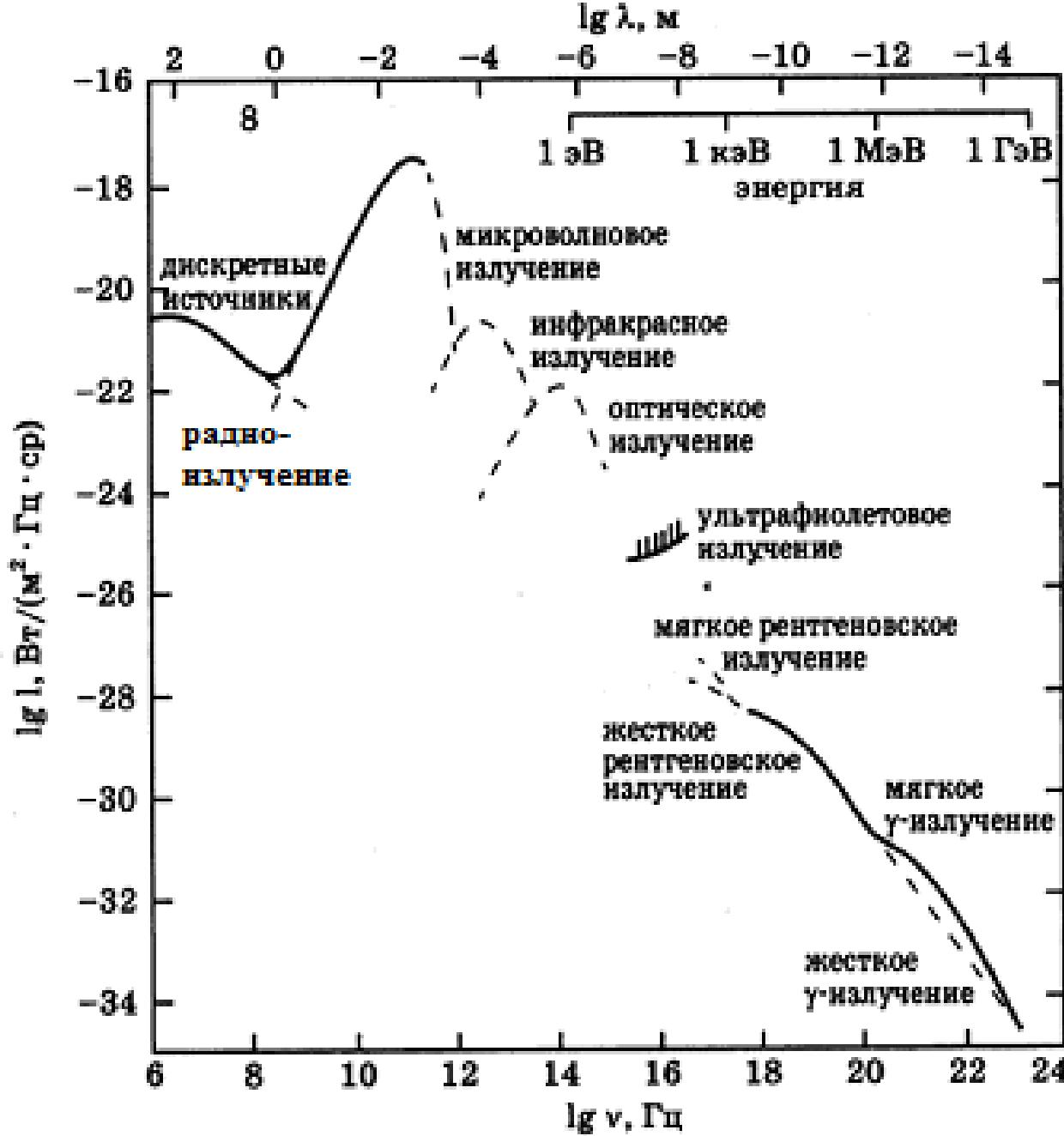


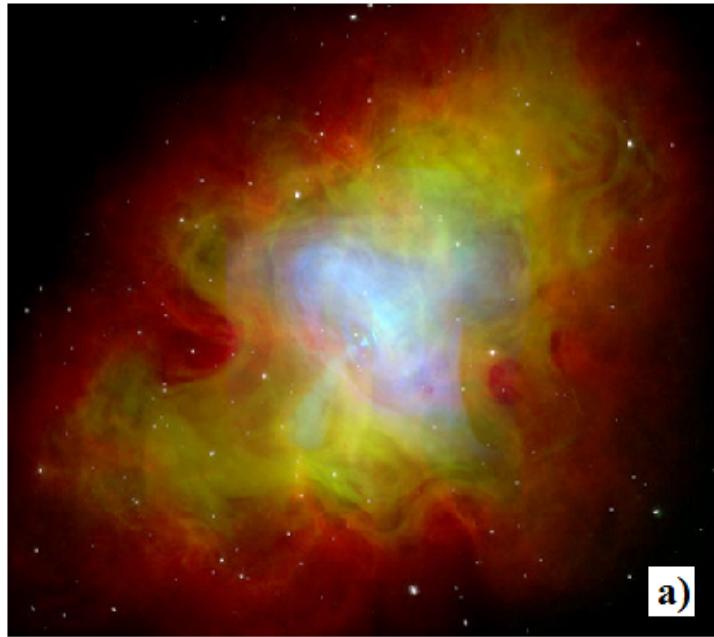
ФОТОНЫ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ВО ВСЕЛЕННОЙ



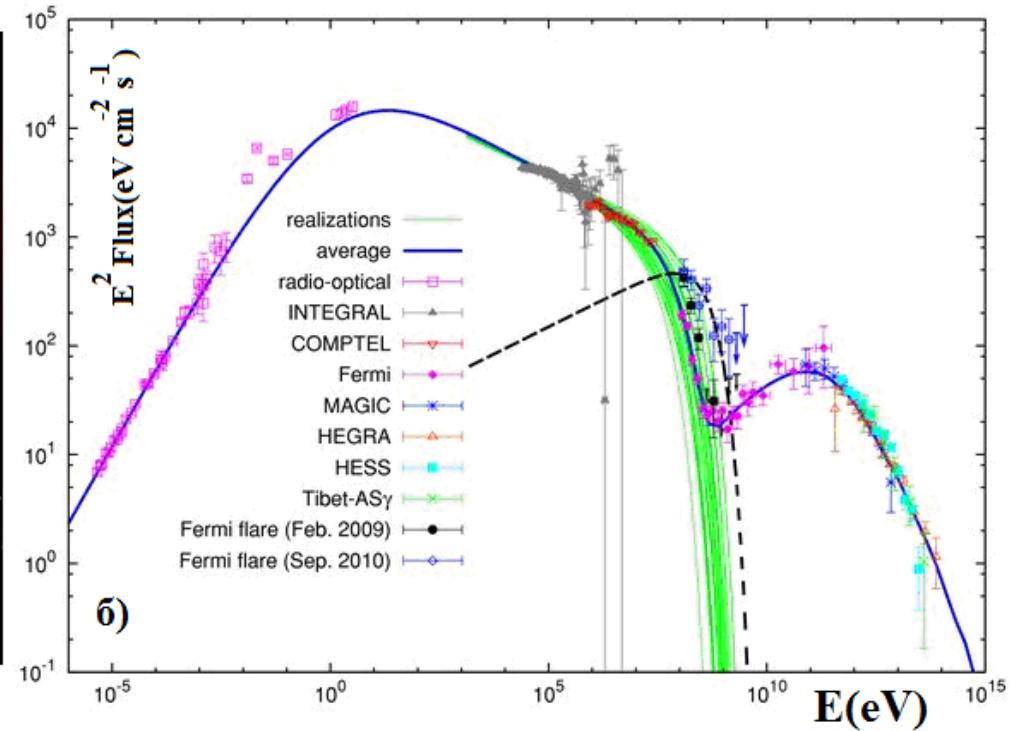
приборы и установки:

INTEGRAL, COMPTEL, Swift, Fermi - орбитальные гамма-телескопы;

MAGIC, HEGRA, HESS - черенковские наземные гамма-телескопы



a)

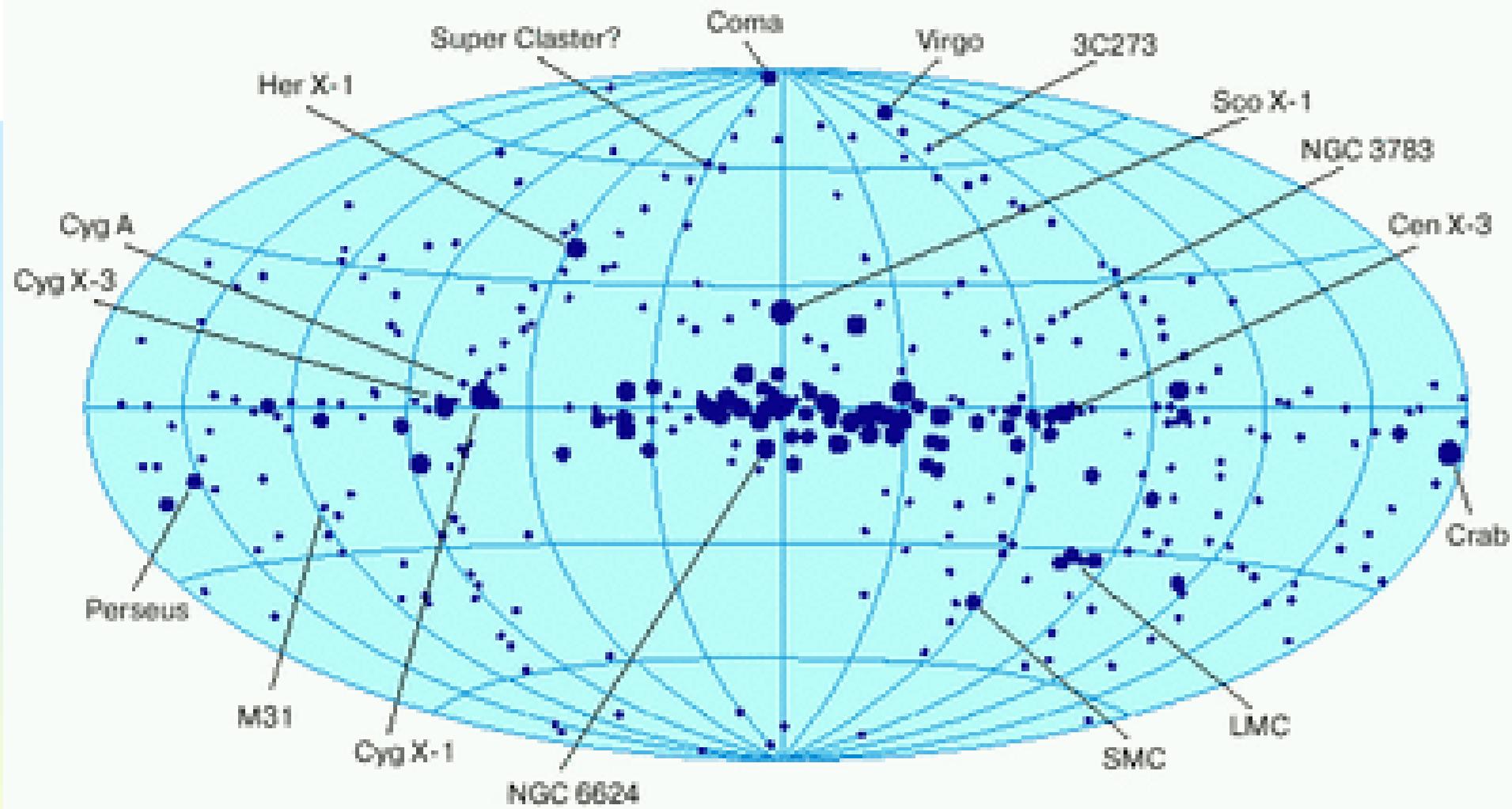


б)

Составное изображение Крабовидной туманности.

<http://www.astronet.ru/db/msg/1179814>

Спектр Крабовидной туманности http://iopscience.iop.org/2041-8205/730/2/L15/pdf/2041-8205_730_2_L15.pdf



Распределение рентгеновских источников по небесной сфере, полученное с помощью специализированных рентгеновских спутников UHURU и EINSTEIN. Радиус окружности соответствует яркости объекта,

Диапазон ГИ очень широк, его принято делить на несколько участков со своими научными задачами и методикой наблюдений:

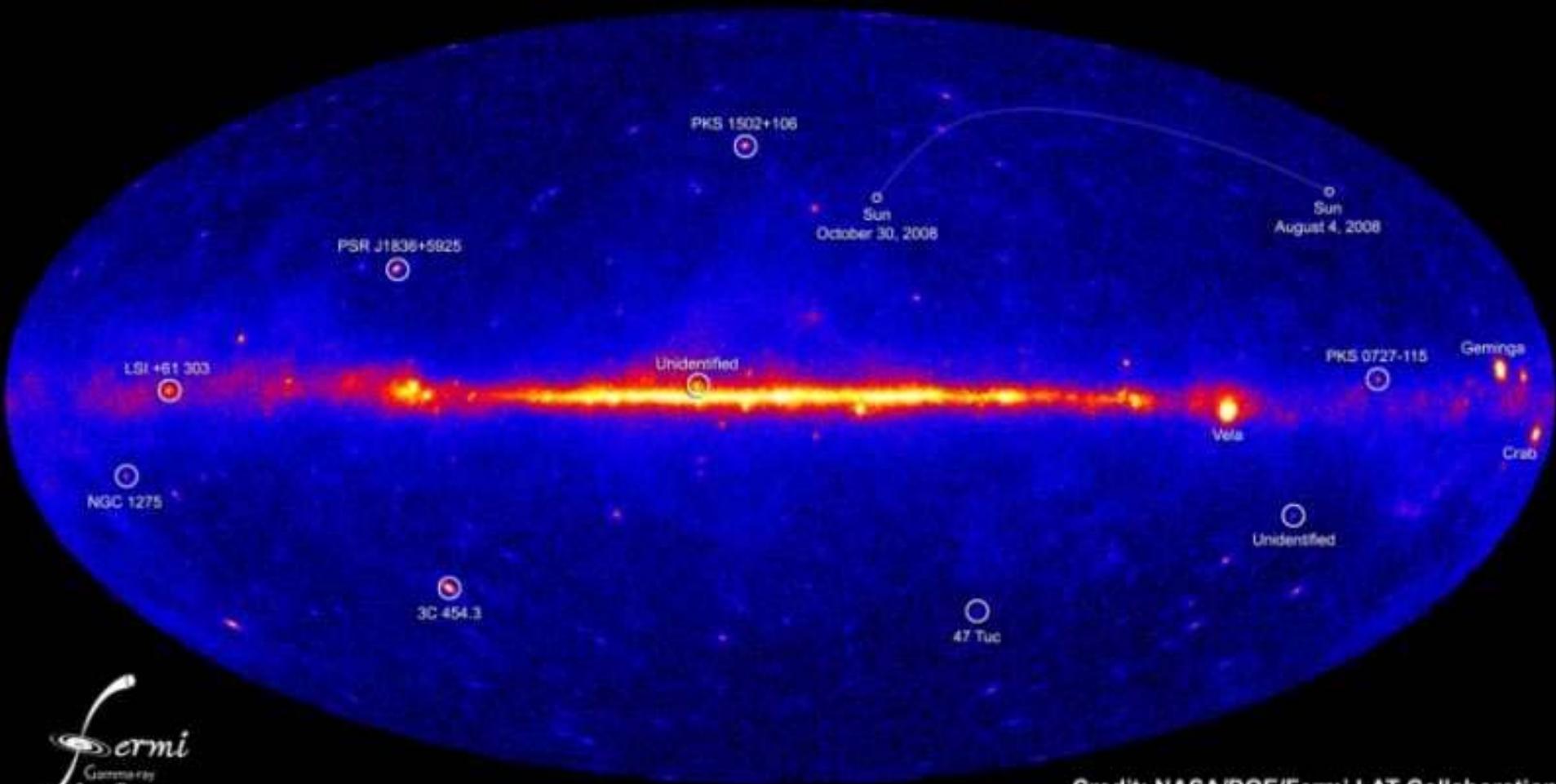
область мягкого ГИ с $\varepsilon \approx 0,1\text{-}5$ МэВ ($\lambda \approx 0,12 - 0,24 \cdot 10^{-2}$ Å),
область промежуточных энергий $\varepsilon \approx 5\text{-}50$ МэВ
($\lambda \approx 2,4 \cdot 10^{-3} - 2,4 \cdot 10^{-4}$ Å),

область ГИ высоких энергий с $\varepsilon \approx 50$ МэВ - 10 ГэВ (100 ГэВ)
($\lambda \approx 2,4 \cdot 10^{-4}\text{-}1,2 \cdot 10^{-6}$ Å),

область ГИ очень высоких энергий $10^{11}\text{-}10^{13}$ эВ.

The LAT detects γ rays in the energy range 20 MeV to more than 300 GeV, measuring their arrival times, energies, and directions. The LAT is also an efficient detector of the intense background of charged particles from cosmic rays and trapped radiation at the orbit of the *Fermi* satellite. Accounting for γ rays lost in filtering charged particles from the data, the effective collecting area is $\sim 6500 \text{ cm}^2$ at 1 GeV (for the P7REP_SOURCE_V15 event selection used here; see below). The live time is nearly 76%, limited primarily by interruptions of data taking when *Fermi* is passing through the South Atlantic Anomaly ($\sim 13\%$) and readout dead-time fraction ($\sim 9\%$). The field of view of the LAT is 2.4 sr at 1 GeV. The per-photon angular resolution (point-spread function, PSF, 68% containment) is $\sim 5^\circ$ at 100 MeV, decreasing to 0.8° at 1 GeV (averaged over the acceptance of the LAT), varying with energy approximately as $E^{-0.8}$ and asymptoting at $\sim 0.2^\circ$ above 20 GeV. The tracking section of the LAT has 36 layers of silicon strip detectors interleaved with 16 layers of tungsten foil (12 thin layers, 0.03 radiation length, at the top or *Front* of the instrument, followed by 4 thick layers, 0.18 radiation length, in the *Back* section). The silicon strips track charged particles, and the tungsten foils facilitate conversion of γ rays to positron-electron pairs. Beneath the tracker is a calorimeter composed of an 8-layer array of CsI crystals (~ 8.5 total radiation lengths) to determine the γ -ray energy. A segmented charged-particle anticoincidence detector (plastic scintillators read out by photomultiplier tubes) around the tracker is used to reject charged-particle background events.

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



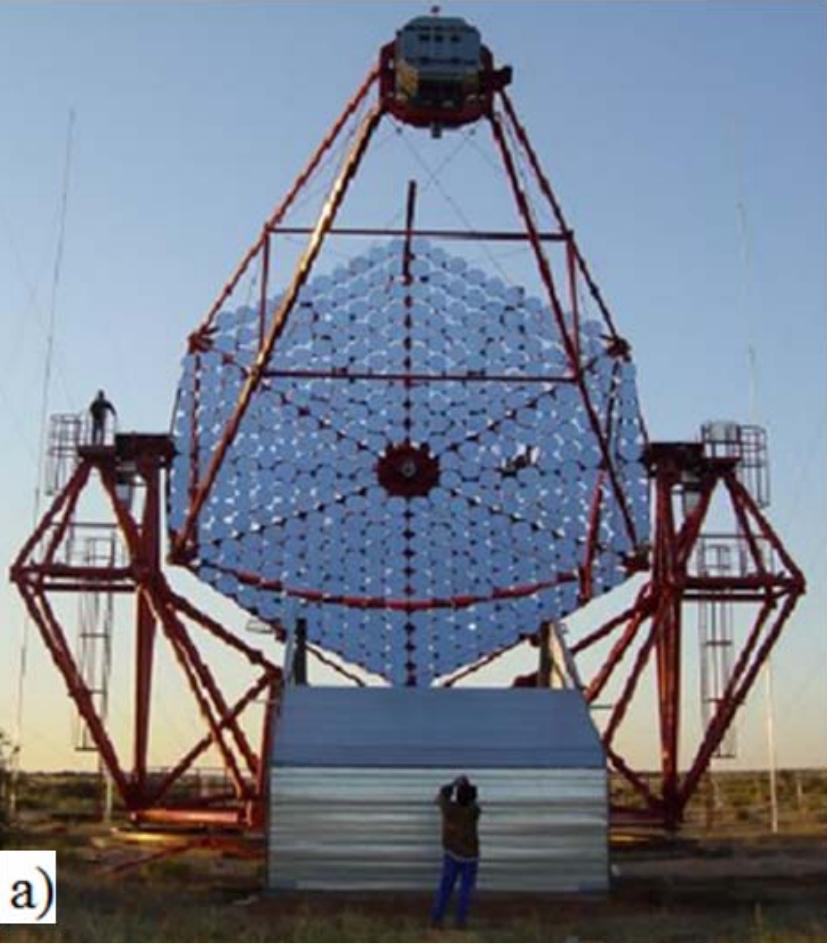
Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

Источники в нашей Галактике:

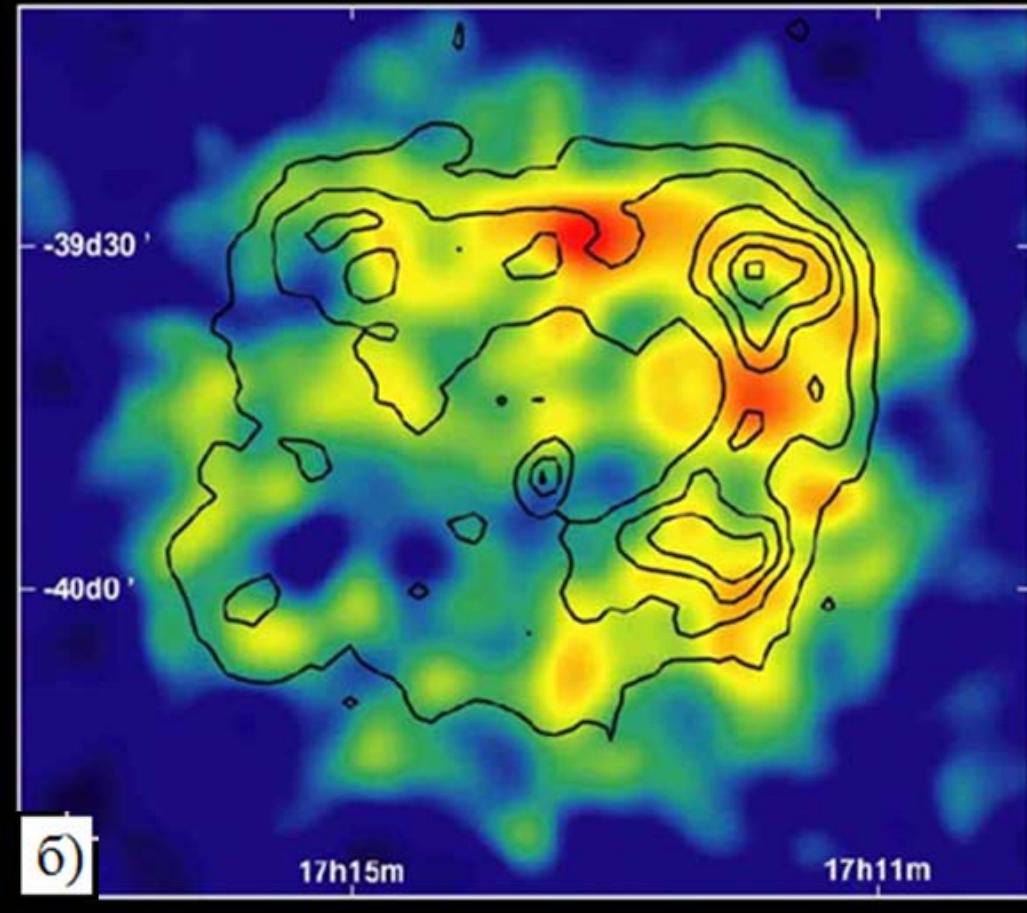
- Солнце;
- рентгеновские двойные звездные системы;
- пульсары
- остатки сверхновых;
- шаровые звездные скопления
- неидентифицированные галактические источники

За пределами Галактики:

- активные галактики, удаленные на миллиарды световых лет
- скопления галактик
- неотождествленные источники



а)



б)

Типичная черенковская гамма-астрономическая наземная установка HESS. Основные компоненты таких телескопов это фокусирующее зеркало и мозаика ФЭУ, расположенная в фокусе зеркала.
Изображение остатка сверхновой RXJ1713.7-3946 получено по данным HESS в гамма-диапазоне от 0.15 до 10 ТэВ. Черным контуром обозначены рентгеновские данные ASCA.

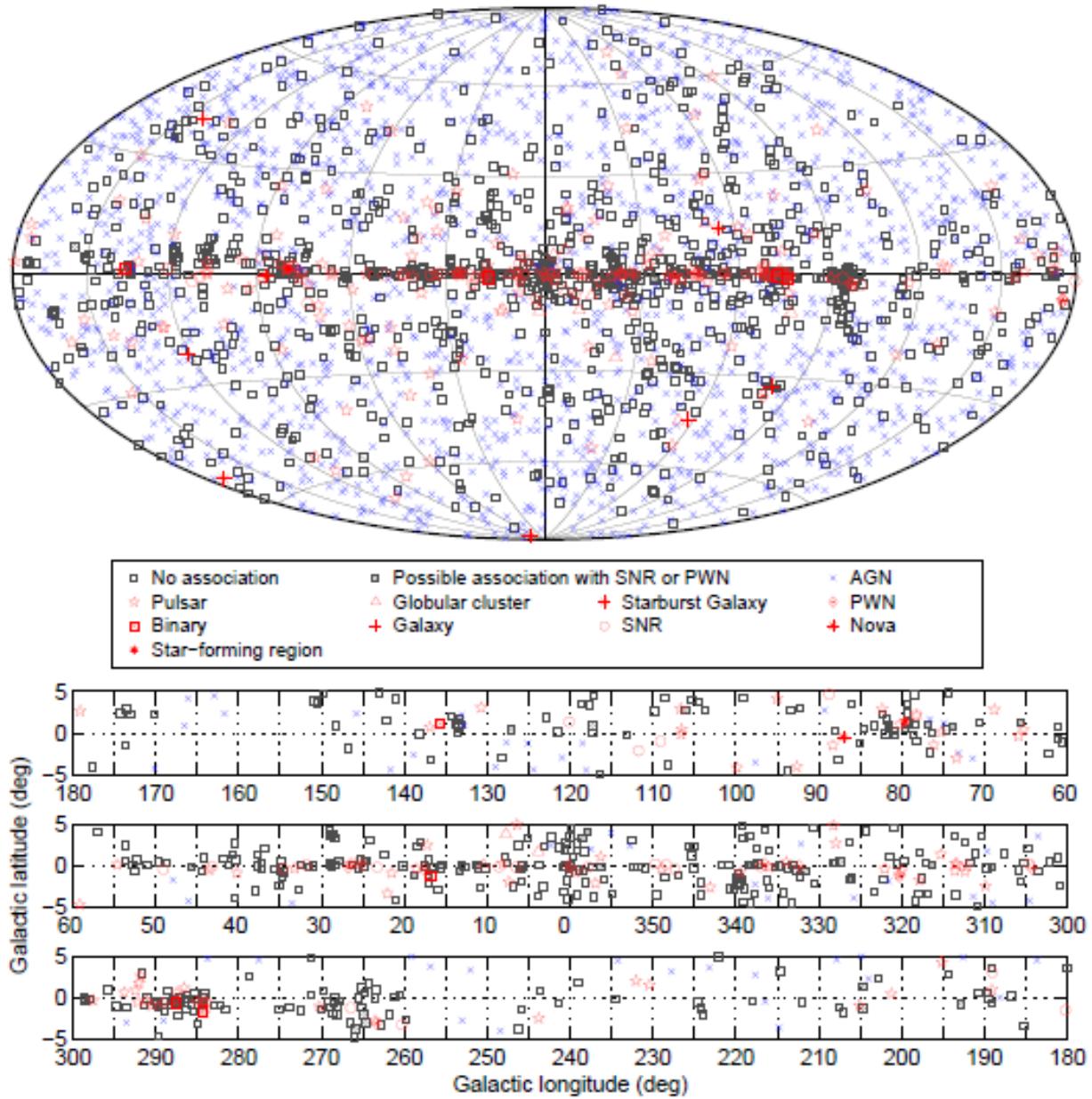
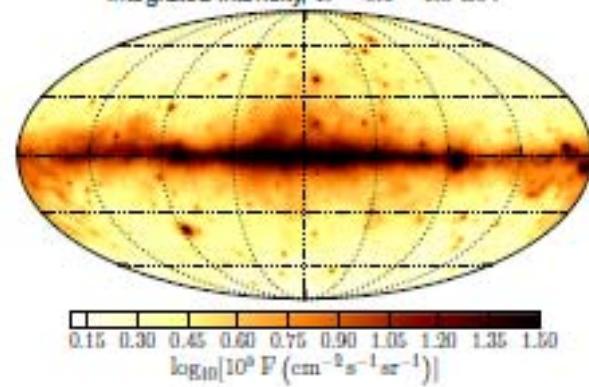
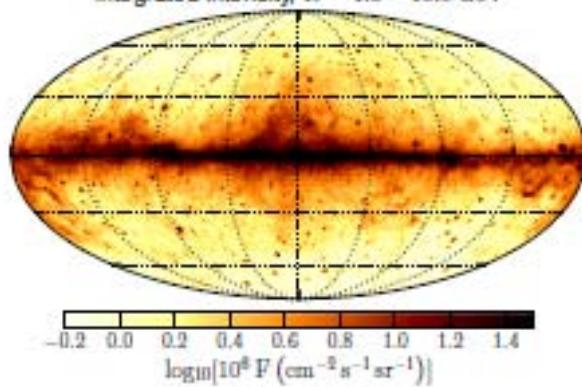


Fig. 15.— Full sky map (top) and blow-up of the inner Galactic region (bottom) showing sources by source class (see Table 6). All AGN classes are plotted with the same symbol for simplicity.

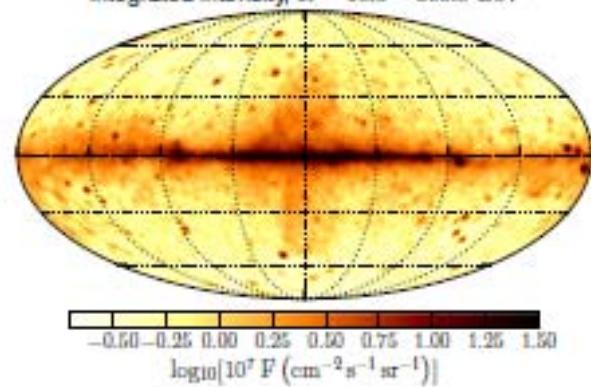
Integrated intensity, $E = 0.1 - 1.0$ GeV



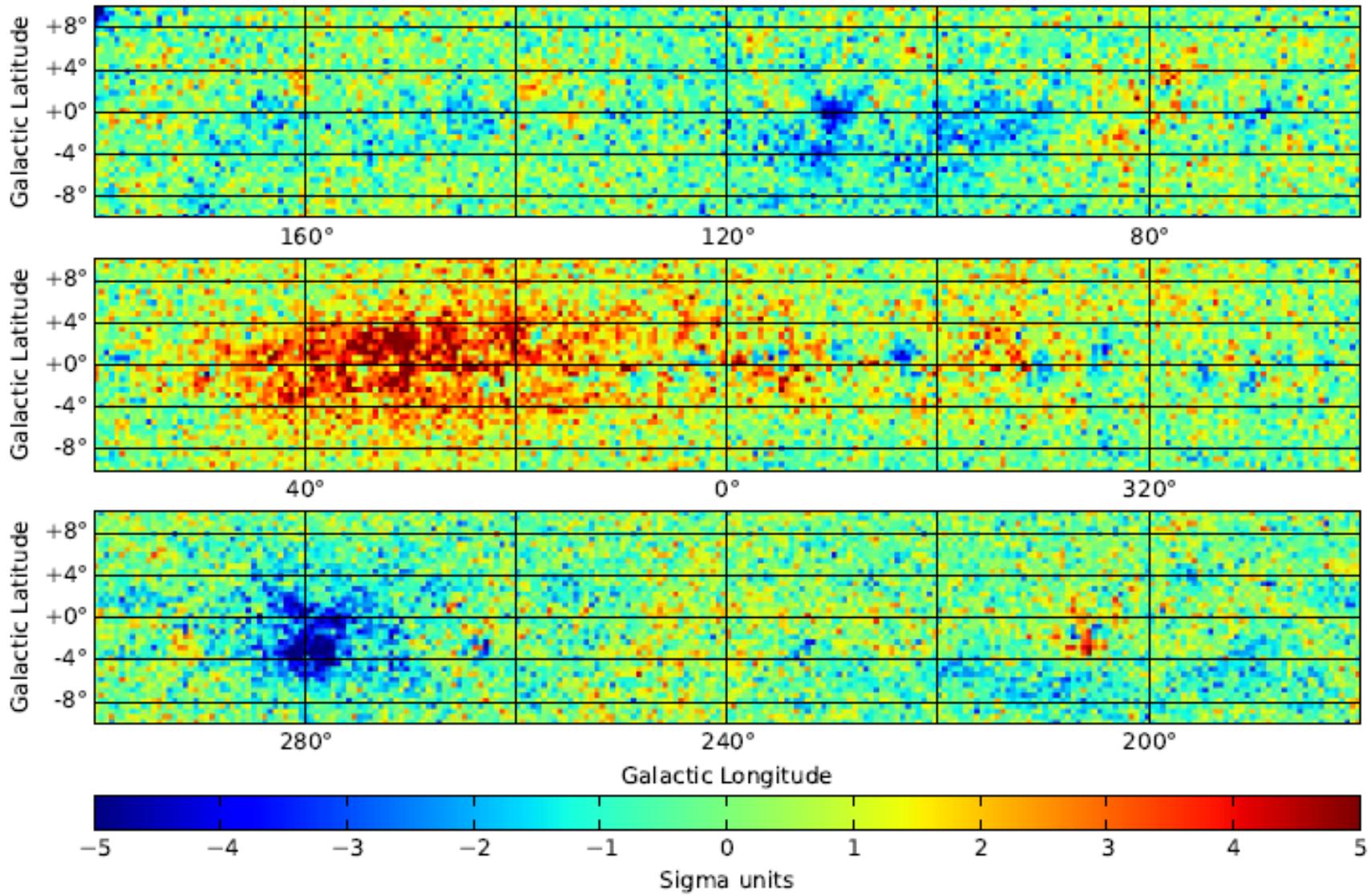
Integrated intensity, $E = 1.0 - 10.0$ GeV



Integrated intensity, $E = 10.0 - 500.0$ GeV



Gamma-ray intensity maps integrated in three large energy bins for the data set used in this paper. Throughout this paper we show skymaps in Galactic coordinates centered on the Galactic center using the Mollweide projection. The pixel size is 0.9° . The map on the right is smoothed with a $\sigma = 1^\circ$ Gaussian kernel. The smoothing is for presentation only; we do not smooth the data maps when fitting the models.



Residuals when setting the diffuse model normalizations to 1 and no power-law correction, integrated from 100 MeV to 100 GeV and expressed in sigma units over 0.5° pixels. Top: Positive Galactic longitudes from the anticenter to Cygnus. Center: Galactic ridge. Bottom: Negative Galactic longitudes from Carina to the anticenter.

Overall, 3FGL includes 1745 sources associated with AGN (58% of all 3FGL sources) of which 1145 are blazars, 573 are candidate blazars, 15 are radio galaxies, 5 are Seyfert galaxies, and 3 are other AGN. The Seyfert galaxies are narrow-line Seyfert 1 galaxies that have been established as a new class of -ray active AGN

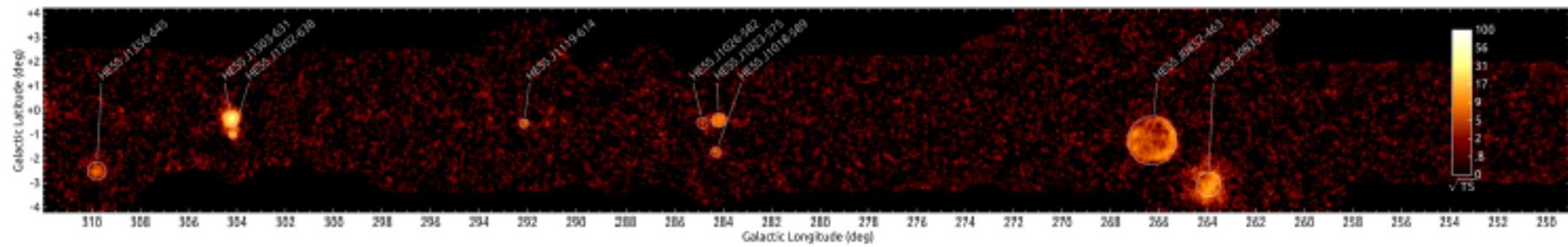
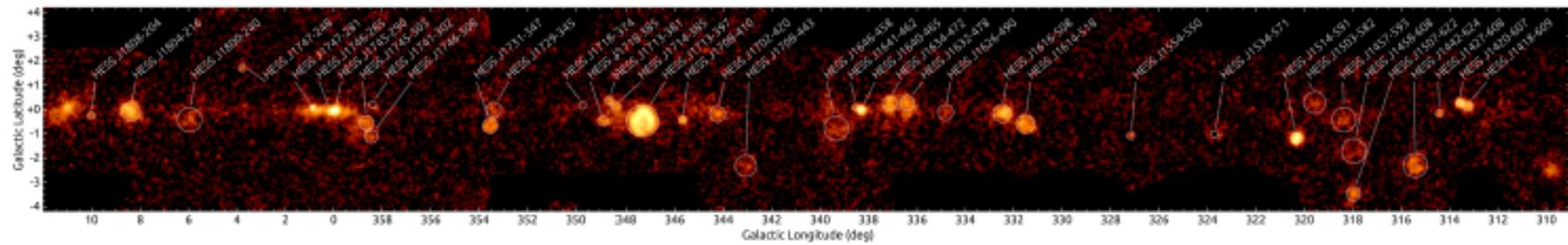
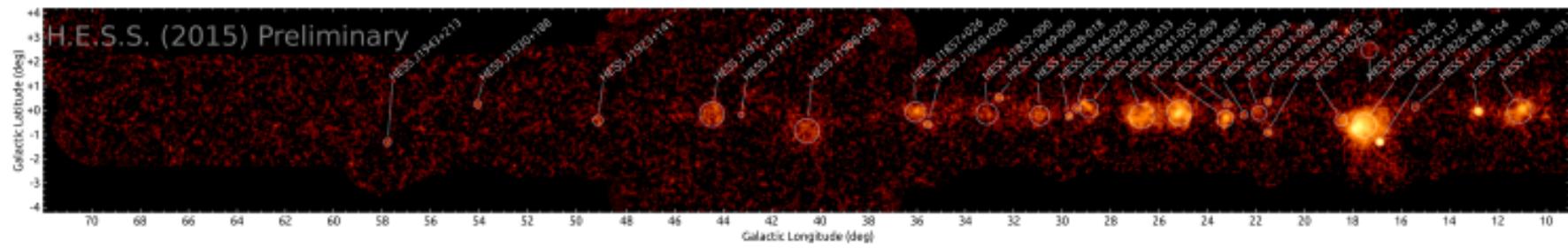
Five sources in the 3FGL catalog lie within the extended source model for the LMC and are otherwise unassociated with counterparts at other wavelengths.

The public catalog of LAT-detected pulsars is regularly updated¹⁹. At the time of the 3FGL association analysis, this catalog had 147 pulsars

In addition to the four pulsar wind nebulae found in 2FGL (Crab, Vela-X, MSH 15–52, HESS J1825–137), the 3FGL catalog includes seven new PWNe associations.

Twelve SNRs are firmly identified in the 3FGL catalog as spatially extended sources

Three HMB sources that appeared in 2FGL are also found in 3FGL: LS I +61 303 (3FGL J0240.5+6113), 1FGL J1018.6–5856 (3FGL J1018.9–5856), and LS 5039 (3FGL J1826.2–1450).



The TS map of the H.E.S.S. Galactic Plane Survey.

ТЕСНЫЕ ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ

маломассивные
двойные

массивные
двойные

характер временного поведения

орбитальная периодичность – затмения (периоды 10^4 – 10^5 с)
модуляция потока, дипы (периоды 10^3 – 10^4 с)

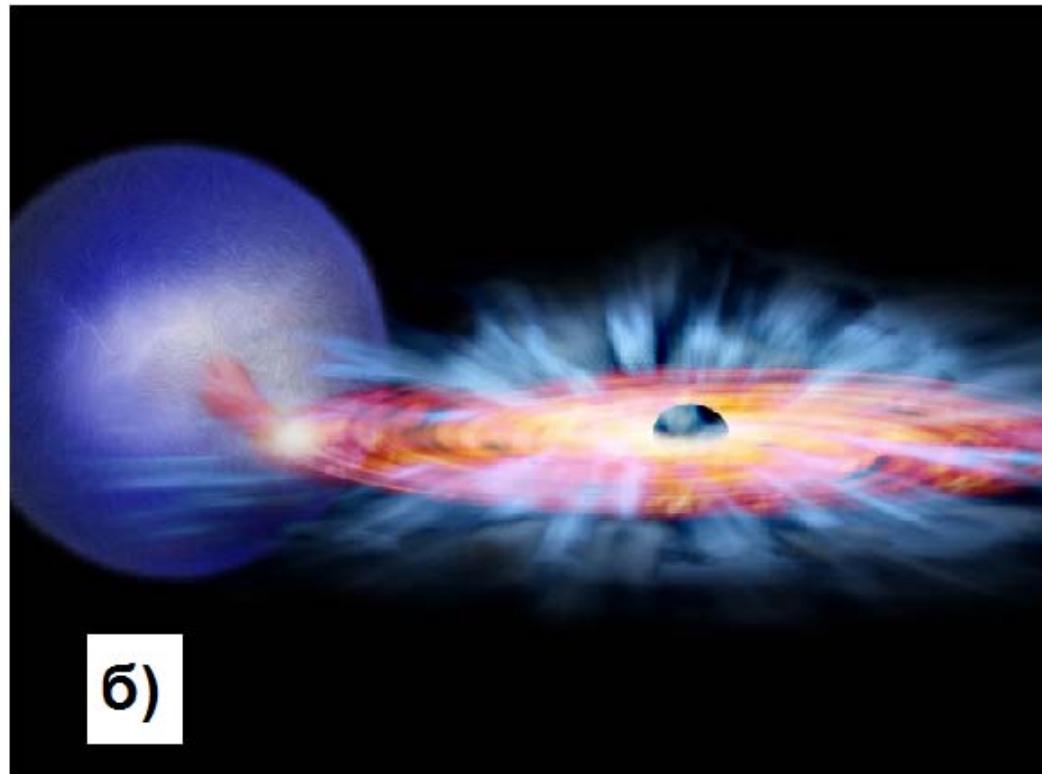
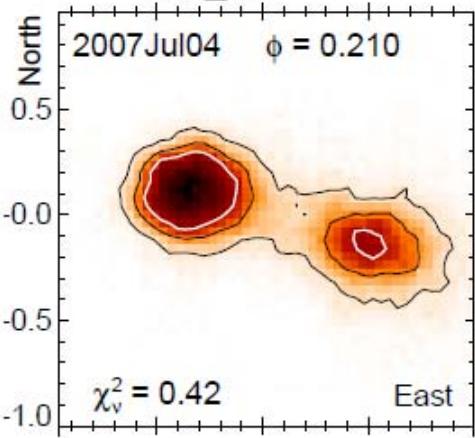
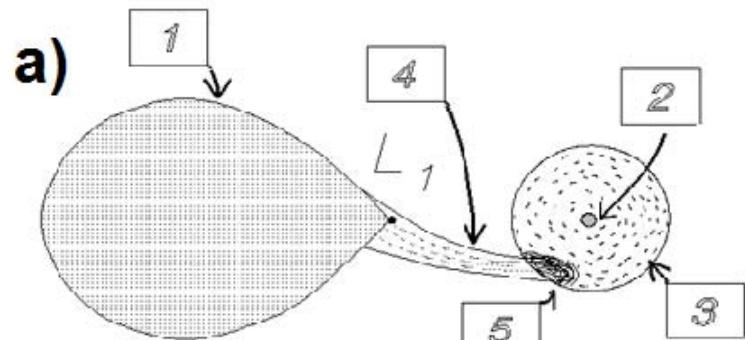
вращение магнитной нейтронной звезды – пульсации (10^{-3} – 10^3 с)

прецессия – долгопериодические циклы ($> 10^6$ с)

квазипериодические осцилляции (10^{-3} – 10^{-1} с)

нерегулярные вариации (шум), (10^{-3} – 10^6 с)

вспышки (1 – 10 с)
транзиенты (10^{-2} – 10^6 с)



а) Схематичное изображение структуры тесной двойной системы в режиме дисковой акреции. 1 - оптическая звезда; 2 - компактный объект; 3 - газовый диск; 4 - струя; 5 - яркое (горячее) пятно в области захвата перетекающего вещества акционным диском.

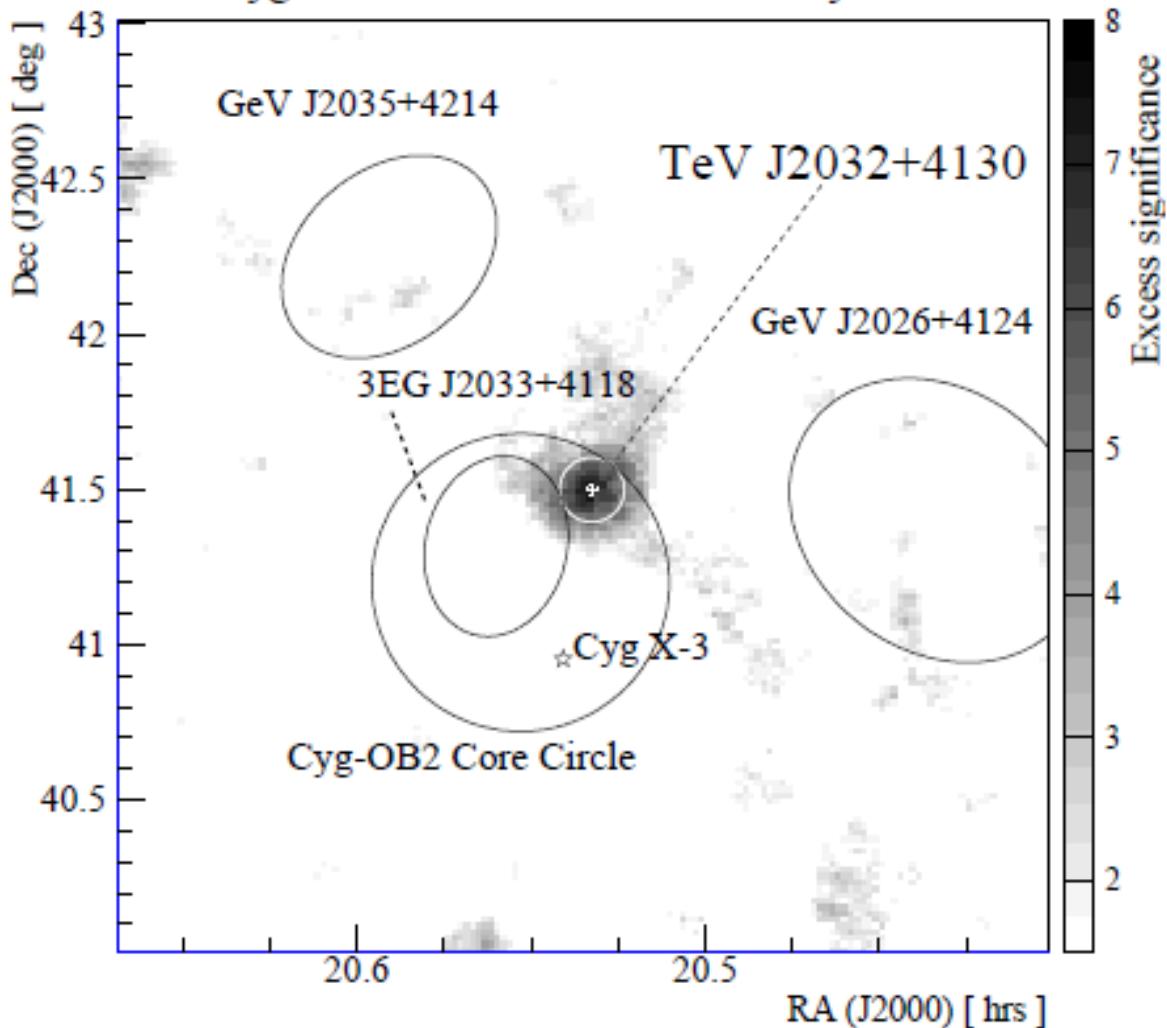
<http://www.astronet.ru/db/msg/1168623/node8.html>

б) Художественное изображение ТДС с акционным диском.

<http://www.astronet.ru/db/msg/1280650/bh.jpg.html>

в) Изображение β Лиры, полученное National Optical Astronomy Observatory, NOAO.
<http://arxiv.org/abs/0808.0932>

Cygnus OB2 Field: HEGRA CT-System



Skymap of the Cygnus region with the center of gravity of the TeV γ -ray excess and the 2σ error circle for TeV J2032+4130 [12]. Also marked are the 95 % error ellipses of three nearby EGRET GeV sources, the core of Cygnus OB2 and the location of Cygnus X-3.

Рентгеновские и гамма-пульсары

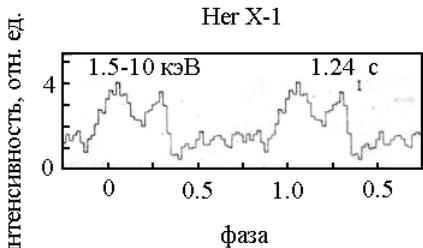


Рис. 11. Средний фазовый профиль пульсаций (период 1.24 с) рентгеновского излучения двойной системы Her X-1

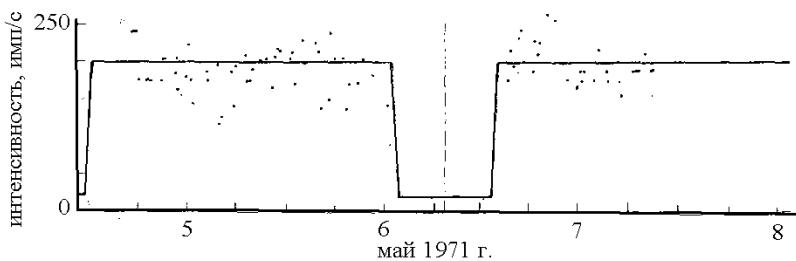
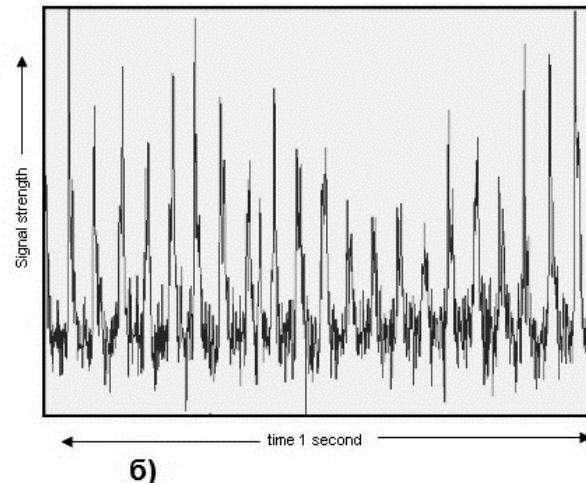
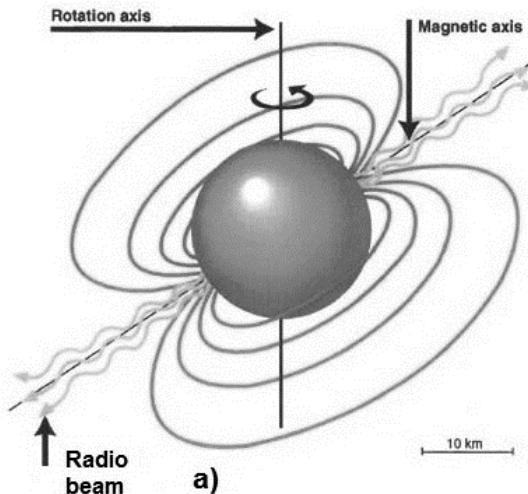
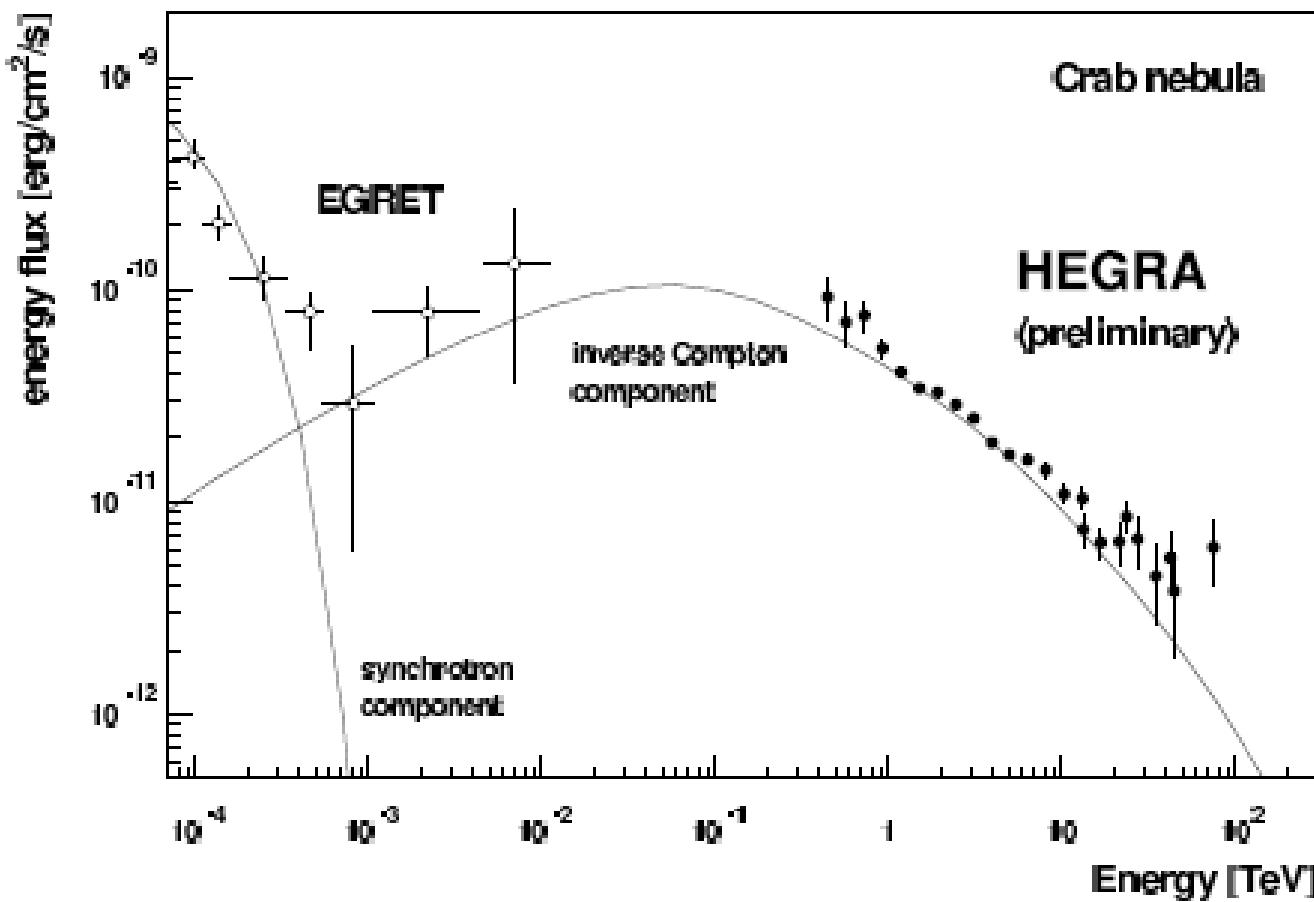
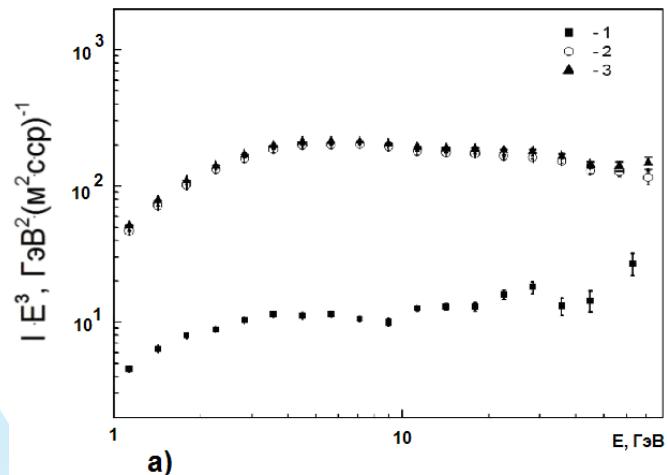


Рис. 12. Рентгеновская кривая блеска двойной системы Cen X-3, измеренная в эксперименте на "Ухуру".

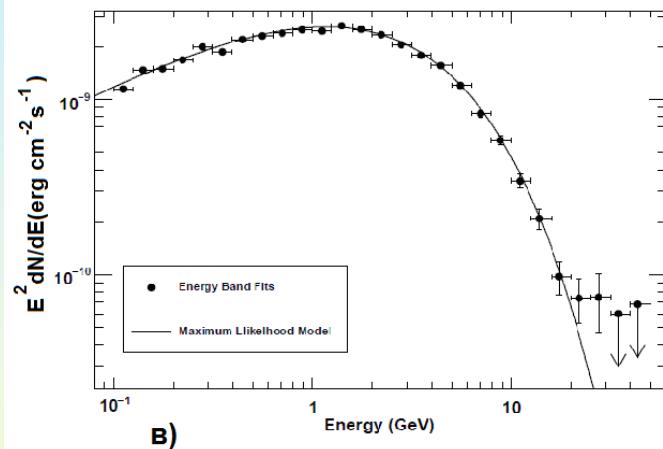
Схема радиопульсара и импульсы радиоизлучения. Ось вращения нейтронной звезды не совпадает с осью магнитного диполя.
http://ntc0.lbl.gov/~nkg/science_sp.html



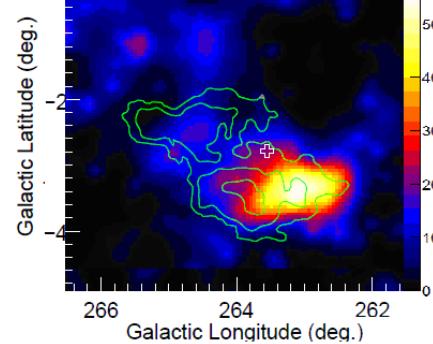
The unpulsed energy spectrum of the Crab nebula ($E > 100$ MeV) as measured by the EGRET experiment (open circles) as well as with the HEGRA IACT system (filled circles). A deep observation of nearly 400 hours with the HEGRA telescopes allowed for a measurement of the Crab spectrum in the energy range from 0.5 to 80 TeV [7]. The solid lines indicate model expectations (from [7]) for synchrotron and inverse Compton radiation.



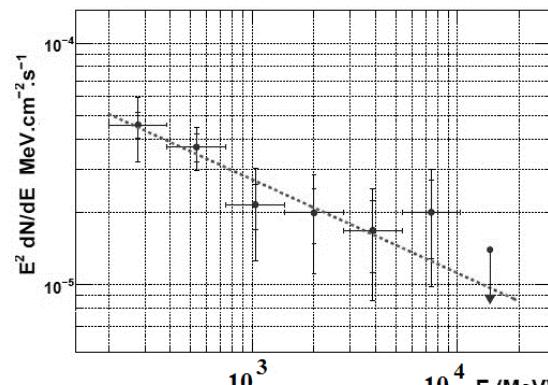
а)



в)



б)

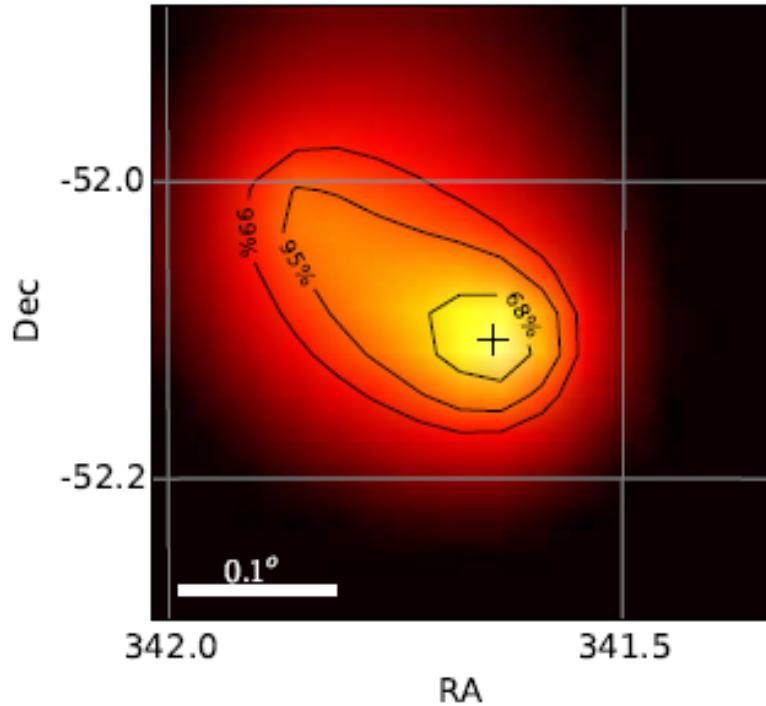
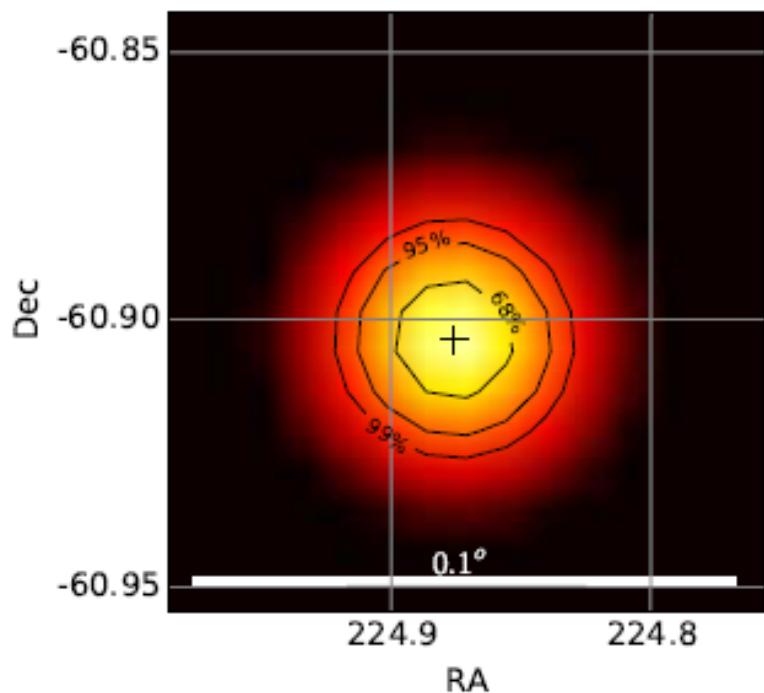


г)

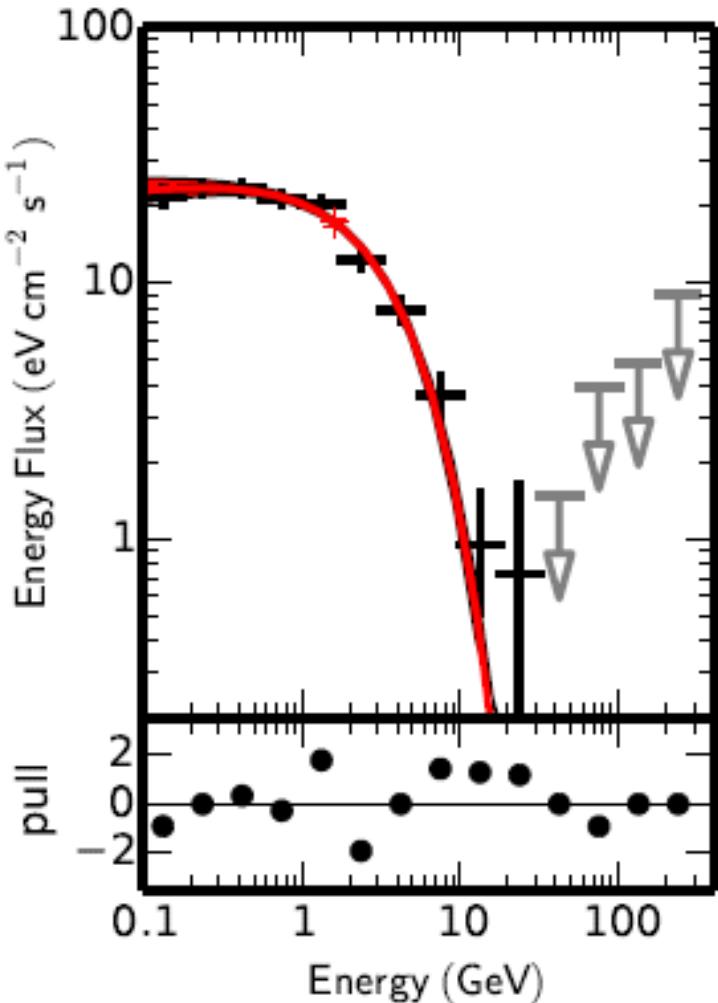
а) Дифференциальный энергетический спектр электронной и позитронной компонент космических лучей в окрестности Земли по данным эксперимента ПАМЕЛА: 1 – позитроны, 2 – электроны, 3 – сумма частиц. http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2010/fulltext_t4/1-11-1.doc ОЧН излучения-гамма Карта б . Vela с энергией больше 800 МэВ по данным Fermi LAT. Расположение пульсара PSR B083-45 обозначено белым крестом. Зеленой линией обозначены контуры радиоизлучения на частоте 61 ГГц. [arXiv:1002.4383 \[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/1002.4383).

в) Дифференциальный энергетический спектр гамма-излучения пульсара Vela PSR B083-45, усредненный по фазе по данным Fermi LAT. [http://arxiv.org/pdf/1002.4050v1.pdf](https://arxiv.org/pdf/1002.4050v1.pdf).

г) Дифференциальный энергетический спектр гамма-излучения ОЧН Vela по данным Fermi LAT. [arXiv:1002.4383 \[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/1002.4383).



Examples of localization TS maps. The contours for 68%, 95%, and 99% containment are shown. The scale (in decimal degrees) is not the same in both plots. Left: PSR J1459–6053, a good localization with $LQ = 0.63$. Right: 3FGL J2246.7–5205, a bad localization with $LQ = 14$.



The spectral energy distribution for a typical source, in this case PSR J1459–6053, as measured by the *pointlike* analysis. The lower plot shows the *pulls*, defined as the square root of the difference $2\Delta \log \mathcal{L}$ between the fitted flux and the spectral model in each energy band, signed with the residual. The points with error bars reflect the dependence of the likelihood on the flux for each energy band, combining *Front* and *Back*, while the curve is the result of the fit to all the energy bands.

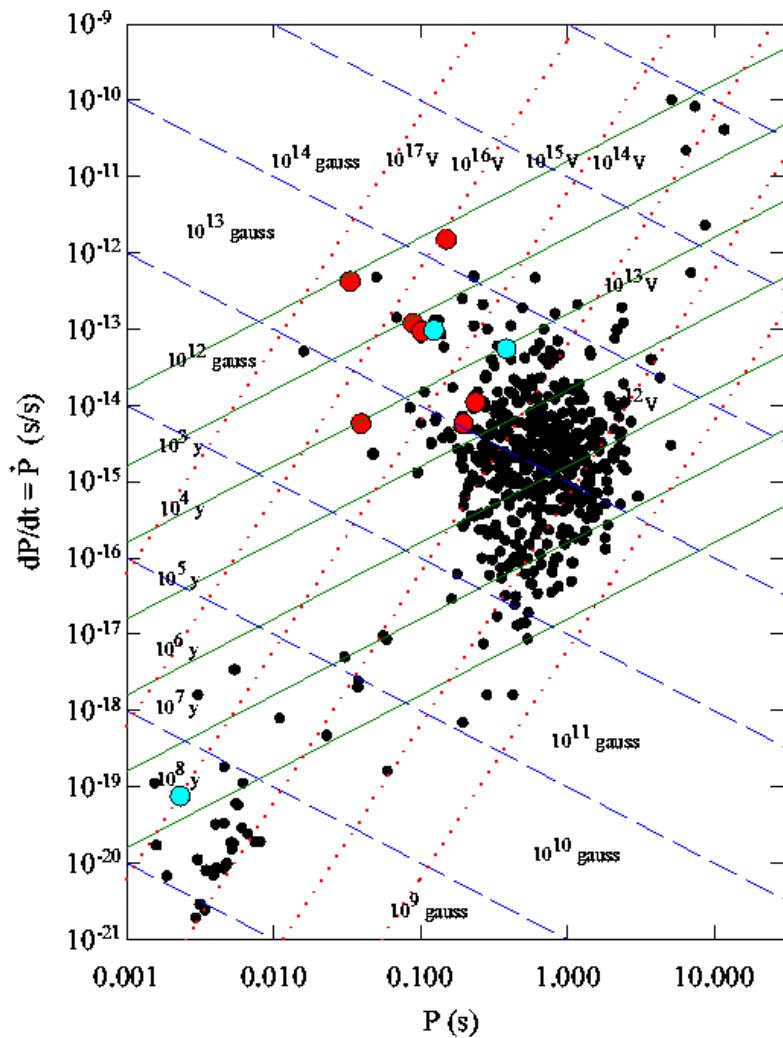


Рисунок 4. Диаграмма «производная изменения периода вращения – период вращения». Маленькими точками отмечены пульсары, от которых гамма-излучение не регистрировалось, крупные точки – гамма-пульсары. Сплошными линиями отмечены уровни, соответствующие различному возрасту пульсаров, прерывистыми линиями – значению поверхностного магнитного поля, пунктирными линиями – разности потенциалов на открытых силовых линиях.

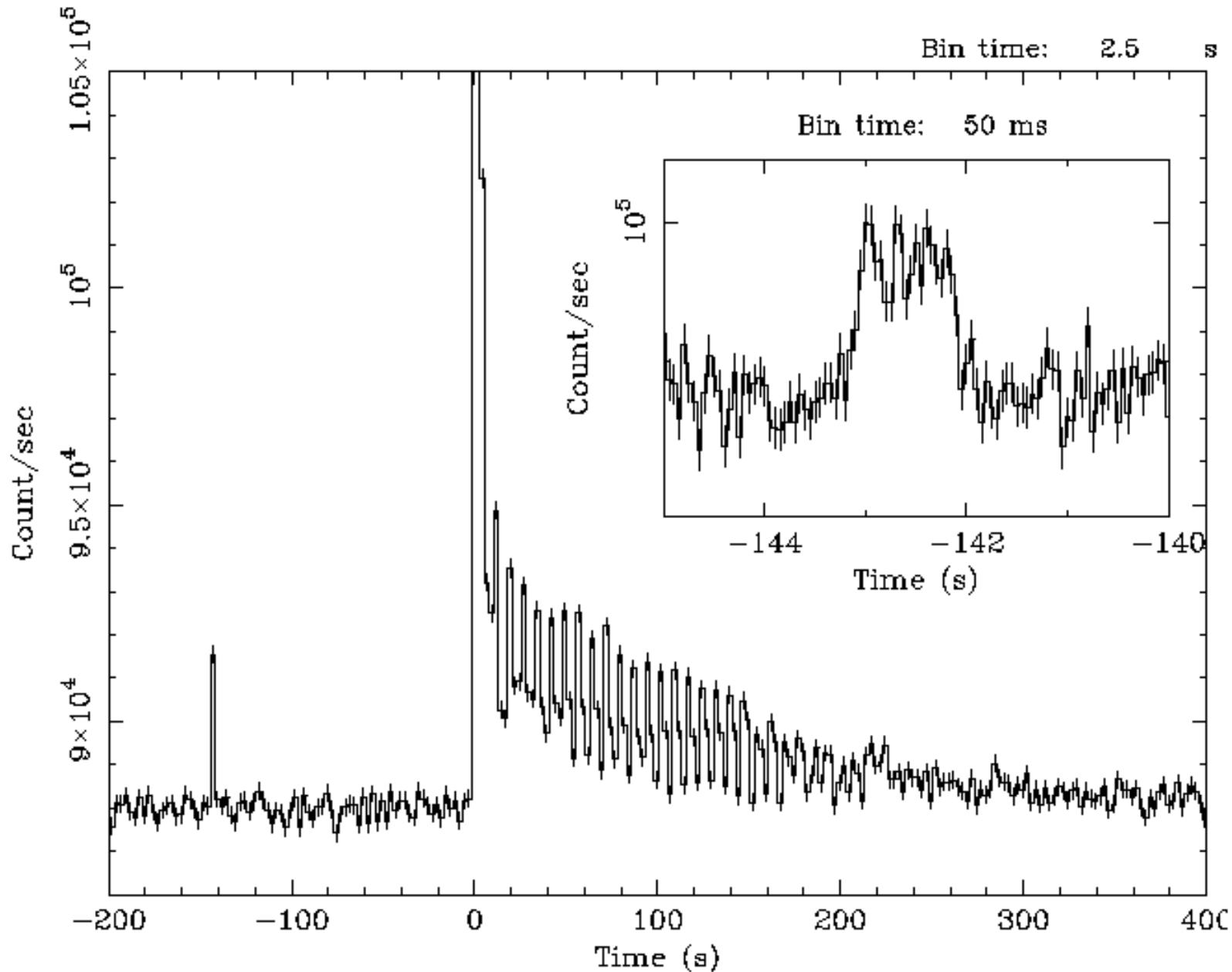
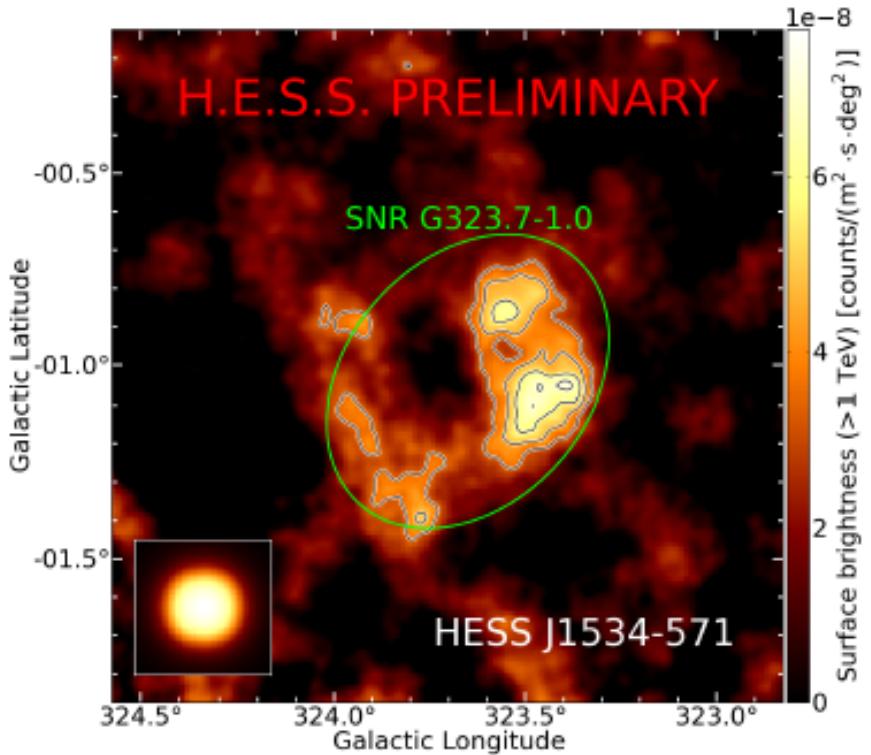
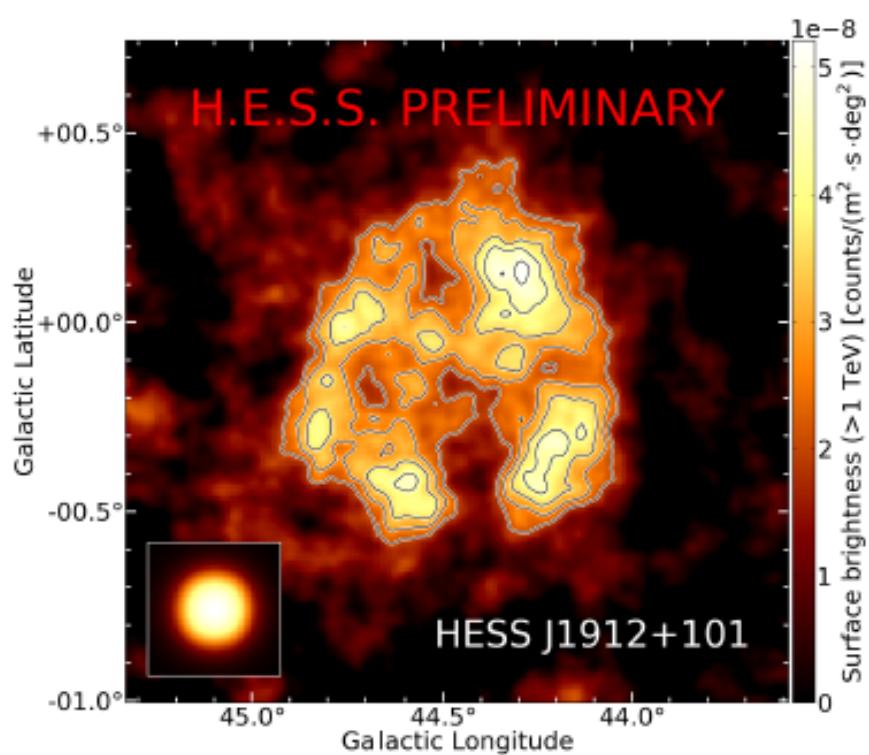


Рисунок 17. Временной профиль интенсивности жесткого рентгеновского излучения во время гигантской вспышки магнетара *SGR 1806-20* 27.12.2004 [12].



The surface brightness map of HESS J1534–571. The green ellipse indicate the position of the radio SNR G323.7–1.0. The figure is taken from [42].



The surface brightness map of HESS J1912+101. The figure is taken from [42].

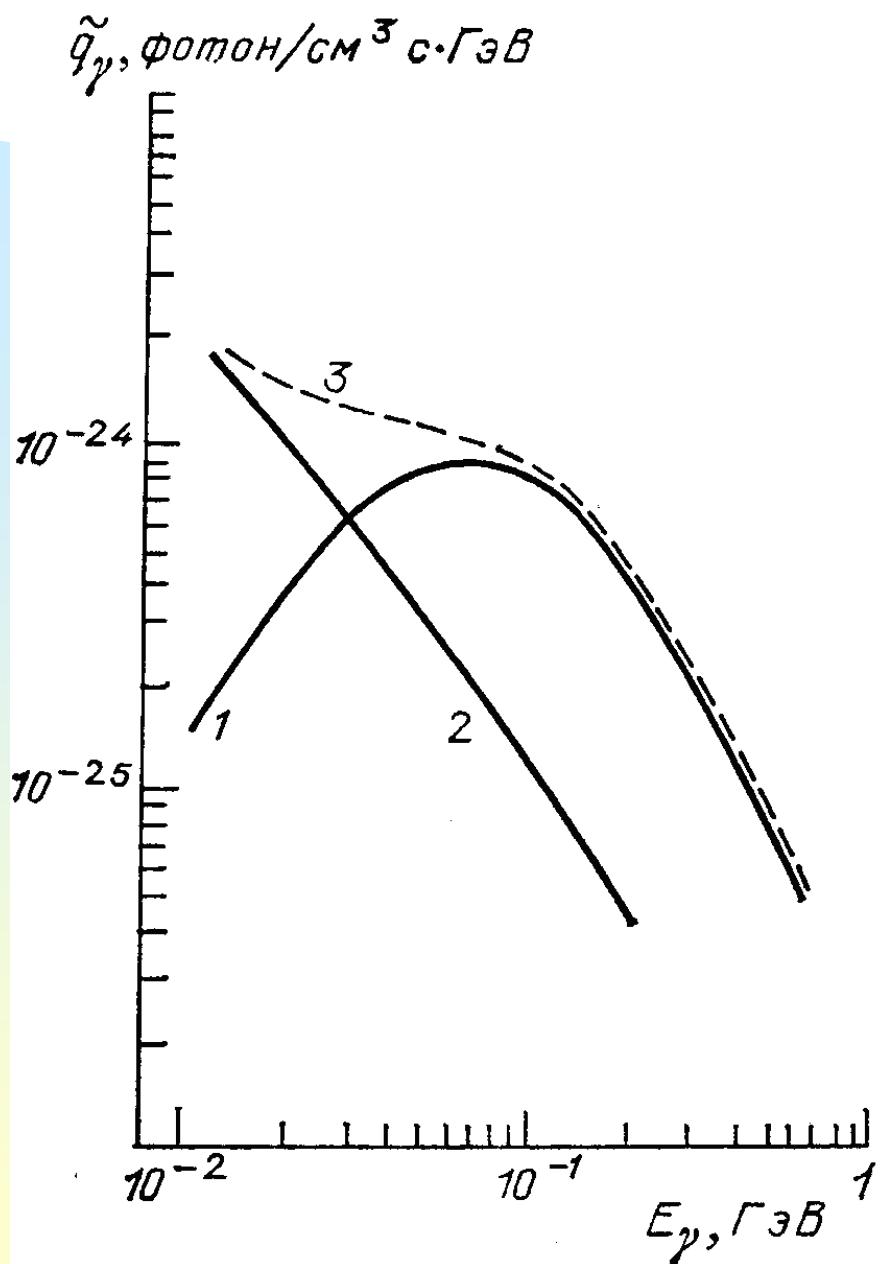
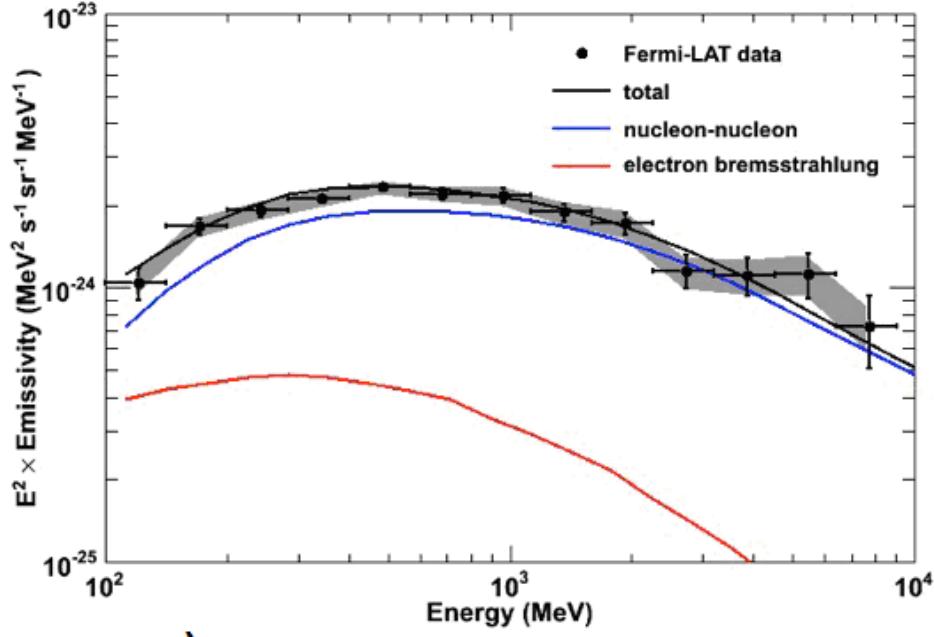


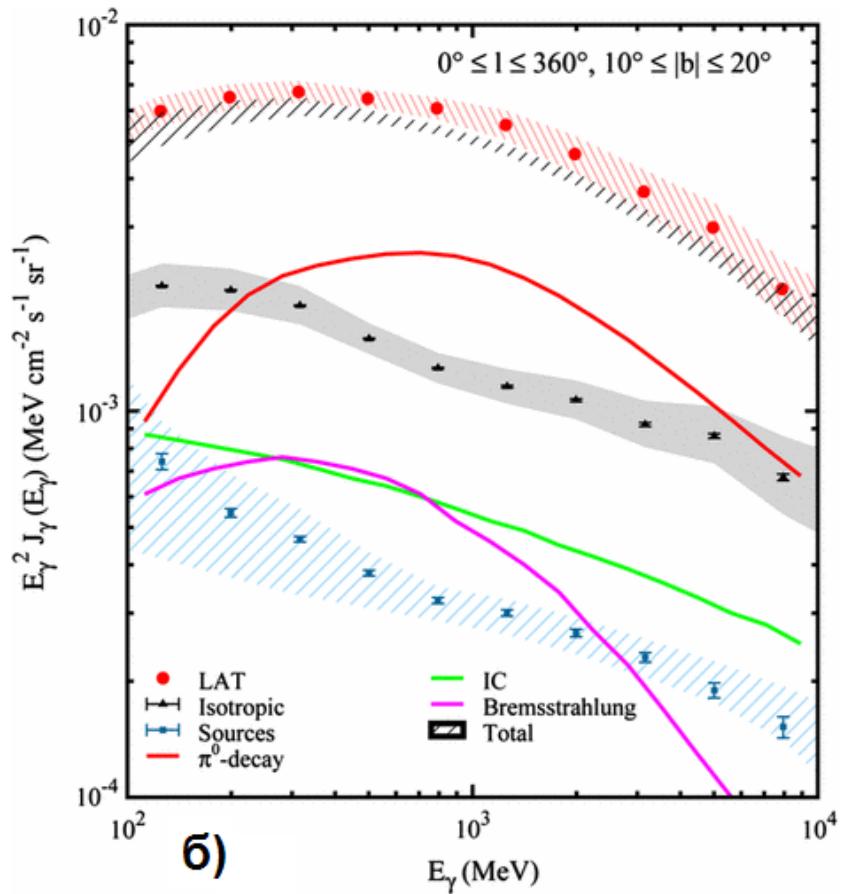
Рис. 5-18 Излучательная способность в локальной галактической окрестности. Кривая 1 – гамма-кванты, образующиеся за счет распада π^0 – мезонов,

2 – гамма-излучение, образующееся за счет тормозных потерь релятивистских электронов. Спектр электронов в области энергий $E \leq 1\text{ГэВ}$ определялся из радиоданных.

Кривая 3 – суммарная излучательная способность локального галактического пространства в гамма-диапазоне.



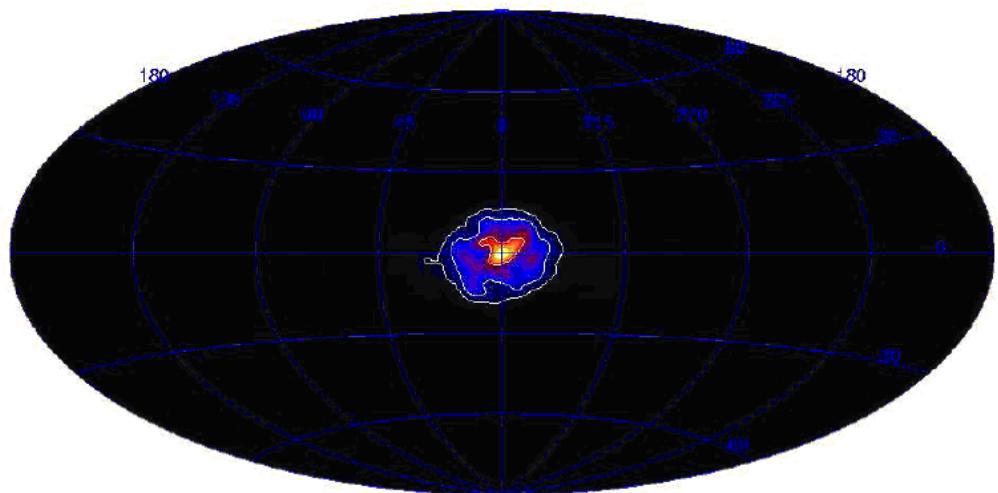
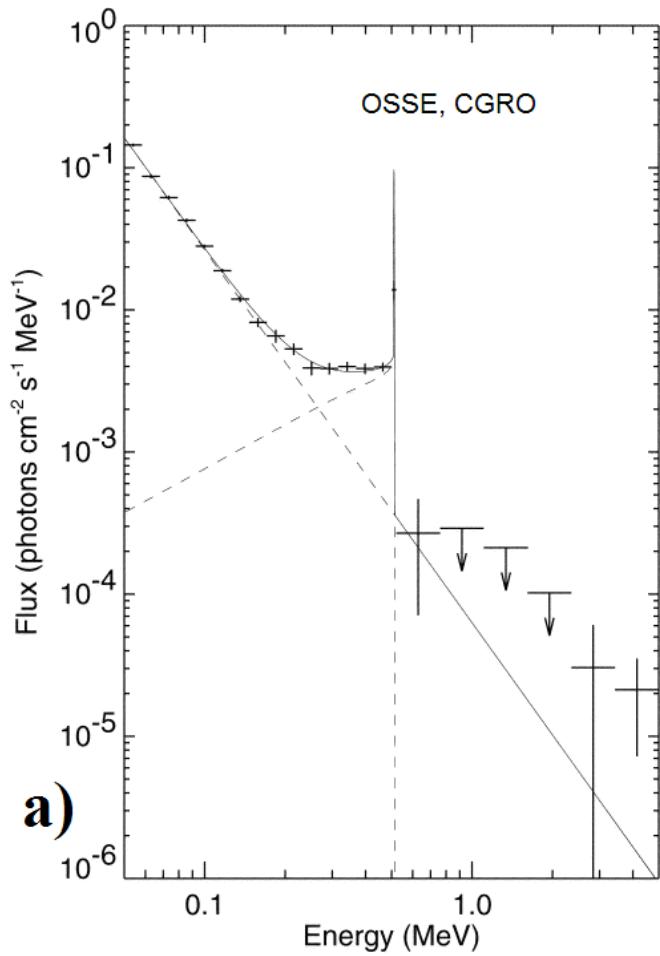
а)



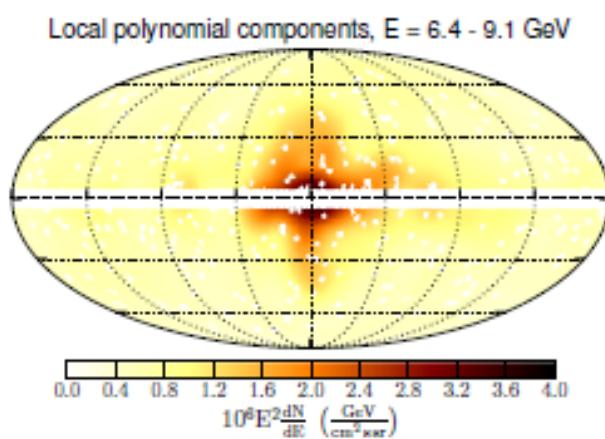
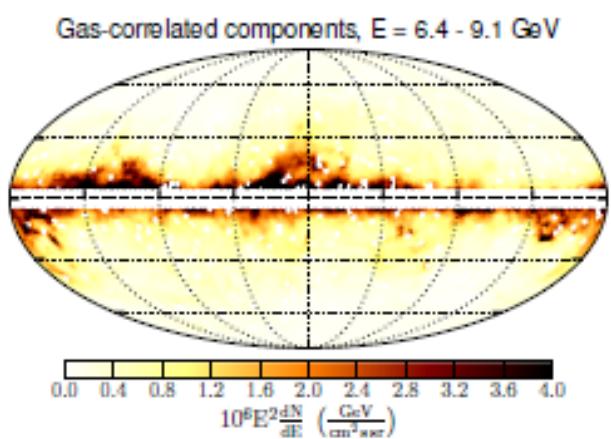
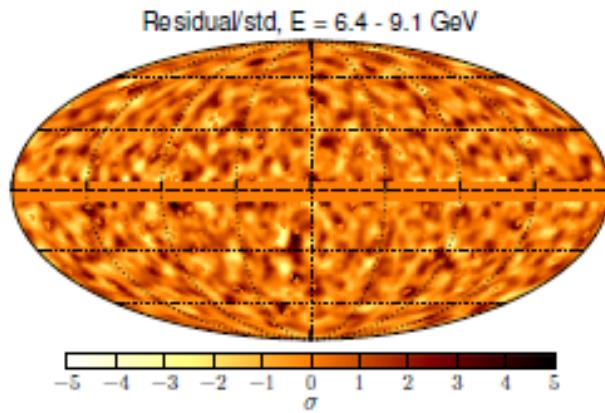
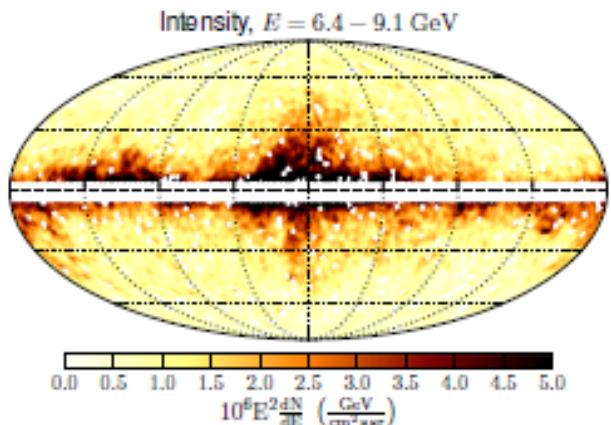
б)

а) Спектр высокоширотного диффузного гамма-излучения Галактики Fermi-LAT [8] в области $200^\circ \leq l \leq 260^\circ, 22^\circ \leq |b| \leq 60^\circ$, l - галактическая долгота и b - галактическая широта. Красной линией обозначен вклад тормозного излучения релятивистских электронов.

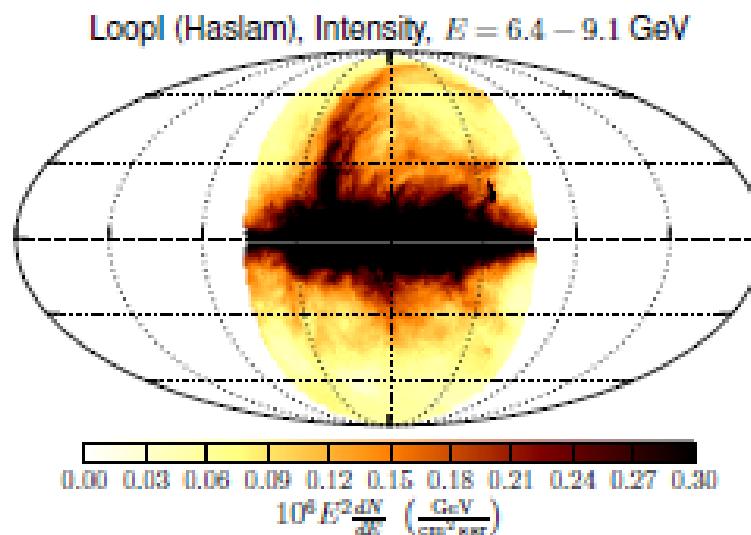
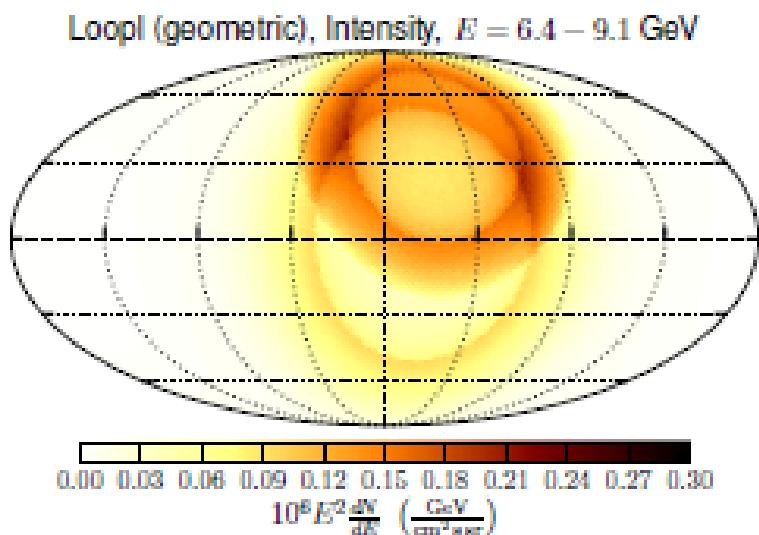
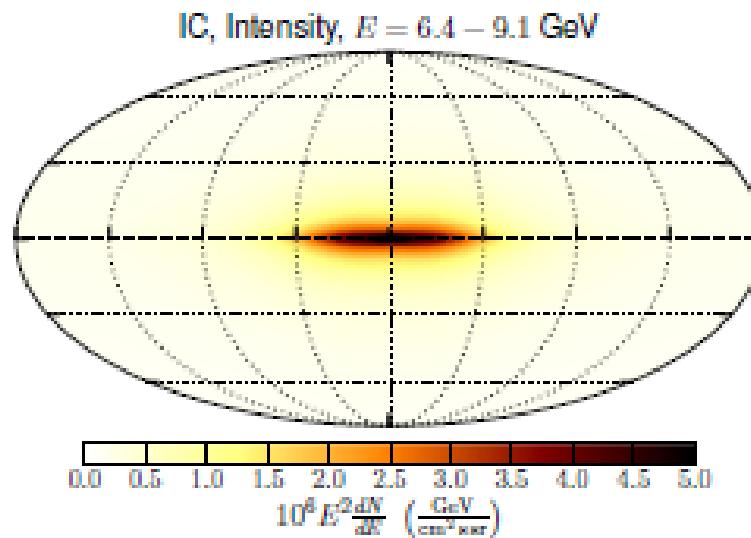
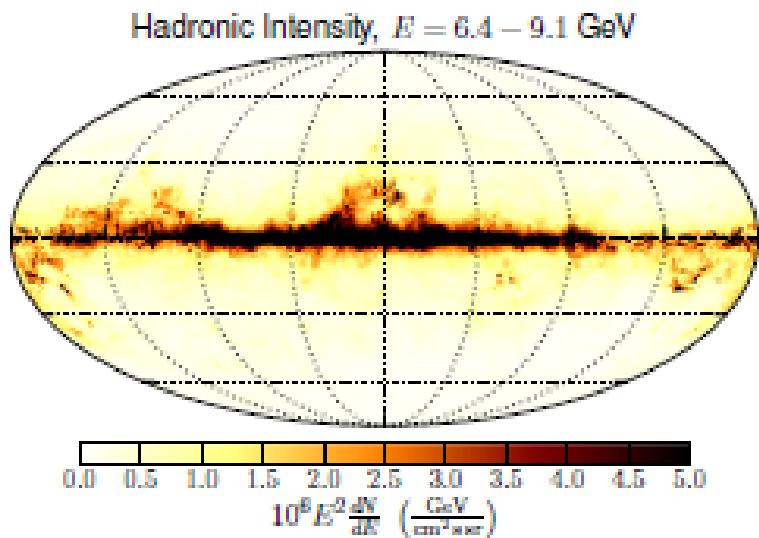
б) Спектр низкоширотного диффузного гамма-излучения Галактики по данным Fermi-LAT [9] в области $0^\circ \leq l \leq 360^\circ, 10^\circ \leq |b| \leq 20^\circ$. Вклад тормозного излучения релятивистских электронов обозначен малиновой линией.



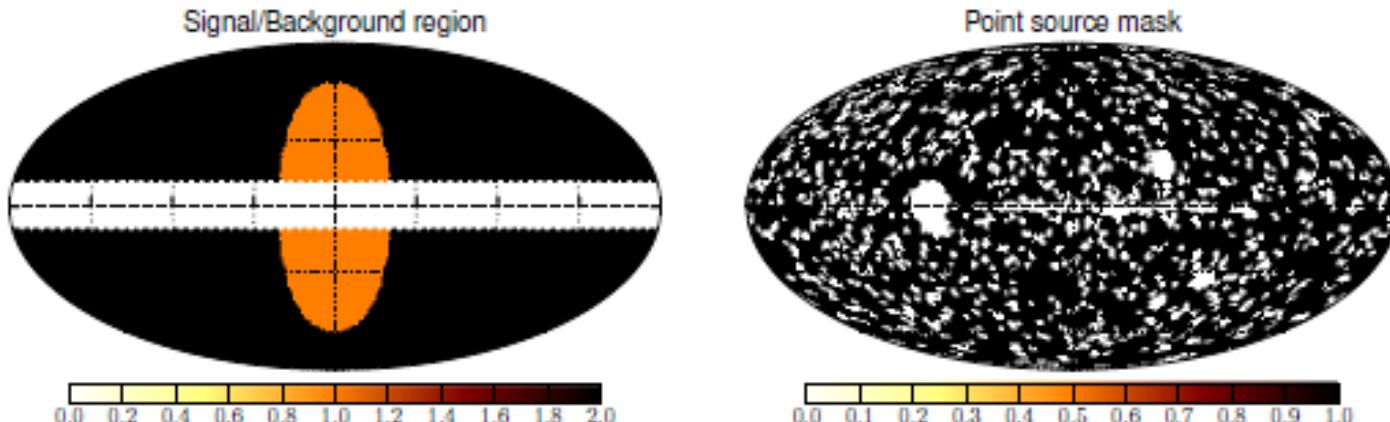
а) Спектр гамма-излучения из области галактического центра, полученный по данным сцинтиляционного спектрометра OSSE CGRO; б) карта центра Галактики в линии 511 кэВ по данным орбитальной обсерватории ИНТЕГРАЛ



An example of fitting a combination of gas-correlated templates and a local polynomial model to the data. Top left: gamma-ray intensity in the 6.4 - 9.1 GeV energy bin. Bottom left: gas-correlated gamma-ray emission determined from the fit to the gamma-ray data. Bottom right: emission components not correlated with the gas templates modeled by a combination of local polynomials. Top right: the residual map.



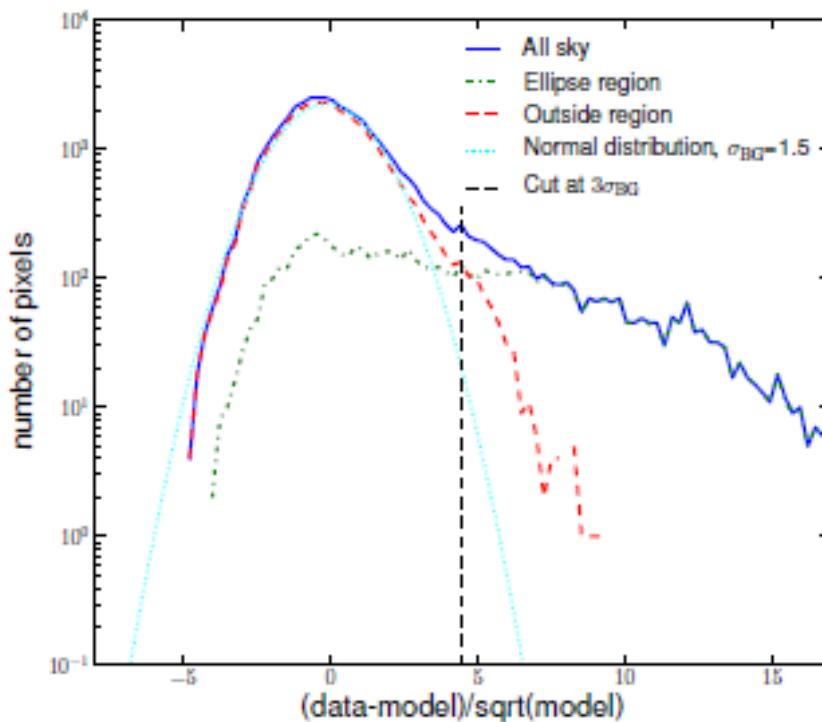
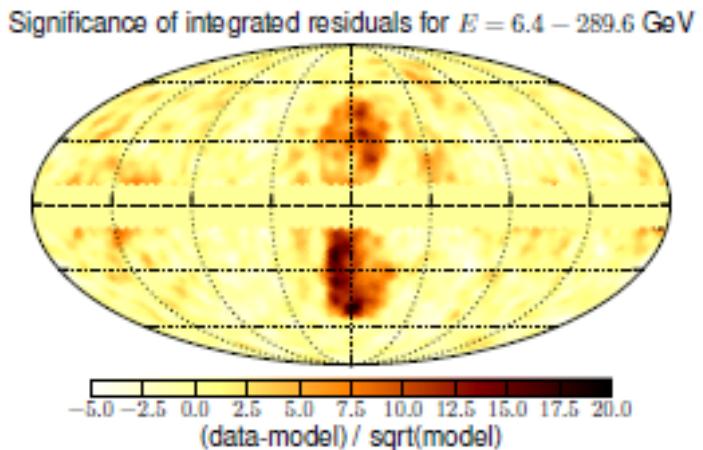
Template intensities in the energy bin $E = 6.4 - 9.1$ GeV. Top left: gas-correlated template (sum of hadronic and bremsstrahlung for neutral and ionized atomic and molecular hydrogen) obtained from GALPROP. Top right: IC map obtained from GALPROP. Bottom: Loop I template based on geometrical model (Wolleben 2007) (left) and on the Haslam map (right). The Loop I template normalizations are obtained by fitting to the Fermi LAT data.



Left: elliptical region that covers the bubbles (orange) and background region (black). The Galactic plane is masked at $|b| < 10^\circ$. Right: mask for point sources ($TS > 25$) and extended sources from the 2FGL catalog (Nolan et al. 2012).

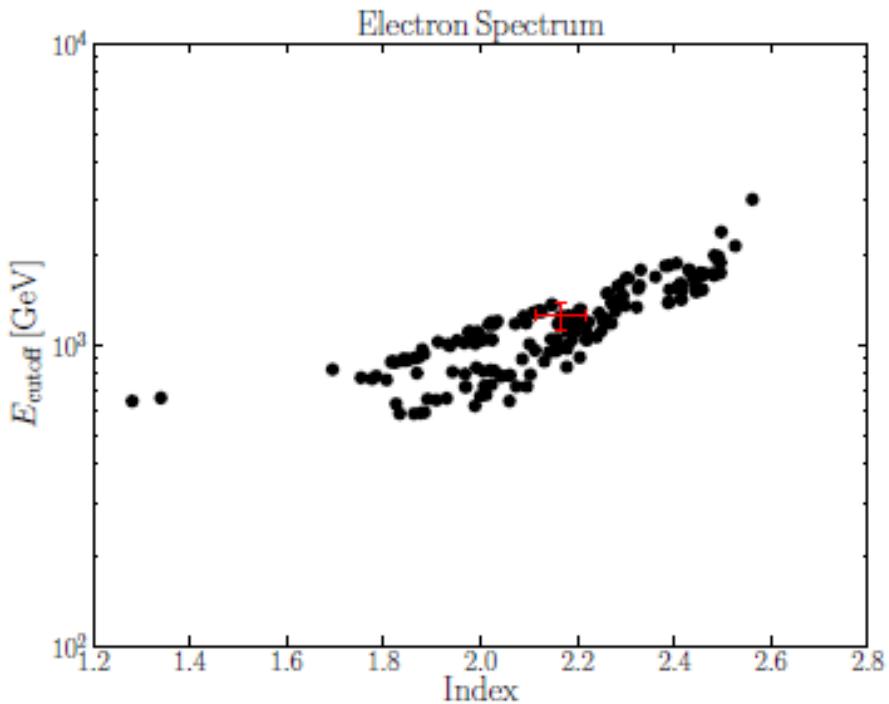
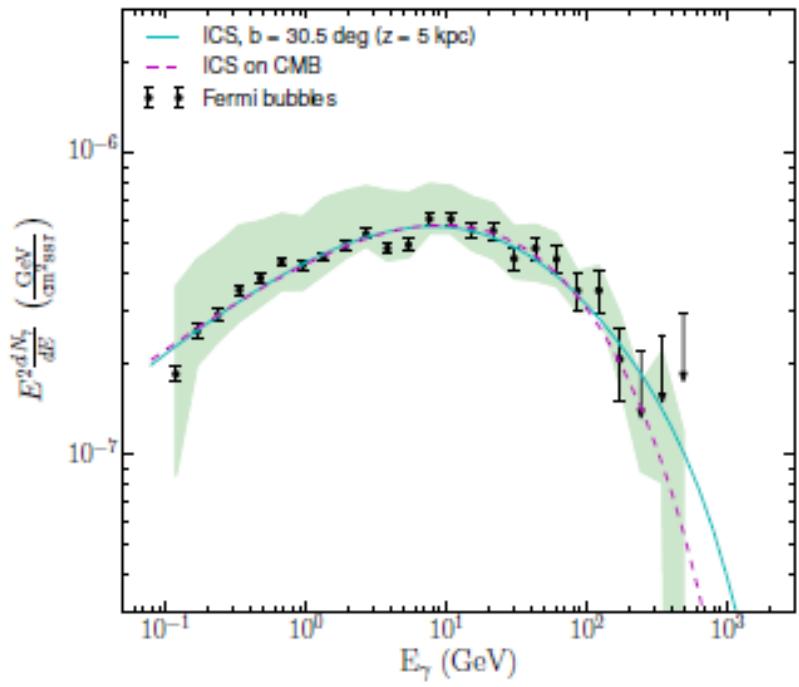
Template maps used in all-sky fit for derivation of the spectra.

Template	Description
Neutral and ionized atomic hydrogen (sum of H I and H II)	GALPROP: bremsstrahlung and hadronic production local ring: 8 - 10 kpc (free) non-local component: 0 - 8 kpc and 10 - 50 kpc (fixed)
Molecular hydrogen (H ₂)	GALPROP: bremsstrahlung and hadronic production all Galactocentric rings combined (fixed)
Inverse Compton radiation	GALPROP (free)
Bright 2FGL sources	TS > 200, 472 sources: each fitted individually
Weak 2FGL sources	one template obtained by adding 2FGL fluxes (free)
Isotropic	extragalactic diffuse and residual CR contamination (free)
Loop I	Haslam map or geometric template (free)
Bubble	template obtained from residuals (Section 3.2) (free)

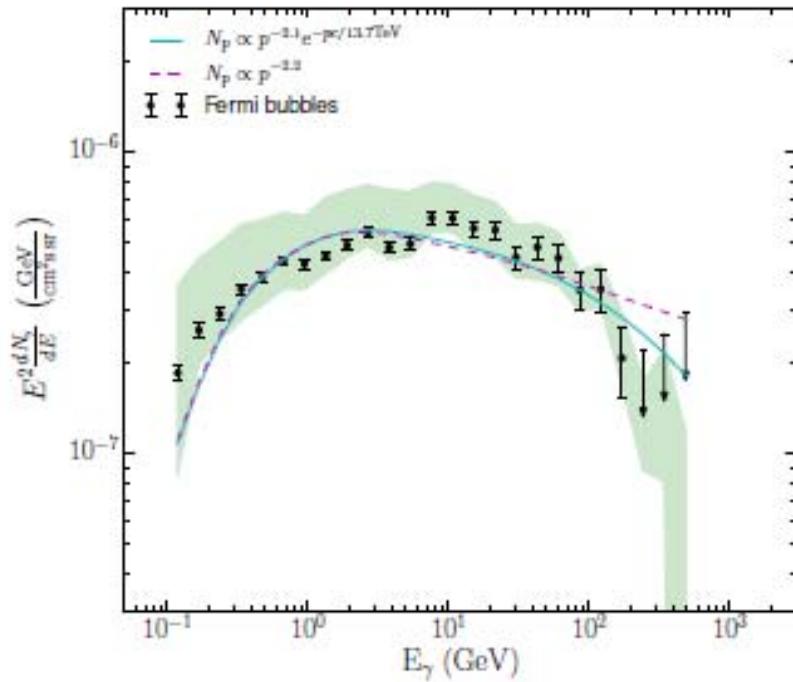


Left: significance of integrated residual map at energies $6.4 \text{ GeV} < E < 290 \text{ GeV}$, defined as $(\text{data} - \text{model}) / \sqrt{\text{model}}$, smoothed with a 2° Gaussian kernel. The large-scale residuals outside of the bubbles are due to imperfect modeling of Loop I and the local gas. Right: histogram of values in the smoothed residual significance map. Dashed (red): background region (Figure 3). Dash-dotted (green): the region of interest. Solid (blue): all sky. Dotted (cyan): Gaussian fit to the background distribution, the width is $\sigma_{BG} = 1.5$. The threshold in the definition of the bubbles' template is set to $3\sigma_{BG}$ and is shown as a vertical dashed black line. All pixels inside the elliptical masking region and above $|b| = 10^\circ$ with the level of residual flux larger than the threshold are included in the template of the bubbles (Figure 5).

IC model of the bubbles



Hadronic model of the bubbles



Primary gamma-ray emission of hadronic model of the *Fermi* bubbles spectrum using a simple power law or a power law with an exponential cutoff for the spectrum of protons.

ЯДРА АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК

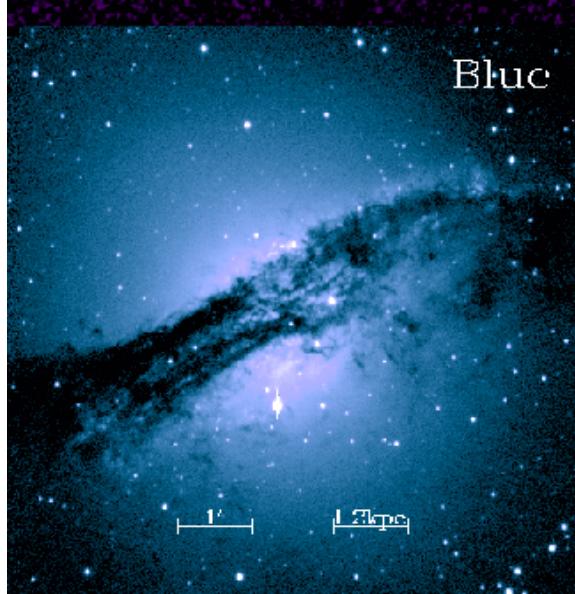
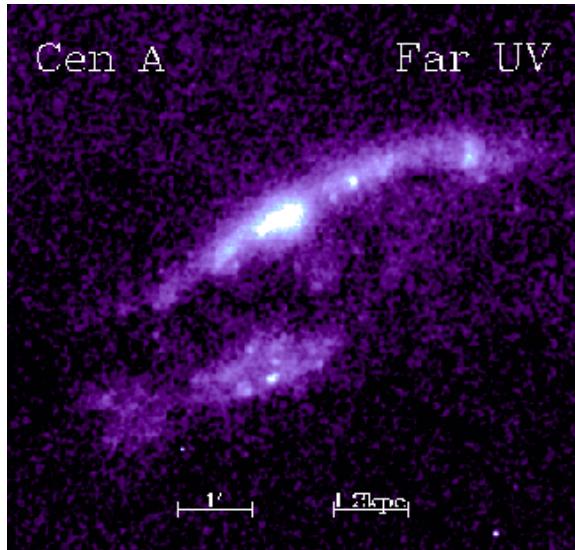
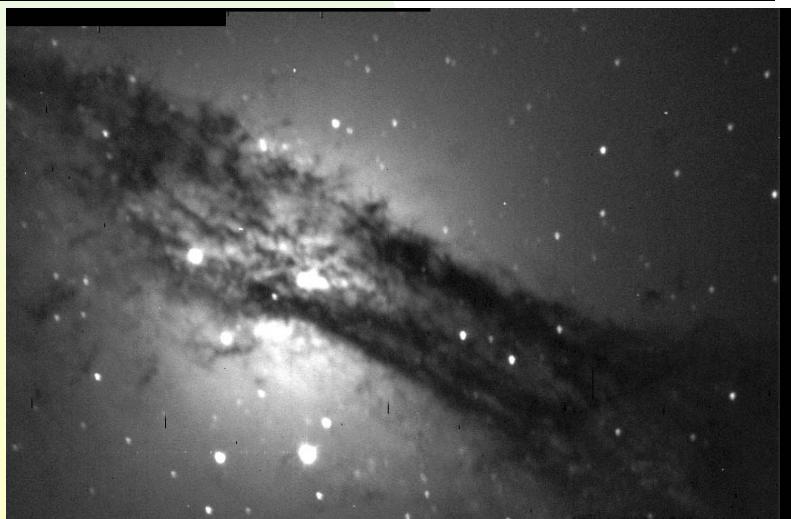
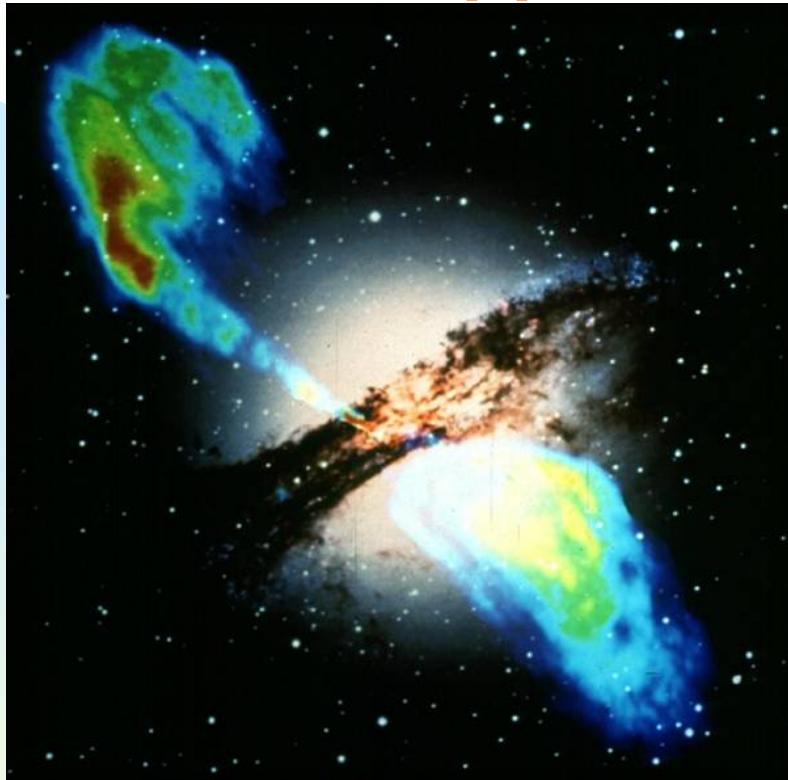
**РАДИО-
ГАЛАКТИКИ**

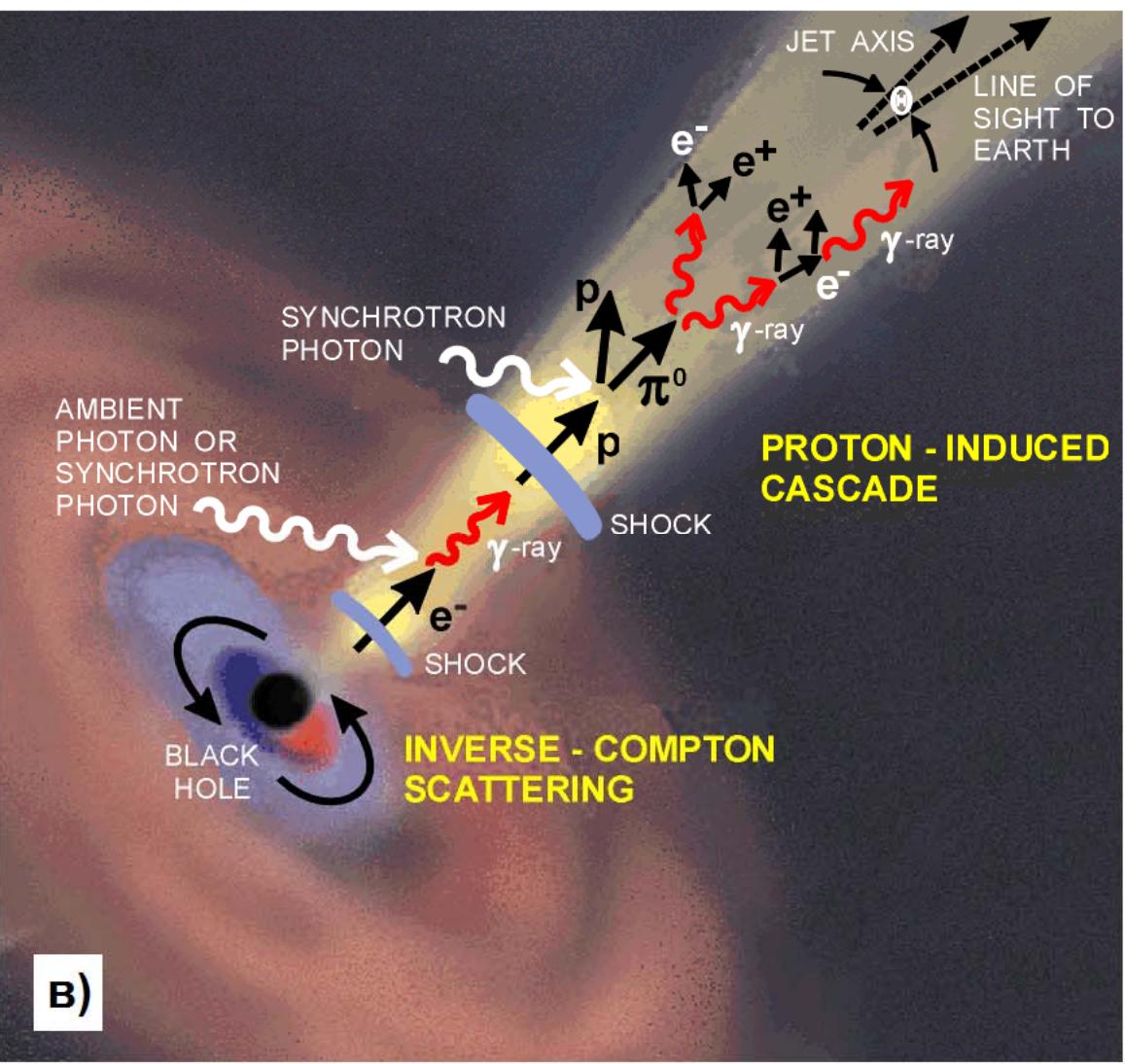
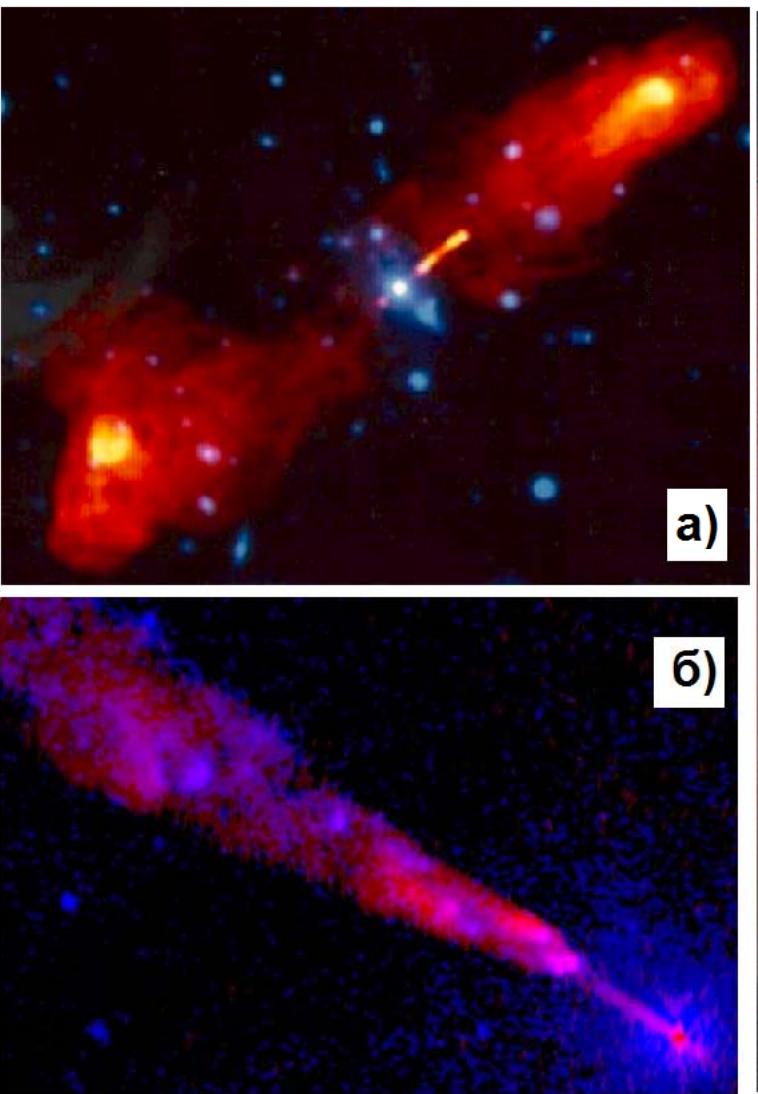
**СЕЙФЕРТОВЫ
ГАЛАКТИКИ**

КВАЗАРЫ

БЛАЗАРЫ

РАДИОАГАЛАКТИКИ





а) Радиогалактика 3C219. Синие цвета – оптическое изображение, красный цвет – компоненты радиоисточника. <http://w0.sao.ru/Doc-k8/SciNews/RC0311/fig1.jpg>.

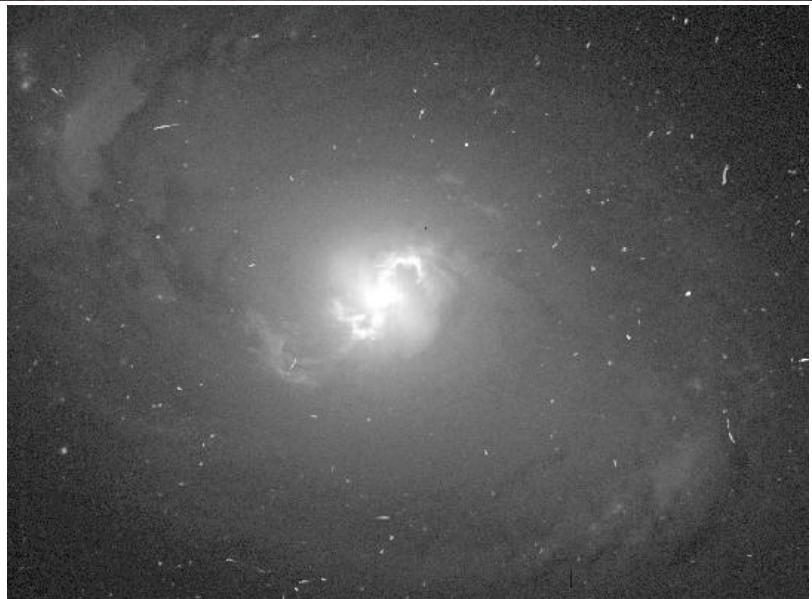
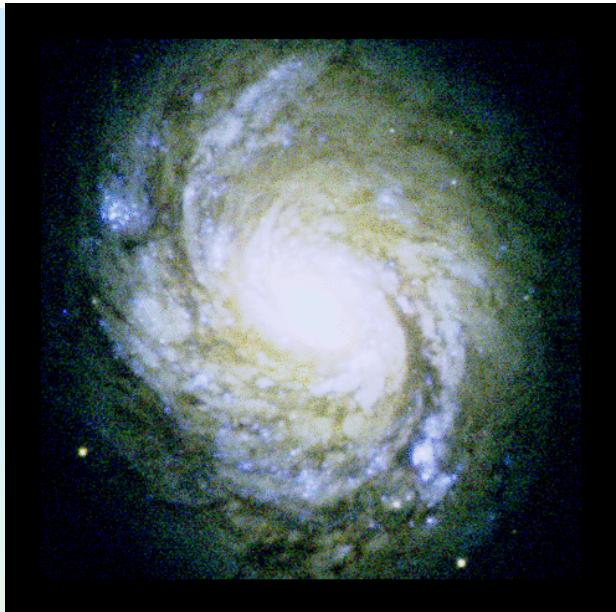
б) Активная галактика Центавр А. Области радиоизлучения показаны красным, рентгеновского – синим цветом. Виден участок джета длиной 4000 световых лет.

http://images.astronet.ru/pubd/2003/05/02/0001189854/cenajet_cxcnrao_c1.jpg.

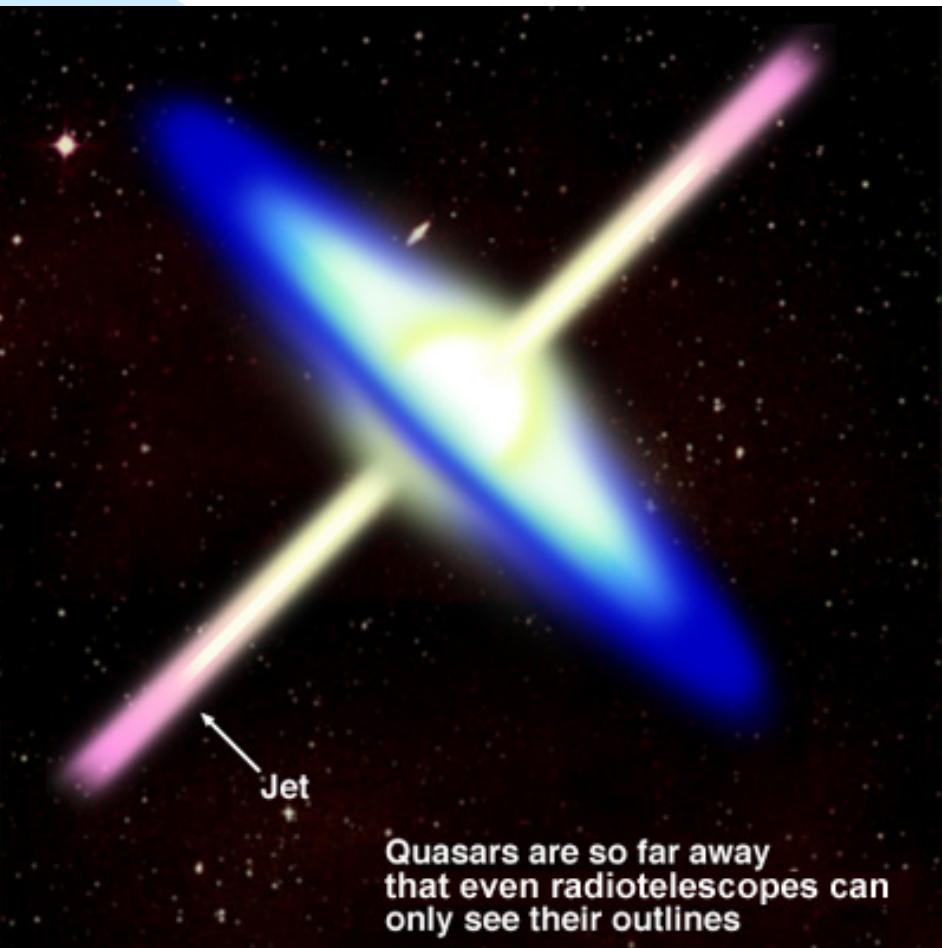
в) Схема формирования излучения джета.

<http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/bonn04/program.html>

СЕЙФЕРТОВЫ ГАЛАКТИКИ



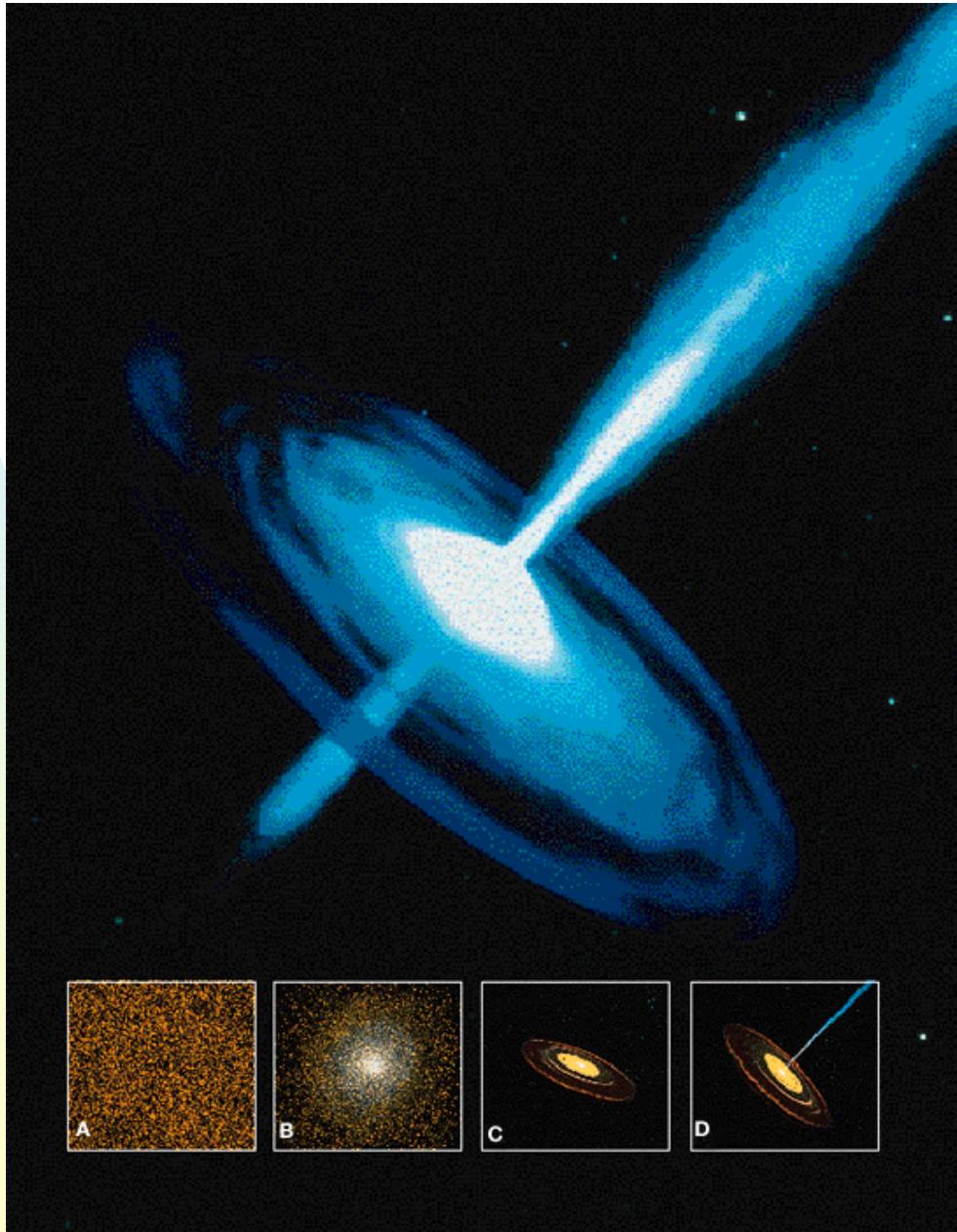
КВАЗАРЫ



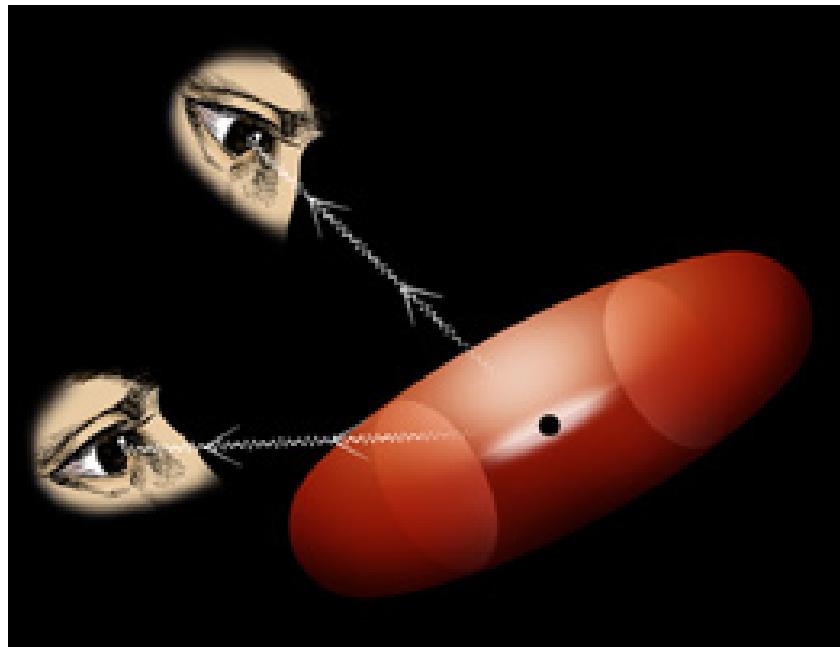
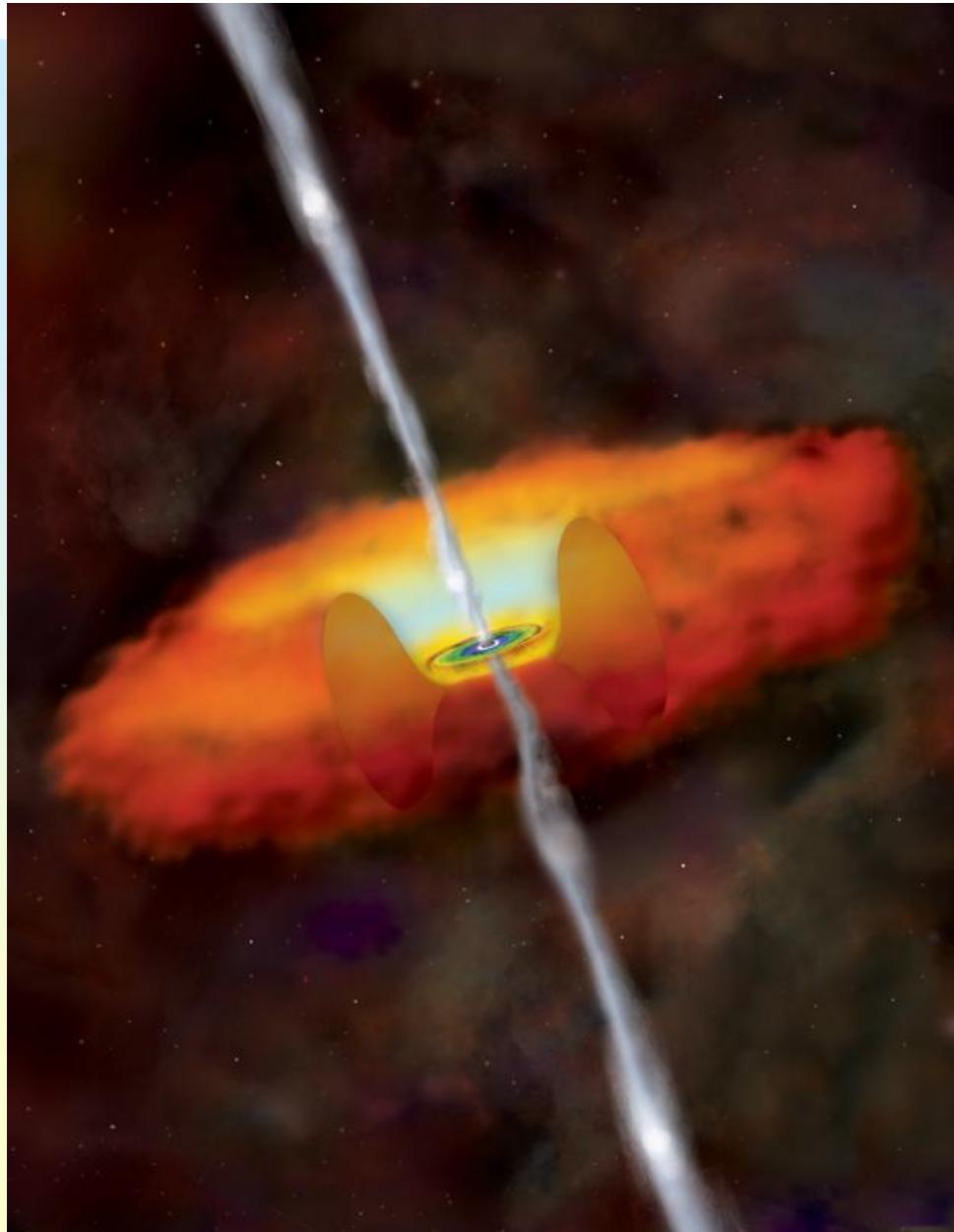
Quasars are so far away
that even radiotelescopes can
only see their outlines



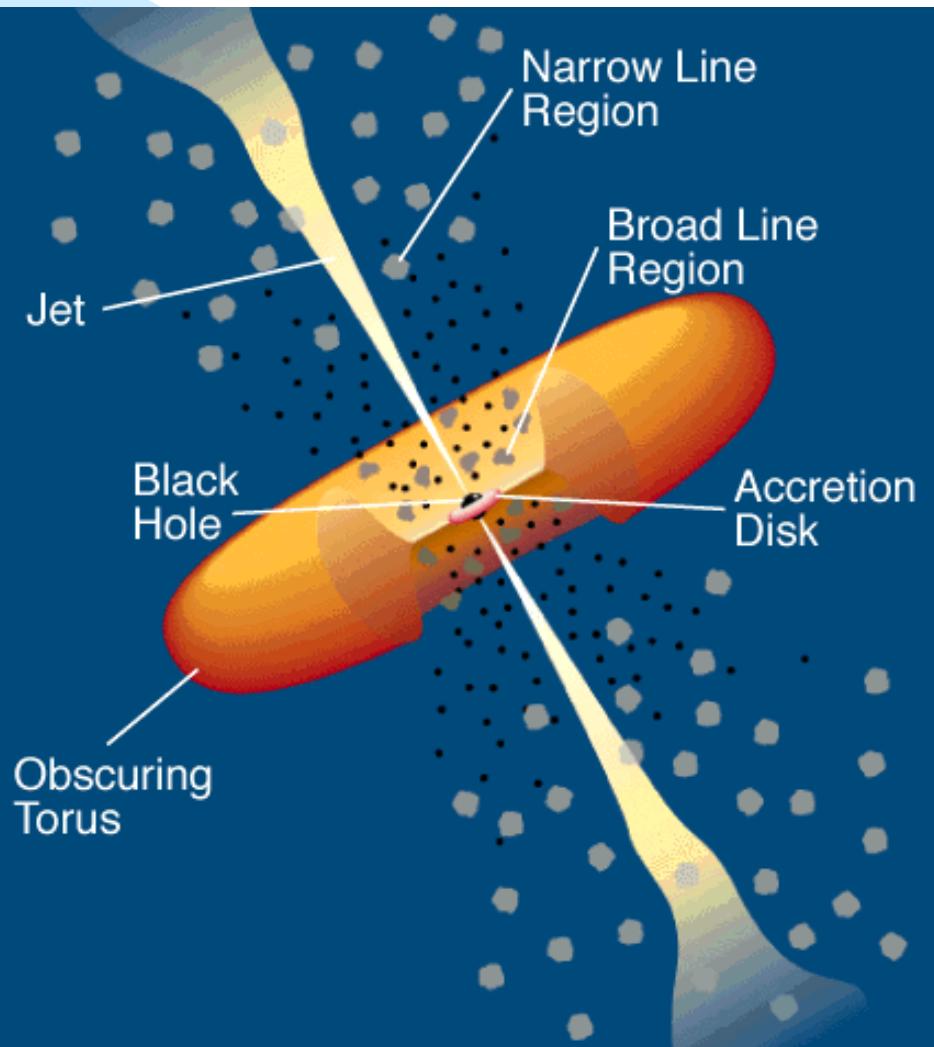
Эволюционный подход



Унификационный подход



Модель активного галактического ядра



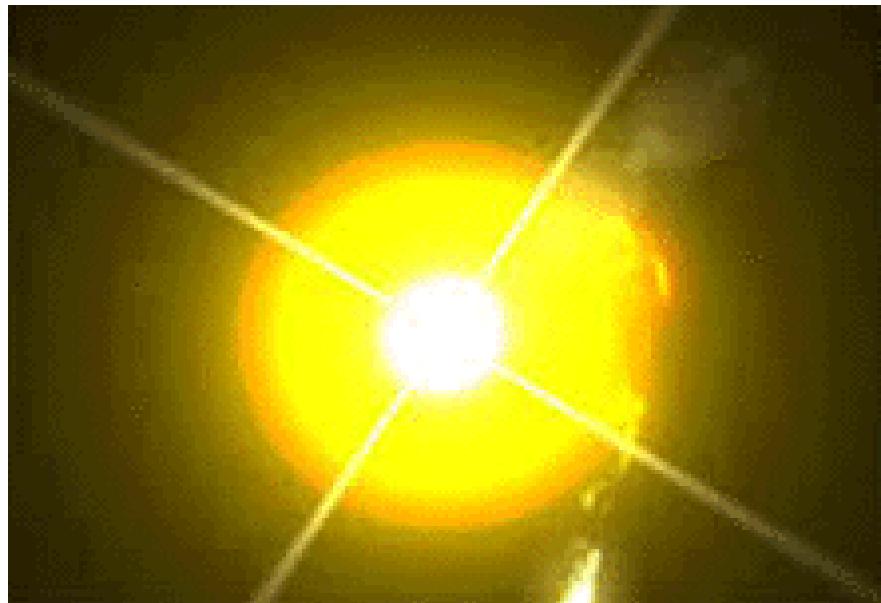
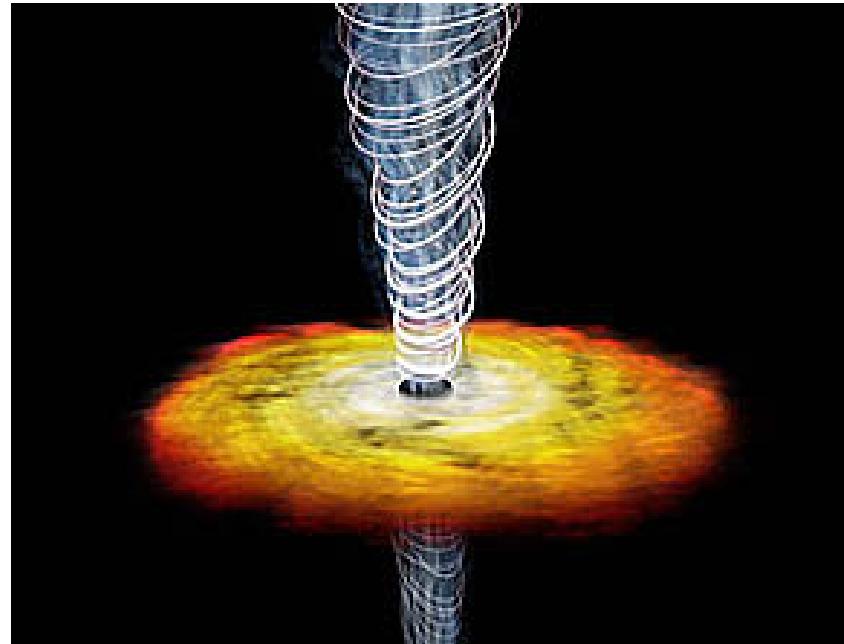
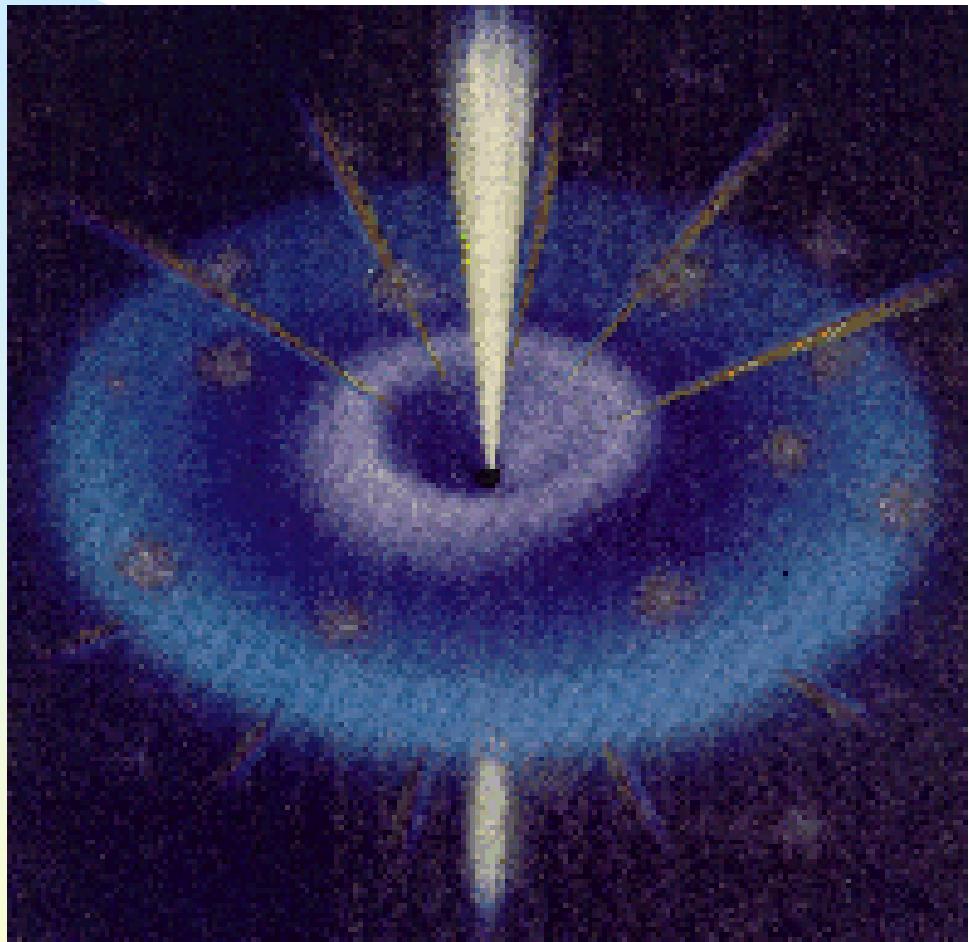
Сверхмассивная черная дыра
 $10^6 - 10^9 M_\odot$

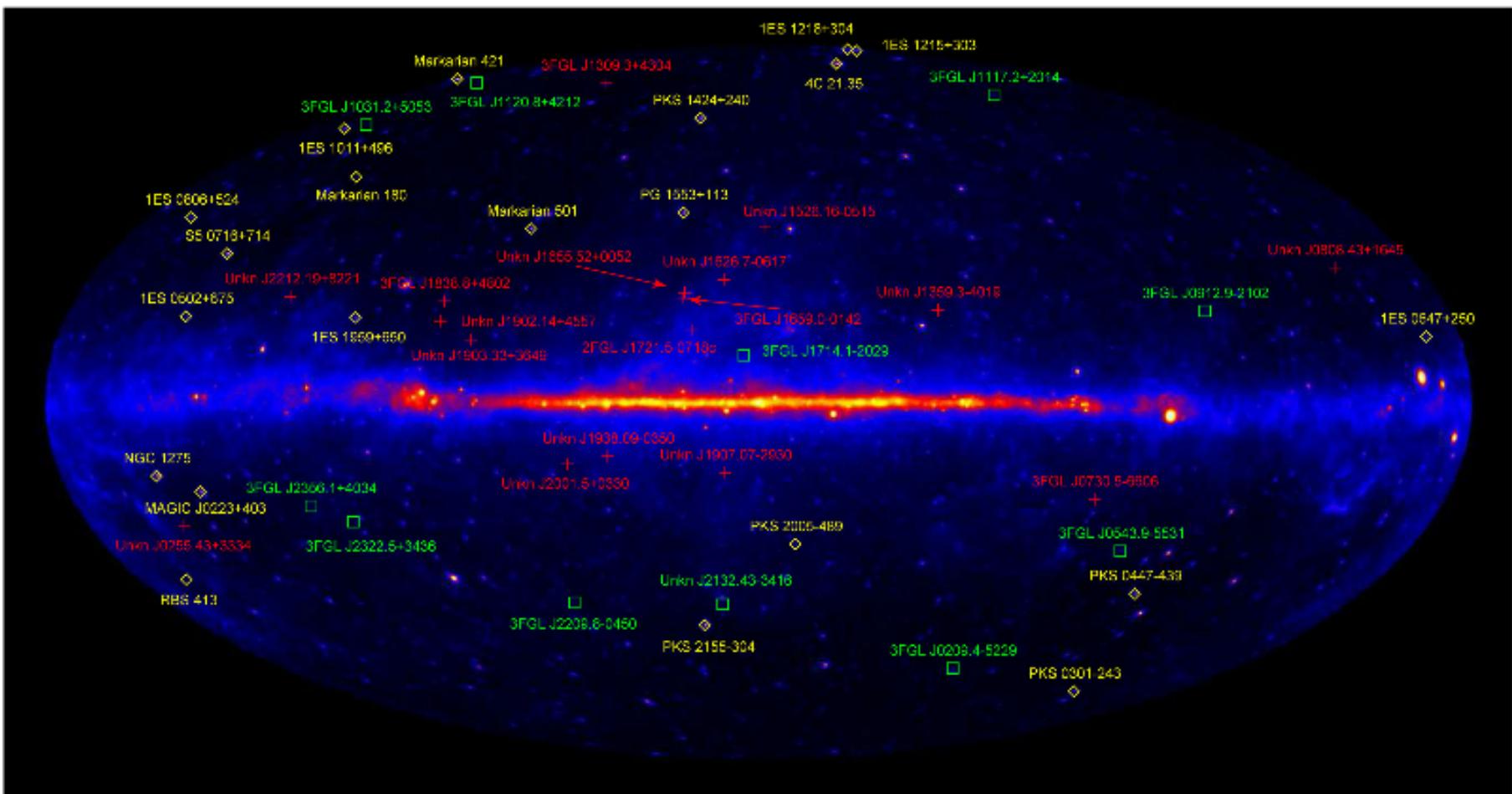
аккреционный диск

релятивистские струи (джеты)
 $2-7^\circ$, десятки кпс

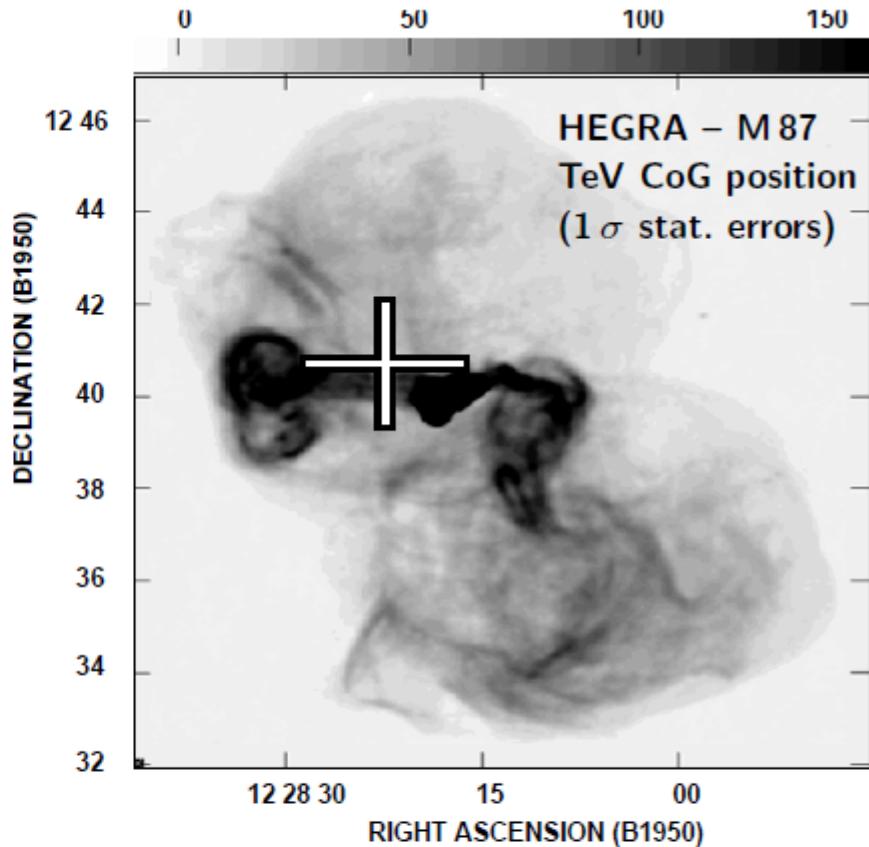
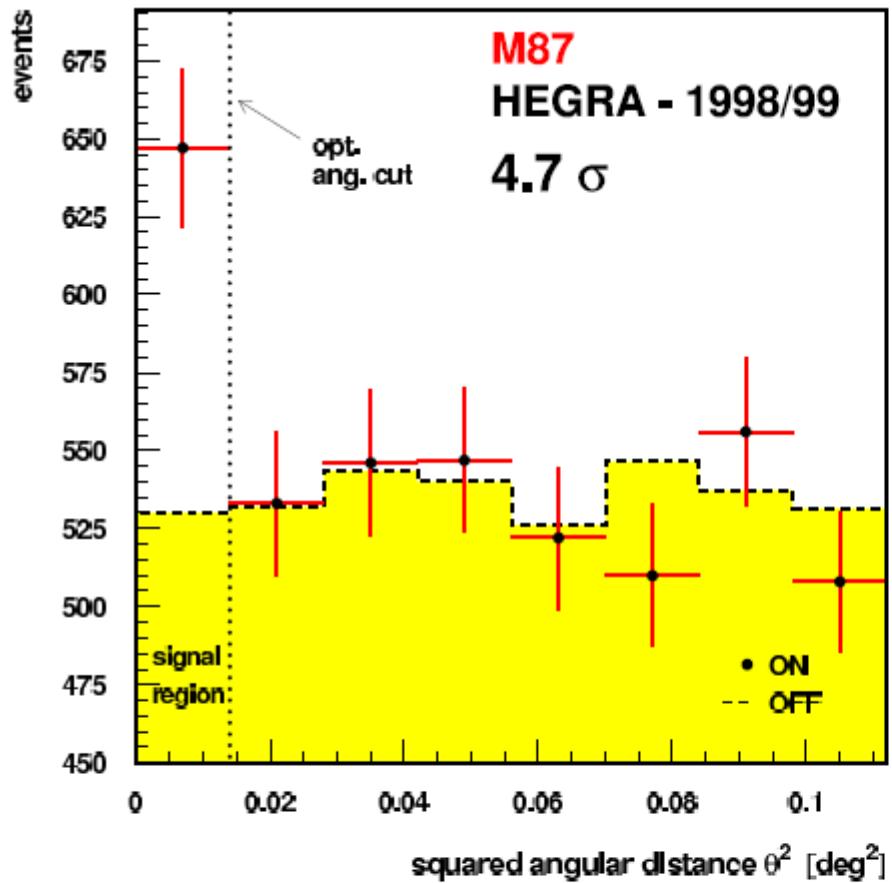
газо-пылевой тор

БЛАЗАРЫ

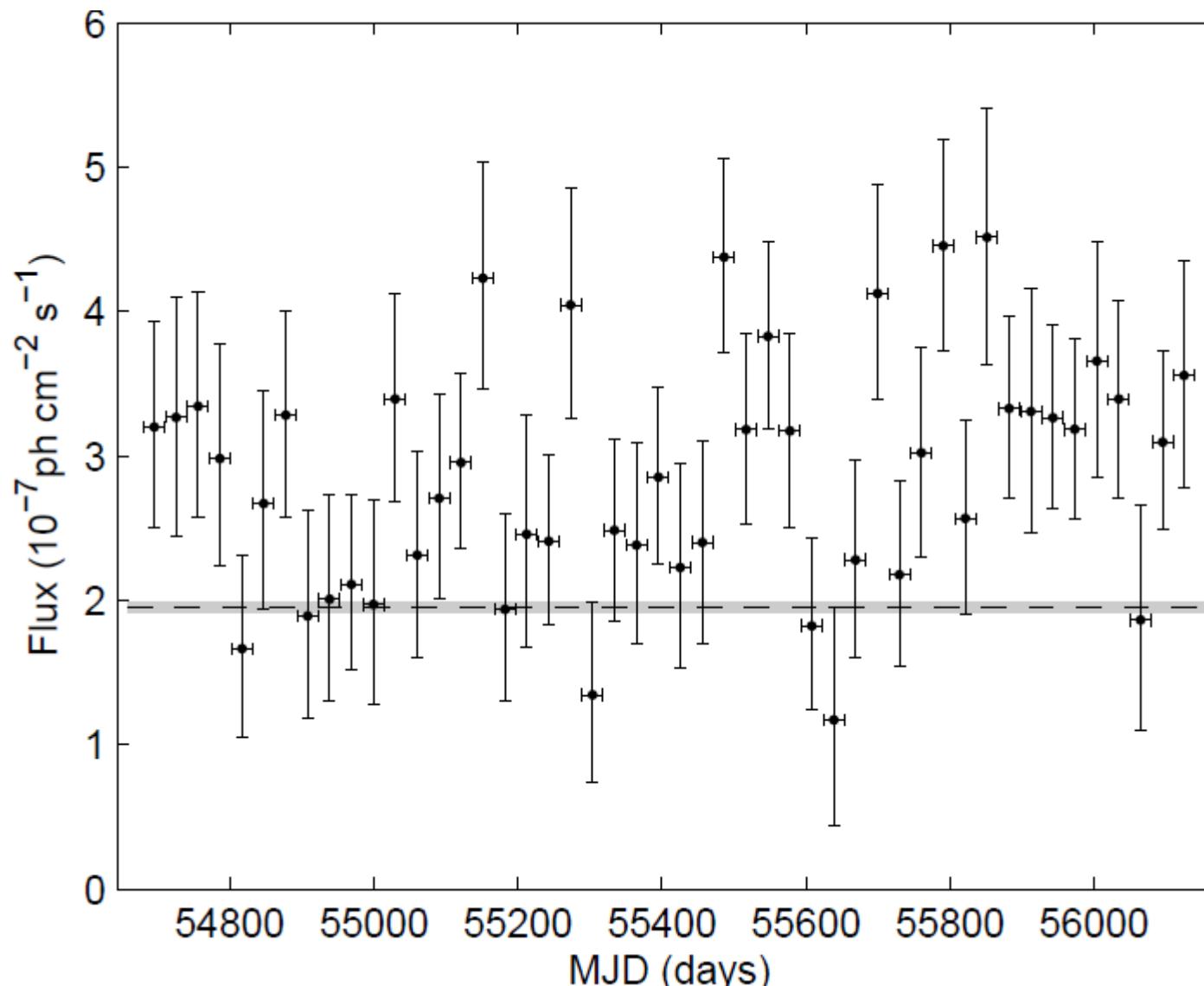




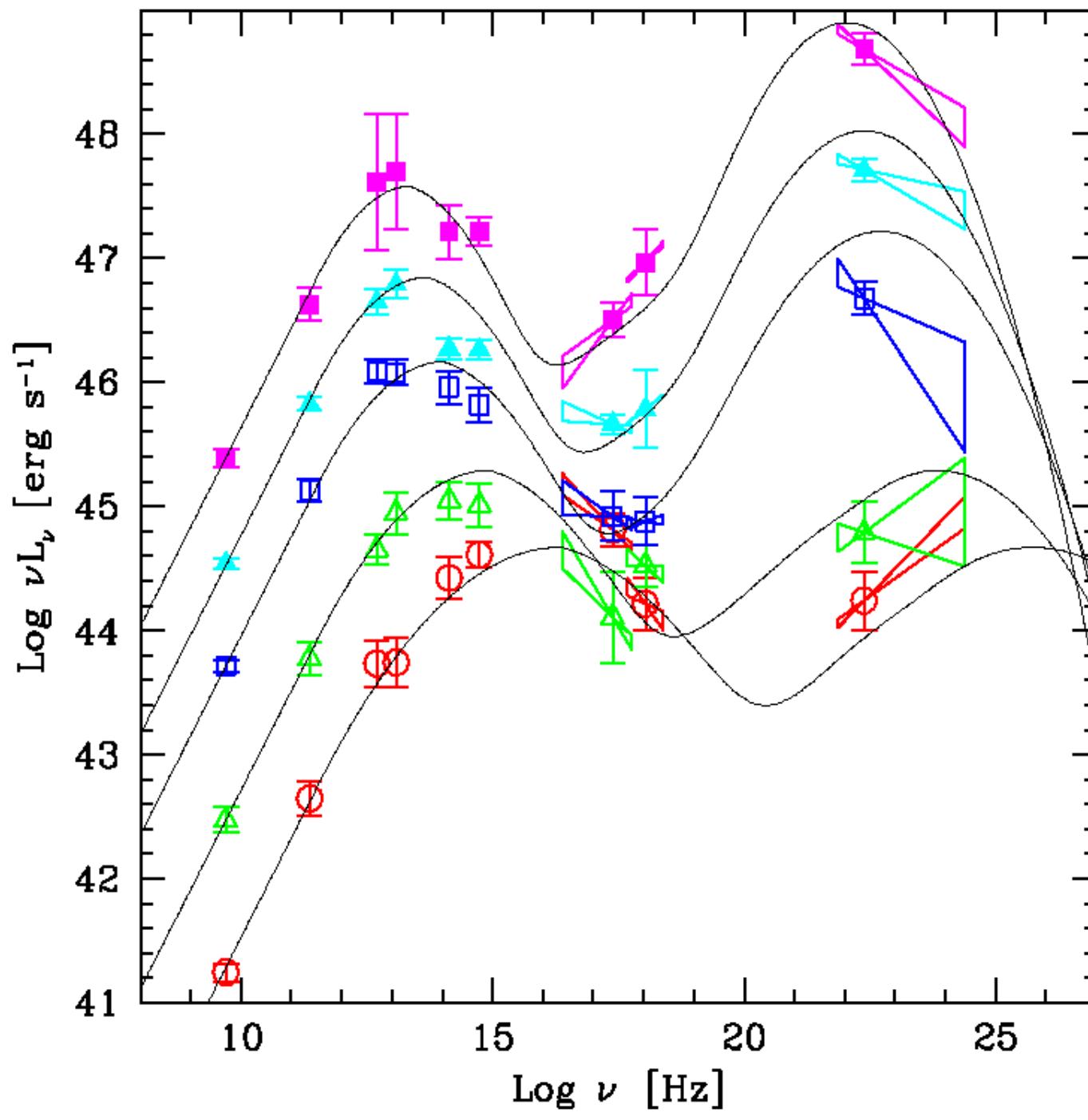
All sky image showing the locations of the clusters with $TS > 25$ (bold square), $TS < 25$ (cross) and the 21 objects that are already known TeVCat sources (diamond).

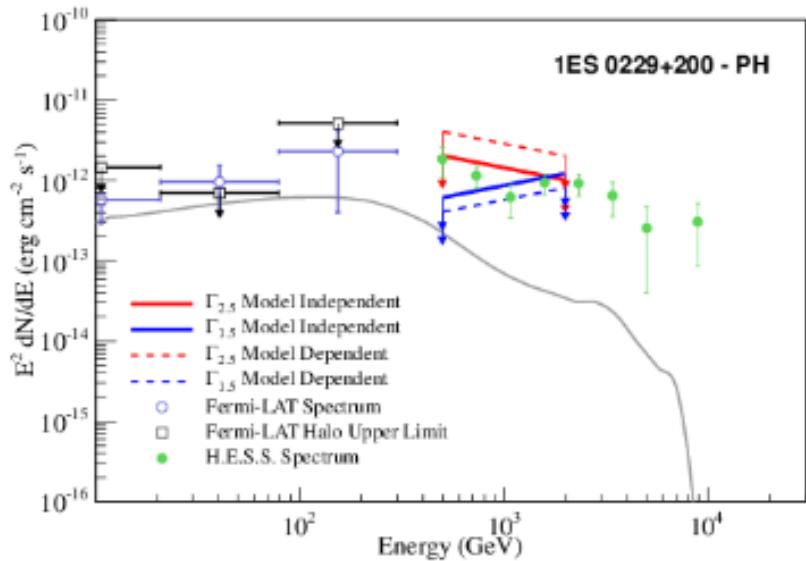
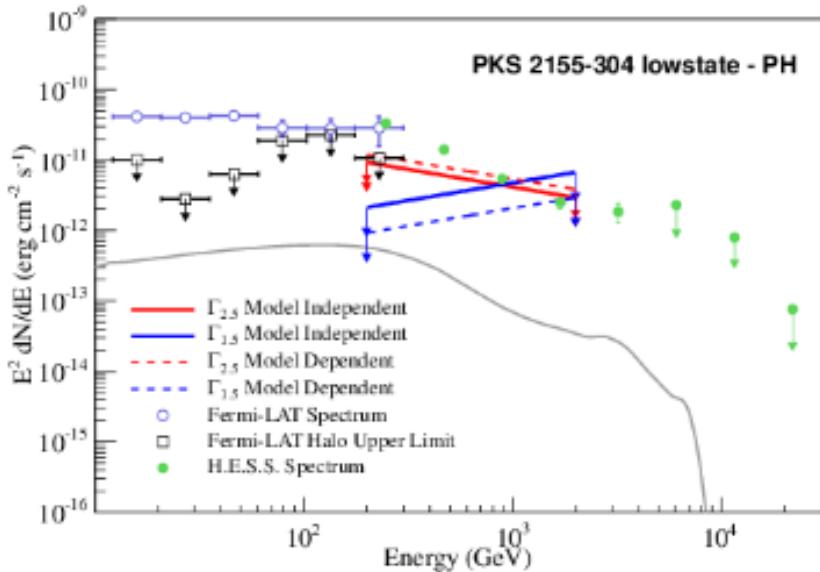
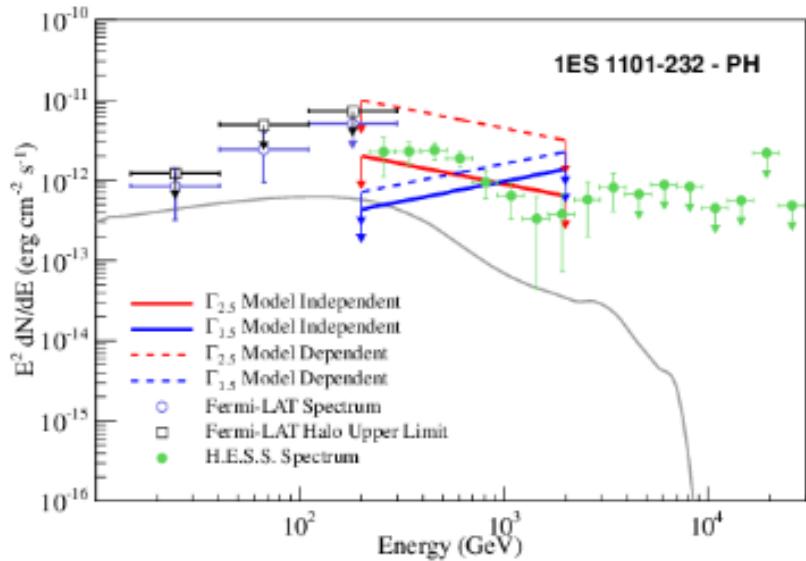


Left panel: Number of events vs. squared angular distance Θ^2 to the core position of M 87 as observed in the years 1998 and 1999 with the HEGRA IACT system. The dots show the ON-source events, while the histogram gives the background estimate. Indicated by the vertical dotted line is the optimum angular cut as determined from nearly contemporaneous Crab observations at similar zenith angles. The significance of the M 87 excess amounts to 4.7σ . Right panel: Radio image of M 87 at 90 cm showing the structure of the M 87 halo. The center of gravity position of the TeV γ -ray excess from the HEGRA M 87 observations is marked by the cross indicating the statistical 1σ errors [6].

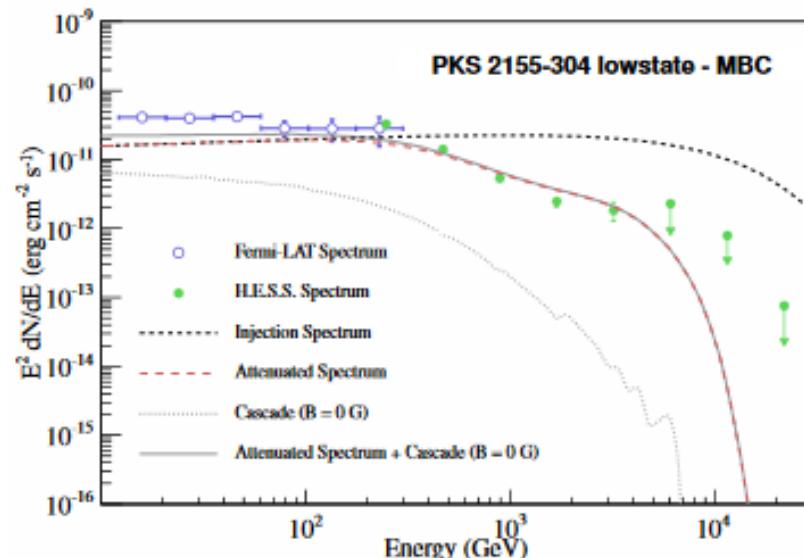
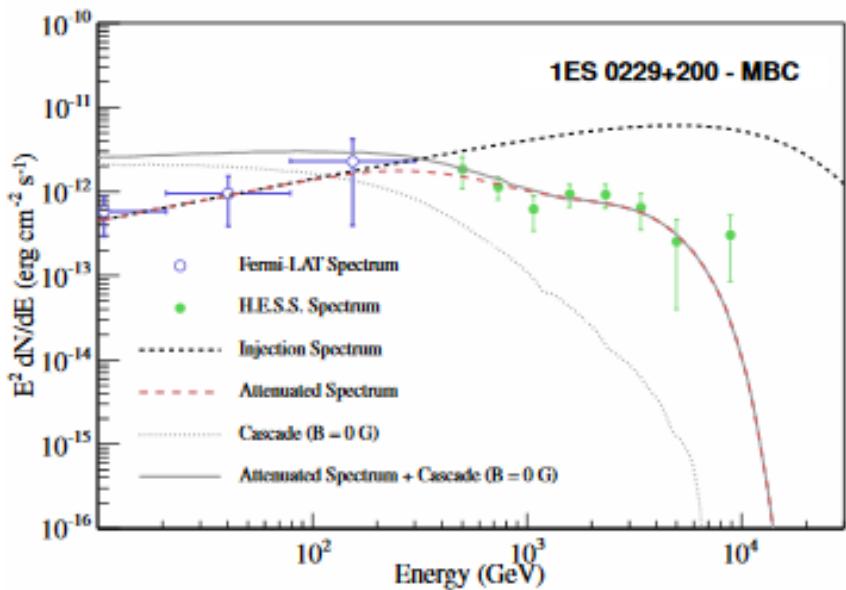
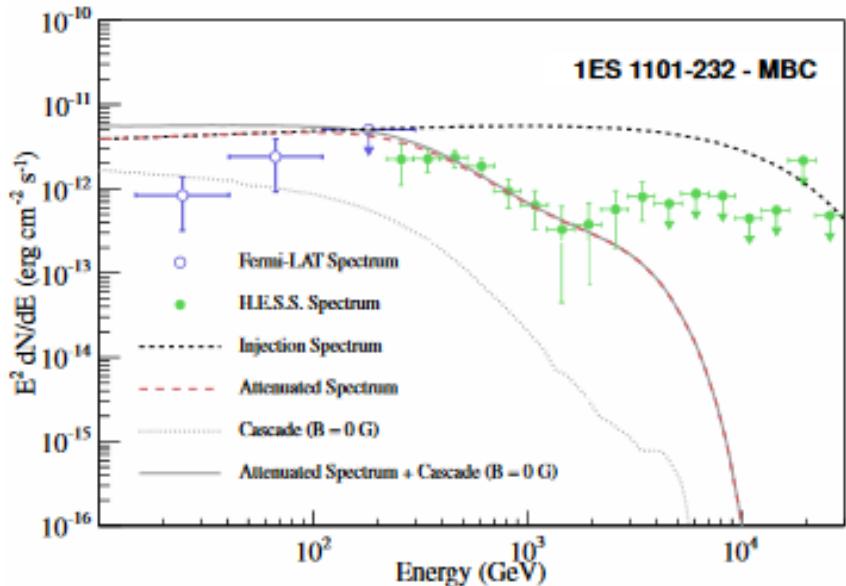


Light curve of 3FGL J1616.2–5054e (HESS J1616–508). That is an extended source that should not be variable. Indeed the monthly fluxes are compatible with a constant, but not with the flux extracted over the full four years (dashed line with gray-shaded uncertainty). That inconsistency is due to a remaining difference between binned and unbinned likelihood fits affecting only extended sources.

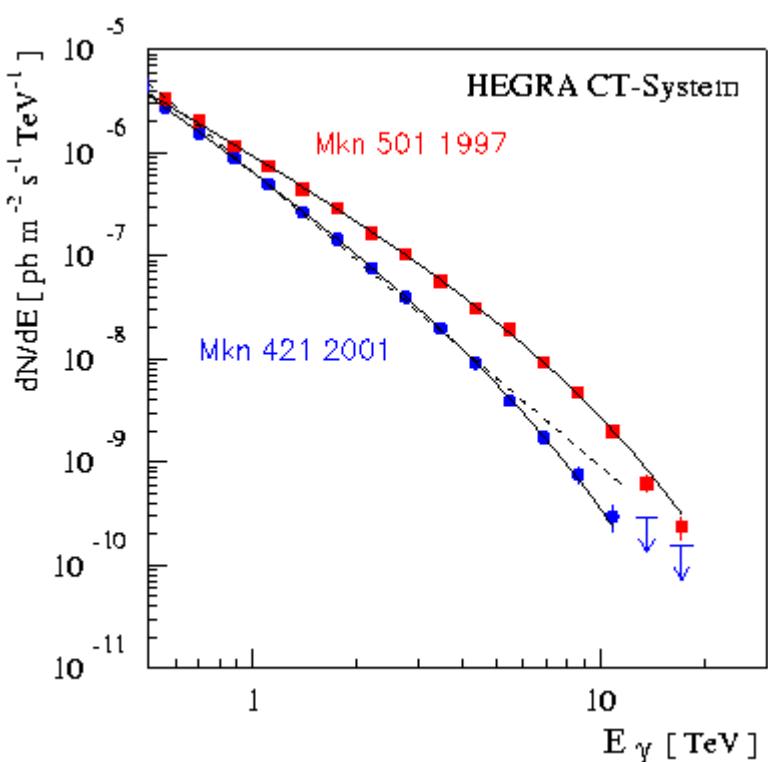




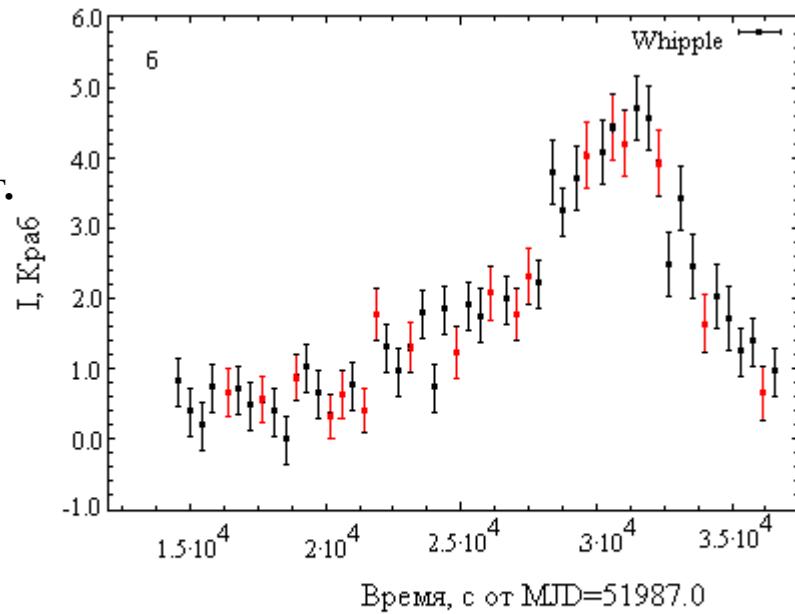
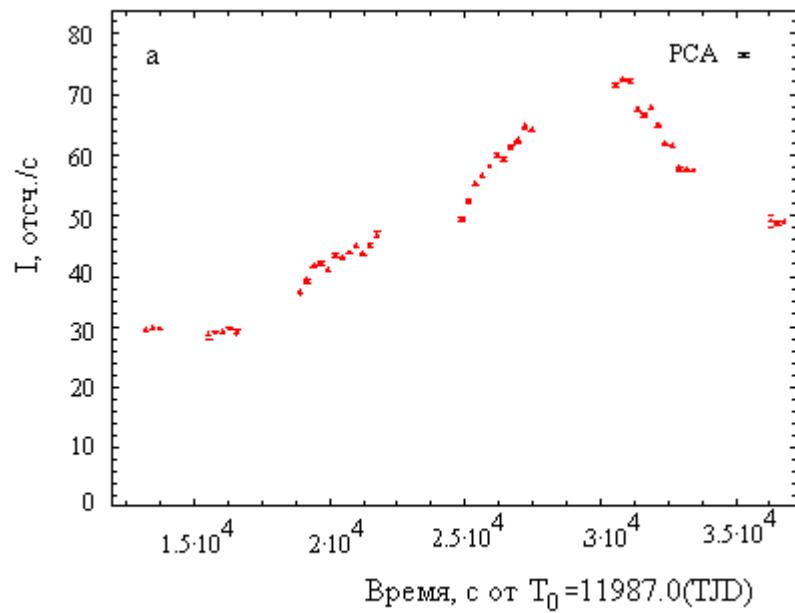
Spectral energy distribution of 1ES 1101-232 (top), 1ES 0229+200 (middle) and PKS 2155-304 low state data sets (bottom). The H.E.S.S. data (green circles) and the *Fermi* data (empty circles) are shown. The upper limits on the flux contribution from a PH for the H.E.S.S. data are shown by blue and red arrows (dashed lines are model dependent and solid lines are model independent). The *Fermi* upper limits are shown as black squares. The grey line corresponds to the Halo Model

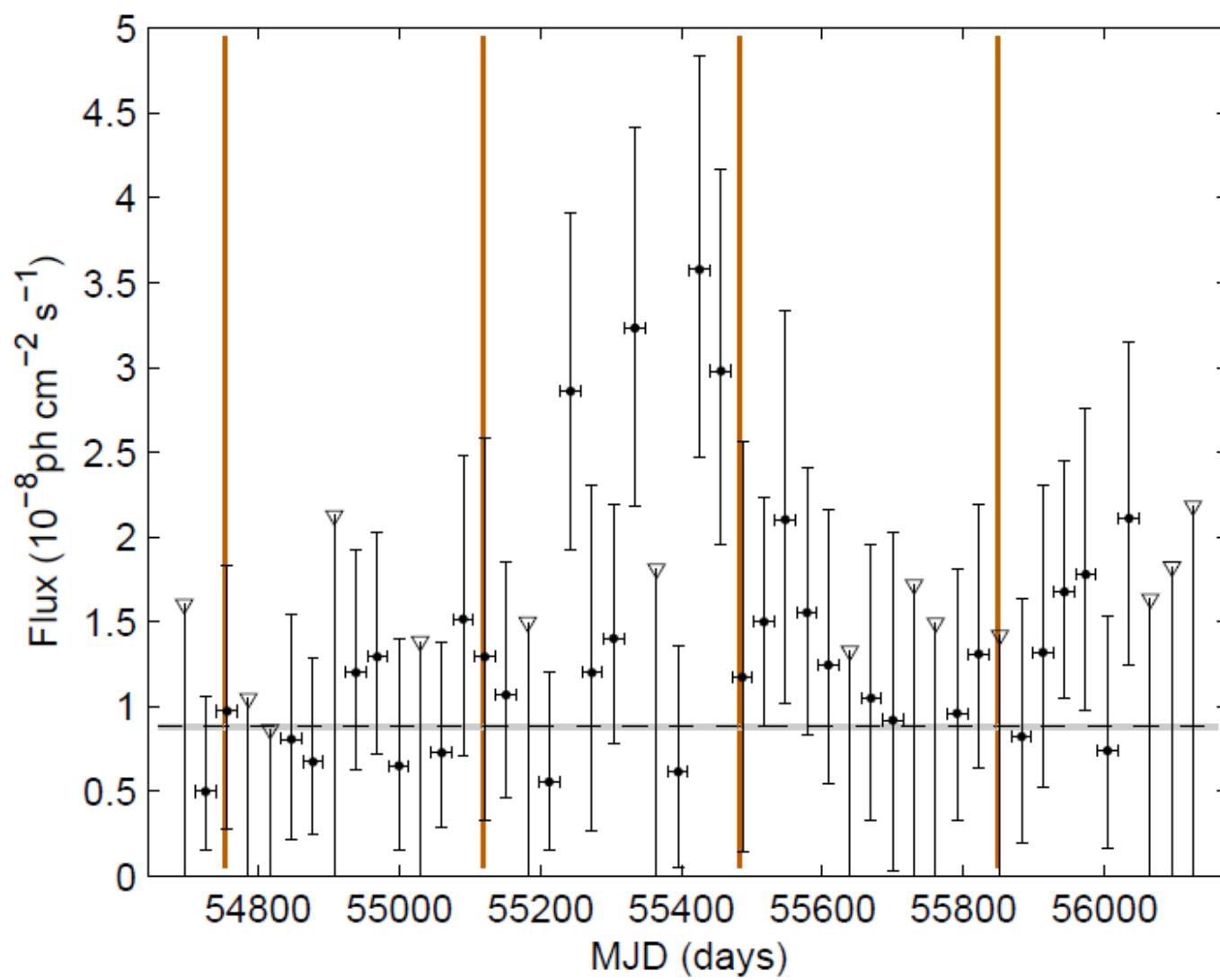


The 1ES 1101-232 (top), 1ES 0229+200 (middle) and PKS 2155-304 (bottom) spectral energy distributions ($\Gamma = 1.9, 1.5$ and 1.9 respectively), including *Fermi* data (blue empty circles) as well as the H.E.S.S. results (green solid circles). The dotted grey line shows the expected cascade SED assuming the EGMF strength is 0 G , and the solid grey line shows this component added to the attenuated direct emission SED (dashed red line).



Спектр Mkn 421, усредненный по наблюдениям в январе-феврале 2001 г. на установке HEGRA;
Спектр Mkn 501, усредненный по наблюдениям в 1997 г.
на установке HEGRA. Сплошная линия изображает
степенной закон с экспоненциальным обрезанием,
пунктирная линия – единый степенной закон.

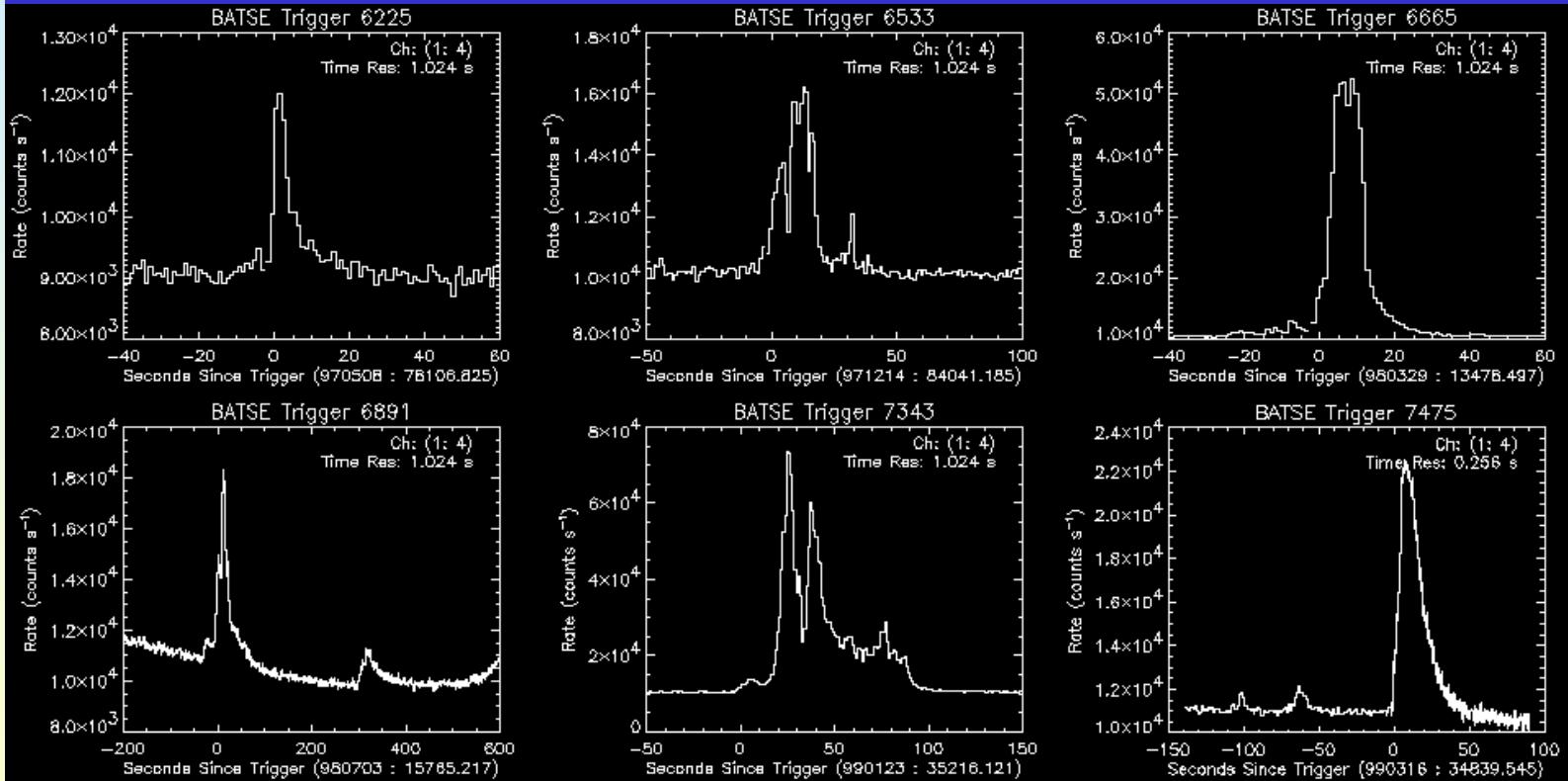




Light curve of 3FGL J1315.7-0732 (NVSS J131552-073301) in the ecliptic plane. That source is significantly variable. The flares do not correspond to the times when the Sun passed through the region (vertical orange bands). The only effect of the Sun passage is somewhat larger error bars. The gray-shaded horizontal area materializes the systematic uncertainty of 2%. Upper limits (indicated by a downward triangle) are at 95% confidence level.

Гамма-всплески

Временные структуры



Гамма-всплески проявляются как спорадические (при наблюдении всего неба с частотой в среднем 2 события в сутки) возрастания потока жесткого рентгеновского и гамма-излучения

статистические распределения гамма-всплесков

Длительность

**По параметру,
характеризующему
спектральную
жесткость**

**Распределение
источников по
небу**

**Распределение по
наблюдаемым
потокам или
флюенсам ($\log N$ -
 $\log S$)**

Спектр гамма-всплеска

В диапазоне энергий от десятков до сотен кэВ дифференциальные энергетические спектры большинства гамма-всплесков могут быть аппроксимированы зависимостью типа спектра теплового излучения оптически тонкой плазмы:

$$\frac{dJ}{dE} = \left(\frac{E_0}{E} \right) \exp(-E / kT),$$

Типичные значения спектрального параметра kT лежат в диапазоне 100-300 кэВ.

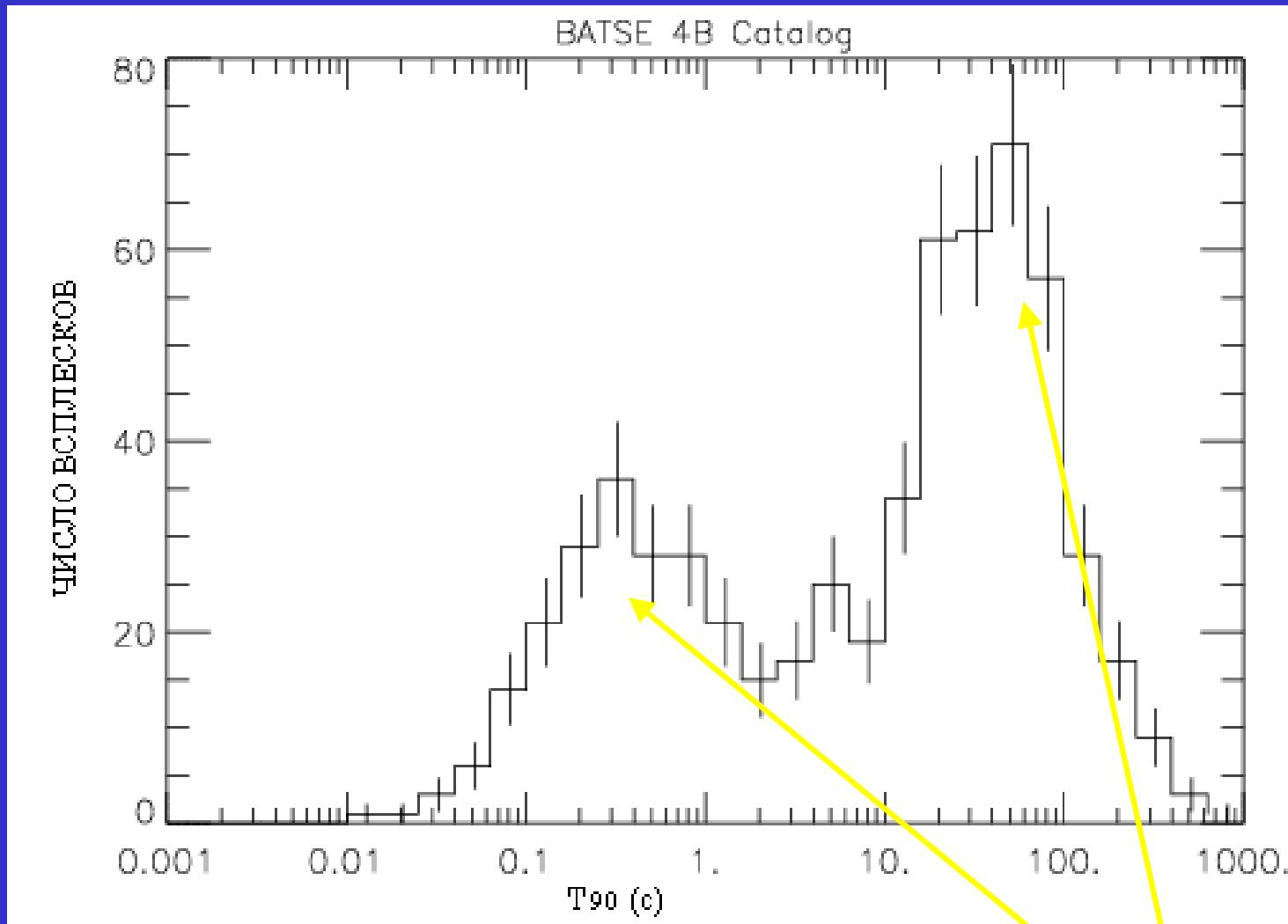
Для аппроксимации спектров космических гамма-всплесков в широком диапазоне энергий (от десятков кэВ до нескольких МэВ) часто используют универсальную комбинацию экспоненциальной и степенной функций (модель Бэнда):

$$\frac{dJ}{dE} = \begin{cases} J_0 (E / E_0)^{-\alpha} \exp(-E/kT) & E \leq (\gamma - \alpha)kT \\ J_0 (E / E_0)^{-\gamma} & E > (\gamma - \alpha)kT \end{cases},$$

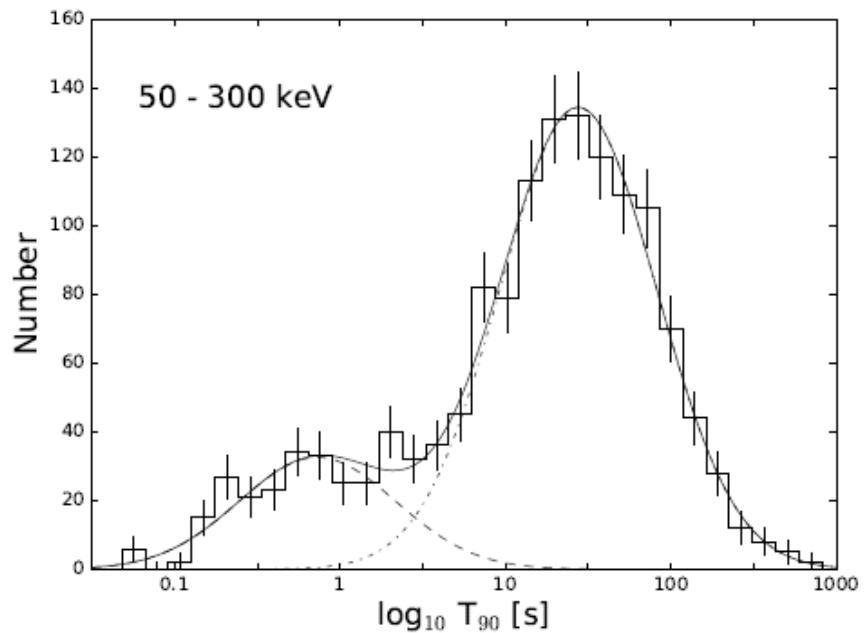
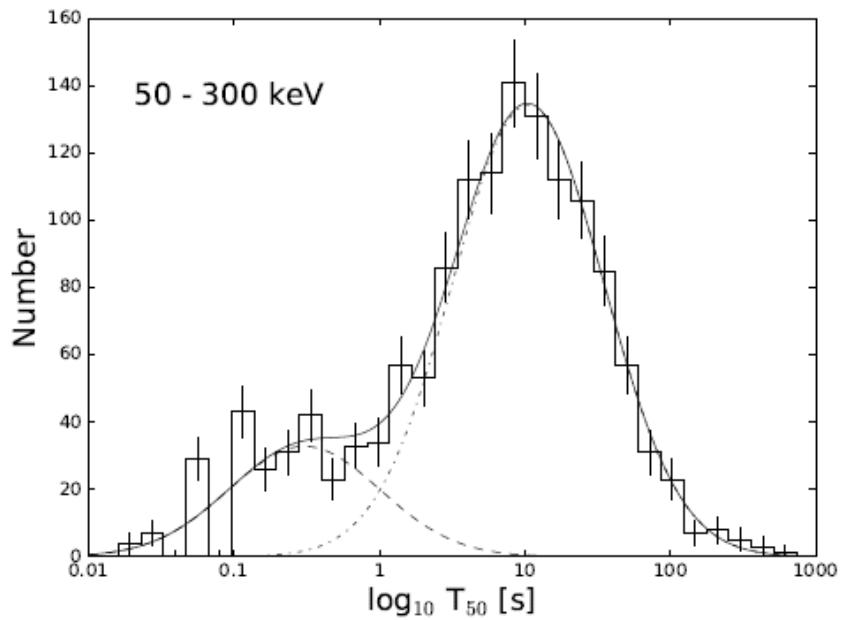
Спектр

- $E_{\text{peak}} \sim 1 \text{ Mev}$
- Типичная температура при коллапсе
- $T \sim 2m_e C^2 \sim 10^{10} \text{ K} \sim 1 \text{ Mev}$

*Распределение по длительности гамма-всплесков,
зарегистрированных в эксперименте BATSE*



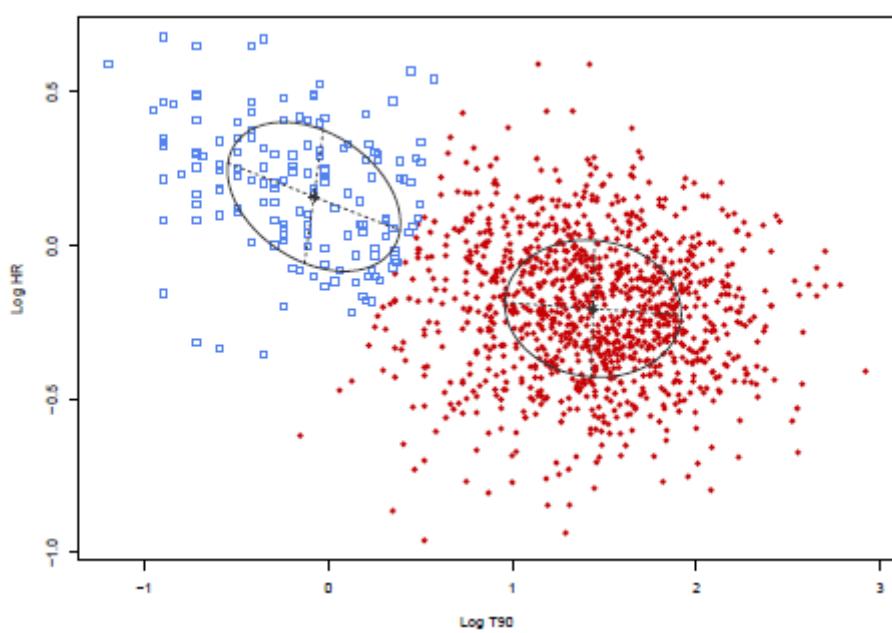
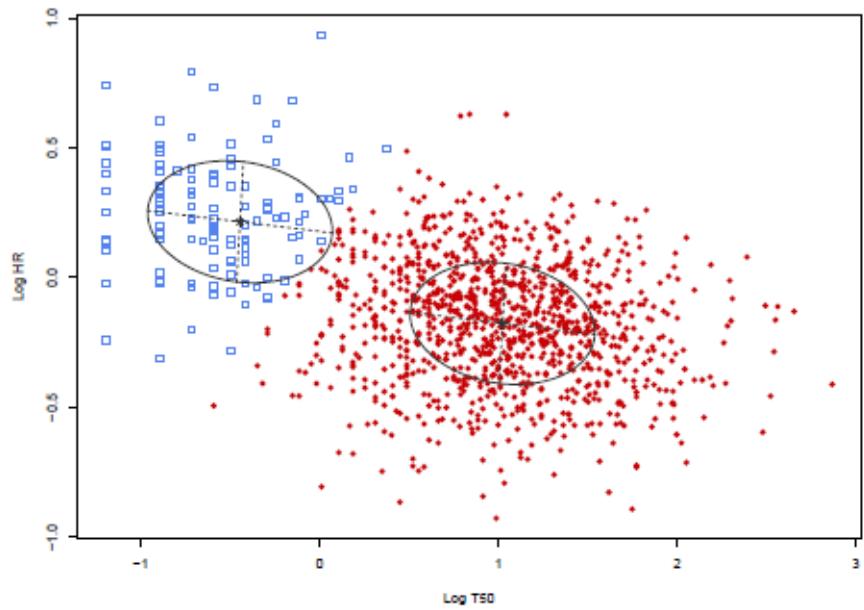
распределение по длительности является бимодальным



Distribution of GRB durations in the 50–300 keV energy range. The upper plot shows T_{50} and the lower plot shows T_{90} . Also shown are the lognormal fits separately to long and short GRBs (see text for details).

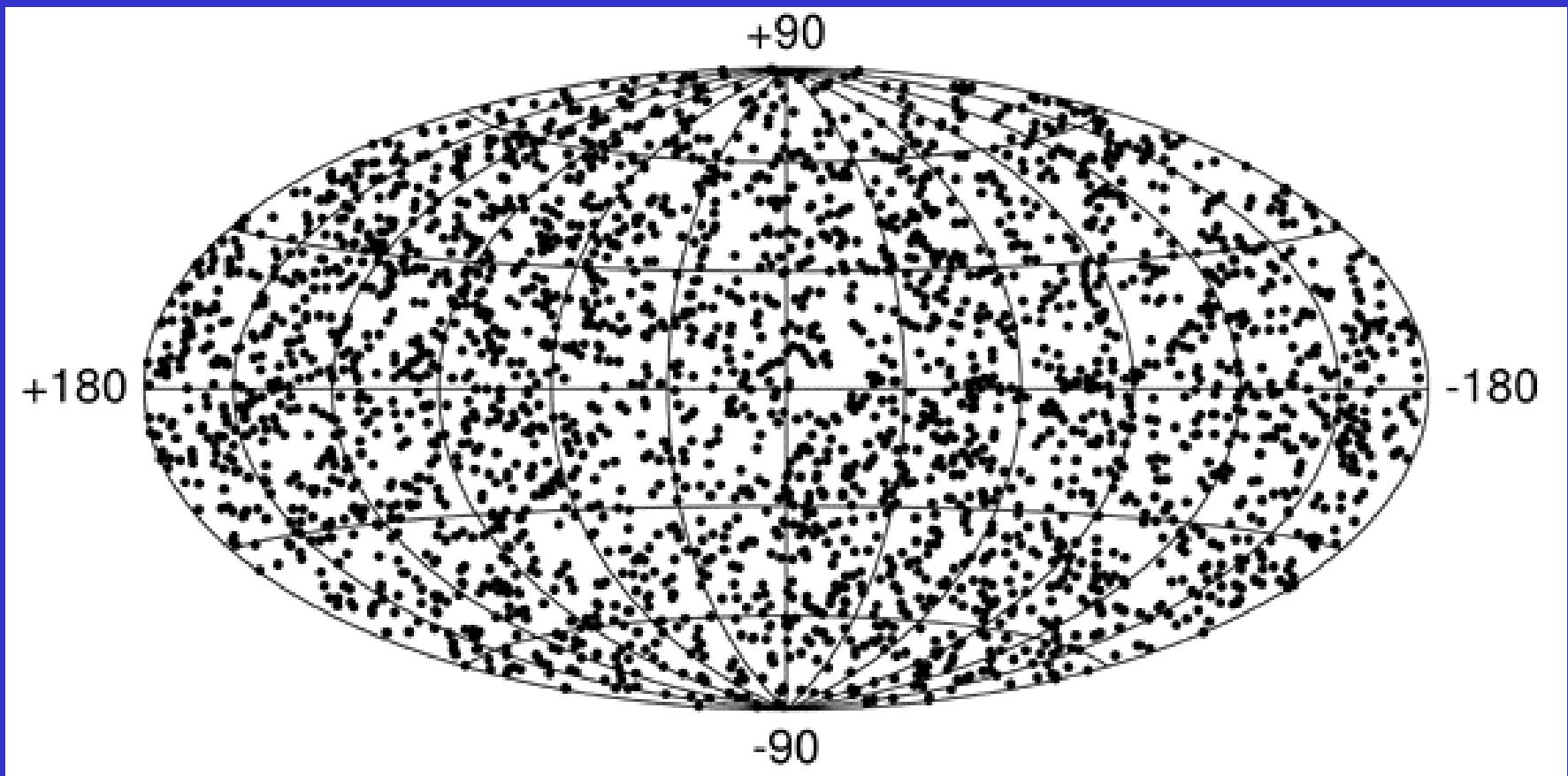
Продолжительность

- $\Delta t_{\text{obs}} \sim 0.1 - 100 \text{ s}$
- Типичное время коллапса в черную дыру или нейтронную звезду:
- $\Delta t \sim Rg/c \sim 10^{-5} \text{ s} \ll \Delta t_{\text{obs}}$

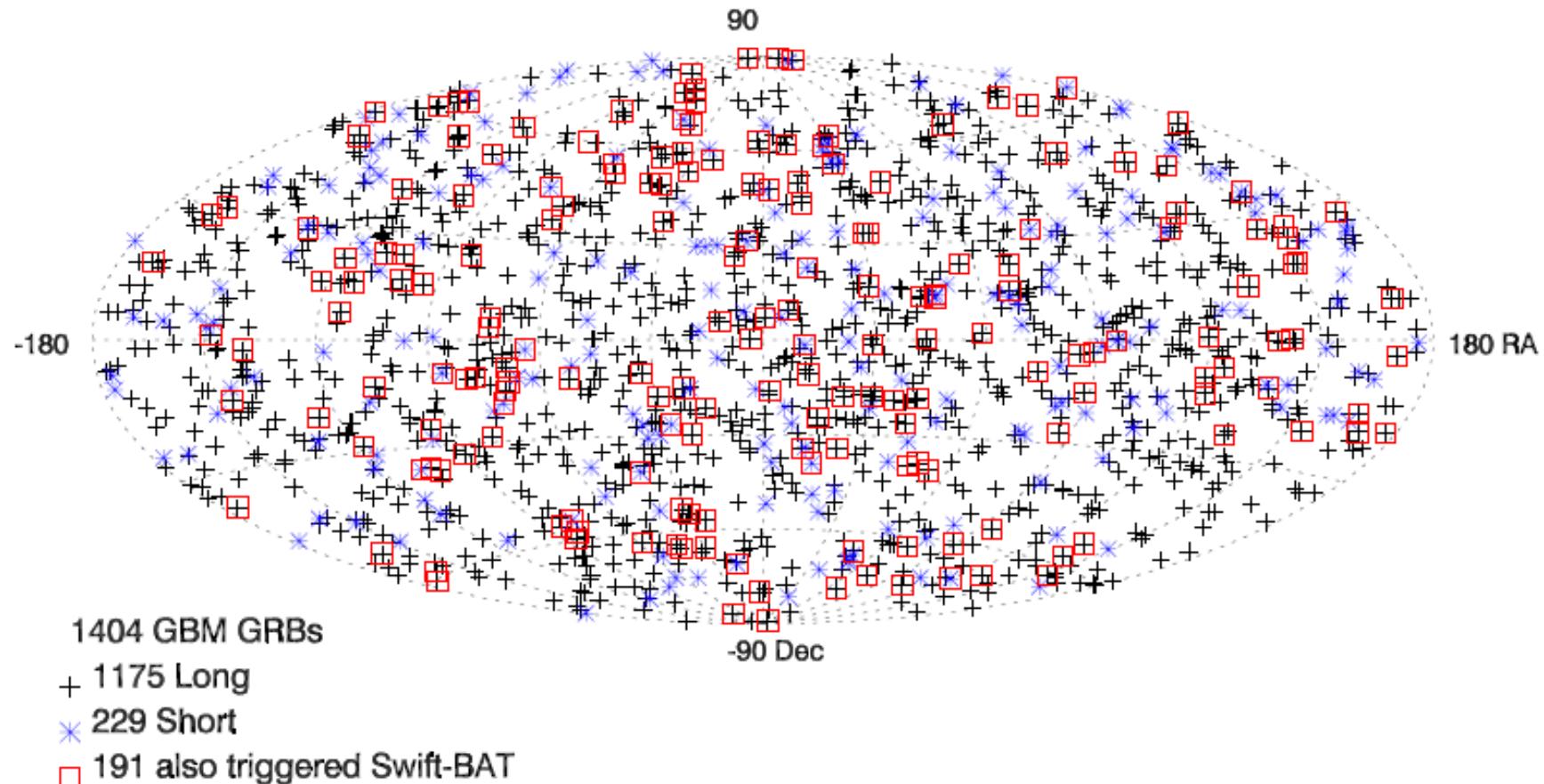


Classification based on the hardness-duration diagram. Here we show only GRBs with hardness errors less than the hardness itself. Colors indicate their group membership (red: on average short/hard, blue: on average long/soft). Ellipses show the best fitting multivariate gaussian models. In the T90-HR case (bottom) the best model has components with equal volume and shape (the major and minor axes of the ellipses are equal) but their orientation is not constrained. For T50-HR (top) the best model has similar properties as for T90-HR, only the orientation of the components is constrained to be the same (see Figure 9 for BIC values of different models).

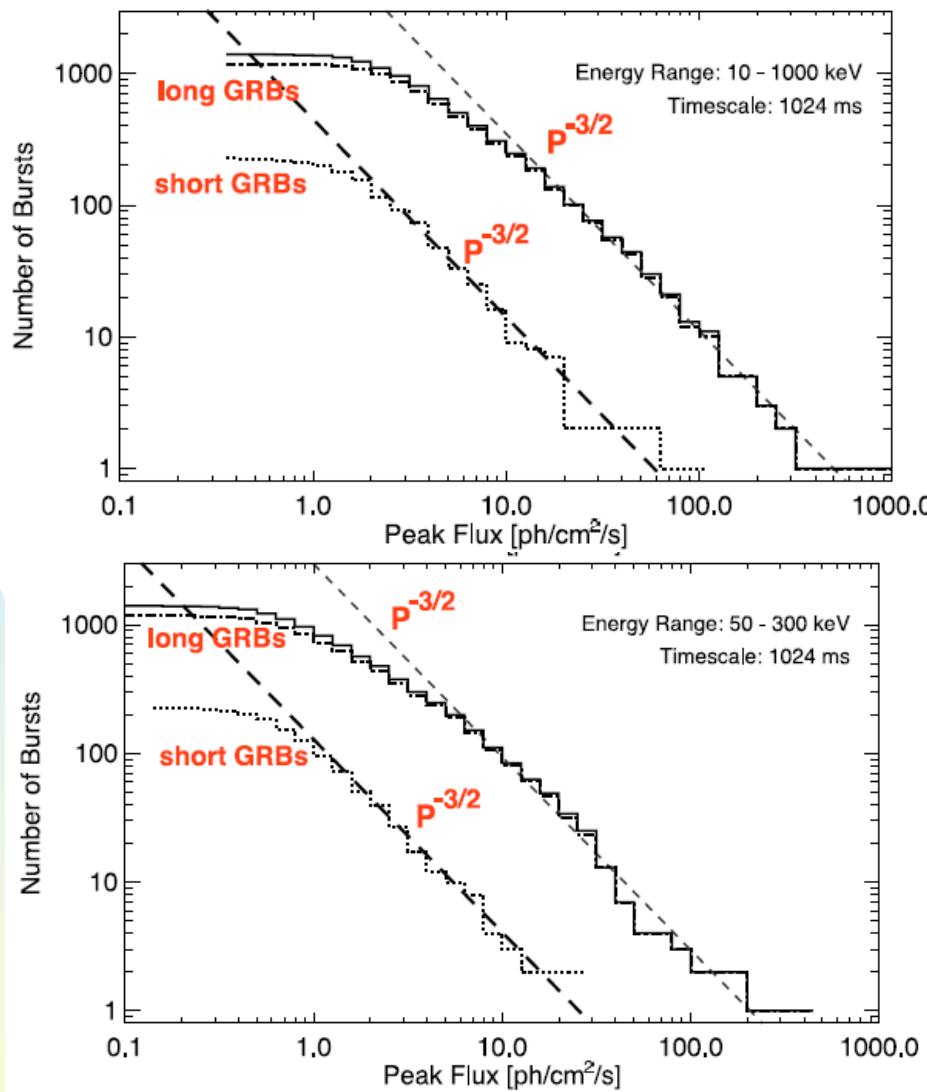
*Распределение 2704 источника гамма-всплесков в
галактических координатах по данным эксперимента
*BATSE CGRO**



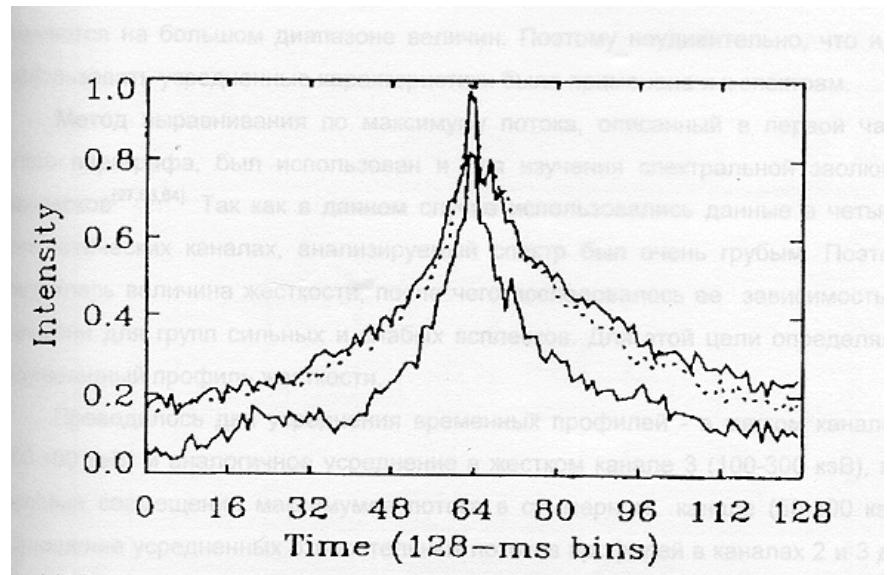
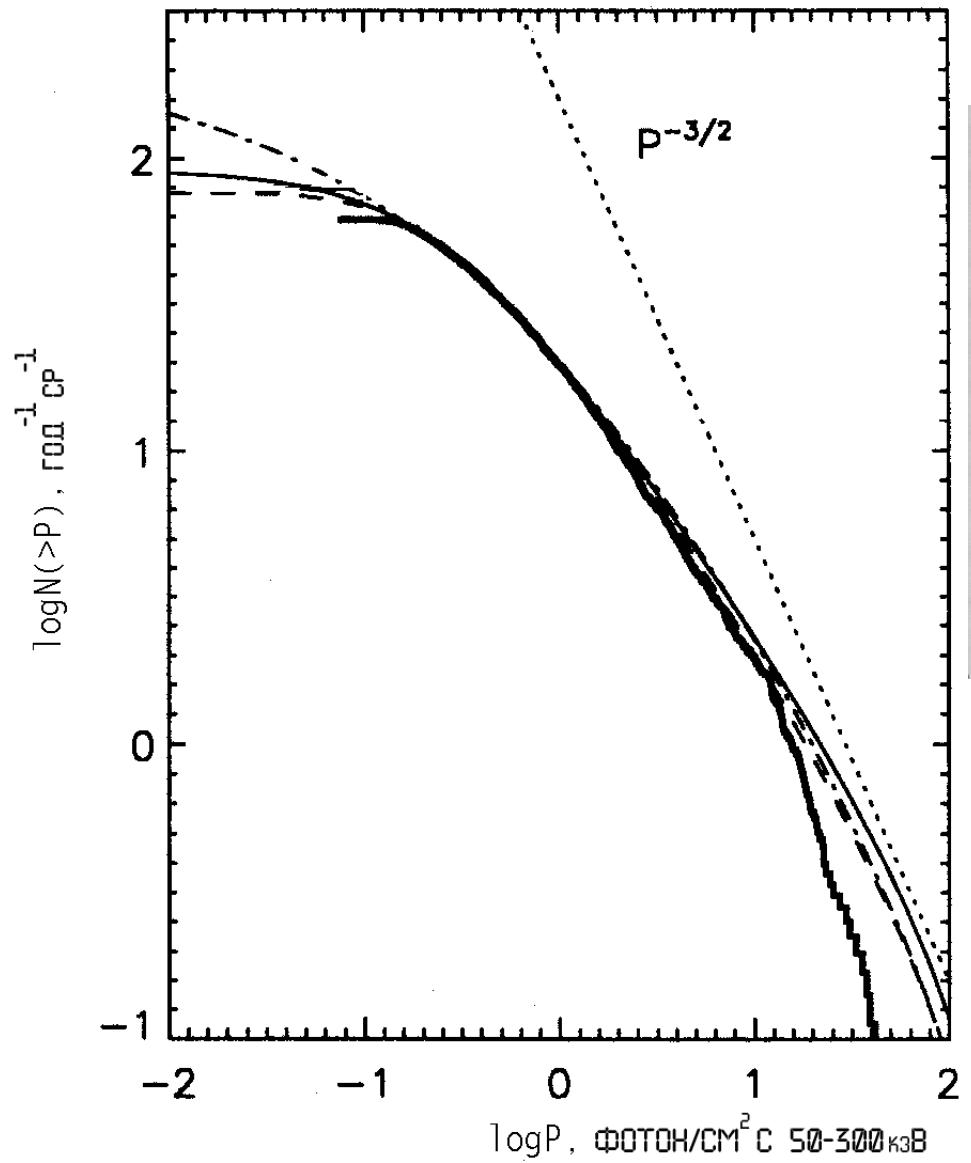
Fermi GBM GRBs in first six years of operation



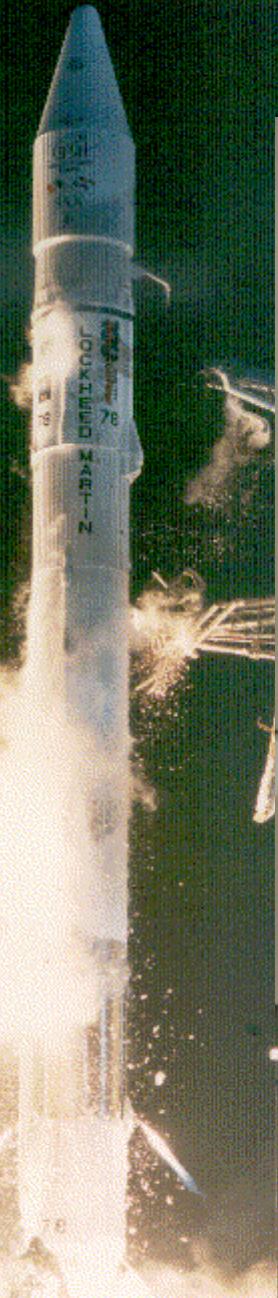
Sky distribution of GBM triggered GRBs in celestial coordinates. Crosses indicate long GRBs ($T_{90} > 2$ s); asterisks indicate short GRBs. Also shown are the GBM GRBs simultaneously detected by Swift (red squares)



Integral distribution of GRB peak flux on the 1.024 s timescale. Energy ranges are 10 – 1000 keV (upper plot) and 50 – 300 keV (lower plot). Distributions are shown for the total sample (solid histogram), short GRBs (dots) and long GRBs (dash-dots), using $T_{90} = 2$ s as the distinguishing criterion. In each plot a power law with a slope of $-3/2$ (dashed line) is drawn to guide the eye.



В апреле 1996 г. запущен Верро-SAX



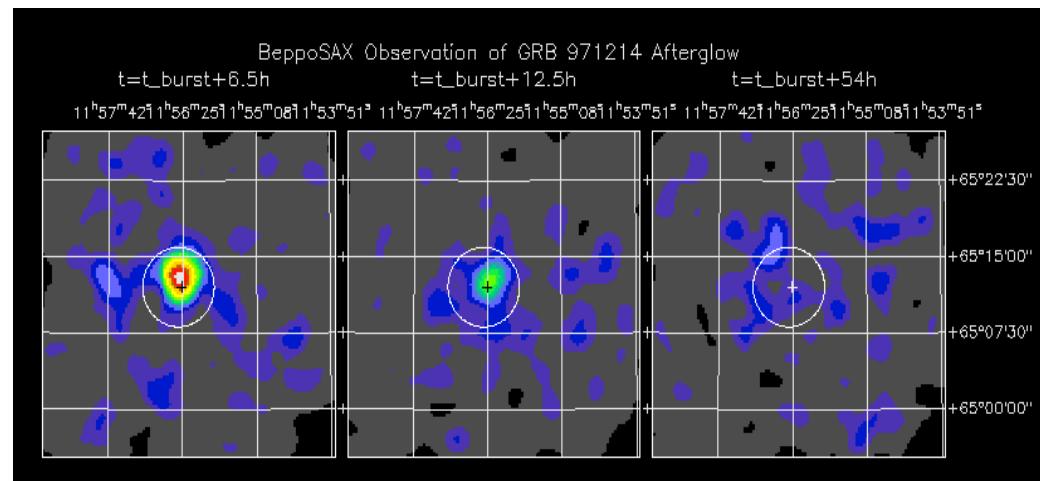
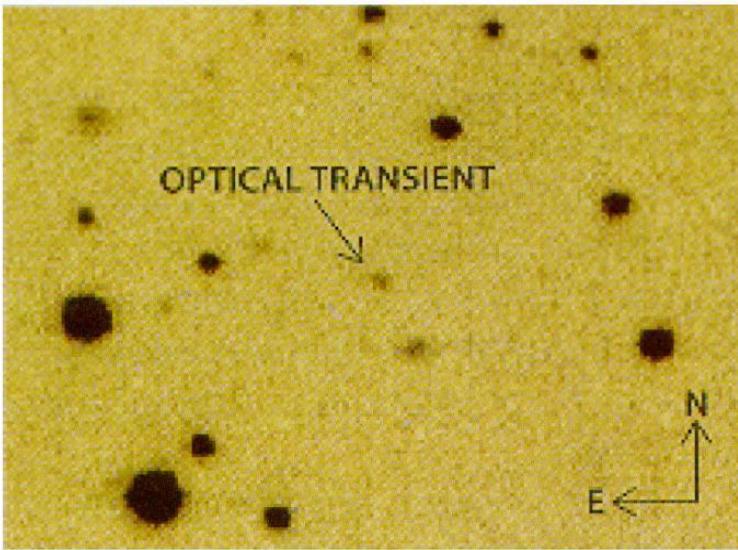
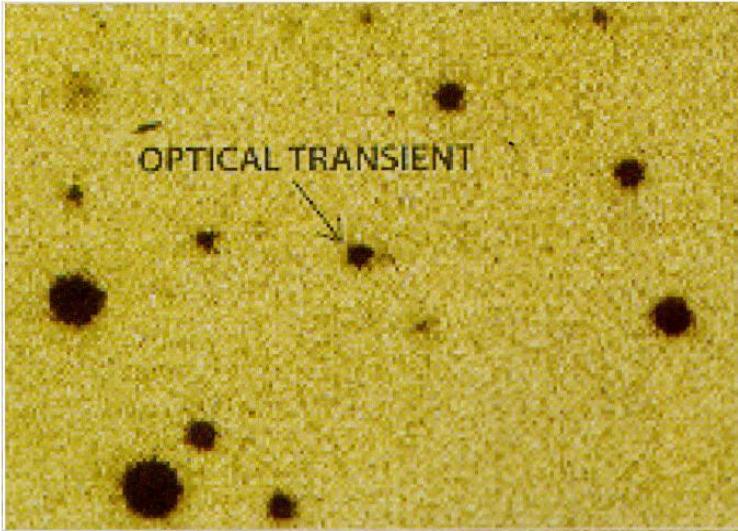


Рис. 28. Фотография оптического транзиента,
идентифицированного с гамма-всплеском GRB972802:
вверху - через несколько часов, внизу - через
несколько суток после начала всплеска.

Энергия взрыва

Главная задача теоретических моделей - необходимость объяснения огромной светимости

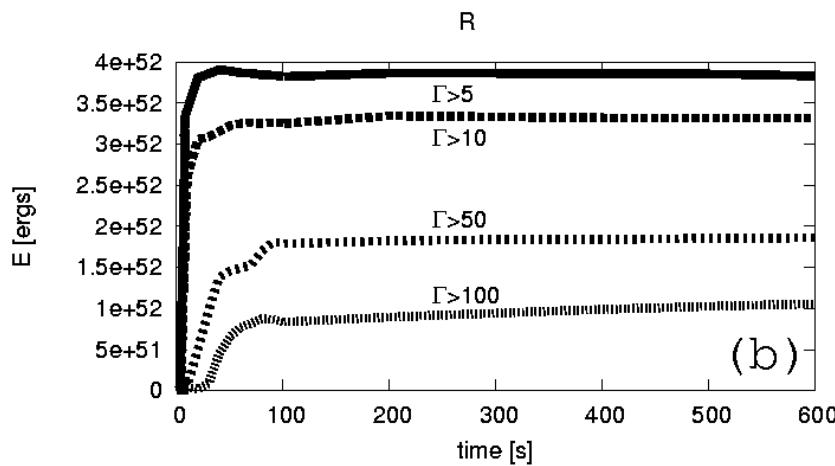
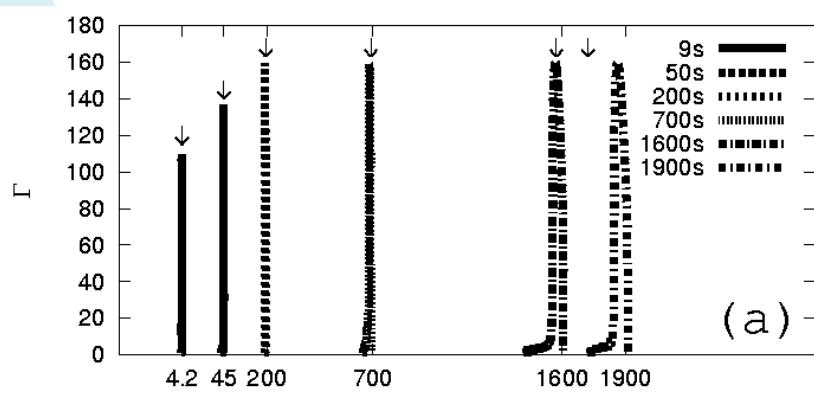
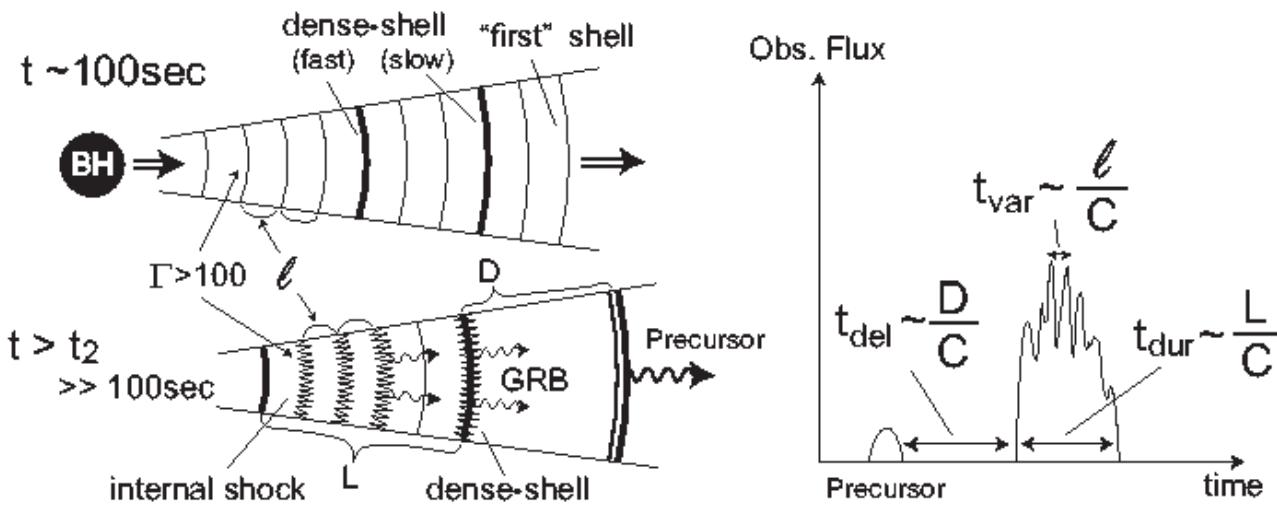


Основная проблема - большой разброс светимости в источнике: от $\sim 10^{47}$ до $\sim 10^{54}$ эрг/с.

Альтернатива

популяция гамма-всплесков не гомогенна

“биминг” (от англ. beam – луч),
то есть сильно анизотропное
излучение в источнике



Энергия

- $E \sim 10^{51-53} \text{ erg}$
- **Типичная энергия коллапса**
 - $E \sim 0.1 M c^2, M \sim 1-10 M_{\text{solar}}$
 -

Столкновение двух нейтронных звезд



SN или GRB?

- Обычный коллапс - Super Novaе
- Магнитовращательный коллапс – GRB
- Rate (SN) / Rate (GRB) ~ 100

Общее (более-менее) мнение

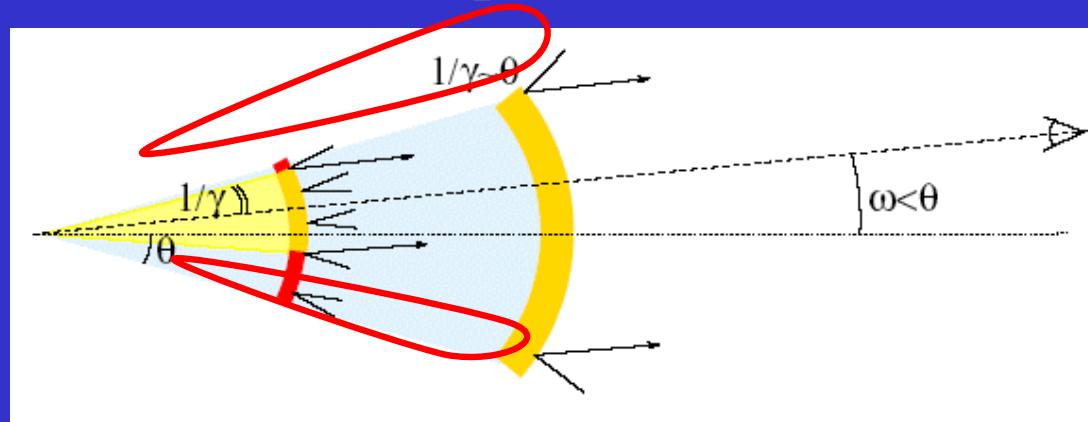
- Короткие GRB
- NS+NS, NS+BH слияние
- Длинные GRB
- Коллапс вращающегося ядра массивной звезды

Открытия последних лет

- возможная связь гамма-всплесков со сверхновыми

GRB980425 со
сверхновой SN 1998bw

$z = 0.0085, \sim 10^{48}$ эрг



- “рентгеновские вспышки” (*X-ray flash*)

20-100 кэВ, 2-30 кэВ

- “темные гамма-всплески”

Связь гамма-всплесков с процессами на конечных стадиях эволюции массивных звезд: частота возникновения гамма-всплесков отражает историю звездообразования вплоть до очень больших значений $z \sim 20$

Есть ли новая физика у гамма-всплесков?

- Предел Кардашева (до каких энергий можно ускорять частицы вблизи черных дыр):
- $B^2/8\pi R^3 = Mc^2$, $R=Rg=2GM/c^2$
- Max. Energy = $e E R \sim e B R$
 $\sim 1/137 E_{pl}$
- 10^{26} eV

5 нерешенных наблюдательных задач гамма-всплесков

- 1. Открытие самых далеких объектов во Вселенной $Z \sim 10-12$.
- 2. Открытие собственного оптического излучения коротких гамма-всплесков.
- 3. Открытие оптического излучения предшественников (Precursors).
- 4. Измерение поляризации собственного оптического излучения гамма-всплесков.
- 5. Оптические наблюдения гамма-всплесков с высоким временным разрешением.

Миссия «Ломоносов»

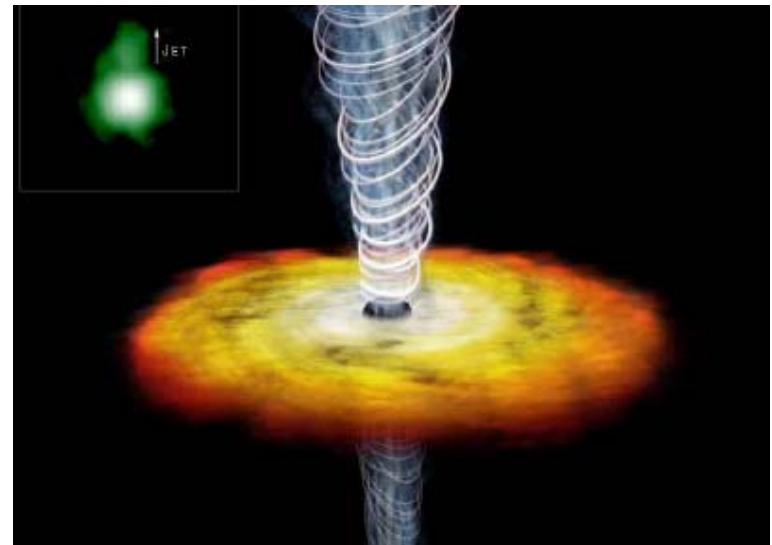
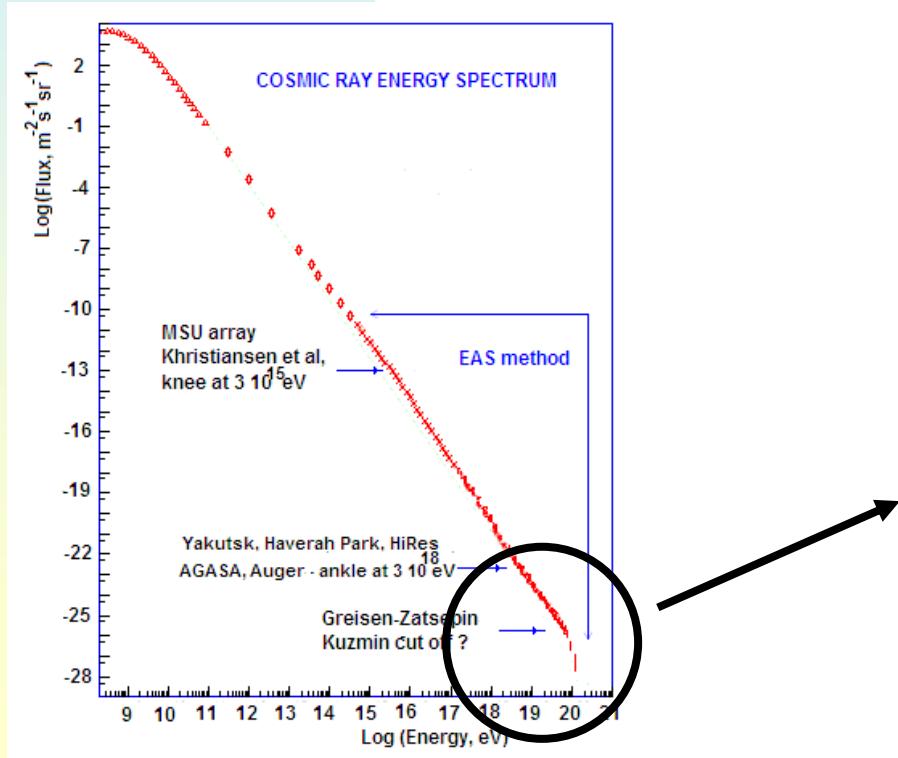


Проект реализуется в рамках программы развития МГУ
*Проект поддержан Президентом РФ (№ Пр-1796 от 21.06.2010) и утвержден
перечнем поручений Президента РФ (Пр-22, пункт 14).*
Проект в части эксперимента ТУС осуществляется в рамках ФКП России

«Ломоносов»

Научные задачи

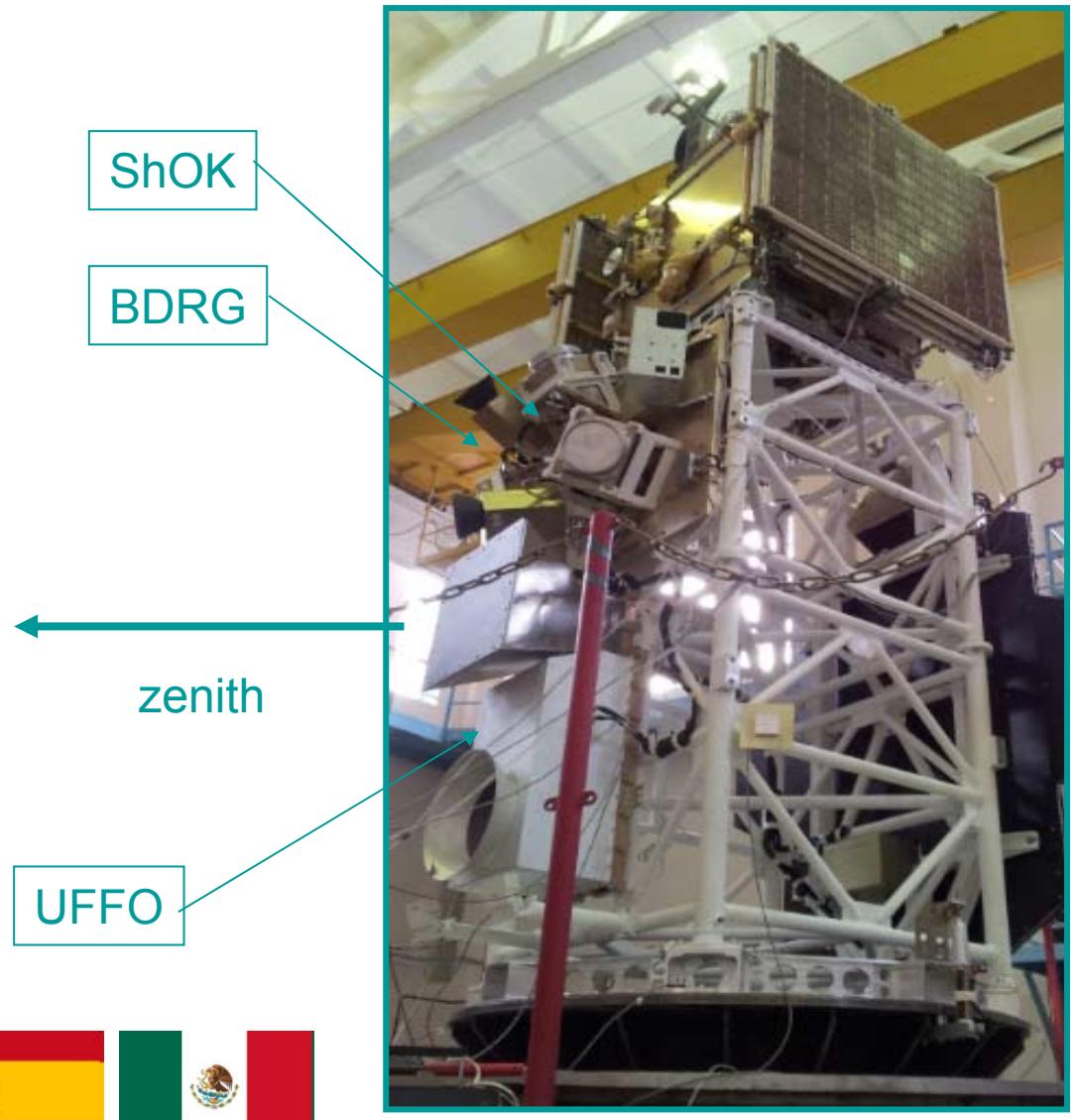
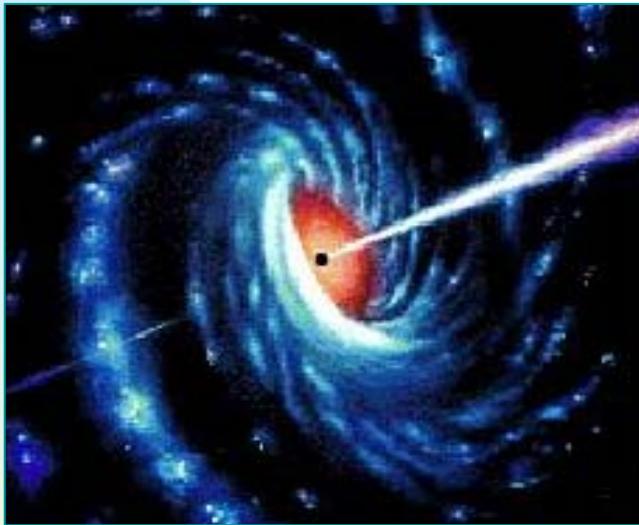
1. Наблюдение космических лучей сверхвысоких энергий
2. одновременные наблюдения гамма-всплесков в оптике и гамма-лучах



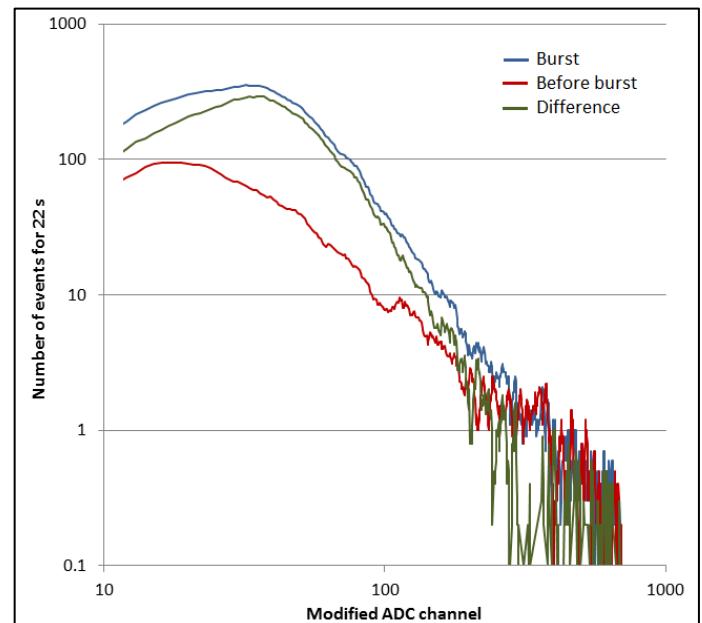
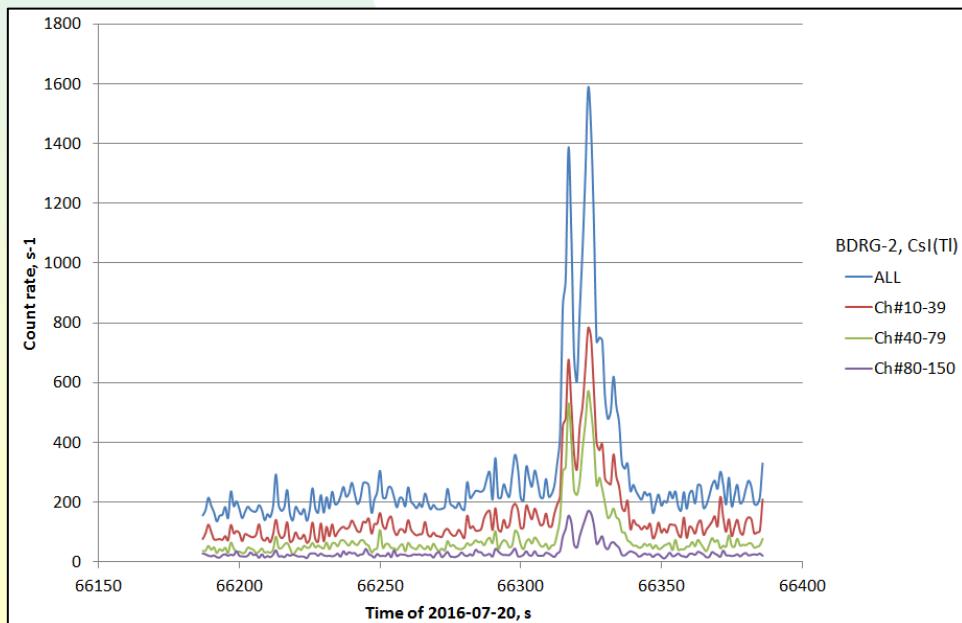
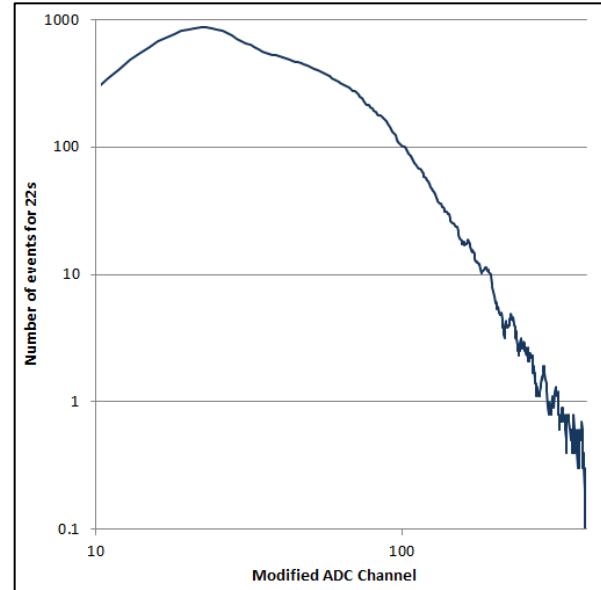
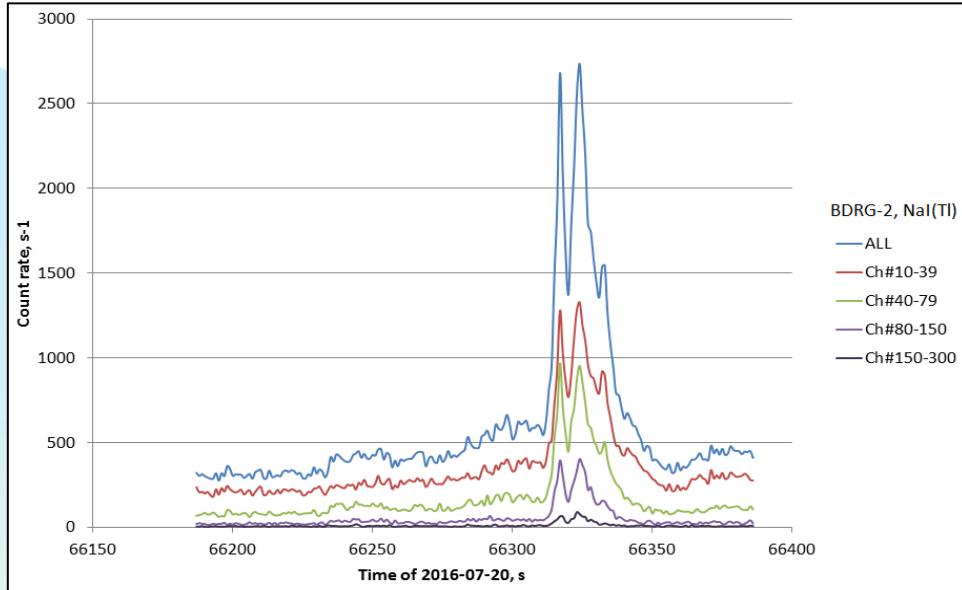
Исследование источников и механизмов ускорения

LOMONOSOV

Multiwave study of Gamma Ray Bursts

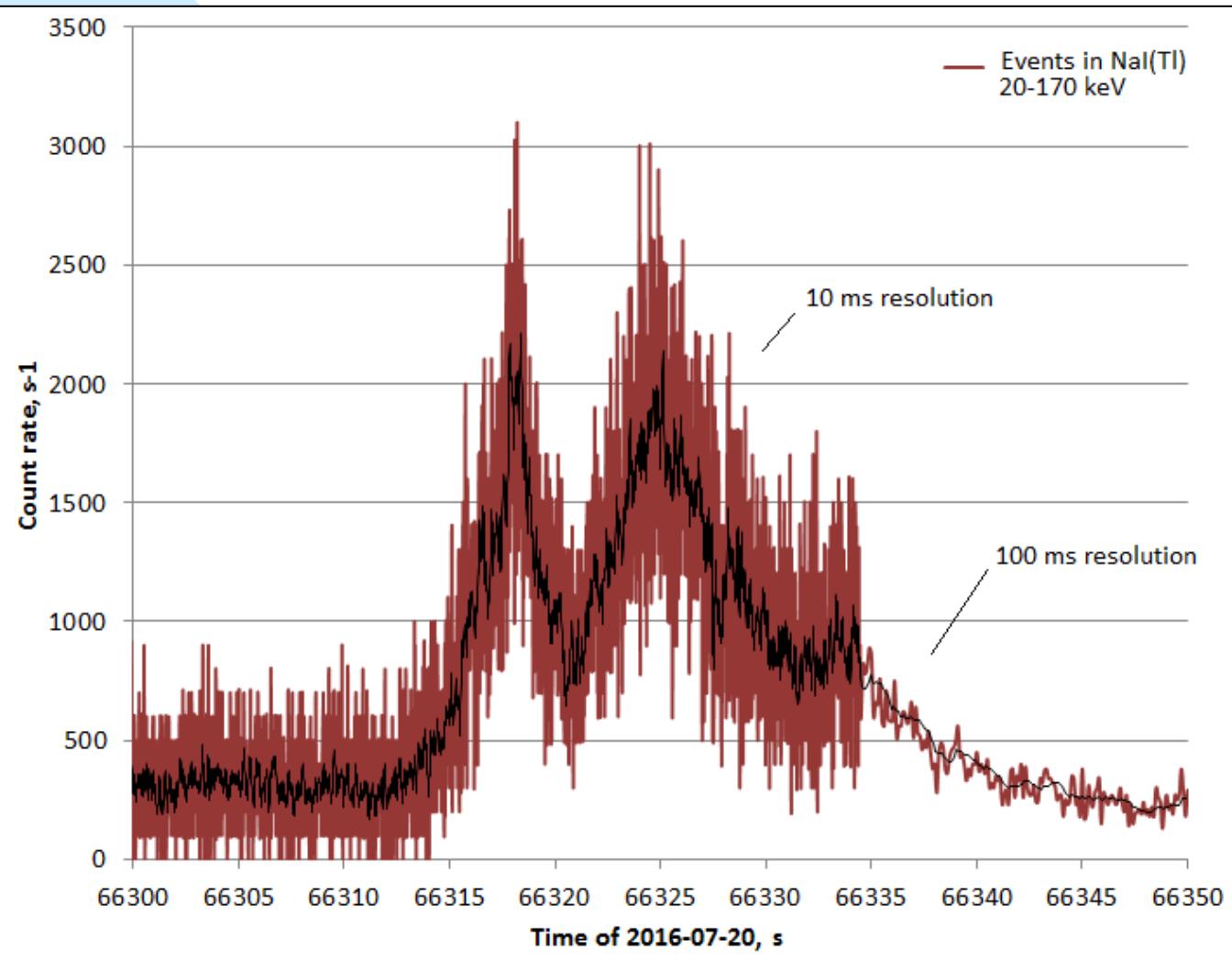


Detailed study of GRB 2016-07-20

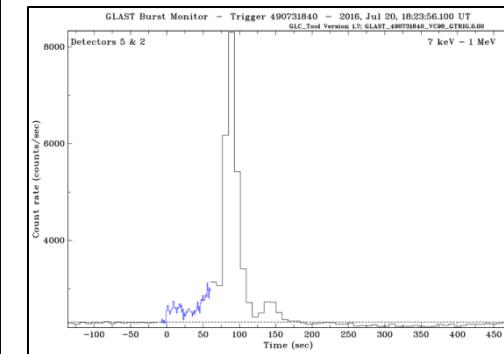


Detailed study of GRB 2016-07-20

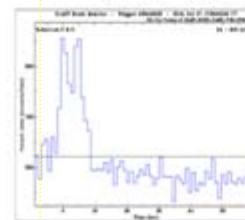
BDRG-2/Lomonosov



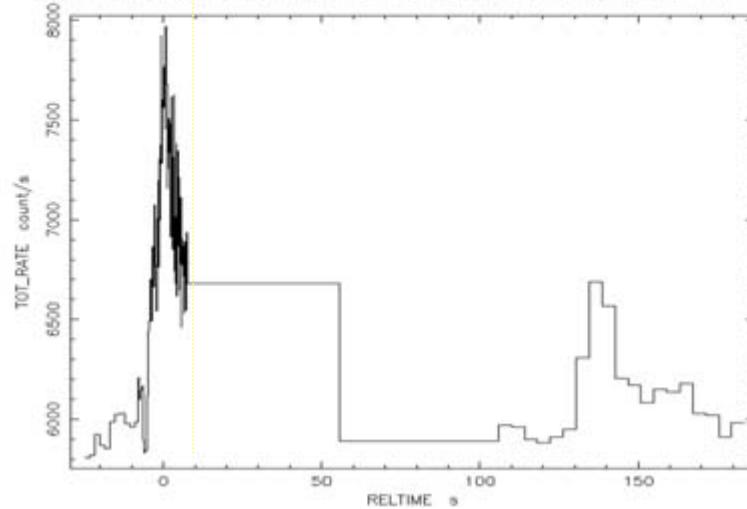
GBM/Fermi

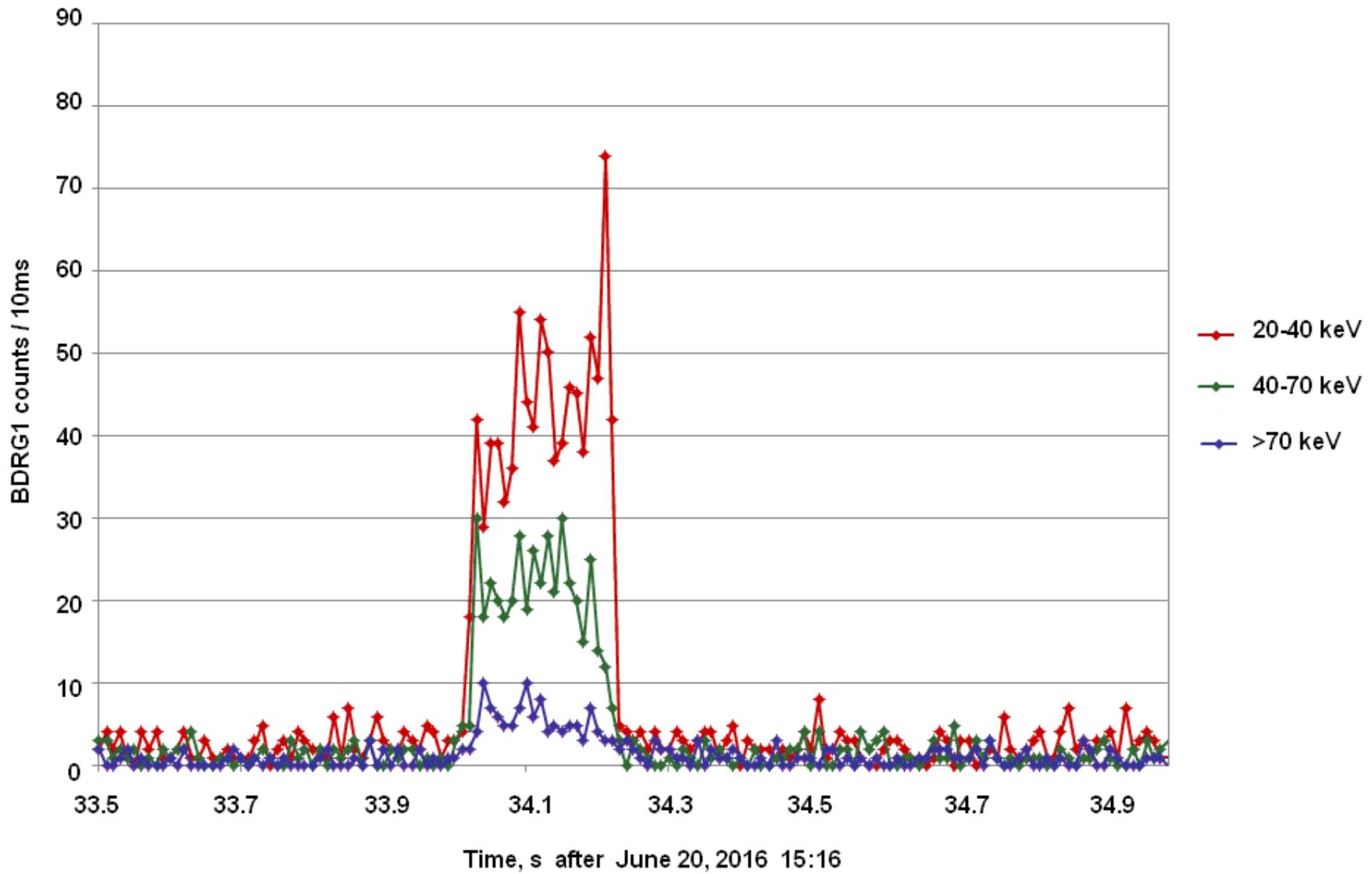


Comparison of GRB 20161017A light curve with Swift and Fermi data

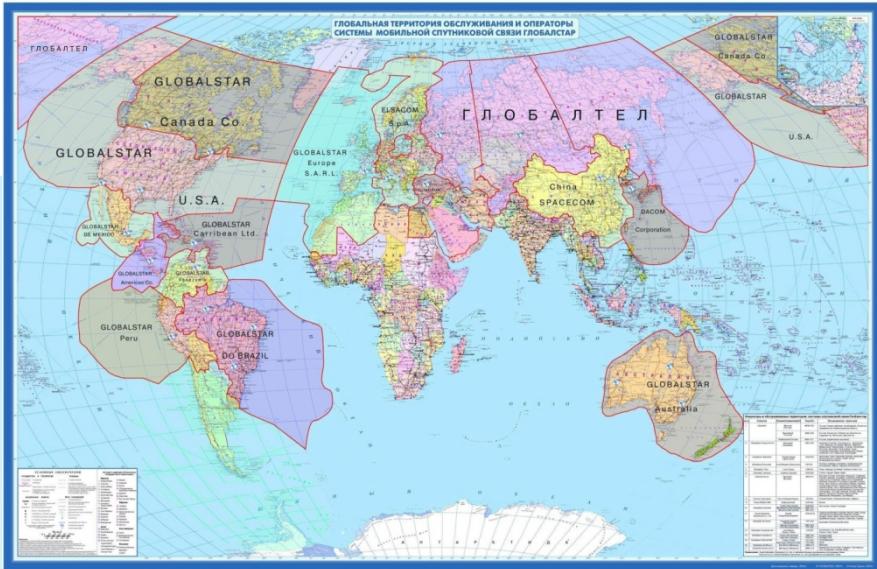


TriggerNum=718023, 2016-10-17 17:51:51 UT, 15-350keV
(Var,T,Sam: 10*1.6+20*0.32+75*0.128 + 55*0.256+16*1.024+16*4.096 + 20*4.096)

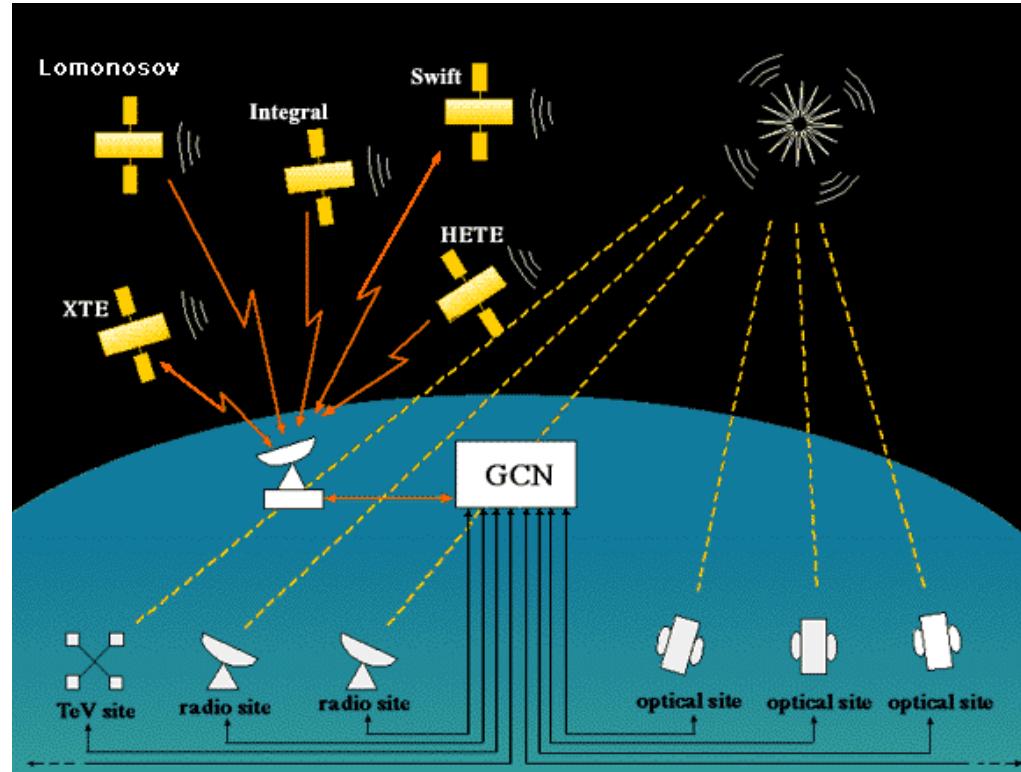




Light curves of a SGR occurred on June 20, 2016 at 15:16:34 obtained by BDRG1/Lomonosov. Numbers of events in NaI(Tl) in the energy ranges 20-40 keV (red), 40-70 keV (green) and >70 keV (blue) are shown. The time resolution is 10ms.



GlobalStar service areas



Alerts, produced in Lomonosov mission will be sent to ground station via GlobalStar modem and then transferred to GRB alert world net. GRB coordinates will be sent 3 times: at the moment of trigger and twice after they are refined.

Alerts from GRB alert net will be received by Lomonosov mission. They will be used to fix optical images in memory for their transfer to ground if GRB is in the camera FOV.

LOMONOSOV: SHOK instrument

11th star's value for single shot or

13th star's value for 100 serial shots (5 shots/sec)

Прибор ШОК на борту КА Ломоносов

11 звездная величина на одиночном кадре

13 звездная величина на сумме 100 снимков

5 кадров в секунду



- Field of view of each camera is about
- 1000 square degrees,
- and maximum framing rate is about 5-7 frames/sec.
- In fact, cameras record “a movie” continuously,
- and in case of gamma-burst detection part of this
- movie can be transmitted to the Earth
- using GLOBAL STAR space system.

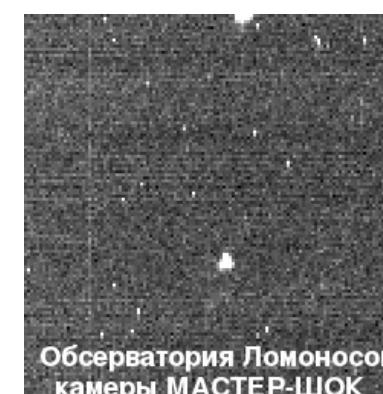
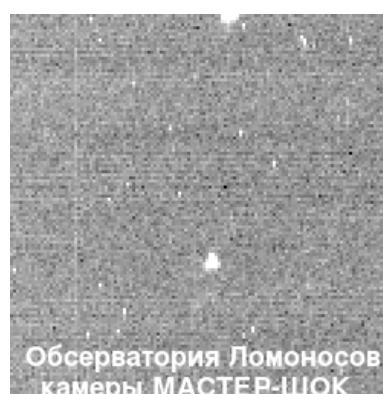
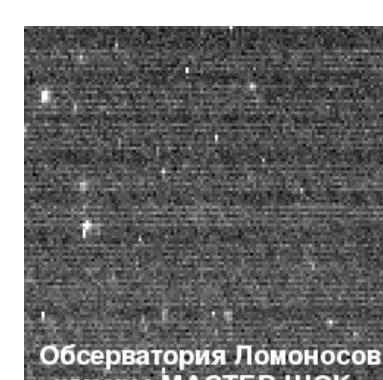
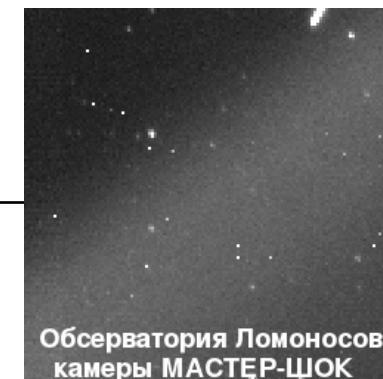
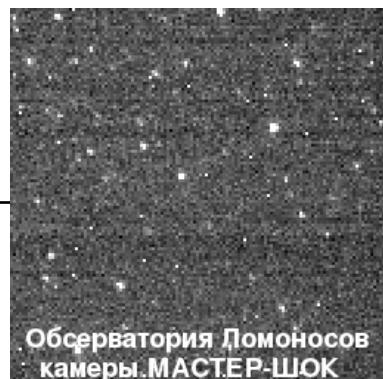
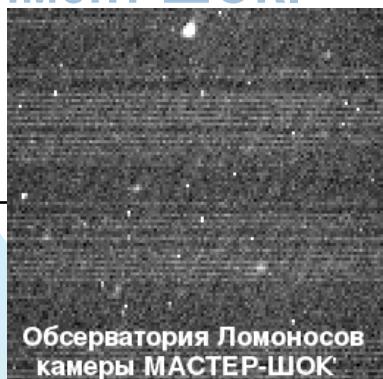
Тестовый (фокусировочный) кадр летного образца ШОК. Экспозиция 5 с.

Предел – 12 звездная величина

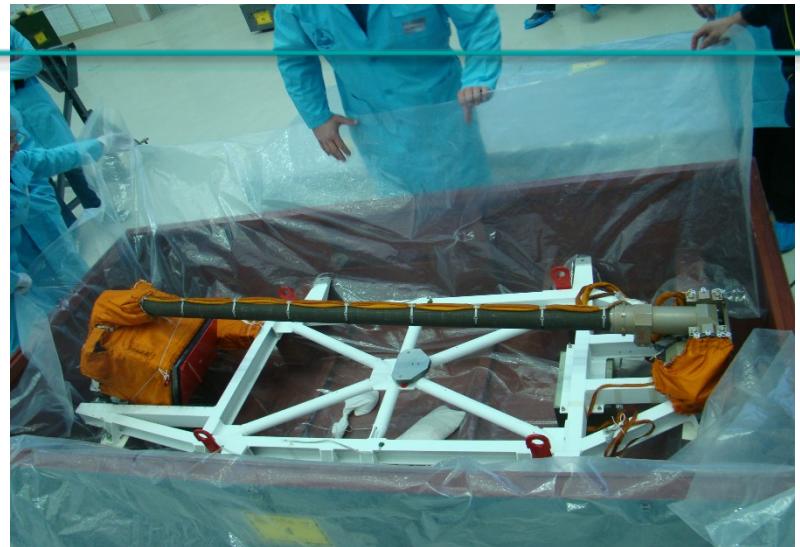
Москва, ГАИШ МГУ июль 2011 года.

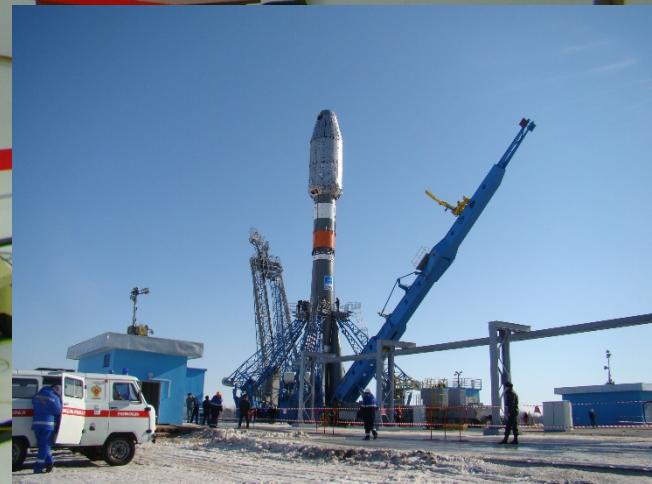
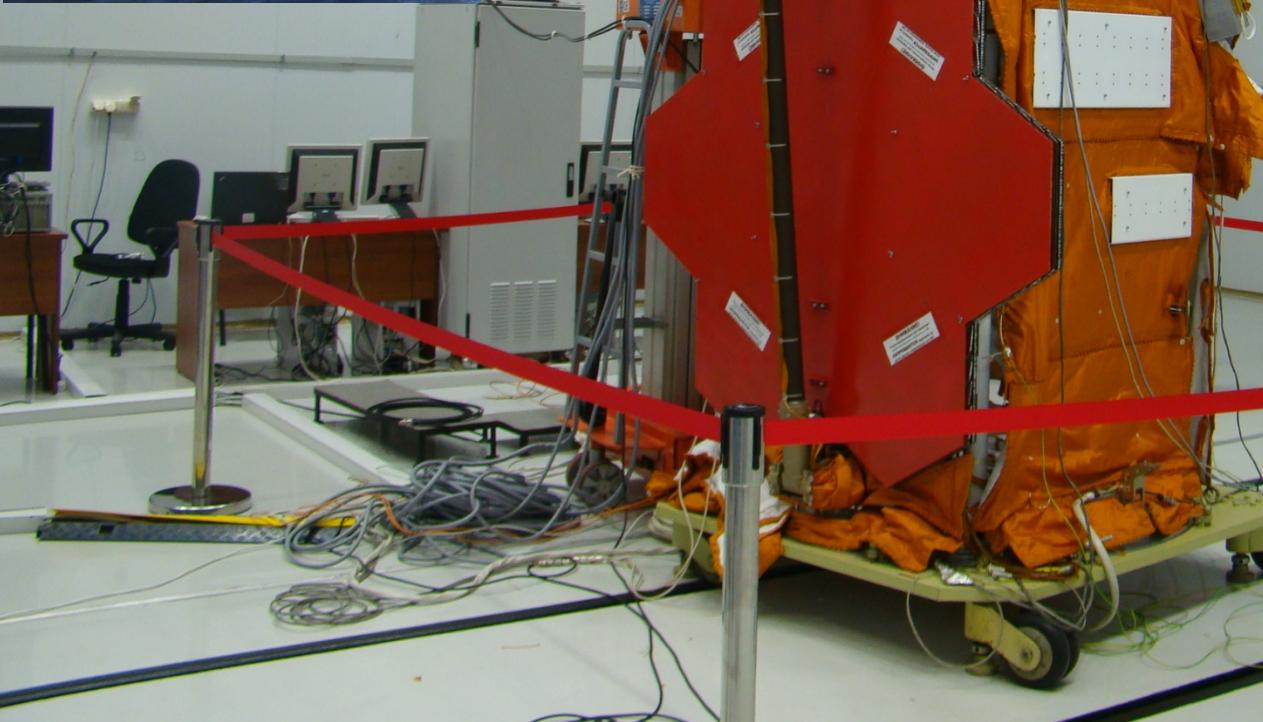
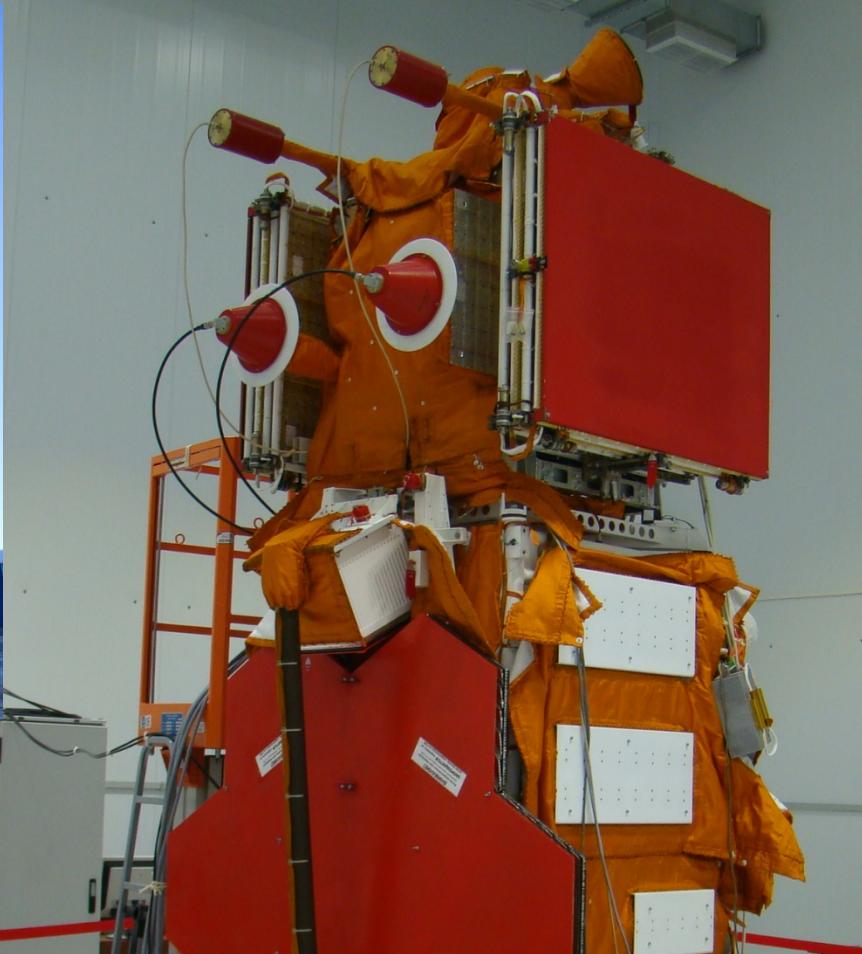
On ground test of SHOCK instrument in MSU
(exposure- 5 sec, distance limit –the 12 -th star's value

Первый свет обсерватории МГУ «ЛОМОНОСОВ» Эксперимент ШОК.



Предстартовые испытания на космодроме «Восточный»







Спасибо за внимание

