

Релятивистская астрофизика / гамма-астрономия

Пальшин Валентин Дмитриевич

доцент кафедры Космические Исследования СПбПУ

снс лаб. Экспериментальной астрофизики ФТИ

e-mail: val@mail.ioffe.ru

<http://www.ioffe.ru/LEA/val/Lectures2015/>

Предварительные темы лекций

14 лекций – 11 тем

- Тема 1. Небо в гамма-лучах
- Тема 2. Механизмы генерации гамма-излучения.
- Тема 3. Взаимодействие гамма-излучения с веществом, распространение гамма-излучения.
- Тема 4. Детектирование гамма-излучения. Гамма-телескопы.
- Тема 5. Гамма-излучение Солнца.
- Тема 6. Дискретные галактические источники гамма-излучения.
- Тема 7. Диффузный галактический фон гамма-излучения.
- Тема 8. Дискретные внегалактические источники гамма-излучения.
- Тема 9. Диффузный внегалактический фон гамма-излучения.
- Тема 10. Космические гамма-всплески.
- Тема 11. Гамма-астрономия и фундаментальные физические проблемы.

Литература

- Volker Schönfelder: The Universe in Gamma Rays. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика: Доп. главы. – М.: Наука, 1975.
- Хилльер Р. Гамма-астрономия. М.: Мир, 1987.

Экзамен

Лекция (14) – 2 балла (максимум 28 баллов)

Домашнее задание (5) – 15 баллов (максимум 75 баллов)

Содержание экзамена в зависимости от количества набранных баллов:

≥ 75 баллов - вопросы по решенной задаче

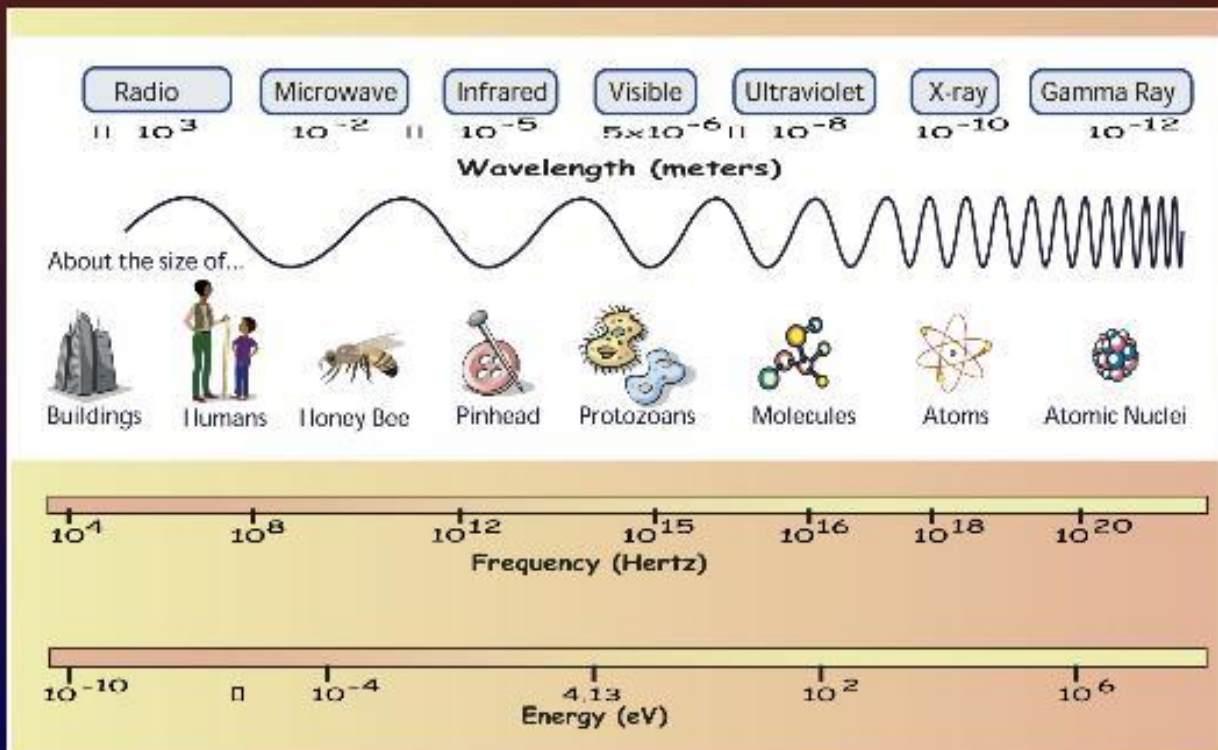
≥ 60 , но < 75 - один вопрос

≥ 45 , но < 60 - один вопрос и задача (если большинство домашних задач было решено, то решенная задача)

< 45 - стандартный экзамен: два вопроса и задача

Paul Ulrich Villard 1900 (названы в 1903 Эрнстом Резерфордом)

What are X- & Gamma rays?



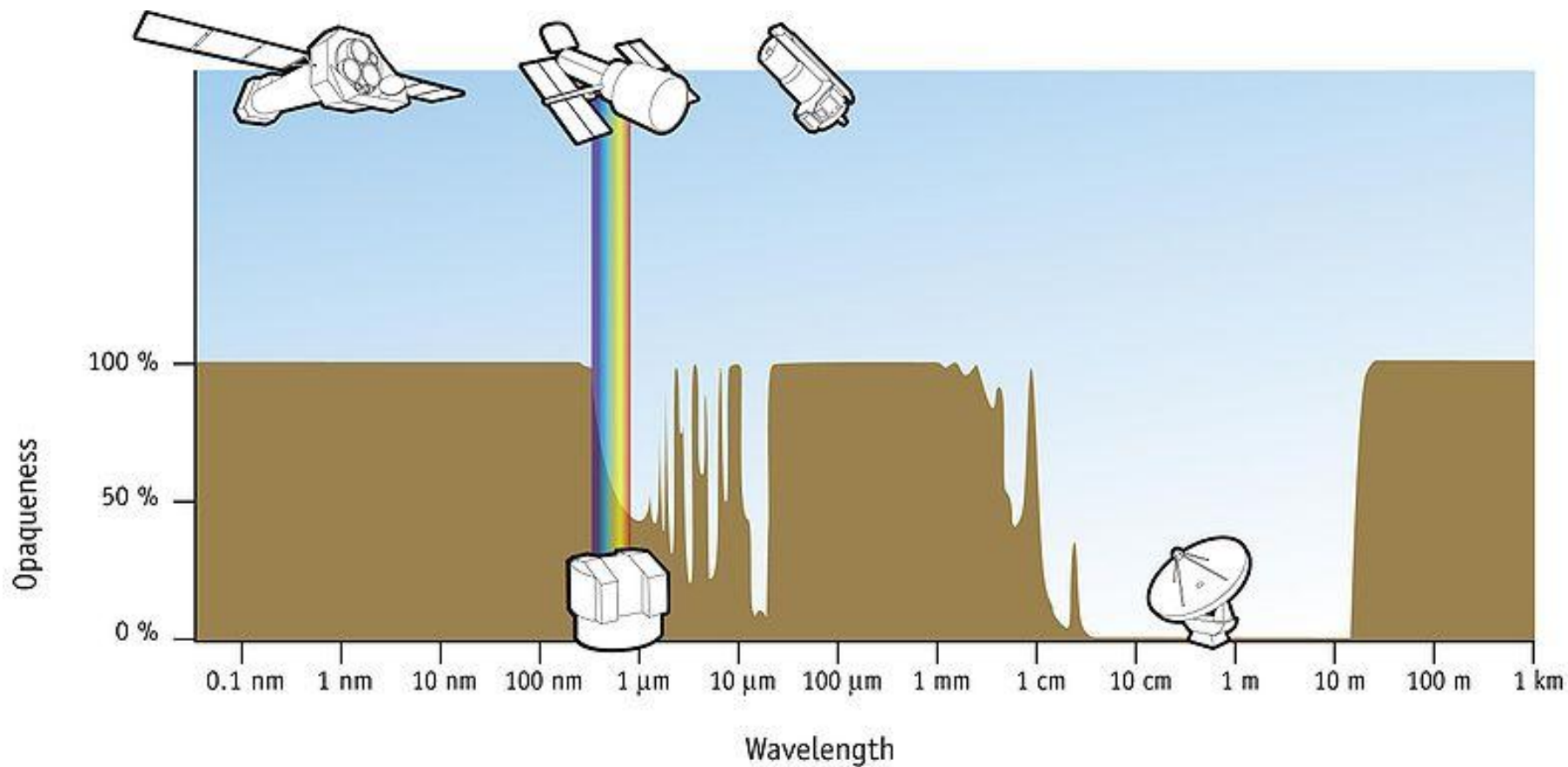
Гамма-излучение

$$E \geq 100 \text{ кэВ} \quad \nu \geq 2 \times 10^{19} \text{ Гц} \quad \lambda \leq 10^{-9} \text{ см}$$

$$(1 \text{ кэВ} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ эрг}; 1 \text{ кэВ} \rightarrow 2.4 \times 10^{17} \text{ Гц} \rightarrow 1.2 \times 10^{-7} \text{ см})$$

	E (эВ)	ν (Гц)	λ (см)	T (K) ($kT=E$)
Мягкое	$10^5 - 10^7$ (100 кэВ- 10 МэВ)	$2 \times (10^{19} - 10^{21})$	$10^{-9} - 10^{-11}$	$10^9 - 10^{11}$
Жесткое	$10^7 - 10^{11}$ (10 МэВ- 100 ГэВ)	$2 \times (10^{21} - 10^{25})$	$10^{-11} - 10^{-15}$	$10^{11} - 10^{15}$
Очень высоких энергий	$10^{11} - 10^{14}$ (100 ГэВ – 100 ТэВ)	$2 \times (10^{25} - 10^{28})$	$10^{-15} - 10^{-18}$	$10^{15} - 10^{18}$
Сверхвысоких энергий	$>10^{14}$ (> 100 ТэВ)	$>2 \times 10^{28}$	$<10^{-18}$	$>10^{18}$

Непрозрачность земной атмосферы



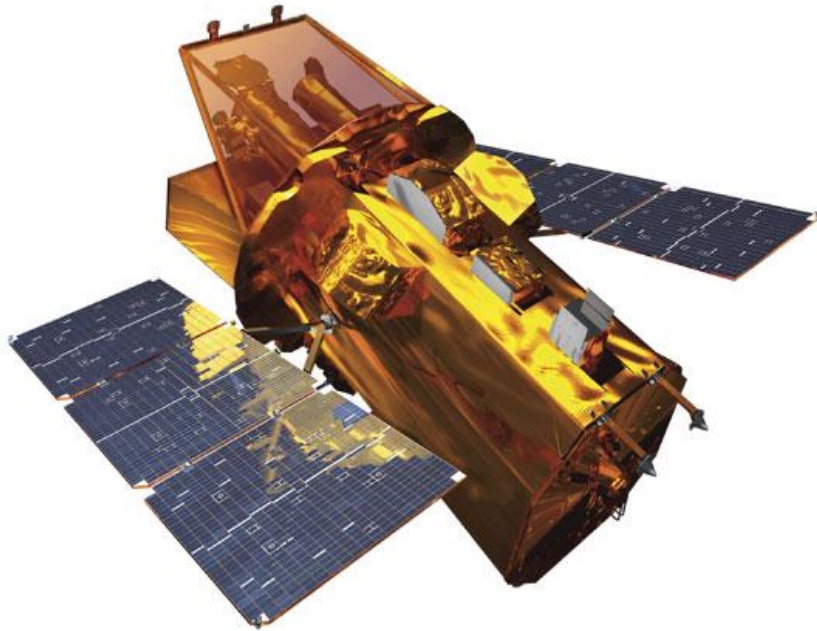
История

- 40-ые, 50-ые – эксперименты на воздушных шарах и ракетах
- Explorer 11 (1961), OSO-III (1968) – жесткое гамма-излучение (> 100 МэВ) из космоса
- Vela (1967) – открытие гамма-всплесков (опубликовано в 1973)
- ERS-17 (1967) – гамма-излучения солнечных вспышек
- 60-70ые – диффузный фон гамма-излучения (100 кэВ – 30 МэВ)
- OSO-VII (1972) – гамма-линии в солнечных вспышках (511 кэВ, 2.223 МэВ, 4.4 МэВ, 6.1 МэВ)

История

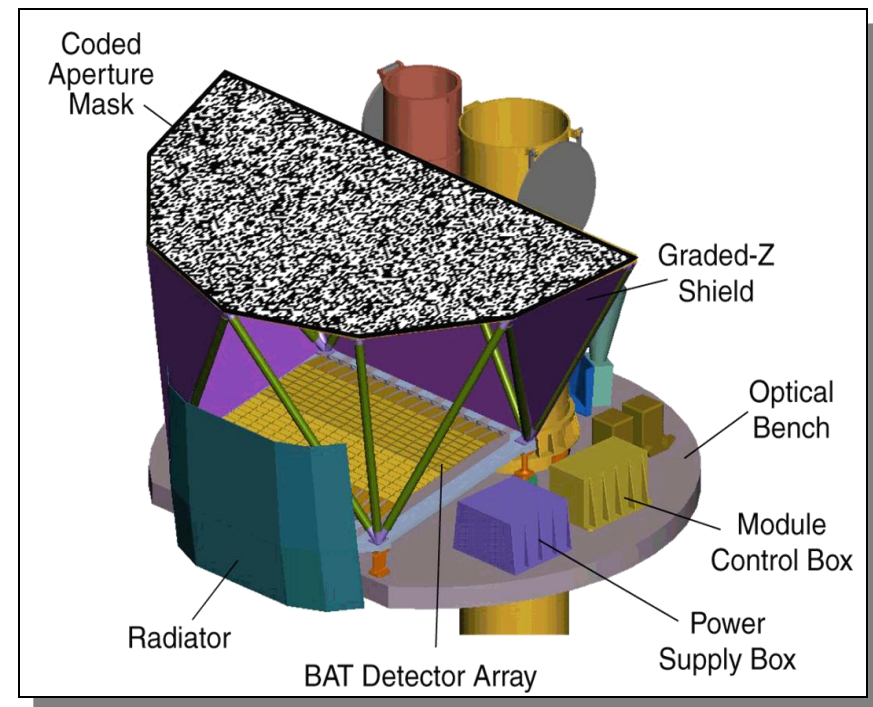
- COS-B (1975) – первая карта Галактики (>70 МэВ), первый каталог источников – 25 (Краб, Вела, Геминга; только один внегалактический – 3C 273)
- Венера 11-12 (1979) – открытие мягких гамма-репитеров (эксперимент ФТИ)
- HEAO-3 (1979) – линия 1.809 МэВ от ^{26}Al в направлении на центр Галактики, измерения профиля аннигиляционной линии 511 кэВ
- SMM (1981-1990) – линии радиоактивного распада ^{56}Co в SN 1987A в БМО
- CGRO (1991-2000) – первые карты неба в диапазоне 1-30 МэВ (COMPTEL: 32 источника) и >100 МэВ (EGRET: 273 источника, - 186 неидентифицированных!); изотропное распределение >2000 гамма-всплесков (BATSE)

Swift-BAT (2004-)



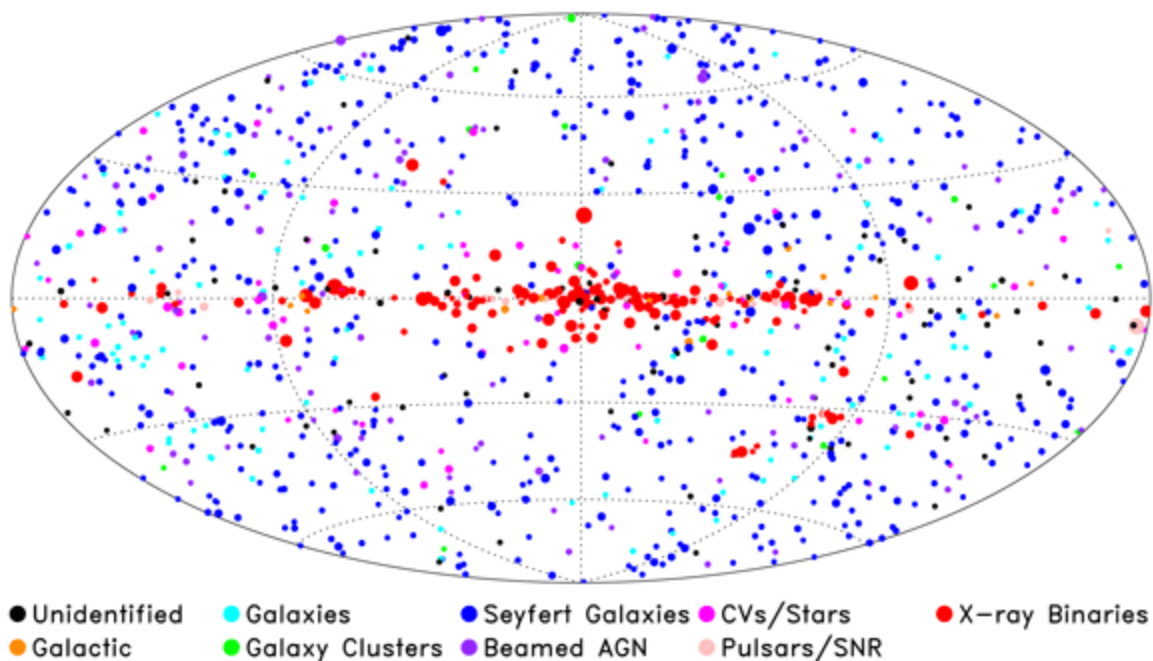
E: 15-150 кэВ
Ang.res: 1-4'
FoV: 1.4 стерадиан
En.res: 7 кэВ
Seff = 5240 см²

BAT = Burst Alert Telescope



32,768 pieces of CdZnTe (4×4×2 mm)

Обзор неба за 70 месяцев (диапазон 15-150 кэВ)



Class	Source Type	# in Catalog
0	Unknown	65
1	Galactic	23
2	Galaxy	111
3	Galaxy Cluster	19
4	Seyfert I (Sy 1.0-1.5)	292
5	Seyfert II (Sy 1.7-2.0)	261
6	Other AGN	23
7	Blazar/Bl Lac	49
8	QSO	86
9	Cataclysmic Variable Star (CV)	55
10	Pulsar	20
11	Supernova Remnant (SNR)	6
12	Star	14
13	High Mass X-ray Binary (HMXB)	85
14	Low Mass X-ray Binary (LMXB)	84
15	Other X-ray Binary (XRB)	17
	Total	1210

Fermi-LAT (2008-)

LAT = Large Area Telescope

E: 20 МэВ - 300 ГэВ

Ang.res: 1-2 град.

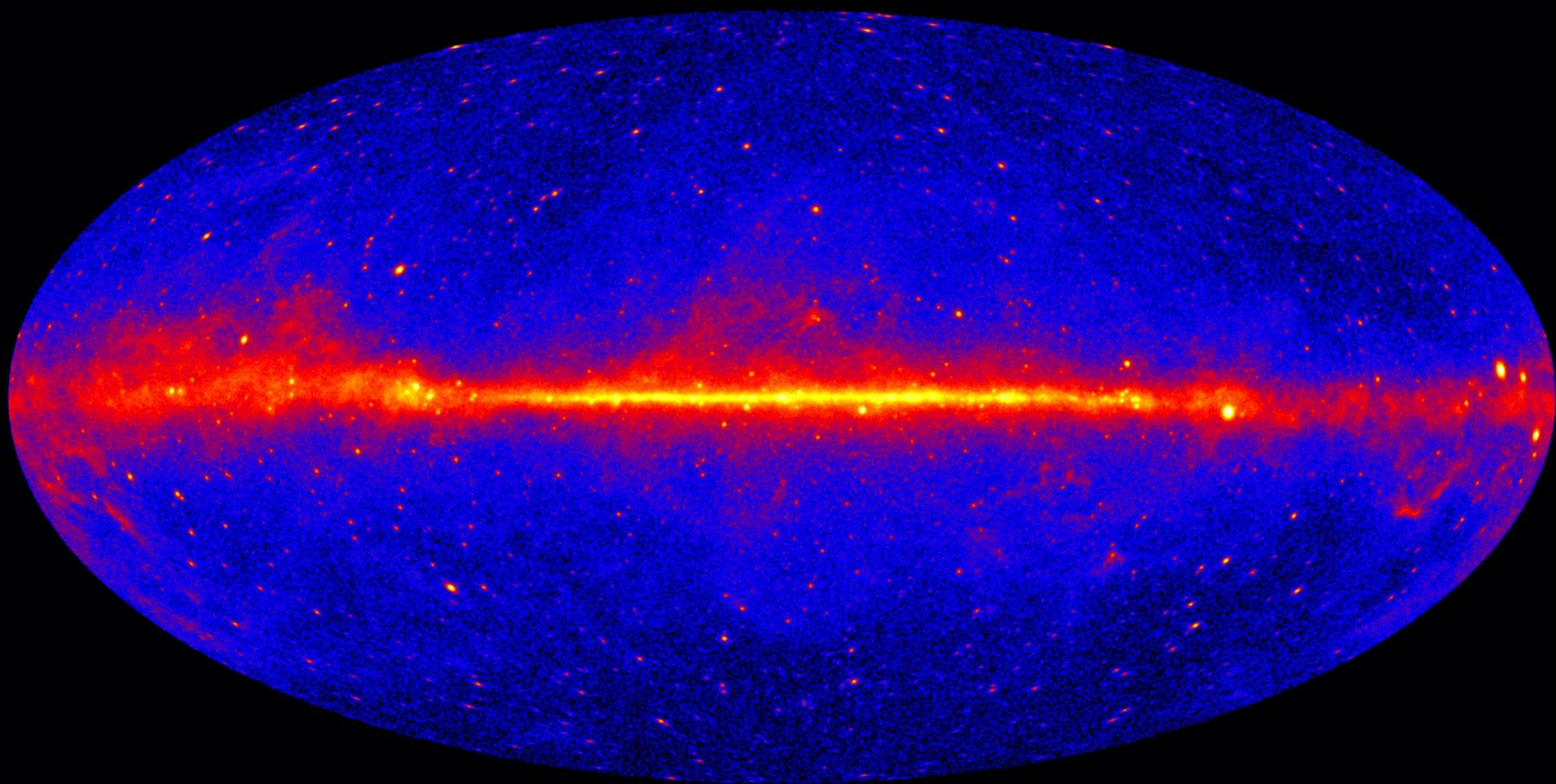
FoV: 2.4 стерадиан (~20% всего неба)

Seff = 9500 см²



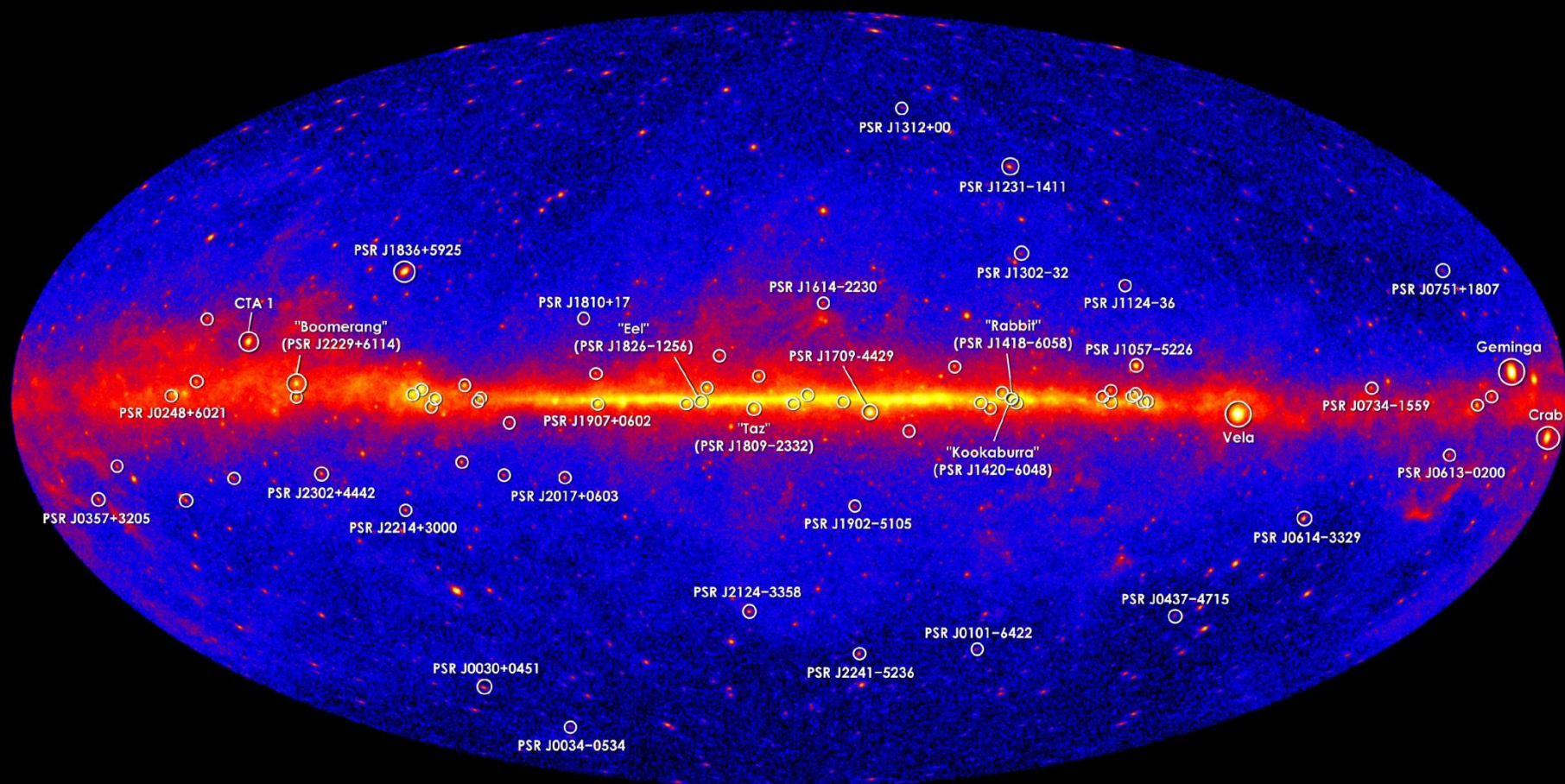
Fermi-LAT (2008-)

Обзор неба за 5 лет (> 1 ГэВ)



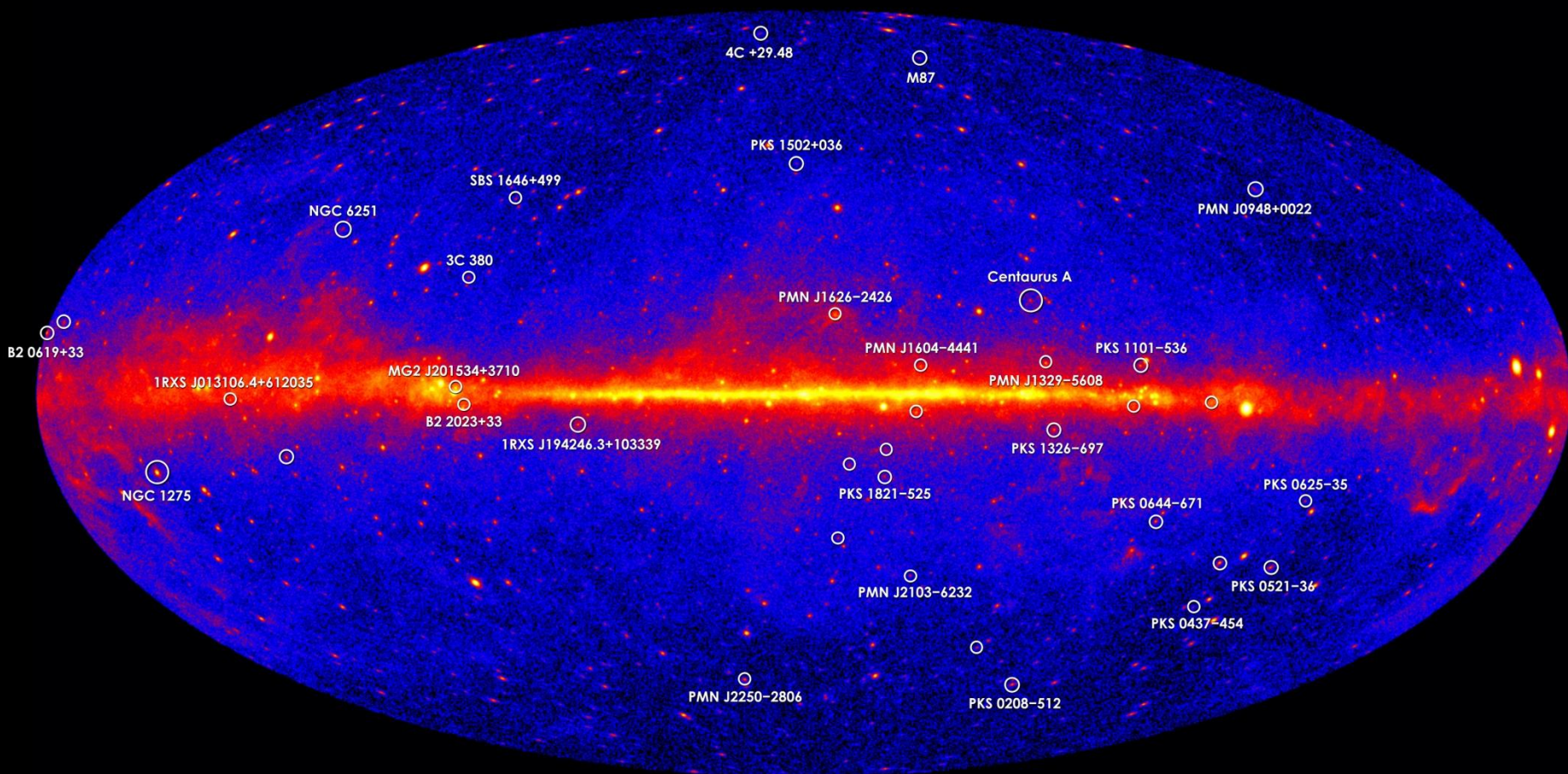
Fermi-LAT (2008-)

Пульсары (117)



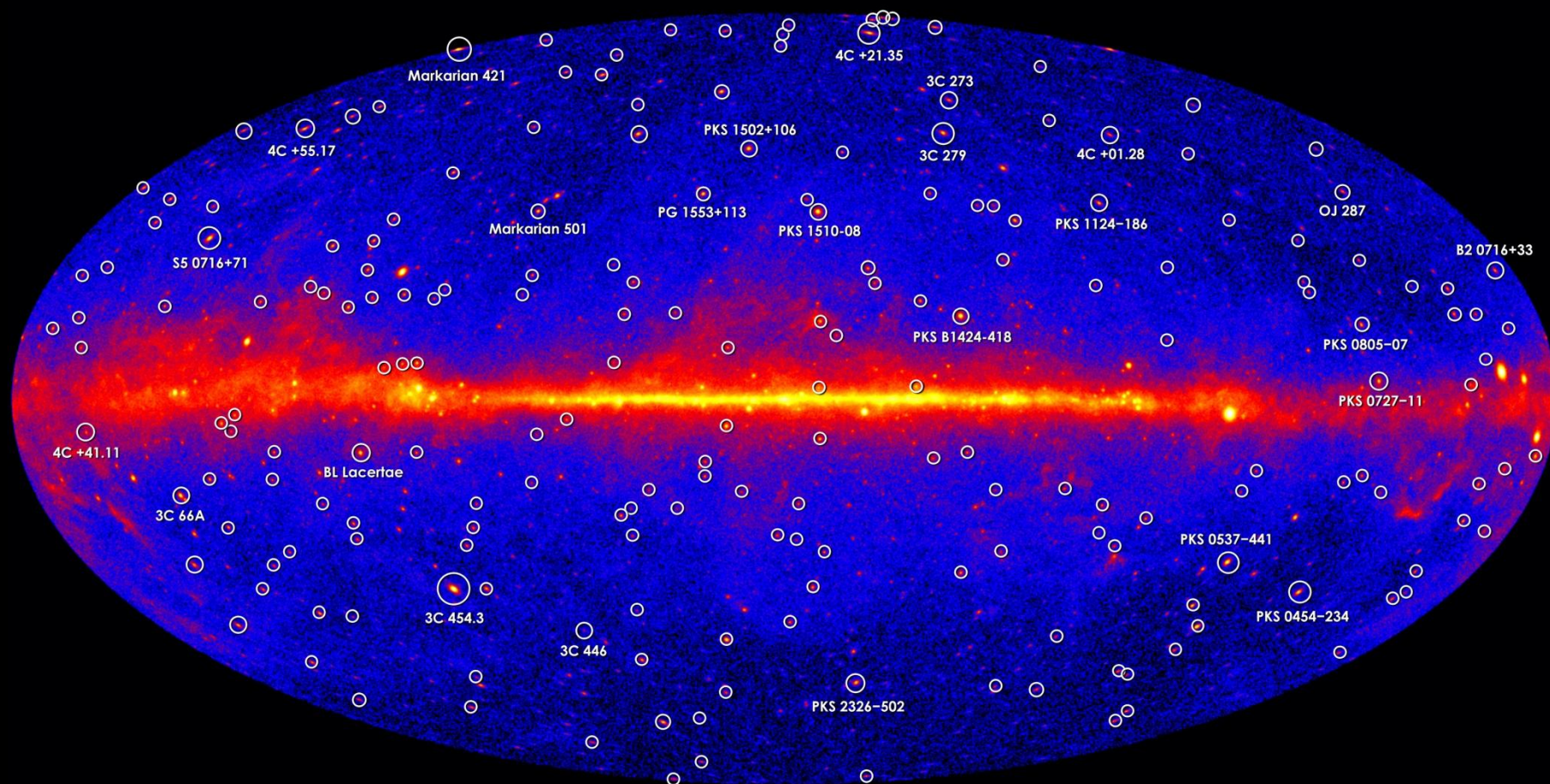
Fermi-LAT (2008-)

Активные ядра галактик (AGNs)



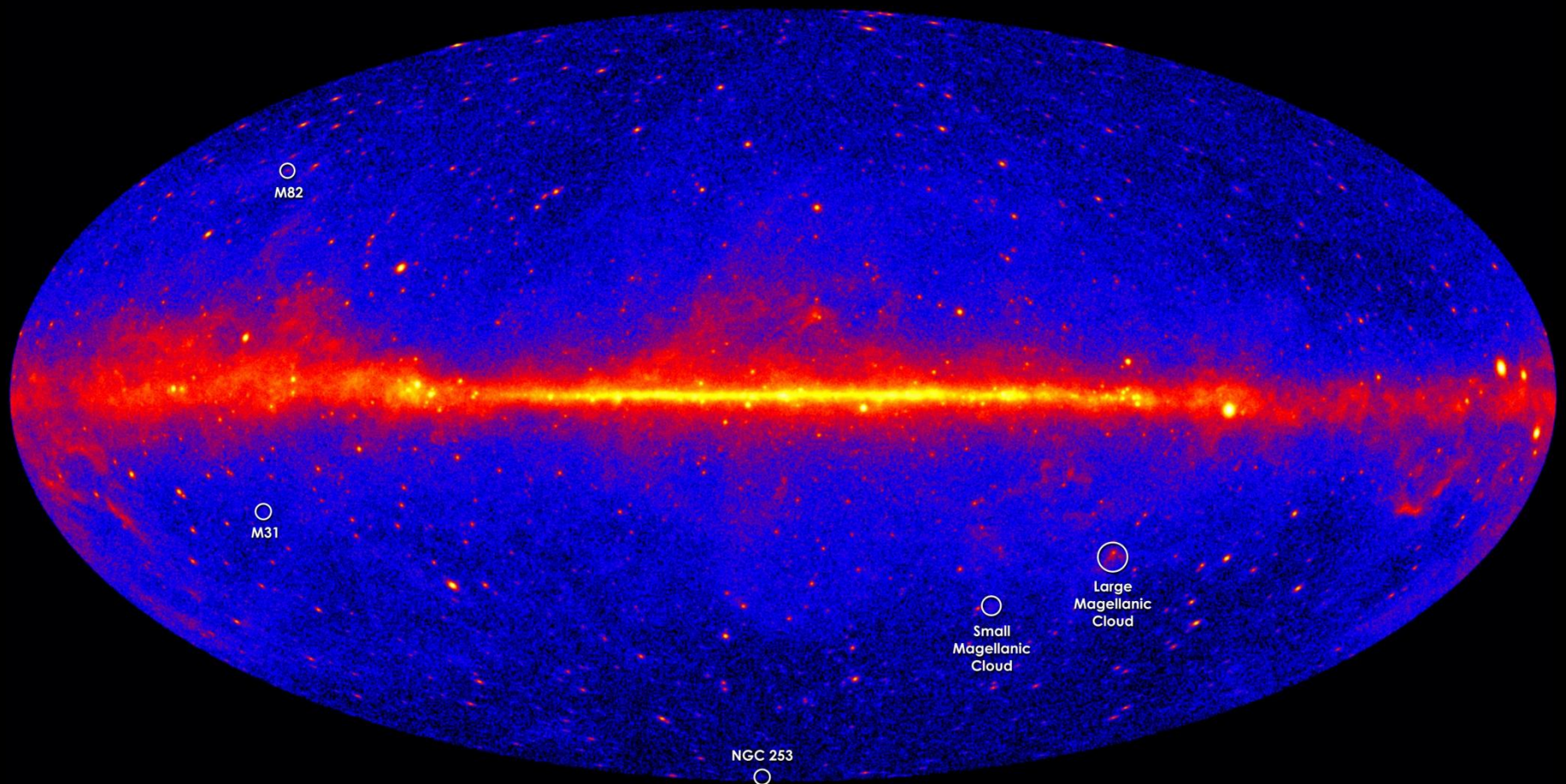
Fermi-LAT (2008-)

Блазары (57% всех источников)



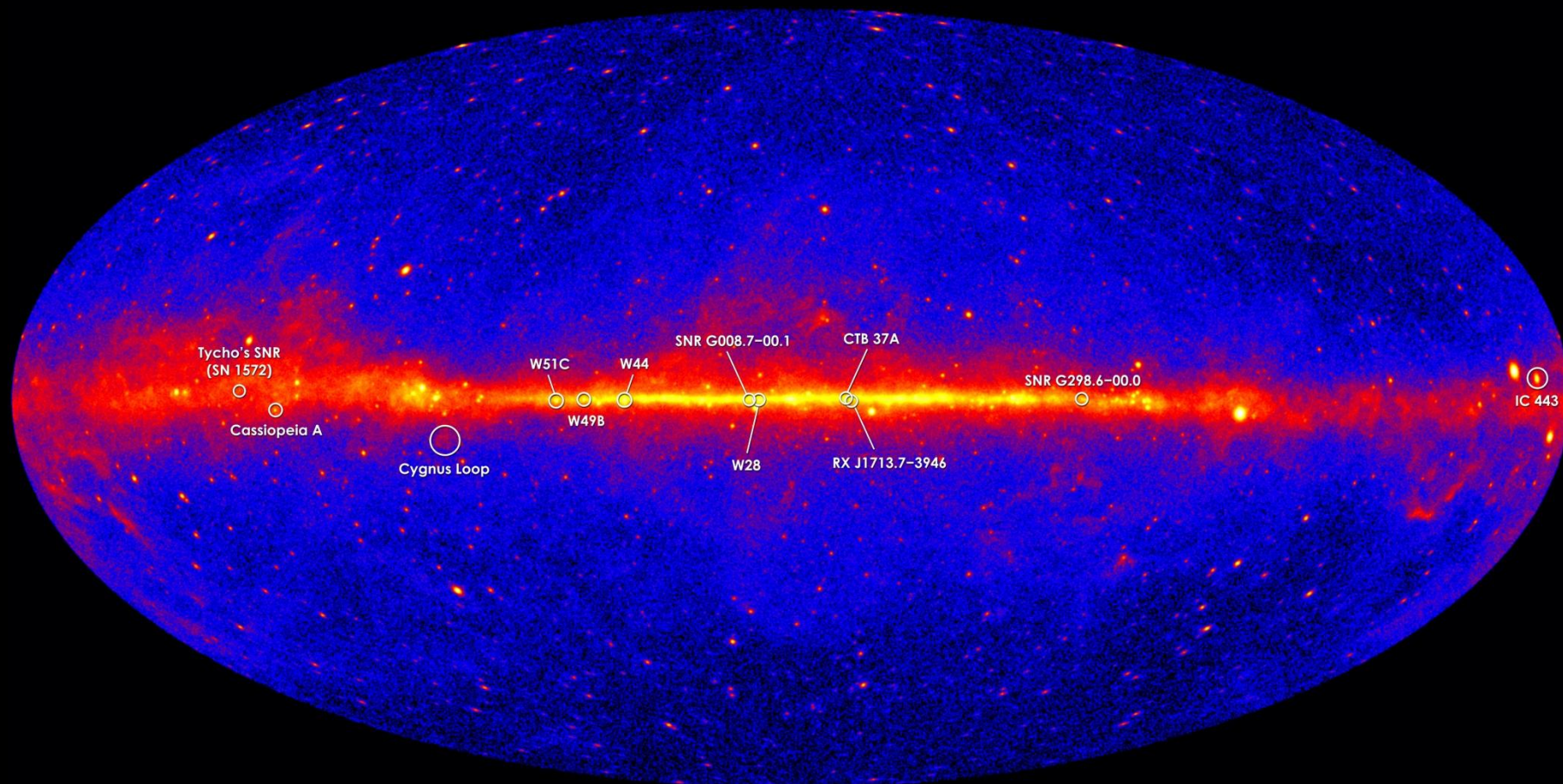
Fermi-LAT (2008-)

Нормальные галактики



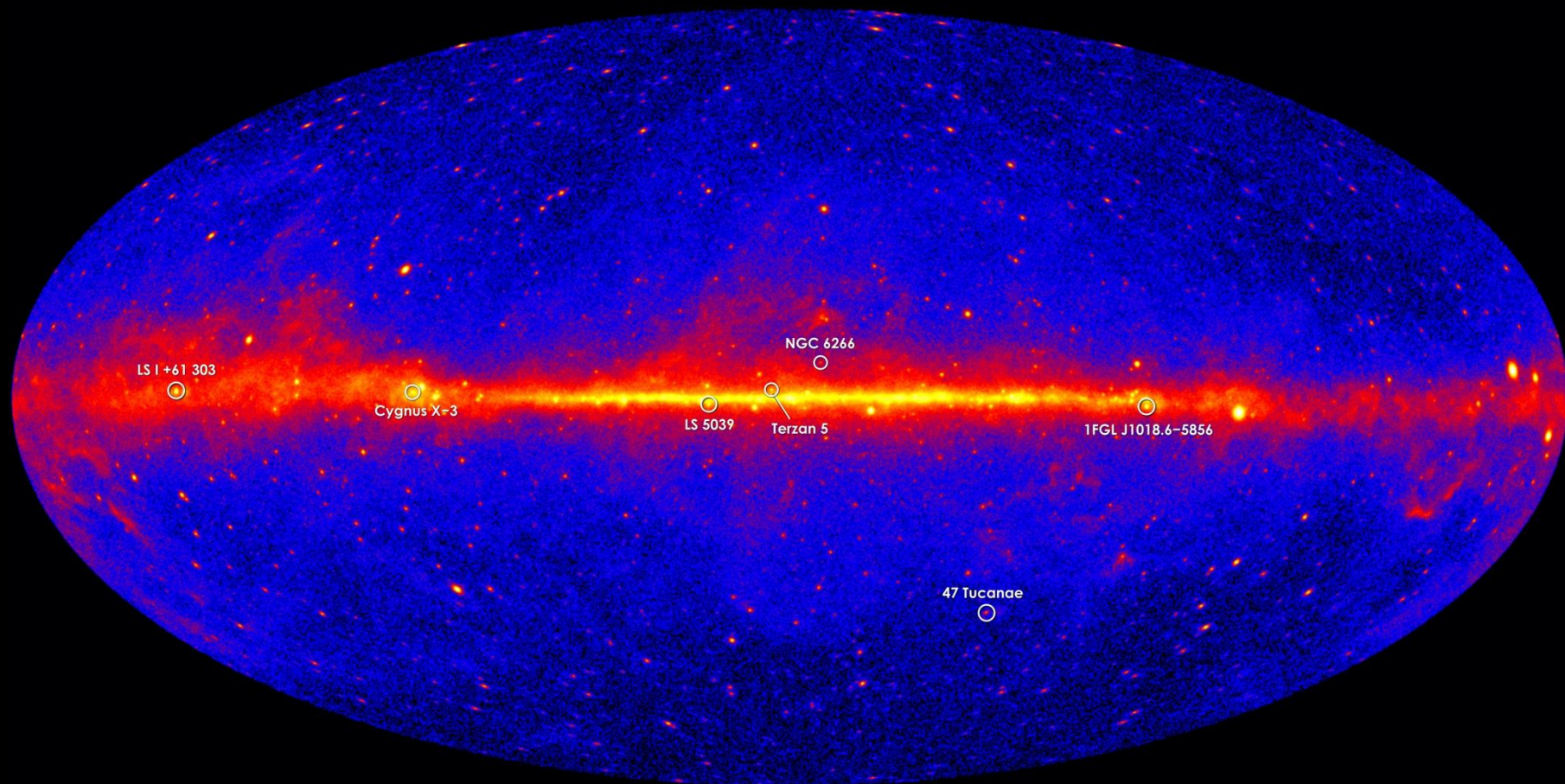
Fermi-LAT (2008-)

Остатки сверхновых (Cassiopeia A, SN 1572 <500 лет;
W44, IC 443, Cygnus Loop >5000 лет)

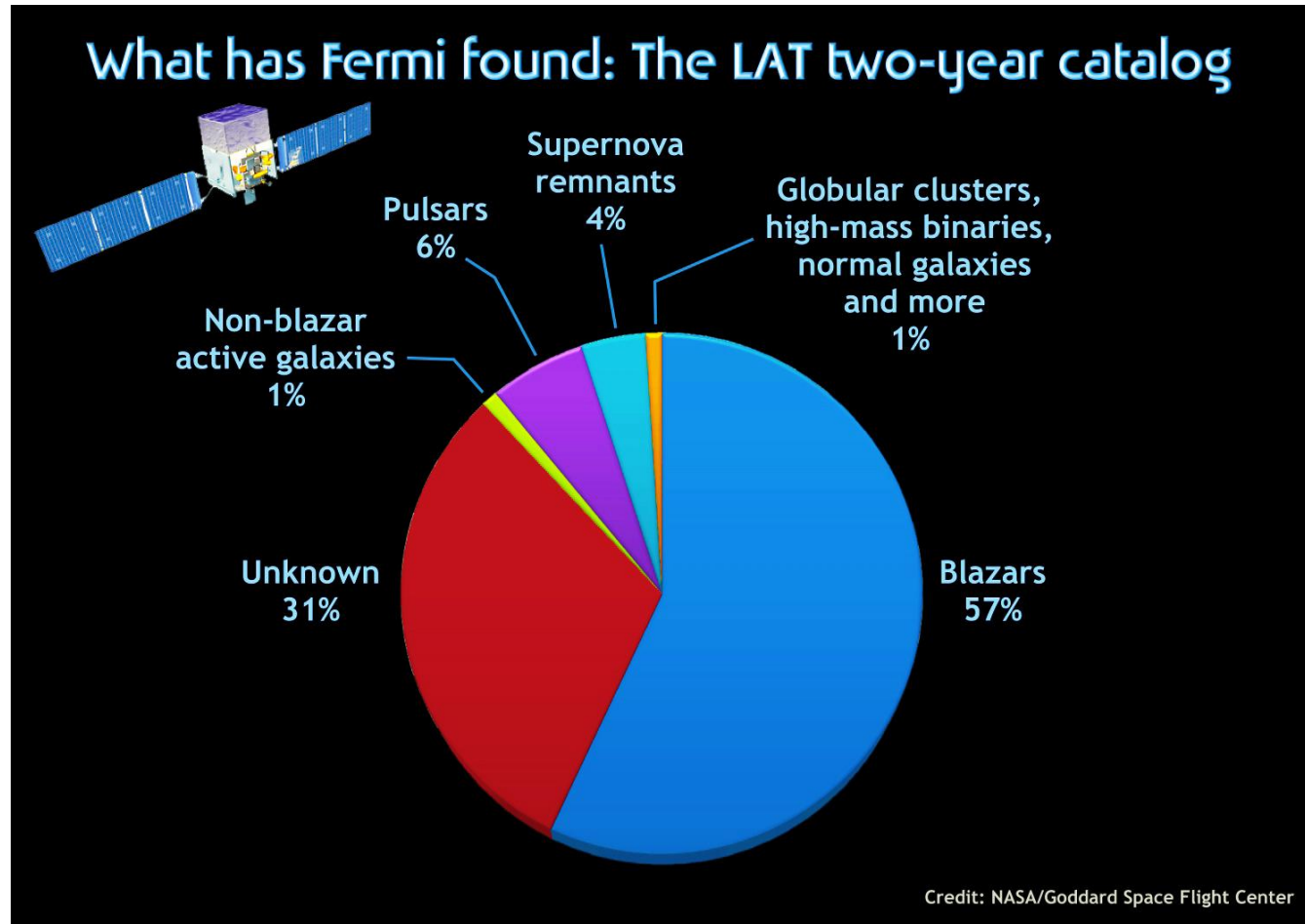


Fermi-LAT (2008-)

Массивные двойные системы и шаровые скопления



Fermi-LAT (2008-)



1837 источников во 2-ом каталоге; 3033 источников – в 3-ем (2015)

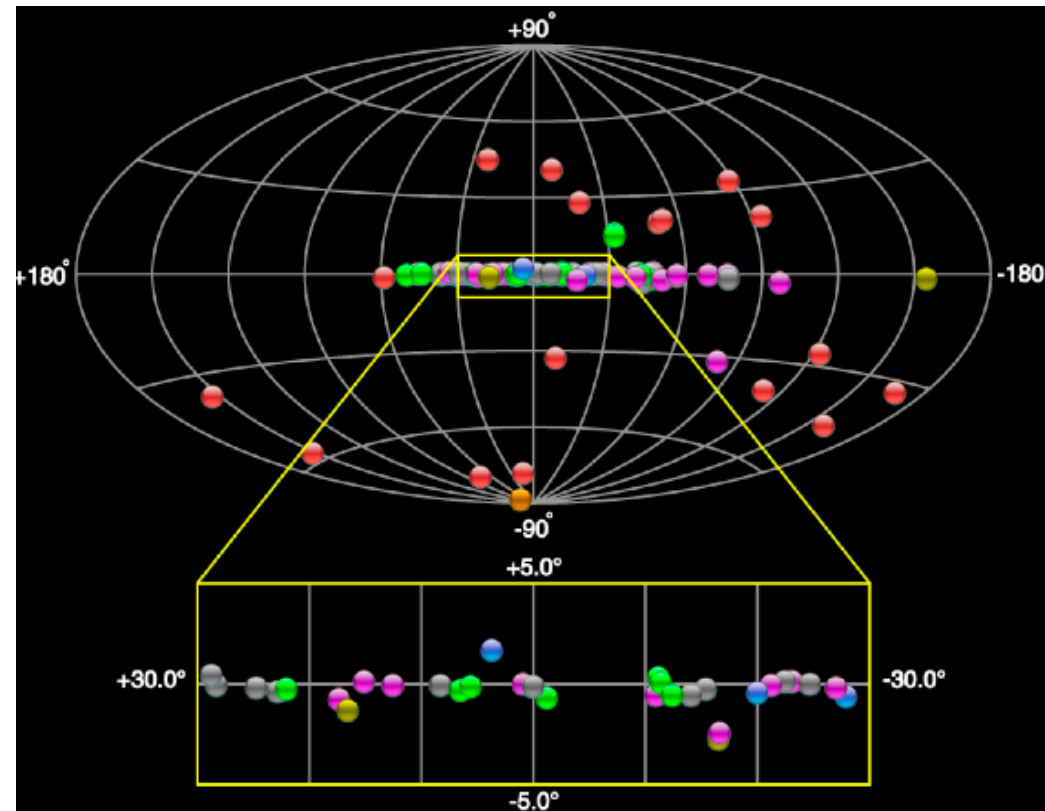
H.E.S.S = High Energy Stereoscopic System (2002-)

HESS I:

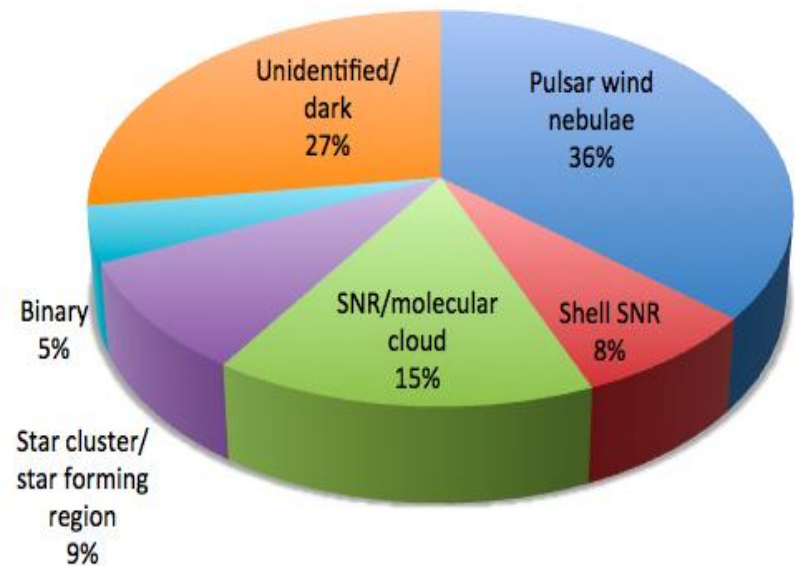
- Общая площадь зеркал 108 м^2
- FoV = 5 град
- E: $\sim 100 \text{ ГэВ} - 10 \text{ ТэВ}$



H.E.S.S. sky map



>80 источников



Supernova remnants, pulsar wind nebulae, binaries, star cluster/star forming regions, unidentified, starburst galaxy, active galactic nucleus.