

Ergebnisse von Fermi-LAT

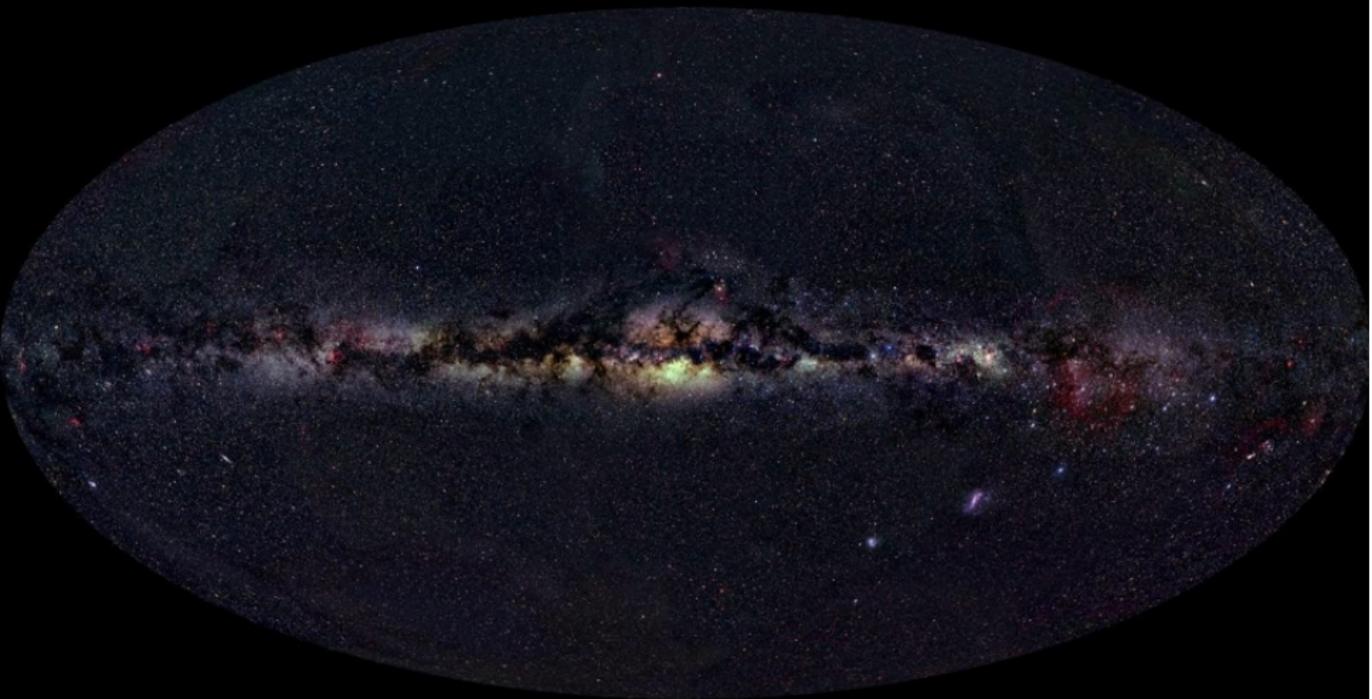
Seminar zur Astro- und Teilchenphysik

Thorsten Brand

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

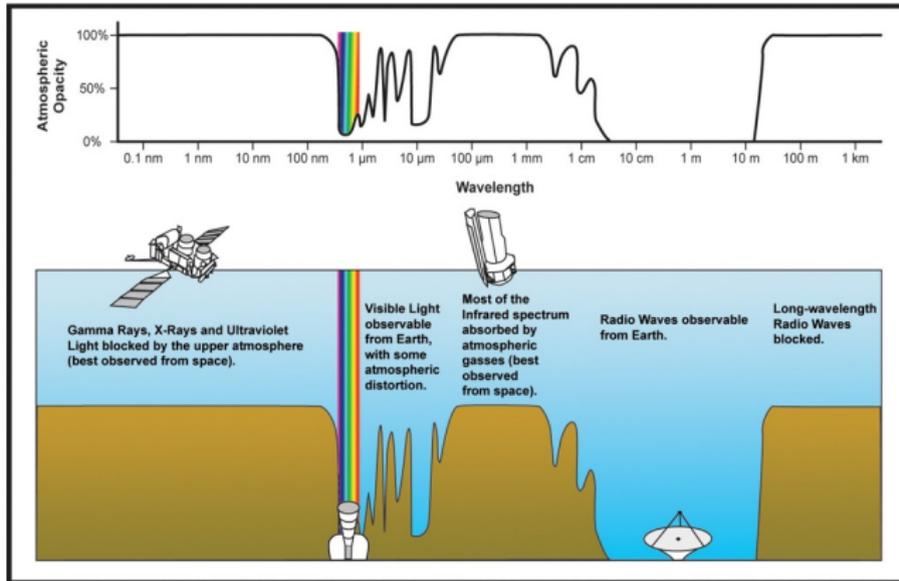
16.05.2011

The Deep Sky



© 2000, Axel Mellinger

Gammastrahlenteleskope - wohin damit?

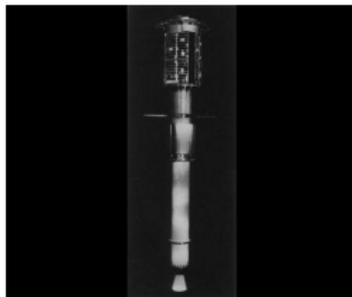


[<http://isc.astro.cornell.edu/>]

Atmosphärische Absorption in großen Wellenlängenbereichen

⇒ sinnvolle Beobachtungen nur vom Weltraum aus

Gammastrahlensatelliten vor Fermi (I)



[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

Explorer XI

- Erster Gammastrahlensatellit im Orbit
- Gestartet am 27. April 1961
- Empfindlich für Gammastrahlen über 50 MeV

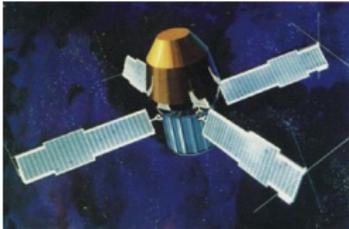
Vela-Satelliten

- US-Militärsatelliten
- Gestartet Ende der 1960er Jahre
- Entdeckung der ersten Gammastrahlenausbrüche



[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

Gammastrahlensatelliten vor Fermi (II)



[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

SAS-2 (Small Astronomy Satellite 2)

- Gestartet am 15. November 1972
- Erste detailliertere Untersuchungen des Gammastrahlenshimmels
- Findet hochenergetische, diffuse Komponente der Strahlung

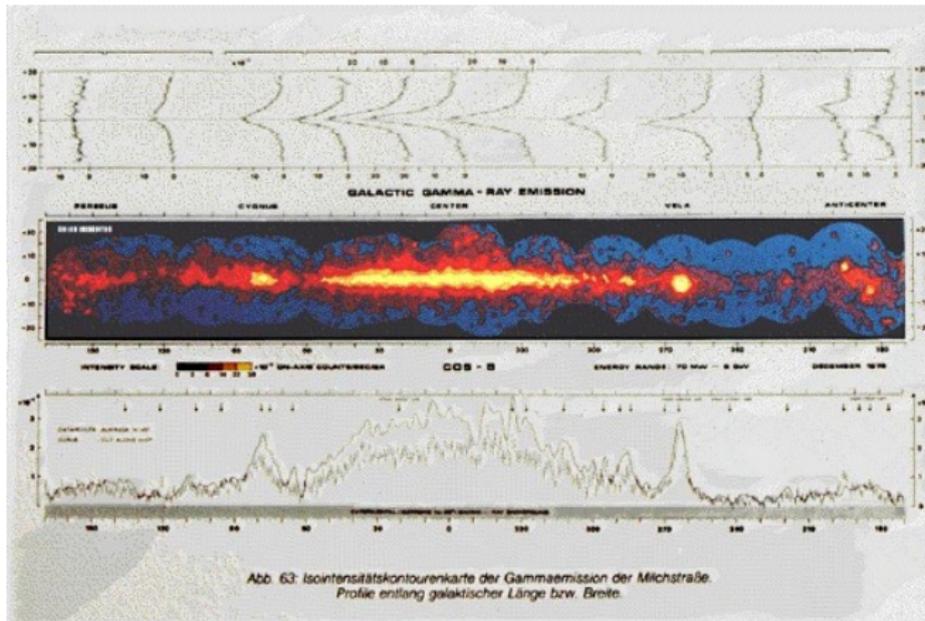
COS-B

- Gammastrahlenteleskop der ESA
- Gestartet am 9. August 1975
- Erste komplette Karte der Milchstraße im Gamma-Bereich
- Untersuchung von Gamma-Pulsaren



[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

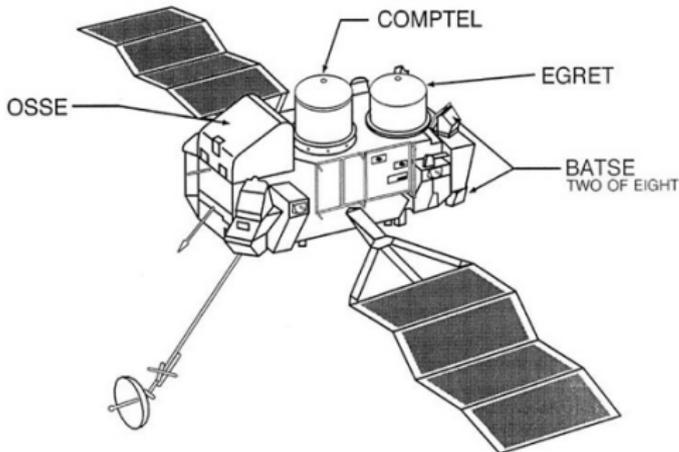
Der Himmel mit COS-B



[<http://www.rssd.esa.int/>]

CGRO - Compton Gamma Ray Observatory

COMPTON OBSERVATORY INSTRUMENTS



[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

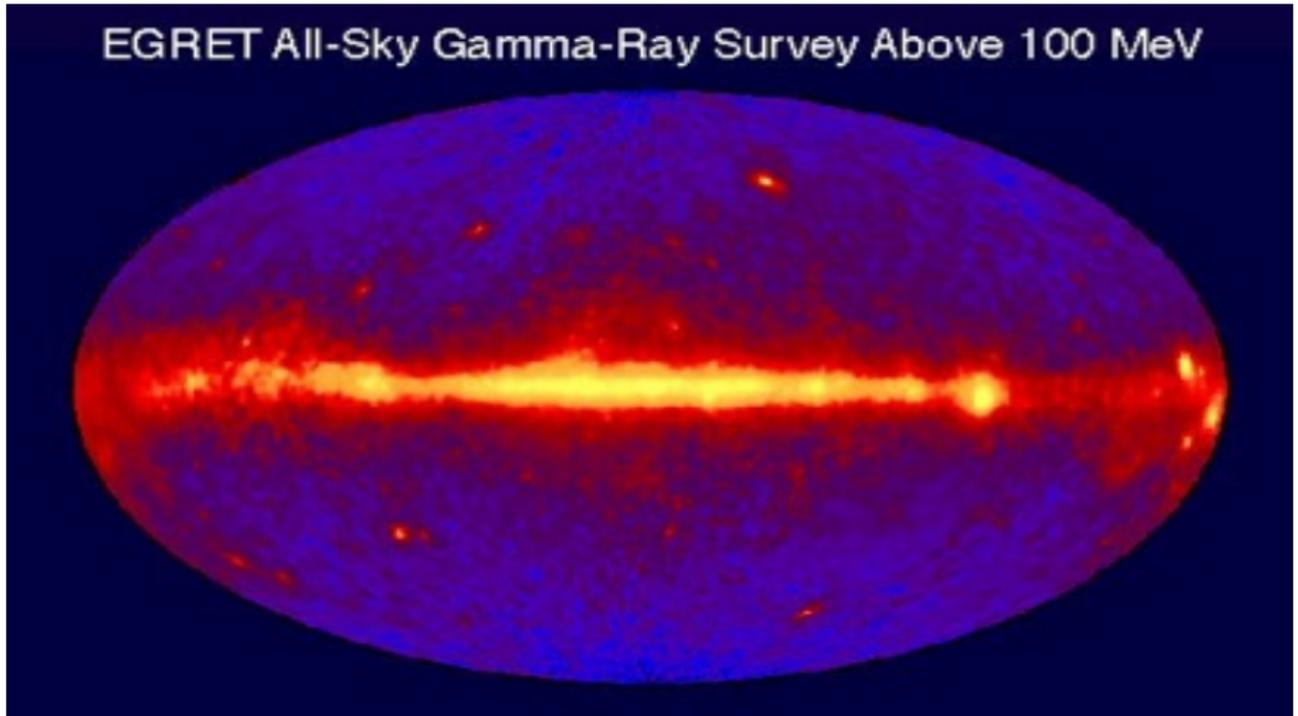
Instrumente auf CGRO

- **EGRET**
Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope
(20 MeV – 30 GeV)

Problem mit Antikoinzidenzdetektor

- **COMPTEL**
COMPTon TELEscope (0.8 – 30 MeV)
- **OSSE**
Oriented Scintillation Spectrometer
Experiment (0.05 – 10 MeV)
- **BATSE**
Burst And Transient Spectrometer
Experiment (20 – 600 keV)

Der Himmel mit EGRET



[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

Inhalt

- 1 Einführung
 - Fermi - der Satellit
 - LAT - das Instrument
- 2 Ergebnisse
 - Der Himmel mit Fermi-LAT
 - Gamma-Pulsare
 - SNRs als Beschleuniger
 - „Fermi-Bubbles“
- 3 Ausblick
- 4 Quellenverzeichnis

Fermi - der Satellit

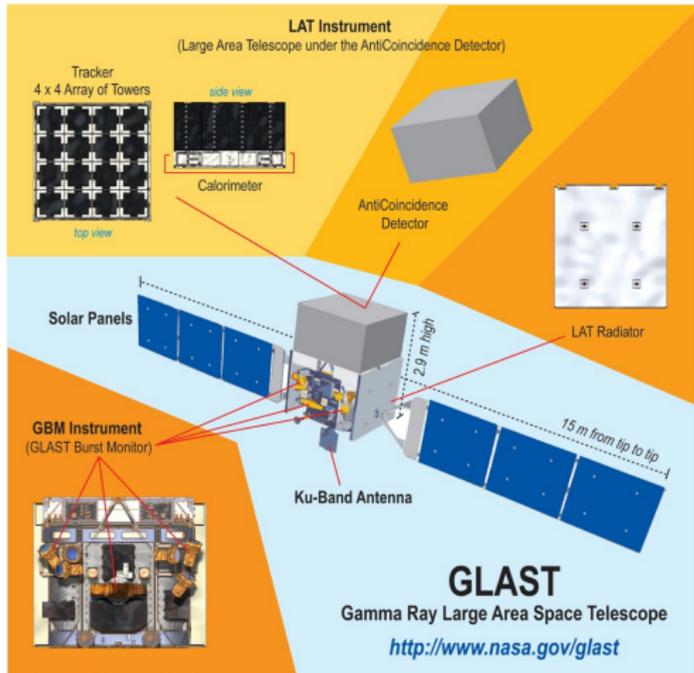


[<http://www.nasa.gov/>]

Daten zu Fermi

- Spannweite über Solarzellen ≈ 15 m
- Masse ≈ 4.5 t
- Orbit: 560 km Höhe, Periode ca. 95 min, Bahninklination: 28.5°
- Gestartet am 11. Juni 2008 mit Delta II

Fermi - Instrumente

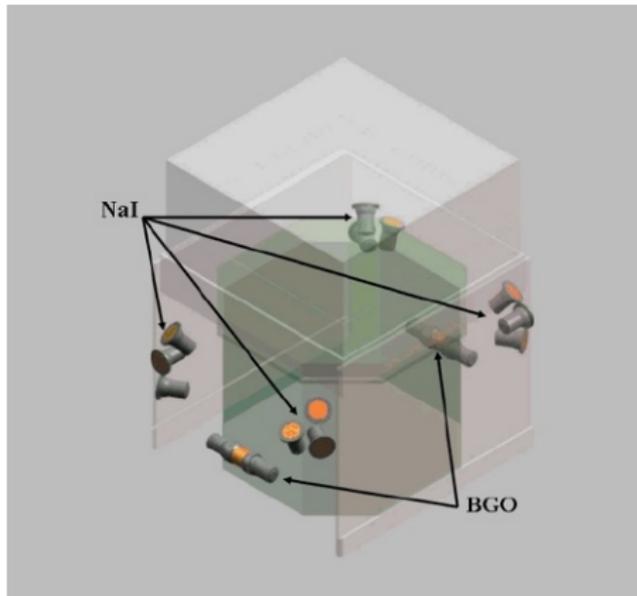


[<http://fermi.sonoma.edu/>]

2 Instrumente:

- LAT
(Large Area Telescope)
- GBM
(Gamma-ray Burst Monitor)

GBM - Gamma-ray Burst Monitor

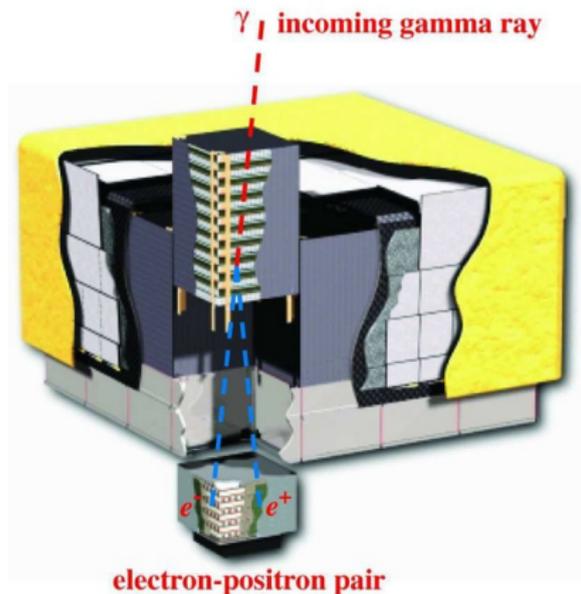


[<http://www.mpe.mpg.de/>]

GBM

- 14 Szintillationsdetektoren mit unterschiedlichen Blickrichtungen
- Misst Spektren und Lichtkurven zwischen 10 keV – 30 MeV
- Richtungsbestimmung durch Vergleich der Signale mehrerer Detektoren

LAT - Large Area Telescope

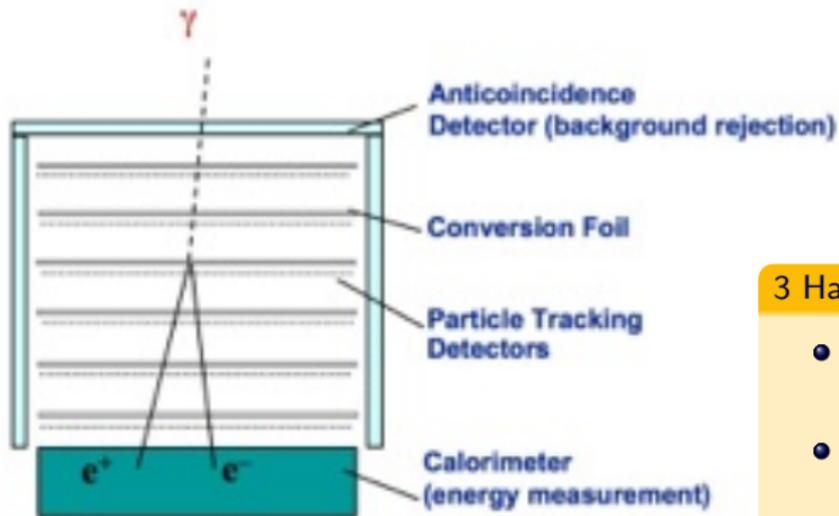


[Atwood et al. 2009]

LAT

- Paarbildungsdetektor
- Empfindlich zwischen 20 MeV – 300 GeV
- Maße: 1.8 m \times 1.8 m \times 0.72 m, Gewicht: 2789 kg
- Effektive Fläche bei senkrechtem Einfall: 9500 cm²
- Sehr großes Gesichtsfeld (2.4 sr, \approx 1/5 des Himmels)

LAT - Aufbau

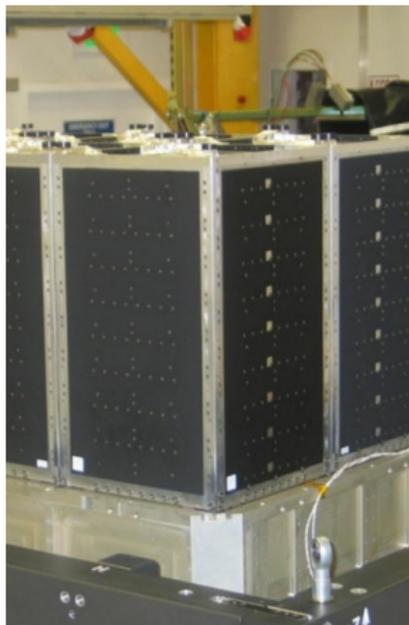


[<http://www.nasa.gov/>]

3 Hauptkomponenten

- Antikoinzidenzdetektor (segmentiert)
- Converter-Tracker (4×4-Array)
- Kalorimeter (4×4-Array)

LAT - Converter-Tracker



[<http://fermi.sonoma.edu/>]

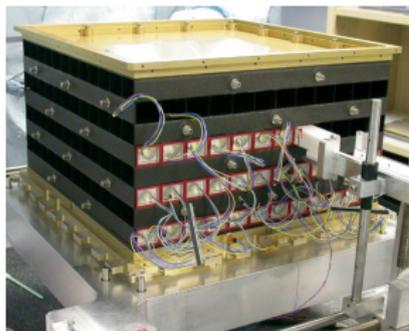
Aufbau

- 18 Ebenen Si-Streifendetektoren (2-lagig, x-, y-Richtung)
- 16 Konverterebenen (Wolfram)

Funktionsprinzip

- Einfallende γ -Quanten erzeugen in Konvertermaterial e^+e^- -Paare
- Entstehende e^+e^- -Spuren werden von Streifendetektoren vermessen

LAT - Kalorimeter



[<http://fermi.sonoma.edu/>]

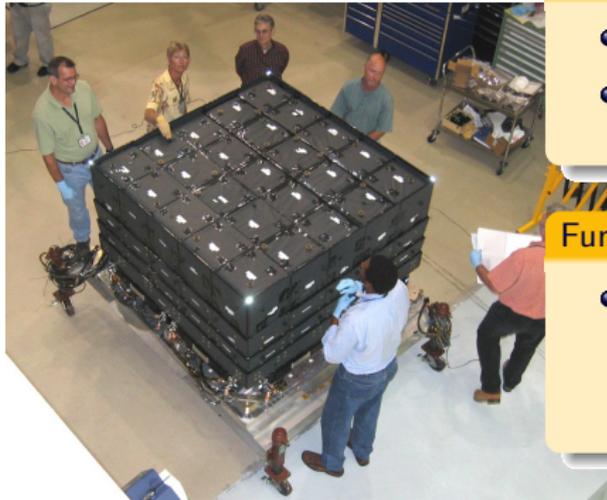
Aufbau

- 96 CsI(Tl)-Kristalle
(2.7 cm × 2.0 cm × 32.6 cm)
- 2 Photodioden auf jeder Seite eines Kristalls
für hohen Dynamikumfang
- Angeordnet in 8 Lagen zu 12 Einheiten,
aufeinanderfolgende Lagen um 90° gedreht

Funktionsprinzip

- Einfallende e^+/e^- lösen Teilchenschauer aus
- Messung des resultierenden Lichtpulses in den Kristallen
- Rückschluss auf Schauerverlauf und Energie der primären γ -Quanten

LAT - Antikoinzidenzdetektor (ACD)



[<http://fermi.gsfc.nasa.gov/>]

Aufbau

- Plastiksintillator-Kacheln
- Wellenlängenschieber + Photomultiplier

Funktion

- Unterdrückt mindestens 99,97% der geladenen Teilchen aus kosmischer Strahlung

LAT - das komplette System

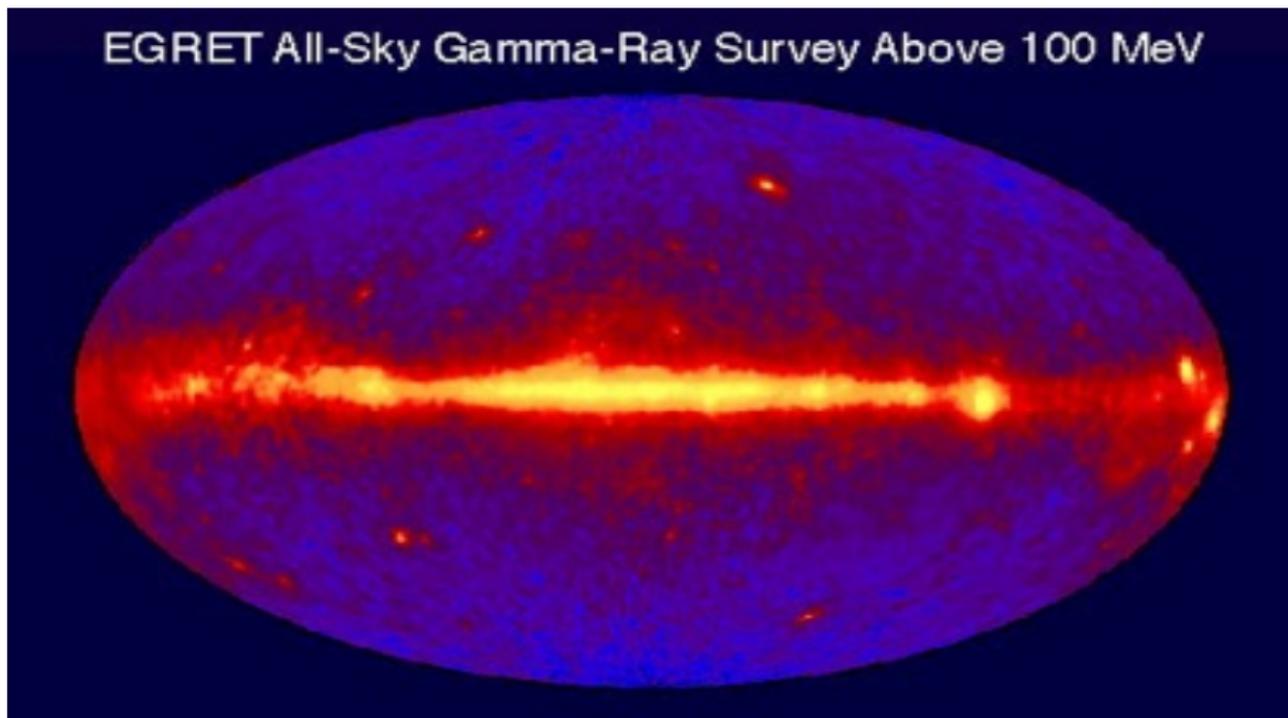
System LAT

Diese 3 Komponenten und das Data Acquisition System (DAQ, zuständig für Triggering, On-board-Processing und Filterung der Daten), ergeben das LAT

Kenngößen des LAT

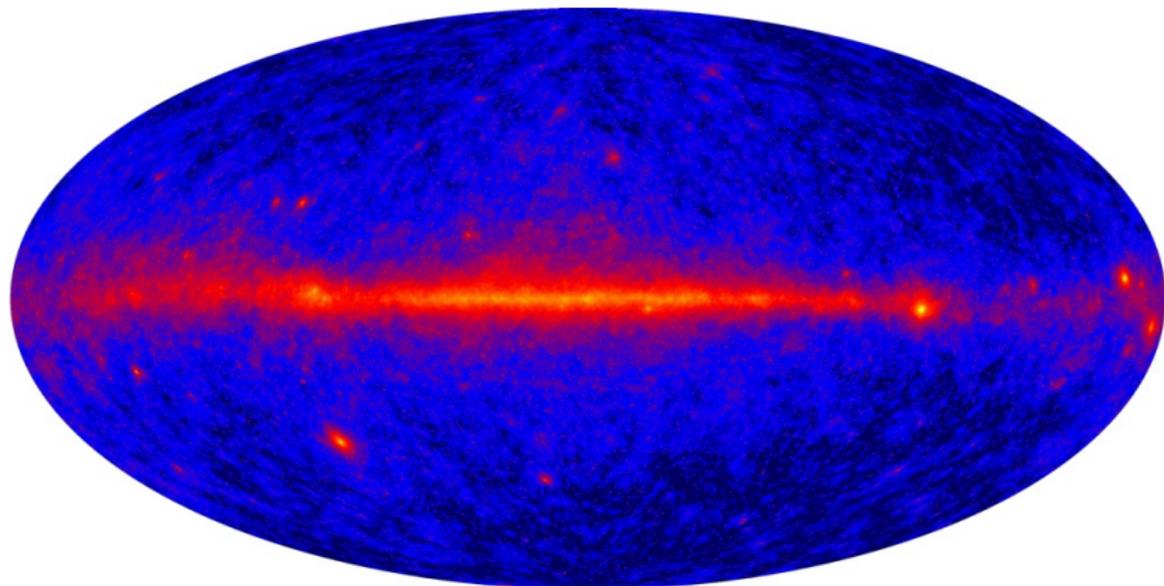
- Empfindlichkeitsbereich: 20 MeV – 300 GeV
- Effektive Fläche bei senkrechtem Einfall: 9500 cm²
- Auflösungsvermögen bei senkrechtem Einfall:
≤ 0.15° ($E > 10$ GeV) bis 3.5° ($E = 100$ MeV)
- Genauigkeit bei Positionsbestimmung von Punktquellen: < 0.5'
- Gesichtsfeld: 2.4 sr
- Zeitliche Genauigkeit: < 10 μs
- Totzeit: 26.5 μs

Zur Erinnerung: Der Himmel mit EGRET



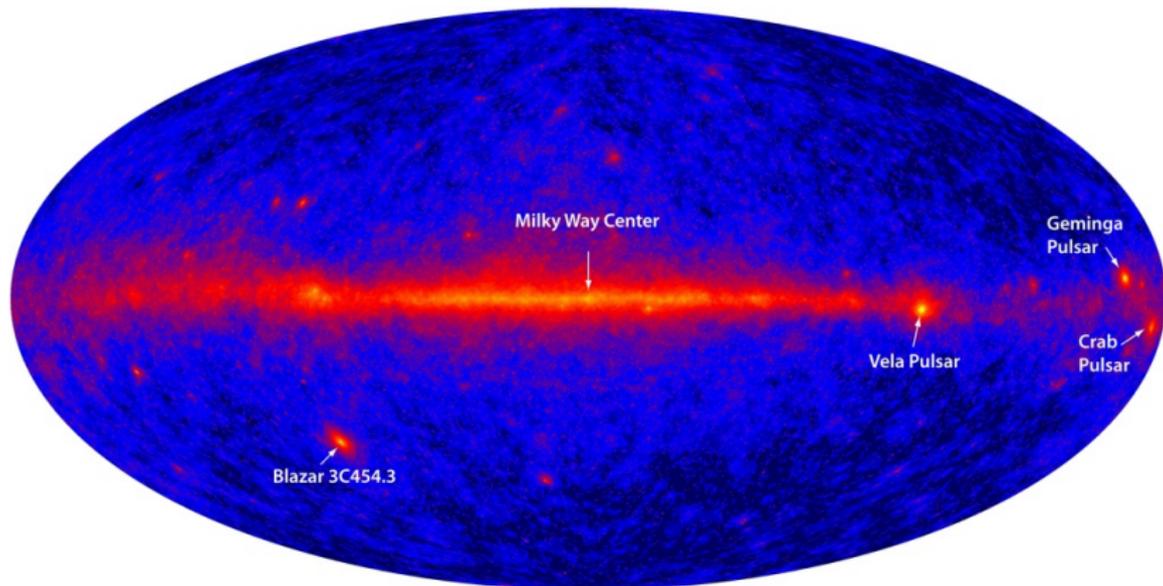
[<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>]

Der Himmel mit Fermi-LAT im ersten Beobachtungsjahr



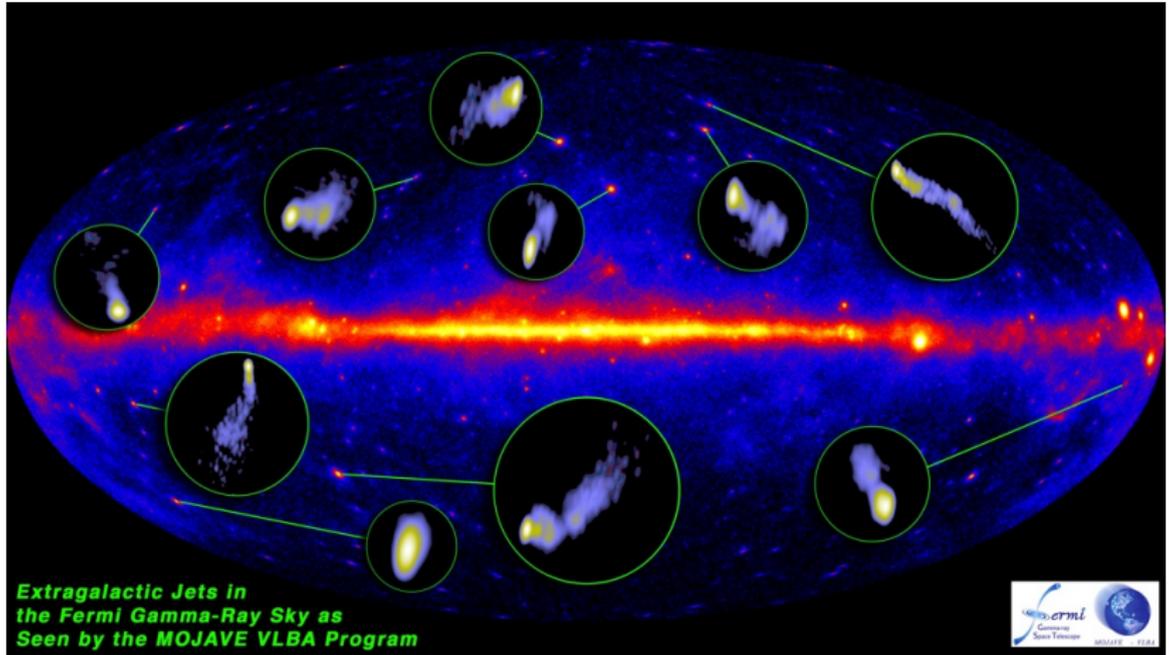
[<http://www.nasa.gov/>]

Der Himmel mit Fermi-LAT im ersten Beobachtungsjahr



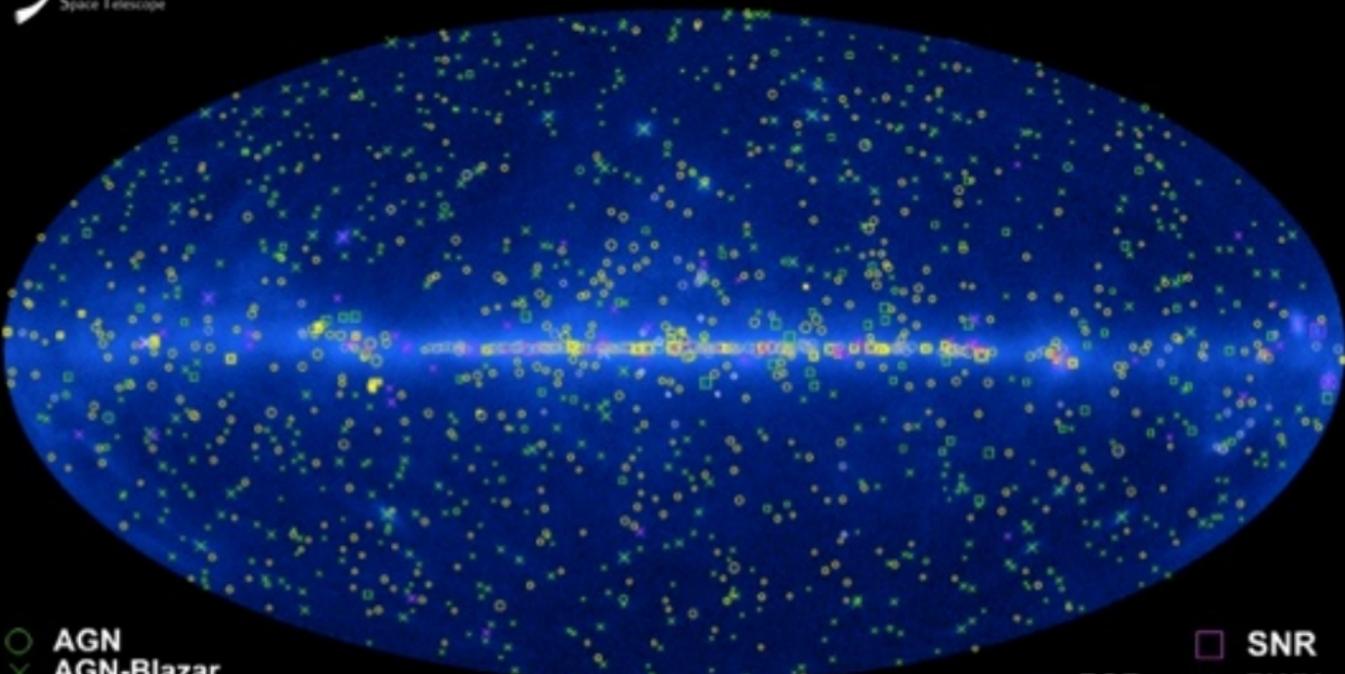
[<http://www.nasa.gov/>]

Jets im Radiobereich mit Mojave



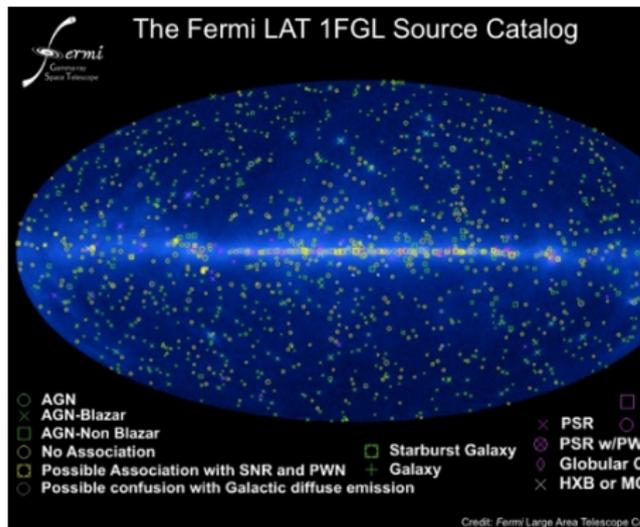
[<http://www.physics.purdue.edu/>]

The Fermi LAT 1FGL Source Catalog



- | | |
|---|--------------------|
| ○ AGN | □ SNR |
| × AGN-Blazar | × PSR |
| □ AGN-Non Blazar | ○ PWN |
| ○ No Association | ⊗ PSR w/PWN |
| □ Possible Association with SNR and PWN | ◇ Globular Cluster |
| ○ Possible confusion with Galactic diffuse emission | × HXB or MQO |
| □ Starburst Galaxy | |
| + Galaxy | |

Der „First Fermi-LAT catalog (1FGL)“



[<http://www.glast.stanford.edu/>]

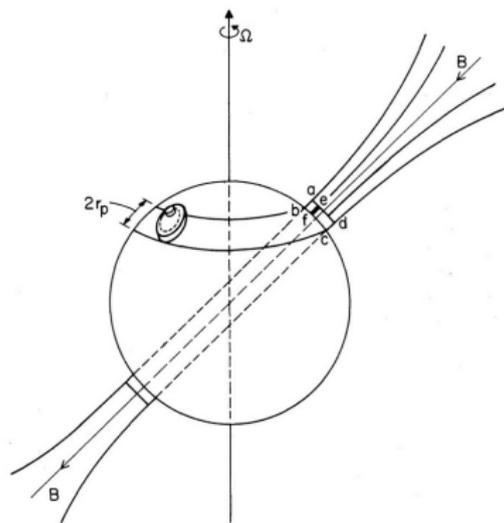
Daten

- Daten von einem Jahr Beobachtung
- Umfasst 1451 Punktquellen
- Energien zwischen 100 MeV und 100 GeV
- 821 davon mit Quellen in anderen Bändern assoziiert (80% CL):
 - 689 Blazare
 - 24 Seyfert-Galaxien
 - 147 andere AGNs/QSOs
 - 2 Starburst-Galaxien
 - Pulsare, SNRs,...

Pulsare

Prinzip

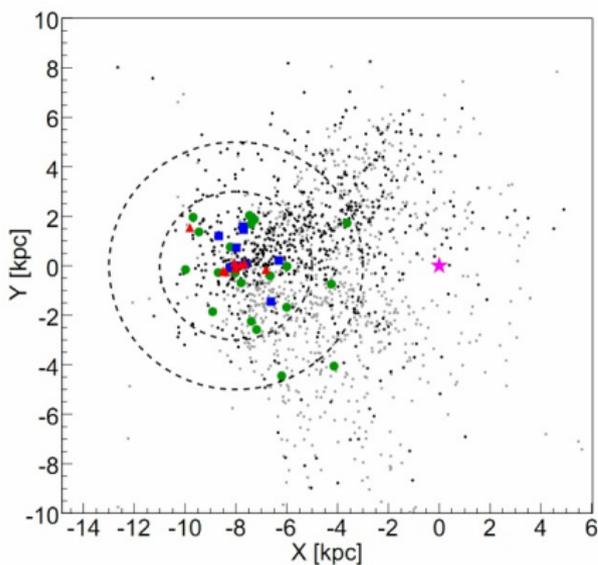
- Sehr schnell rotierende Neutronensterne
- Starkes Magnetfeld
⇒ beschleunigte Ladungen
⇒ Abstrahlung
- Achse des Magnetfelds gegen Rotationsachse gekippt
⇒ Lichtkurve gepulst
- Energieverlust aufgrund der Abstrahlung
⇒ Rotationsperiode nimmt zu



[Ruderman; Sutherland, 1975]

γ -Pulsare

- 1FGL: 56 Quellen im γ -Bereich als Pulsare identifiziert
- Darunter 6 bisher nicht als Pulsar bekannte Objekte



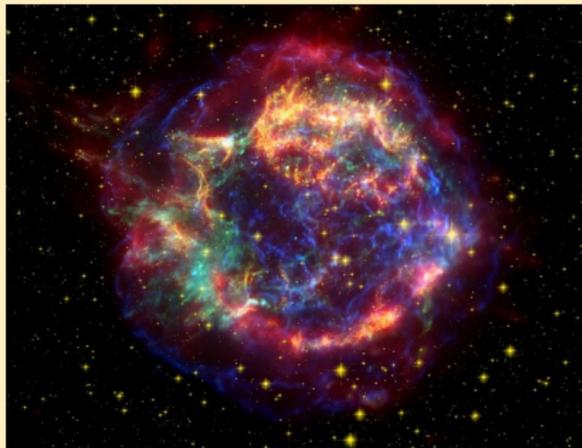
[The Fermi-LAT Collaboration 2010]

Der „First Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-ray Pulsars“

- Daten nur der ersten 6 Monate
- Umfasst 46 Pulsare im γ -Bereich
- Überwiegend nahe Quellen
- Quelldichte erlaubt Abschätzung der galaktischen Sternentstehungsrate ($\approx 50 \text{ yr}^{-1}$)

SNRs als Beschleuniger

Cassiopeia A



[<http://www.spitzer.caltech.edu/>]

Supernova von 1680

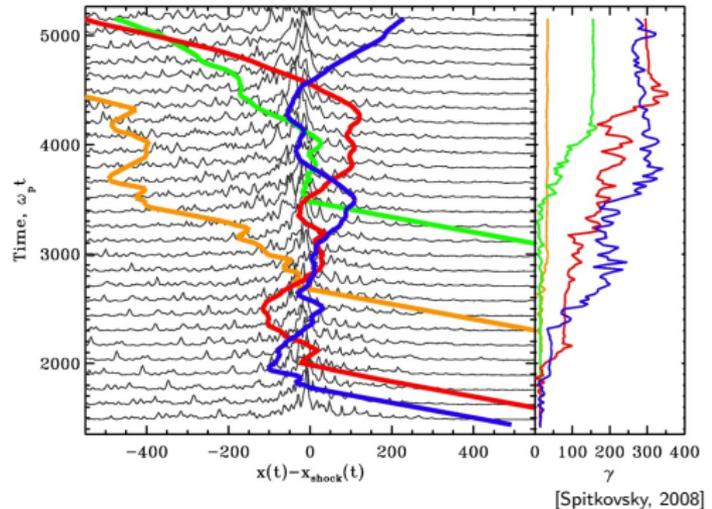
SNR: Super Nova Remnant

- Überreste von Supernovae: Teil der Explosionsenergie wandert als Schockfront durch das umgebende Medium
- Starke Magnetfelder bewegen sich mit Schockfront
⇒ „Fermi-Beschleunigung erster Ordnung“
- Schon seit längerem Kandidat für Quelle von hochenergetischer kosmischer Strahlung (CRs)

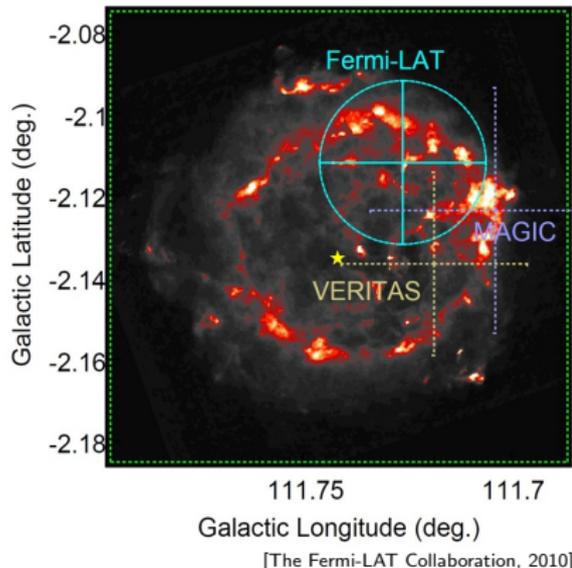
Fermi-Beschleunigung erster Ordnung

Prinzip

- Mitbewegtes Magnetfeld bei Schockfront
- Geladene Teilchen werden in Umgebung gestreut
- Pro Durchgang durch Schockfront Energiegewinn
- Erwartet: Potenzspektrum ($\Gamma \approx -2$)
- Simulationen bestätigen den Mechanismus



SNRs als Beschleuniger - Cassiopeia A



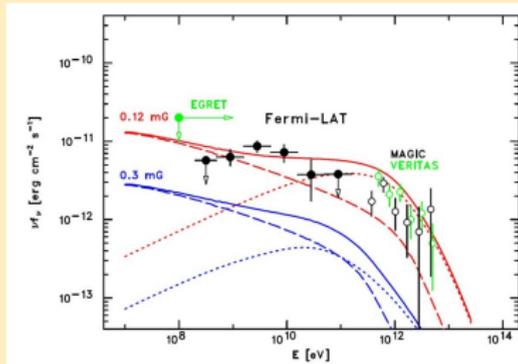
Beispiel Cassiopeia A

- Daten von 394 Tagen
Beobachtung der Quelle mit $E \geq 200 \text{ MeV}$
- Spektrum: Potenzgesetz mit
exponentiellem Cutoff:
$$dN/dE \propto E^\Gamma \exp(-E/E_{cut}),$$
$$\Gamma \approx -2, E_{cut} \approx 16 \text{ GeV}$$
- Keine Anzeichen für
Pulsaraktivität
 \Rightarrow Pulsar als Quelle
unwahrscheinlich
 \Rightarrow Strahlung muss von Schale
stammen

Cassiopeia A - 2 Modelle

Leptonisches Modell

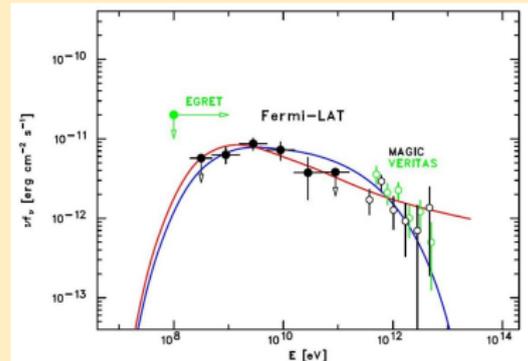
- Hauptsächlich Bremsstrahlung von Elektronen (gestrichelt)
- Zusätzlich inverser Comptoneffekt (gepunktet)



[The Fermi-LAT Collaboration, 2010]

Hadronisches Modell

- Strahlung aus π^0 -Zerfall
- Benötigt hochenergetische Hadronen, die mit Kernen der Umgebung reagieren



[The Fermi-LAT Collaboration, 2010]

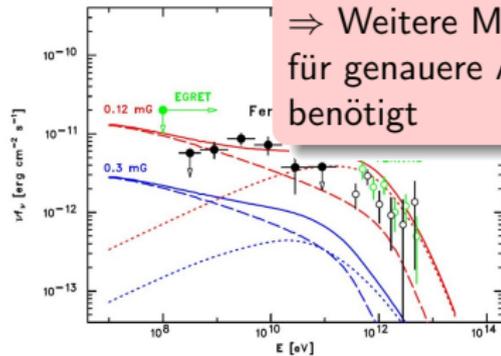
Cassiopeia A - 2 Modelle

Leptonisches Modell

- Hauptsächlich Bremsstrahlung von Elektronen (gestrichelt)
- Zusätzlich inverse Compton (gepunktet)

⇒ Hadronisches Modell aufgrund der Messungen von Fermi-LAT bevorzugt

⇒ Weitere Messungen für genauere Aussagen benötigt

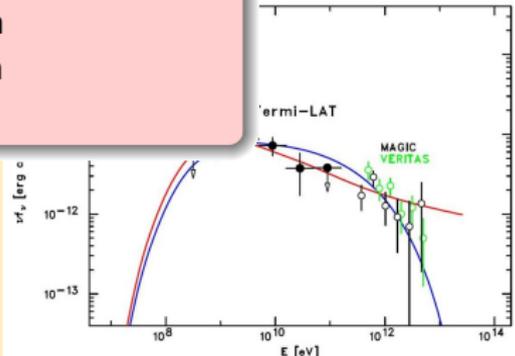


[The Fermi-LAT Collaboration, 2010]

Hadronisches Modell

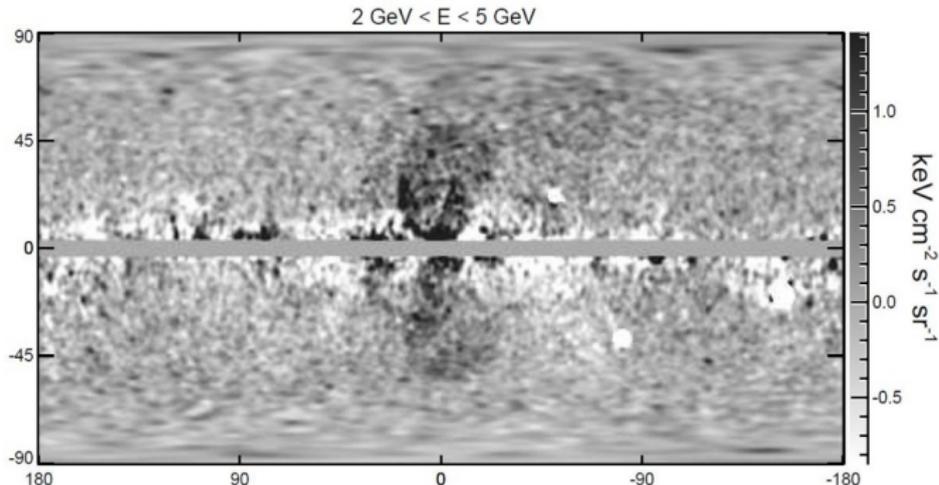
- Strahlung aus π^0 -Zerfall

energetische
mit Kernen der
gieren



[The Fermi-LAT Collaboration, 2010]

„Fermi-Bubbles“

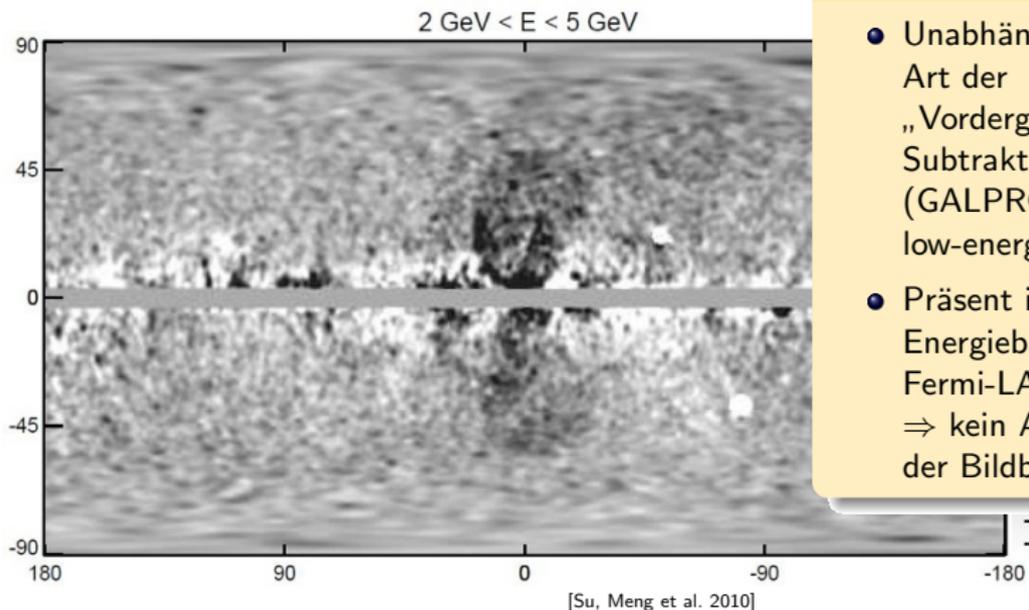


[Su, Meng et al. 2010]

Fermi-Bubbles

- Großflächige Strukturen ($\approx 50^\circ$ pro Blase)
- Erkennbar nach Abzug von Punkt- und Vordergrundquellen (z.B. Milchstraße)

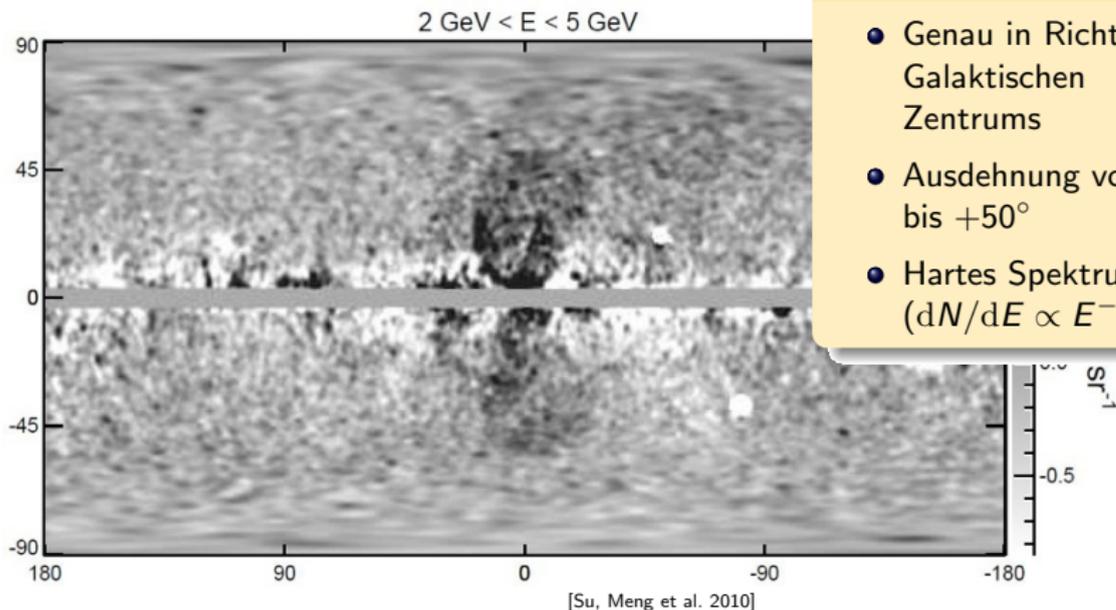
„Fermi-Bubbles“ - Eigenschaften (I)



Eigenschaften

- Unabhängig von der Art der „Vordergrund“-Subtraktion (GALPROP, low-energy map...)
- Präsent in allen Energiebändern der Fermi-LAT-Daten
⇒ kein Artefakt aus der Bildbearbeitung

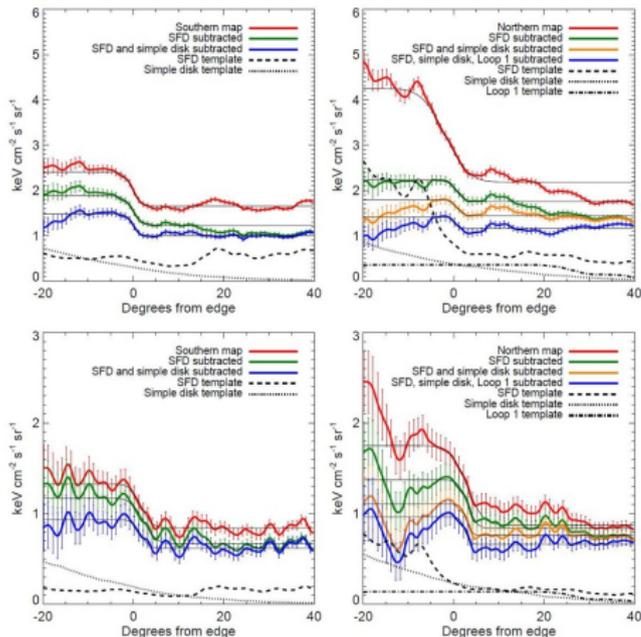
„Fermi-Bubbles“ - Eigenschaften (II)



Eigenschaften

- Genau in Richtung des Galaktischen Zentrums
- Ausdehnung von -50° bis $+50^\circ$
- Hartes Spektrum ($dN/dE \propto E^{-2}$)

„Fermi-Bubbles“ - Eigenschaften (III)

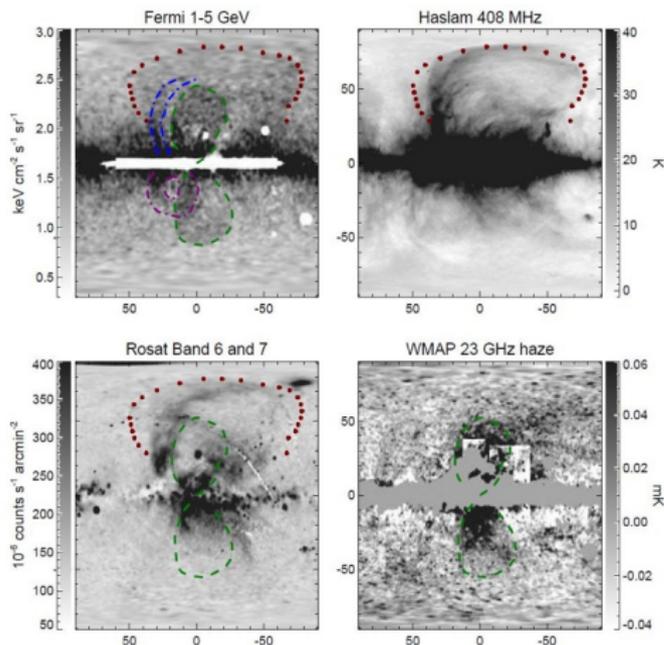


Untersuchung des Helligkeitsprofils

- Konstante Helligkeit im Inneren
- Scharfer Rand in allen Richtungen

[Su, Meng et al. 2010]

„Fermi-Bubbles“ - andere Wellenlängen



Vergleich

- Bubbles kongruent mit „WMAP haze“
- Unterschiedliche Helligkeitsprofile
- Loop I aus Radiokarte ebenfalls in Fermi-Daten

[Su, Meng et al. 2010]

„Fermi-Bubbles“ - Energiequelle (I)

Starburst

- Starker Anstieg der Sternbildungsrate
⇒ Starke Sternwinde
⇒ Energietransport in die Umgebung



[<http://www.spitzer.caltech.edu/>]

AGN

- Akkretierendes supermassives Schwarzes Loch
⇒ Möglich: Jets
⇒ Energietransport in die Umgebung



[<http://imagine.gsfc.nasa.gov/>]

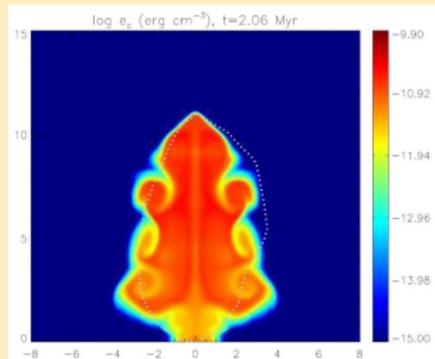
„Fermi-Bubbles“ - Energiequelle (II)

Starburst

- Problem: Elektronen nicht schnell genug, um genügend weit Energie zu transportieren
- Hadronen?

AGN

- Keine Anzeichen heutiger Aktivität
- Ähnliche Bilder aus Hydrodynamik-Simulationen



[Guo; Mathews, 2011]

Ausblick

Offene Fragen nicht nur bei Fermi-Bubbles:
Mehr Daten \Rightarrow bessere Diskussionsgrundlage!

- Geplante Lebenszeit von Fermi: 5 Jahre (bis 2013)
- Ziel: Betrieb für 10 Jahre (bis 2018)

- Vor ungefähr 60 Jahren: Entdeckung der Aktiven Galaxienkerne
- Heute: War auch unsere Galaxie aktiv?

Was kommt als nächstes?

Quellenverzeichnis

Einführung



<http://apod.nasa.gov/apod/fap/image/0102/>



<http://isc.astro.cornell.edu/~spoon/crashcourse.html>



<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>



<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=COSB>

Fermi und das LAT (I)



<http://www-glast.stanford.edu/>



<http://www.mpe.mpg.de/gamma/instruments/glast/GBM/www/index.html>



Atwood et al. (2009), The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-ray Space Telescope mission



Michelson et al. (2010), Fermi Gamma-ray Space Telescope: High-Energy Results from the First Year



http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/main/index.html



<http://mediaarchive.ksc.nasa.gov/>

Quellenverzeichnis

Fermi und das LAT (II)

 <http://fermi.sonoma.edu/multimedia/gallery/>

 http://fermi.gsfc.nasa.gov/acd/images/djt/ACD_and_MMS.html

Ergebnisse (I)

 http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/multimedia/fermi_allsky.html

 http://www.physics.purdue.edu/astro/MOJAVE/index_files/collage9_11month_update.jpg

 The Fermi-LAT Collaboration (2010), Fermi Large Area Telescope First Source Catalog

 Ruderman, M. A.; Sutherland, P. G. (1975), Theory of pulsars - Polar caps, sparks, and coherent microwave radiation

 Sturrock, P. A. (1971), A Model of Pulsars

 The Fermi-LAT Collaboration (2010), The First Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-ray Pulsars

 Spitkovsky, A. (2008), Particle acceleration in relativistic collisionless shocks: Fermi process at last?

Quellenverzeichnis

Ergebnisse (II)

 Longair, M. S. (2011), High Energy Astrophysics, p568ff

 [http:
//www.spitzer.caltech.edu/images/1445-ssc2005-14c-Cassiopeia-A-Death-Becomes-Her](http://www.spitzer.caltech.edu/images/1445-ssc2005-14c-Cassiopeia-A-Death-Becomes-Her)

 Blandford, R.; Eichler, D. (1987), Particle acceleration at astrophysical shocks: A theory of cosmic ray origin

 The Fermi-LAT Collaboration (2010), Fermi-LAT discovery of GeV gamma-ray emission from the young supernova remnant Cassiopeia A

 Crocker, Roland M.; Aharonian, Felix (2011), Fermi Bubbles: Giant, Multibillion-Year-Old Reservoirs of Galactic Center Cosmic Rays

 Su, Meng et al. (2010), Giant Gamma-ray Bubbles from Fermi-LAT: Active Galactic Nucleus Activity or Bipolar Galactic Wind?

 Guo, Fulai; Mathews, William G. (2011), Fermi Bubbles: Evidence for a Possible Recent AGN Jet Activity in the Galaxy

 [http://www.spitzer.caltech.edu/uploaded_files/graphics/high_definition_graphics/
0003/7899/sig06-010_Ti.jpg?1247275483](http://www.spitzer.caltech.edu/uploaded_files/graphics/high_definition_graphics/0003/7899/sig06-010_Ti.jpg?1247275483)

 http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_12/active_galaxies.html