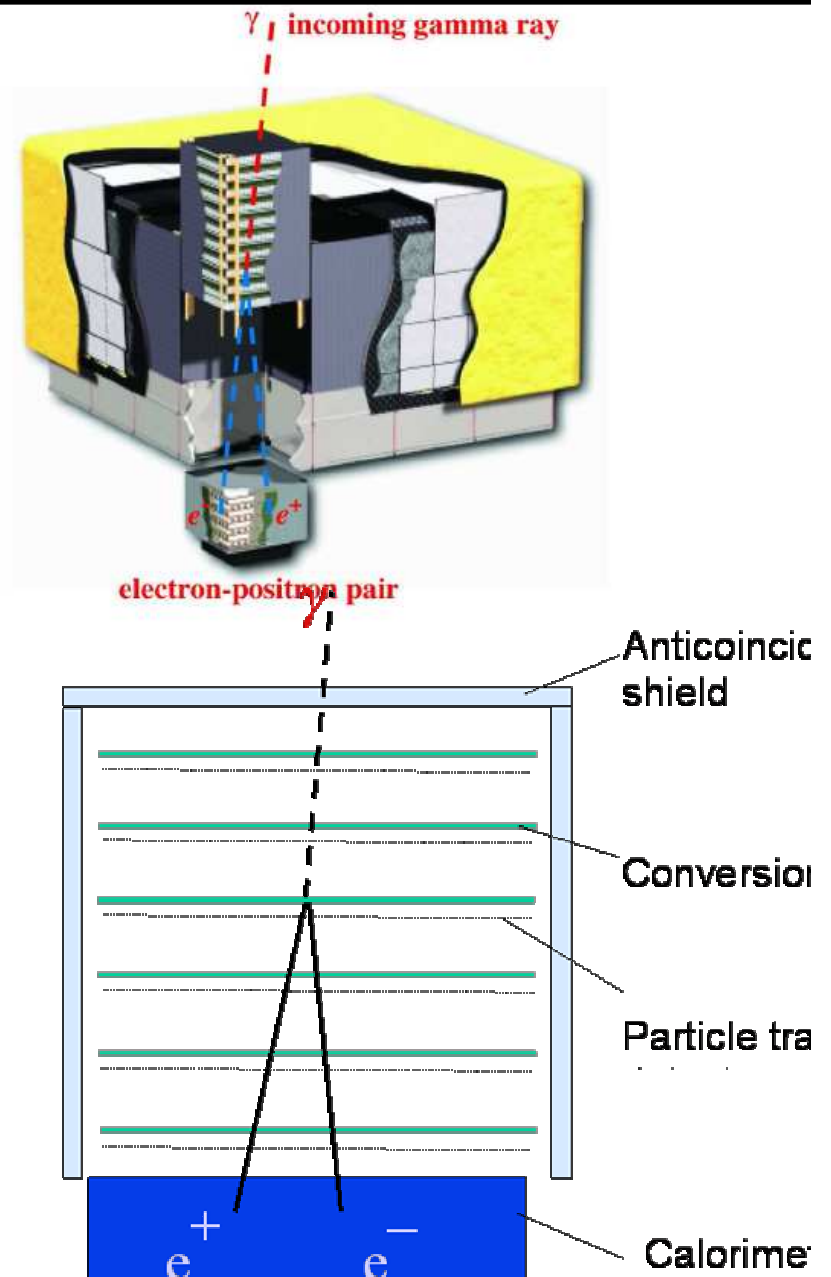
- Запущена 4 июня 2008
- Наблюдения начались 8 августа
- Данные в свободном доступе!
- Два инструмента—LAT, GBM
- Стоимость проекта: 500 M\$
- Дороже, чем LHC CMS
 - 12500 тонн vs 3 тонны.
 - космические эксперименты ОЧЕНЬ дороги

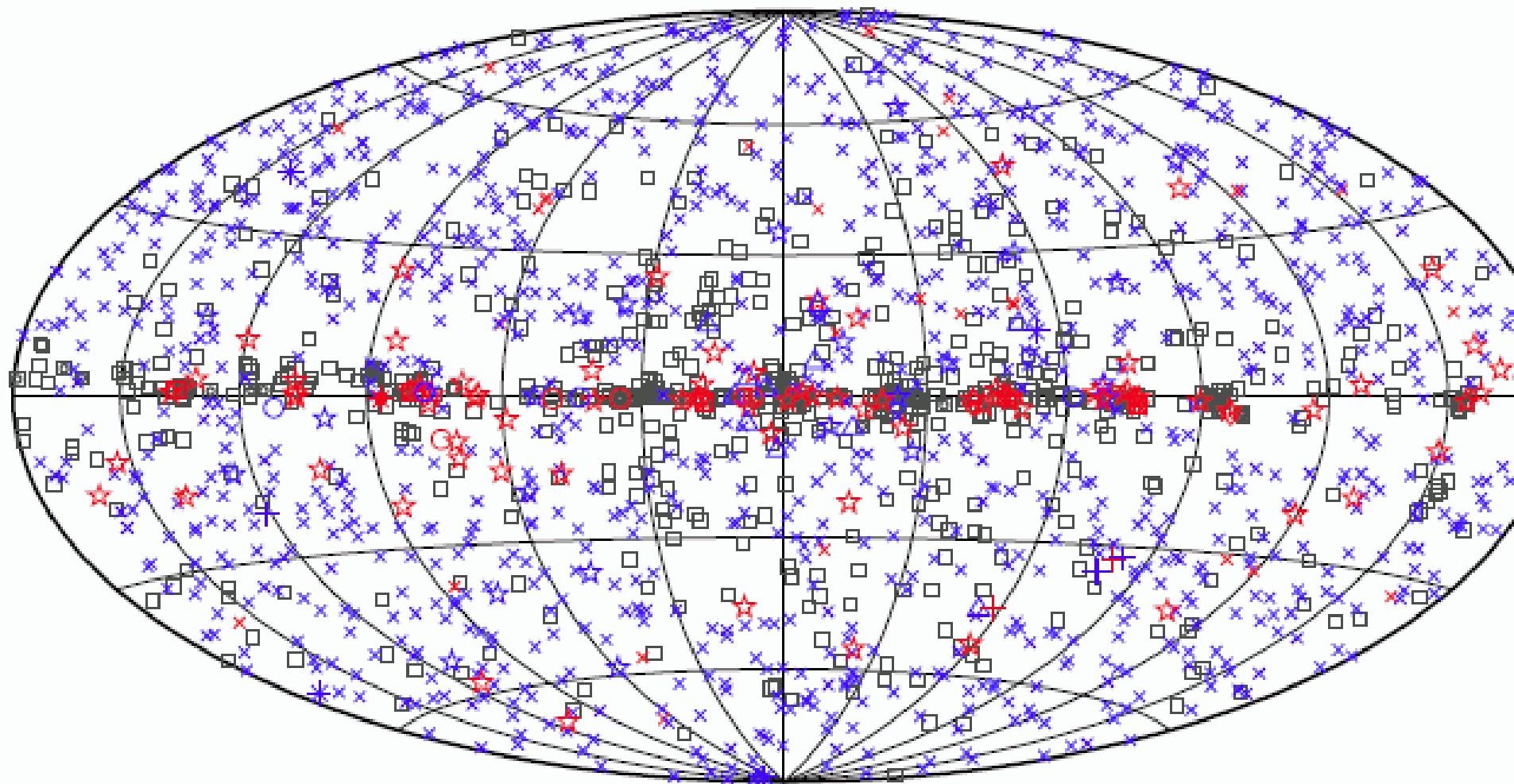




Гамма-телескопы. Fermi-LAT

- Детектор частиц на орбите
- 1.8x1.8x0.7 м
- Энергии: 50 МэВ-500 ГэВ
- Площадь: 0.8 м²
- Поле зрения: 2.4 ср (~1/6 небесной сферы)
- Обзор всего неба за 3 часа
- $>4 \cdot 10^8$ событий выше 100 МэВ





□ No association	▣ Possible association with SNR or PWN	
× AGN	☆ Pulsar	△ Globular cluster
* Starburst Gal	◇ PWN	▣ HMB
+ Galaxy	○ SNR	* Nova

Очень высокие энергии (>100 ГэВ)

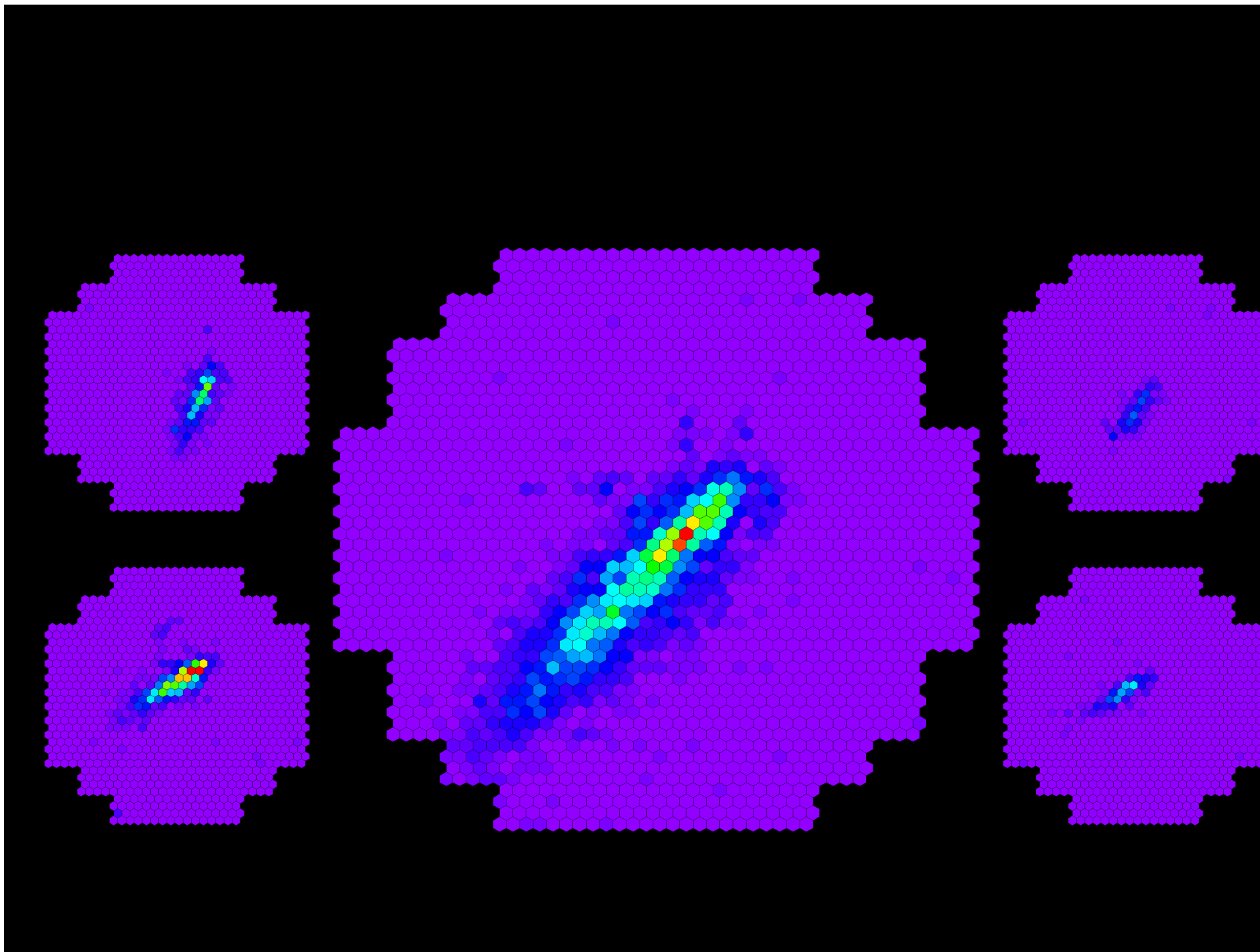
- Спектр источников резко падает – выше 100 ГэВ Ферми наблюдал примерно 15 000 событий, а выше ТэВ—несколько сотен
- Эффективной площади в $\sim \text{м}^2$ уже недостаточно
- Атмосфера, которая нам мешала раньше, теперь поможет – черенковские телескопы с эффективными площадями более 10^4 м^2

Очень высокие энергии (>100 ГэВ)

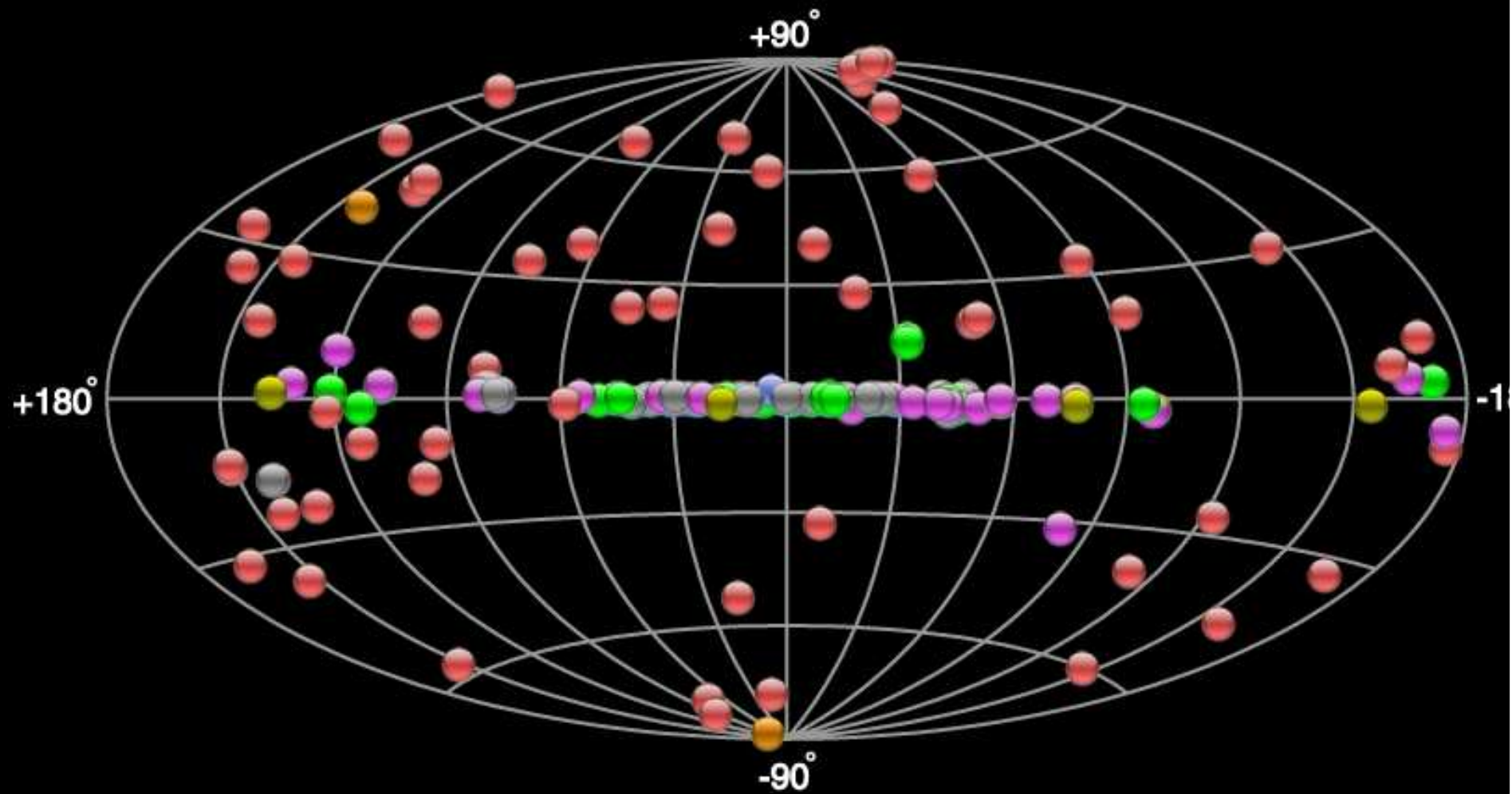
- Гамма-квант высокой энергии порождает в атмосфере ливень частиц
- Вторичные частицы будут излучать в узком конусе черенковское излучение
- Несколько телескопов будут засвечены одновременно – детектирование
- HESS, VERITAS, MAGIC--сейчас
- СТА—ближайшее будущее







Welcome to TeVCat!



Мультитэвные энергии

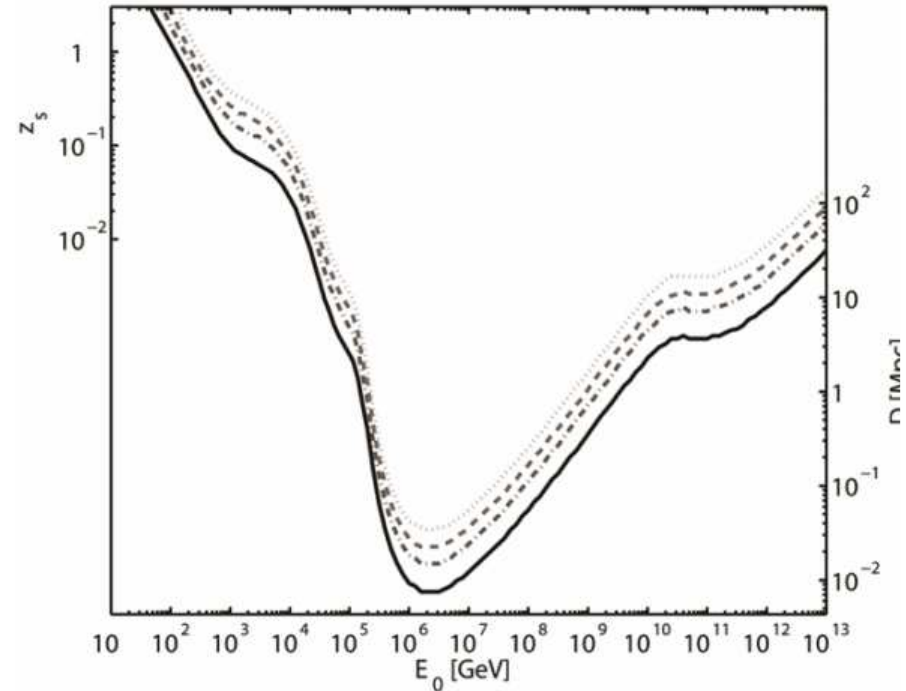
- Проблемы:

- Вымирание источников
- Маленький поток – даже 10 000 м² мало
- Вселенная перестает быть прозрачной

$$\gamma + \gamma_{\text{фон}} \rightarrow e^+ + e^-$$

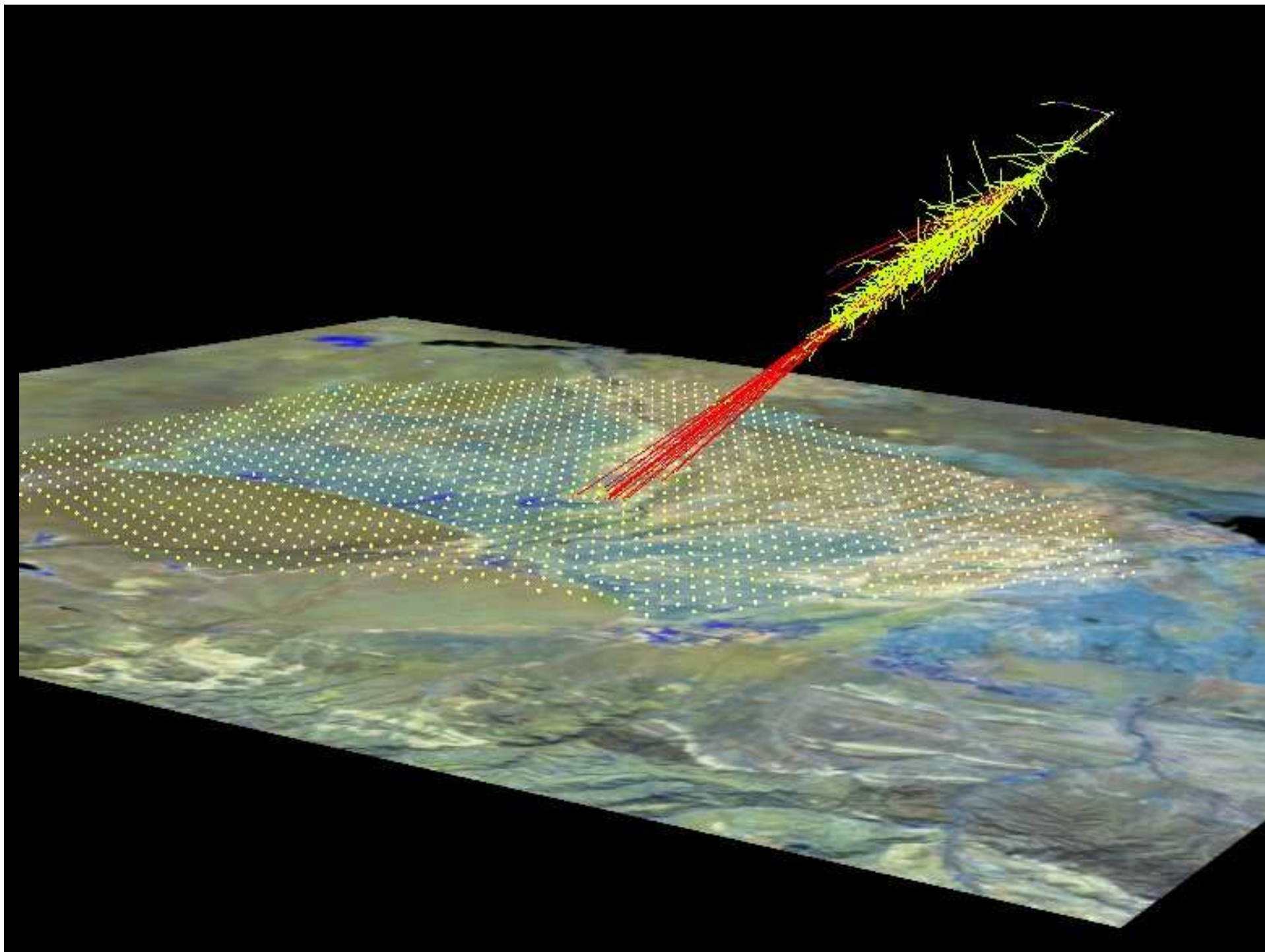
- Наблюдения (если):

- Близкий мощный источник
- Или «новая физика»
- Пока только намеки (ШАЛ МГУ, Фомин и др., 2014)



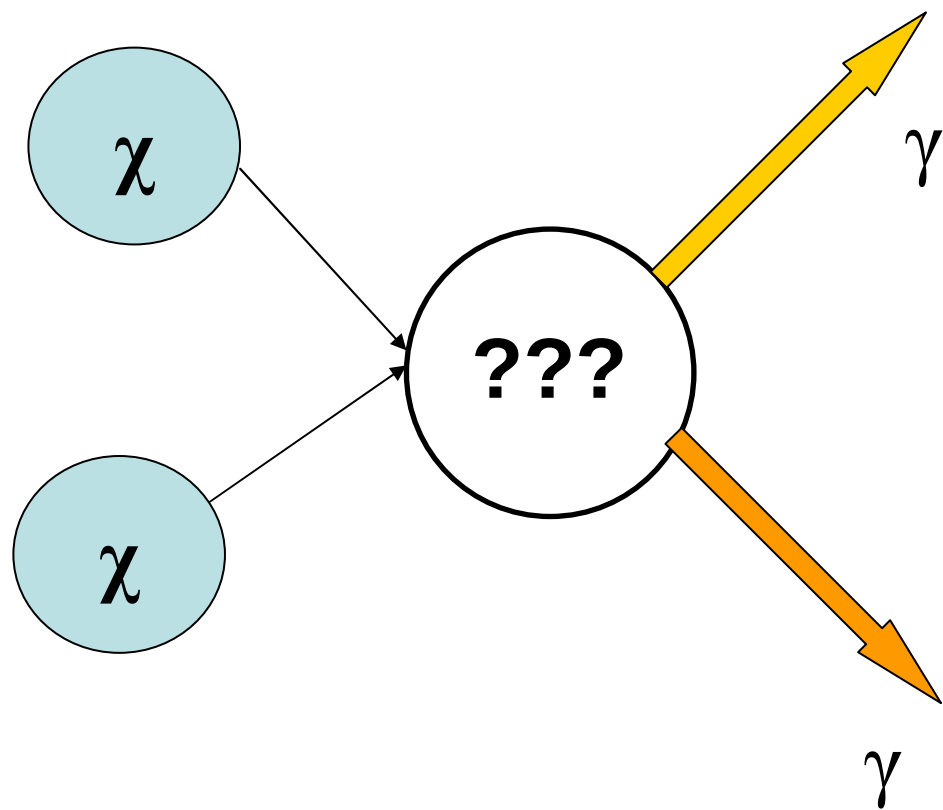
Самые высокие энергии, $>10^{18}$ эВ

- Поиск специфических ливней от фотонов этих энергий
- Установки размерами в тысячи км² (Pierre Auger, Telescope Array)
- Такие фотоны (скорее всего) -- «космогенные» -- рождаются при столкновениях протонов сверхвысоких энергий ($>5 \cdot 10^{19}$ эВ) с фотонами реликтового излучения (предел ГЗК)
- Пока только верхние ограничения

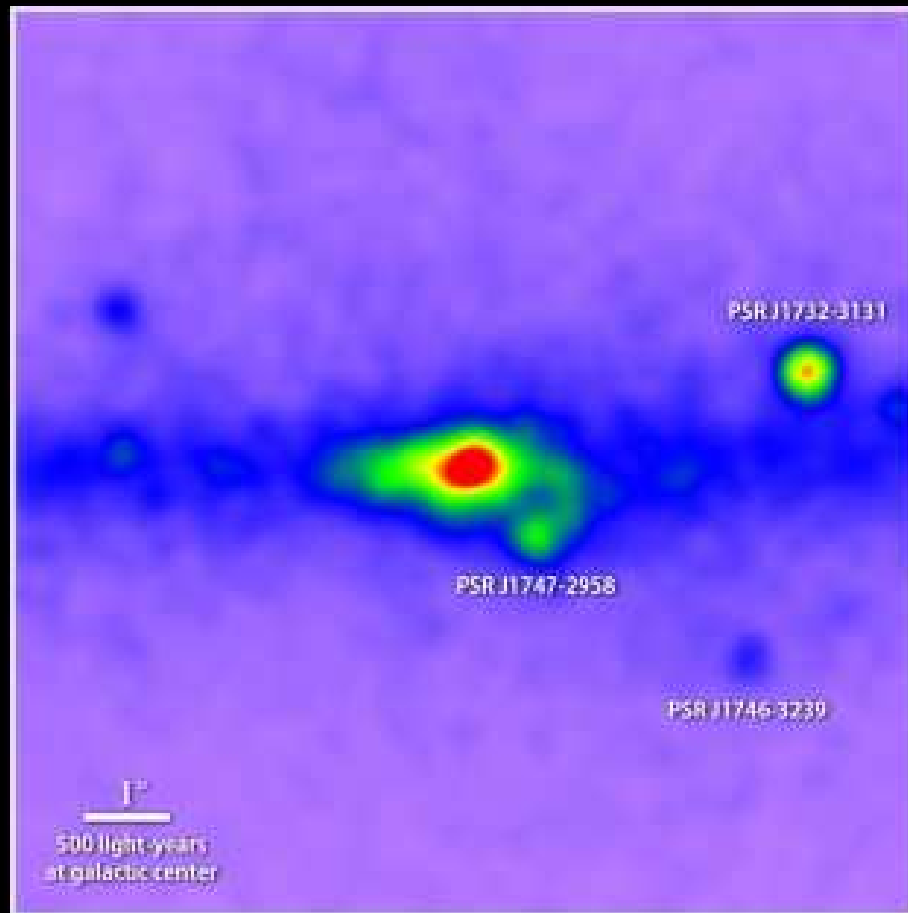


Поиск частиц темной материи

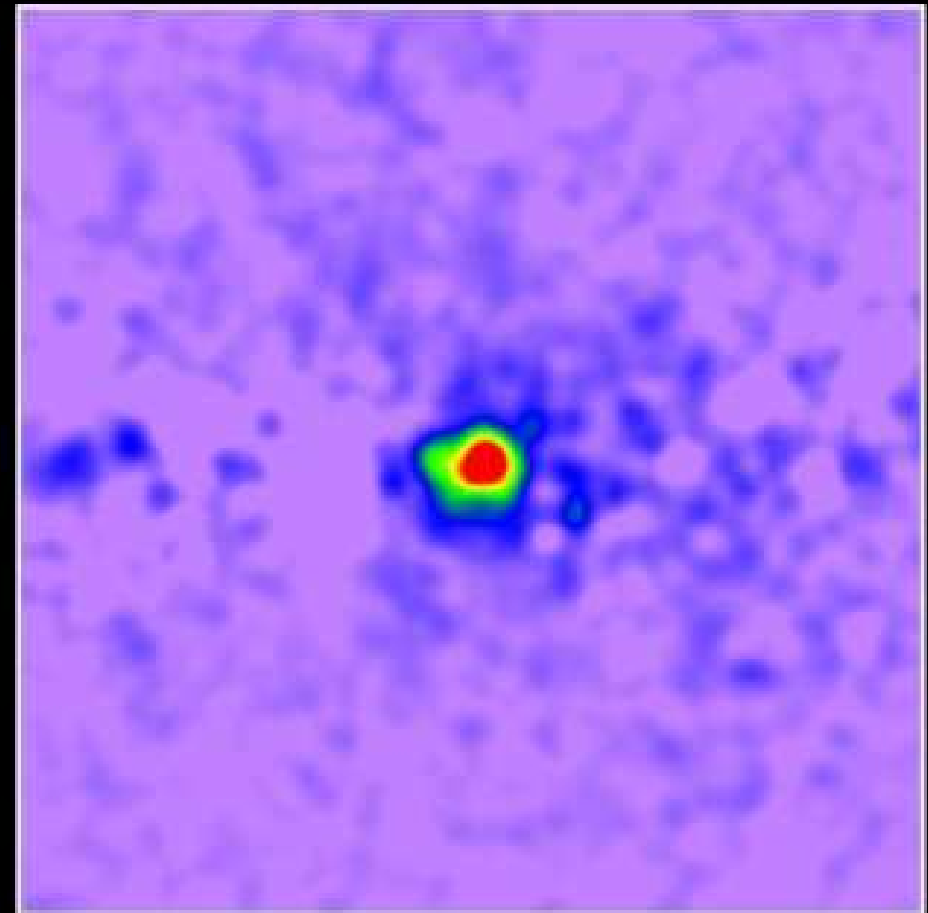
- Одним из наиболее популярных кандидатов являются частицы массой в ГэВ-ТэВ
- При самоаннигиляции они могут порождать в значительном количестве гамма-кванты соответствующих энергий
- Наблюдение избытка таких квантов или, ещё лучше, спектральной линии от аннигиляции будет астрофизическим обнаружением темной материи
- Пока была линия 130 ГэВ (не подтвердилась), сейчас изучается избыток от центра Галактики
- Поиски в направлениях на регионы с высокой концентрацией ТМ идут....



Uncovering a gamma-ray excess at the galactic center



Unprocessed map of 1.0 to 3.16 GeV gamma rays



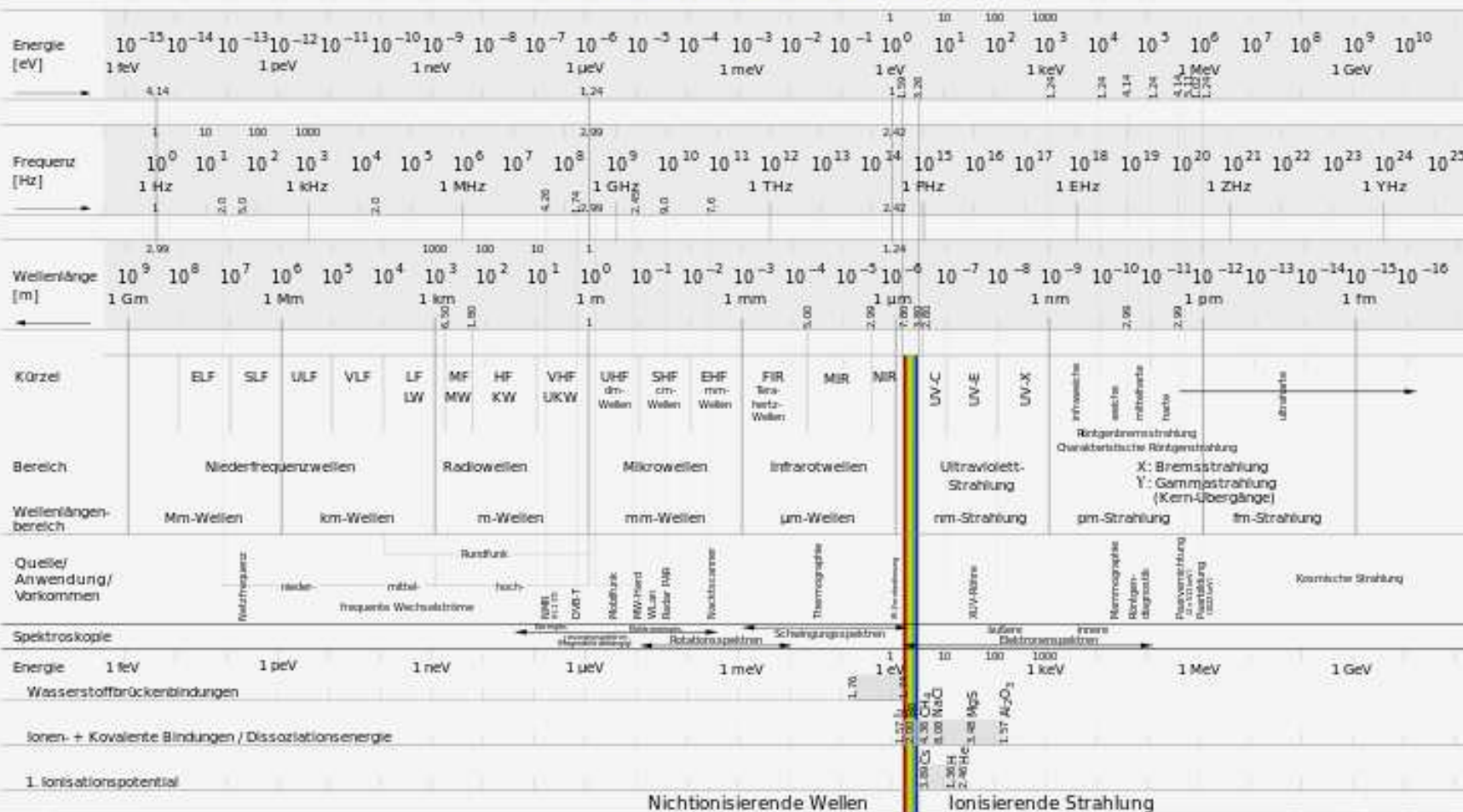
Known sources removed

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

Elektromagnetisches Spektrum

$$E = h \cdot f$$

$$\lambda \cdot f = c$$



E: Energie
f: Frequenz
 λ : Wellenlänge

Konstanten:
 $c = 2,99 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$
 $h = 4,14 \cdot 10^{-15} eVs$

SI-Präfixe:

10^{24}	Yotta
10^{21}	Zetta
10^{18}	Exa
10^{15}	Peta
10^{12}	Tera
10^9	Giga
10^6	Mega
10^3	Kilo
10^2	Hekto
10^1	Deka
10^0	1
10^{-1}	Dezi
10^{-2}	Centi
10^{-3}	Milli
10^{-6}	Mikro
10^{-9}	Nano
10^{-12}	Piko
10^{-15}	Femto
10^{-18}	Atto
10^{-21}	Zepto
10^{-24}	Yokto

ELF - Extremely low freq.
SLF - Super low freq.
ULF - Ultra low freq.
VLF - Very low freq.
LF - Low freq.
MF - Medium freq.
HF - High freq.
VHF - Very high freq.
UHF - Ultra high freq.
SHF - Super high freq.
EHF - Extremely high freq.
FIR - Far infrared
MIR - Mid infrared
NIR - Near infrared

