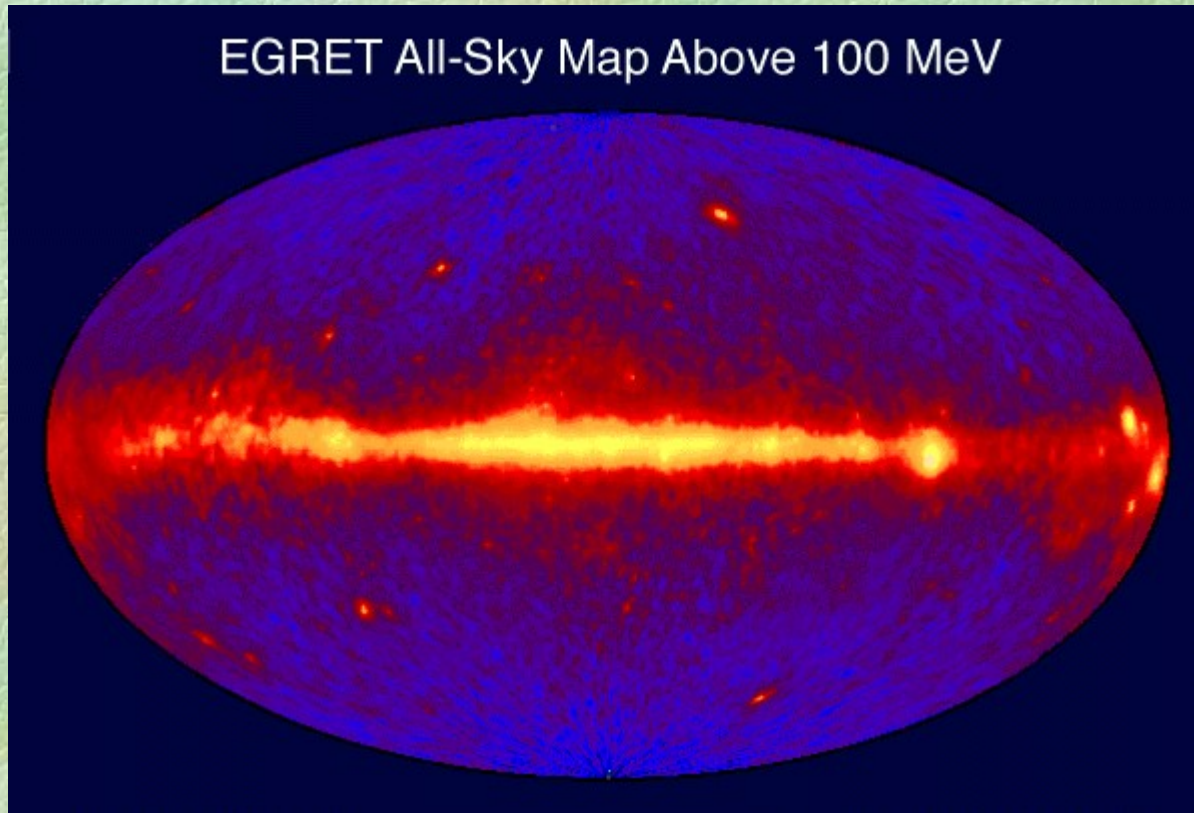
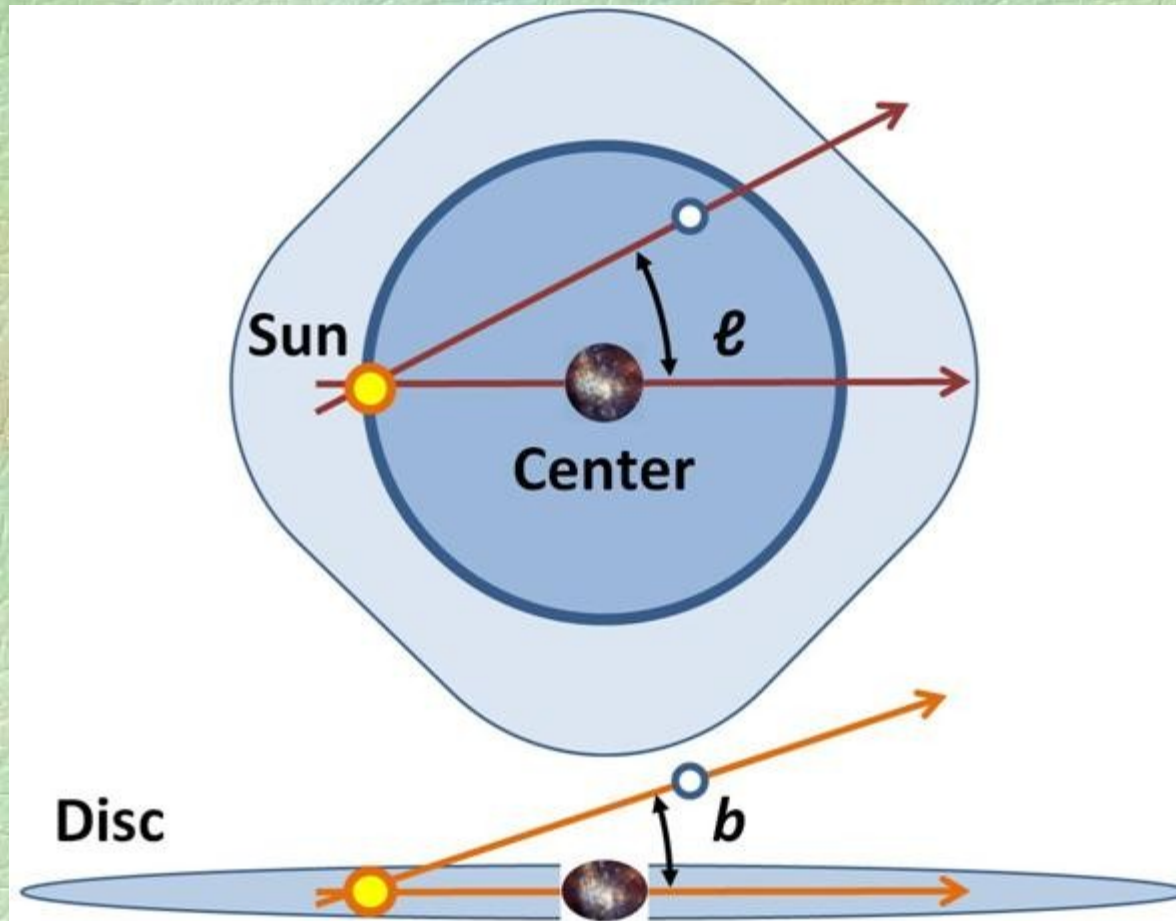


# Gamma-Astronomie



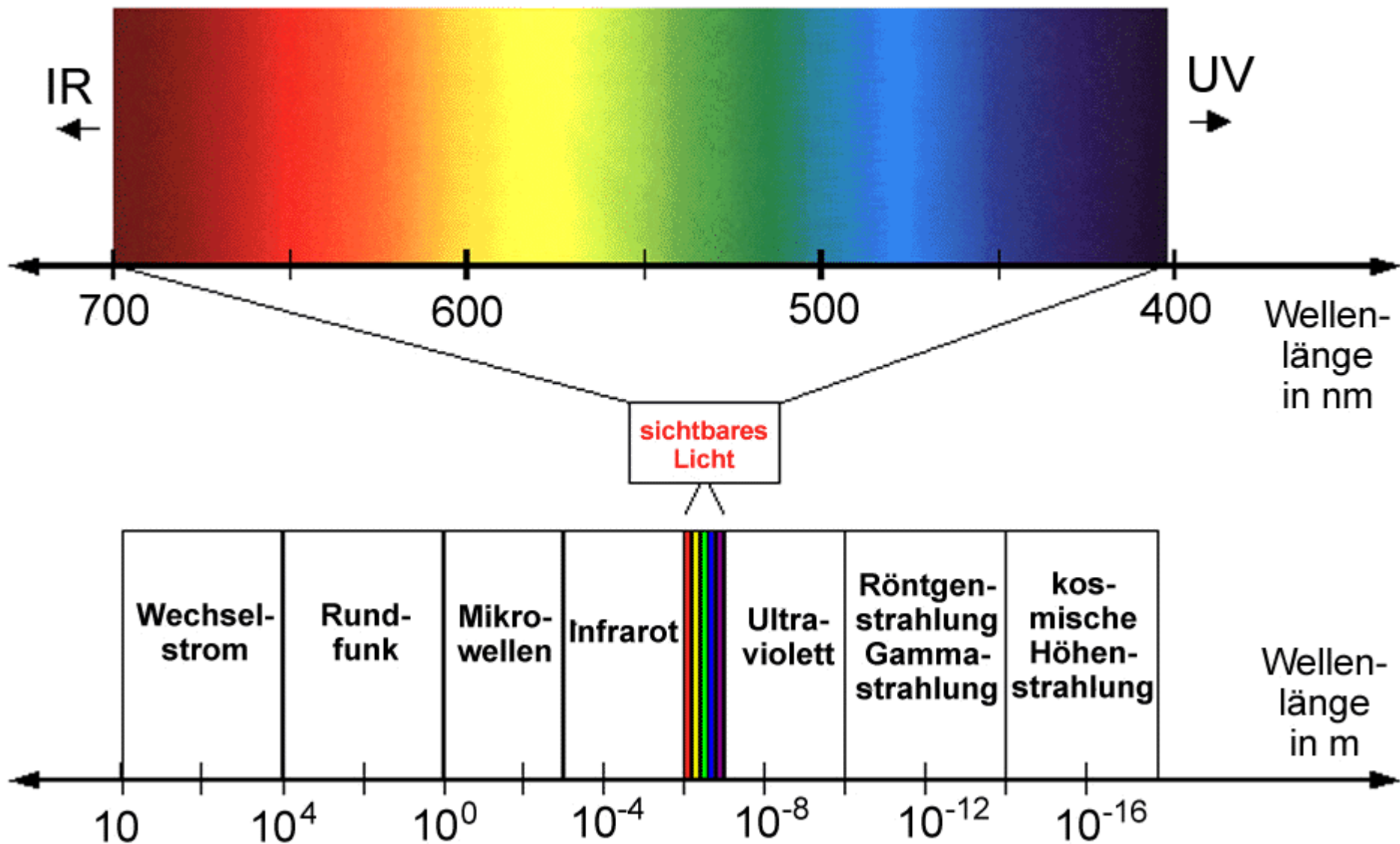
**Gamma-Astronomie**  
**Mittwochsakademie Sommer 2015**  
**Claus Grupen**

# Galaktische Koordinaten

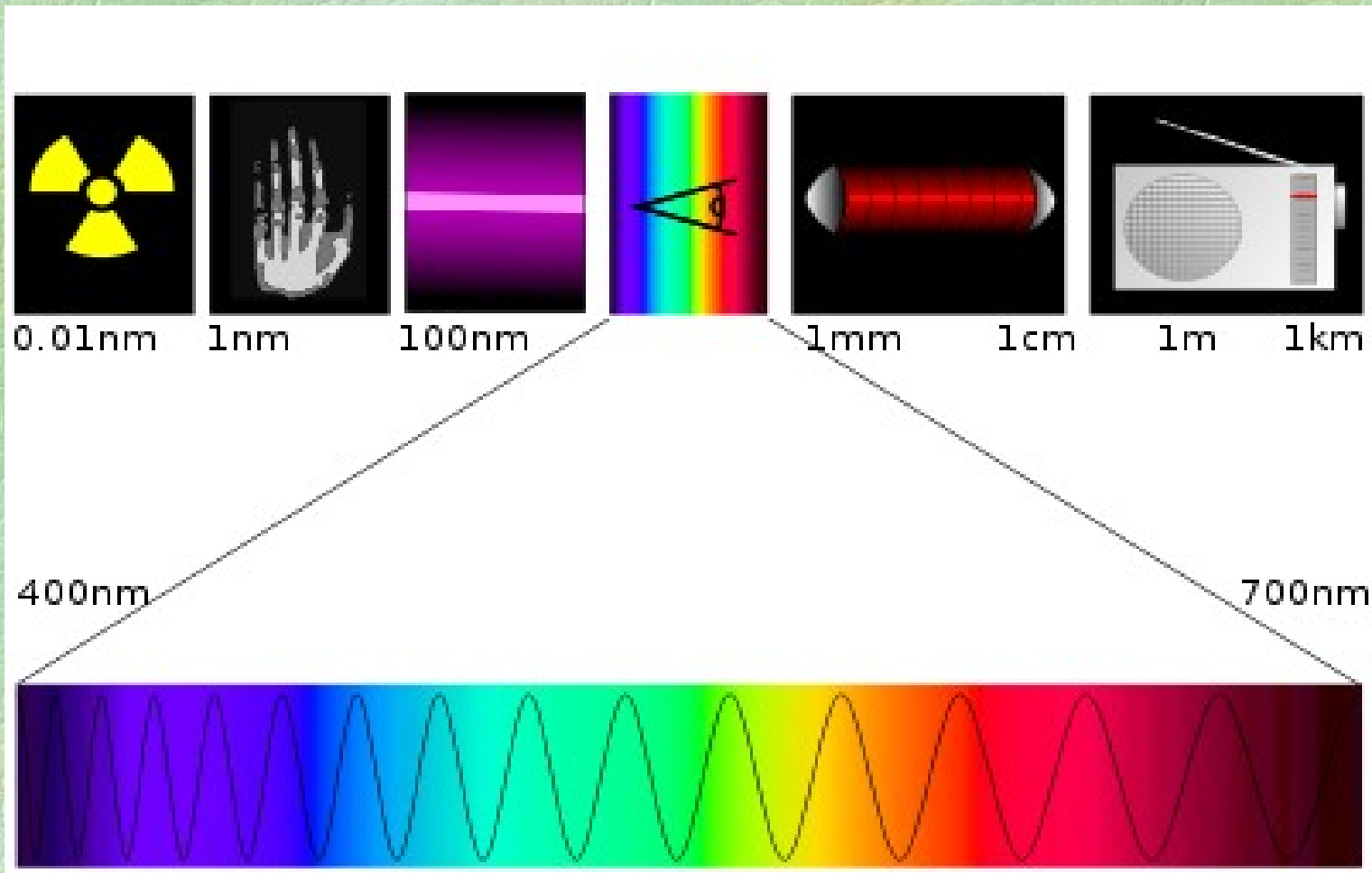




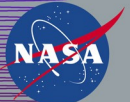
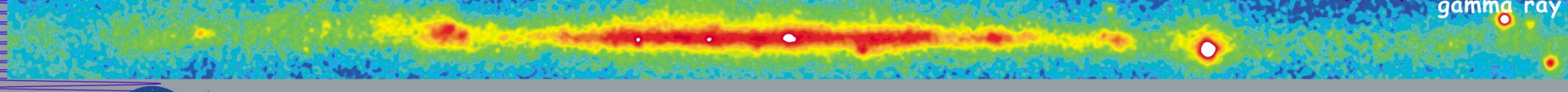
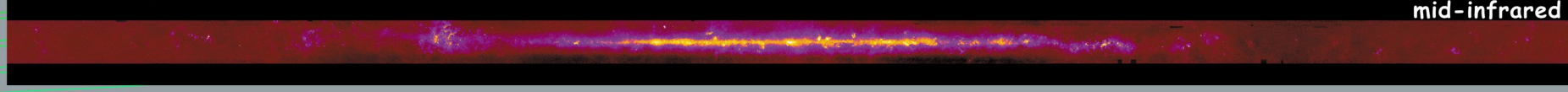
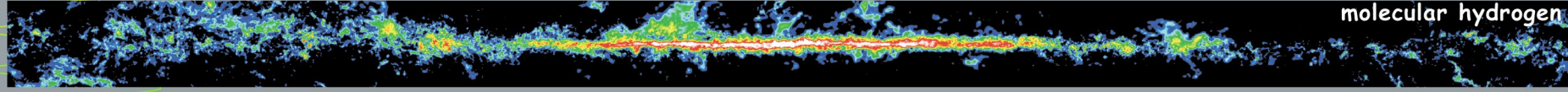
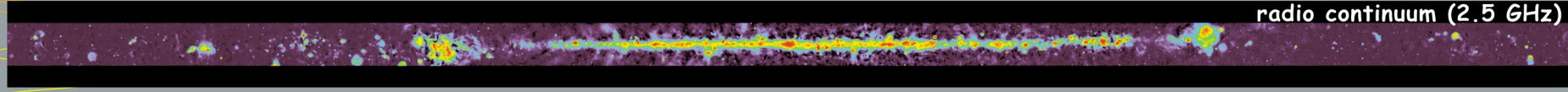
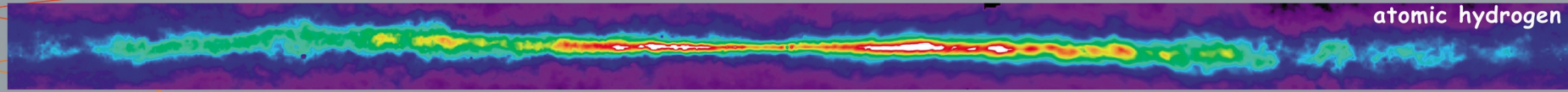
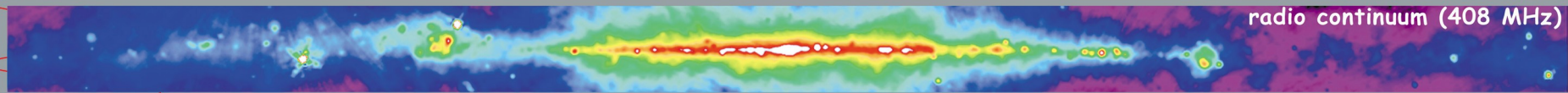
# Optisches Spektrum des Lichts



# Von Radiowellen zur Gammastrahlung







# Multiwavelength Milky Way

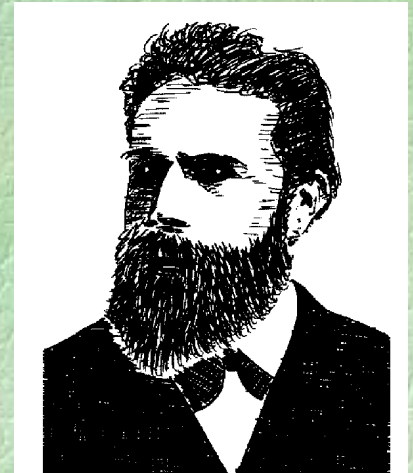
<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>



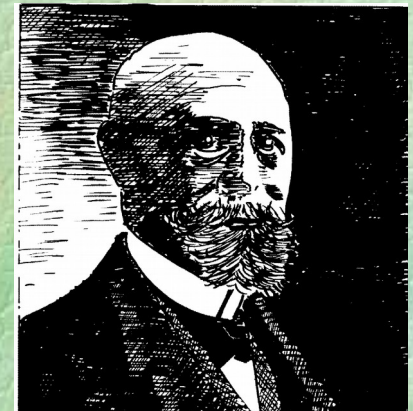
# Definition des Energiebereichs Gammastrahlung

Elektromagnetische Strahlung  
aus Übergängen in der atomaren  
Schale heißt Röntgenstrahlung  
Energiebereich 1 bis einige 100 keV

Übergänge im Atomkern bezeichnet  
man als Gammastrahlung  
Energiebereich ca. 1 MeV bis zu  
den höchsten Energien  
(MeV, GeV, TeV, PeV, EeV)



W.C.Röntgen

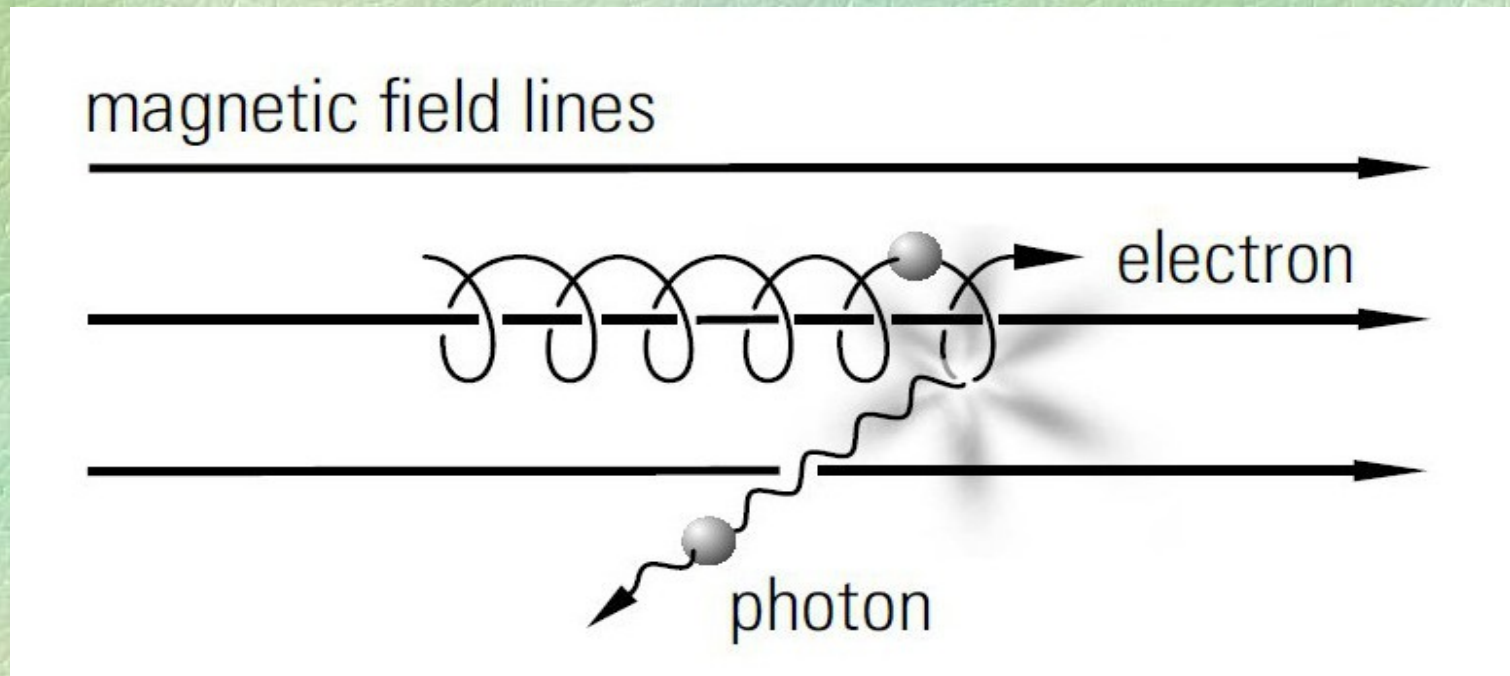


H. Becquerel



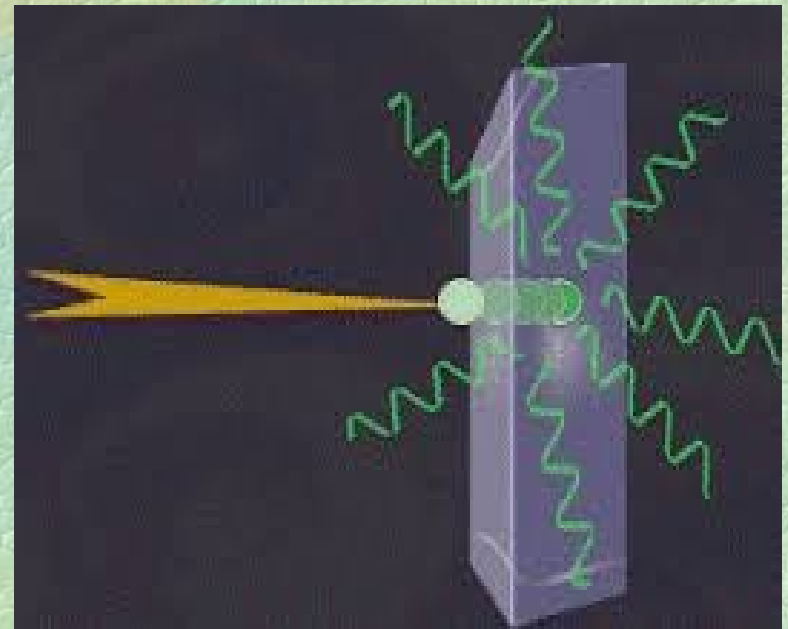
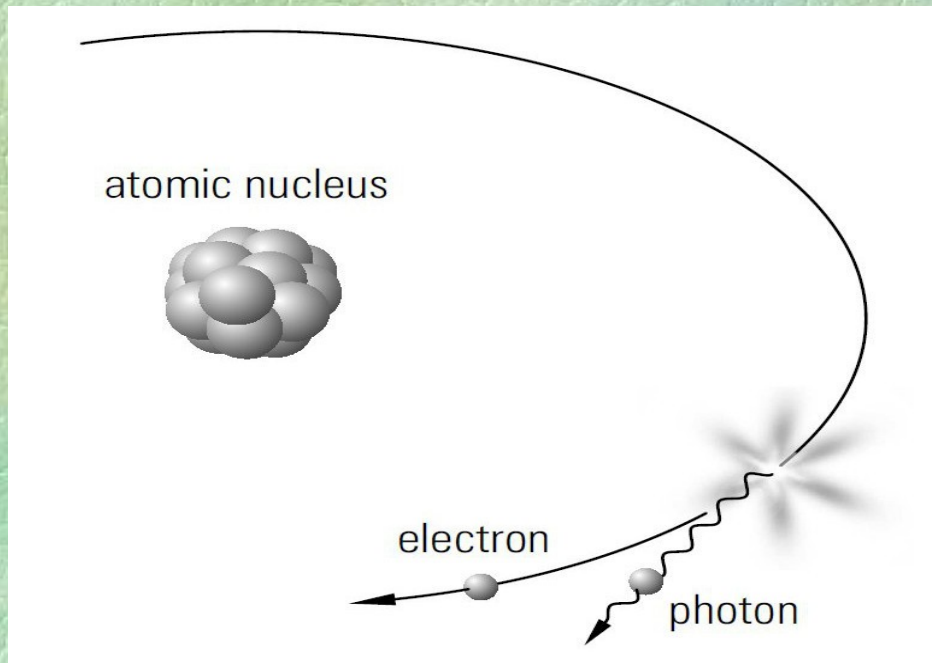
# Erzeugungsmechanismen zur Gammastrahlung

Jede beschleunigte Ladung strahlt



Synchrotronstrahlung im Magnetfeld

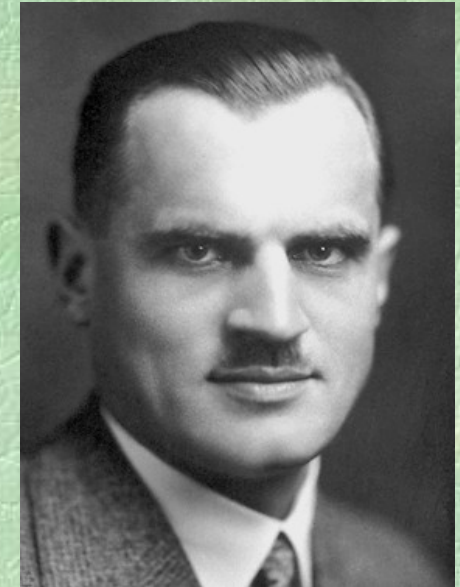
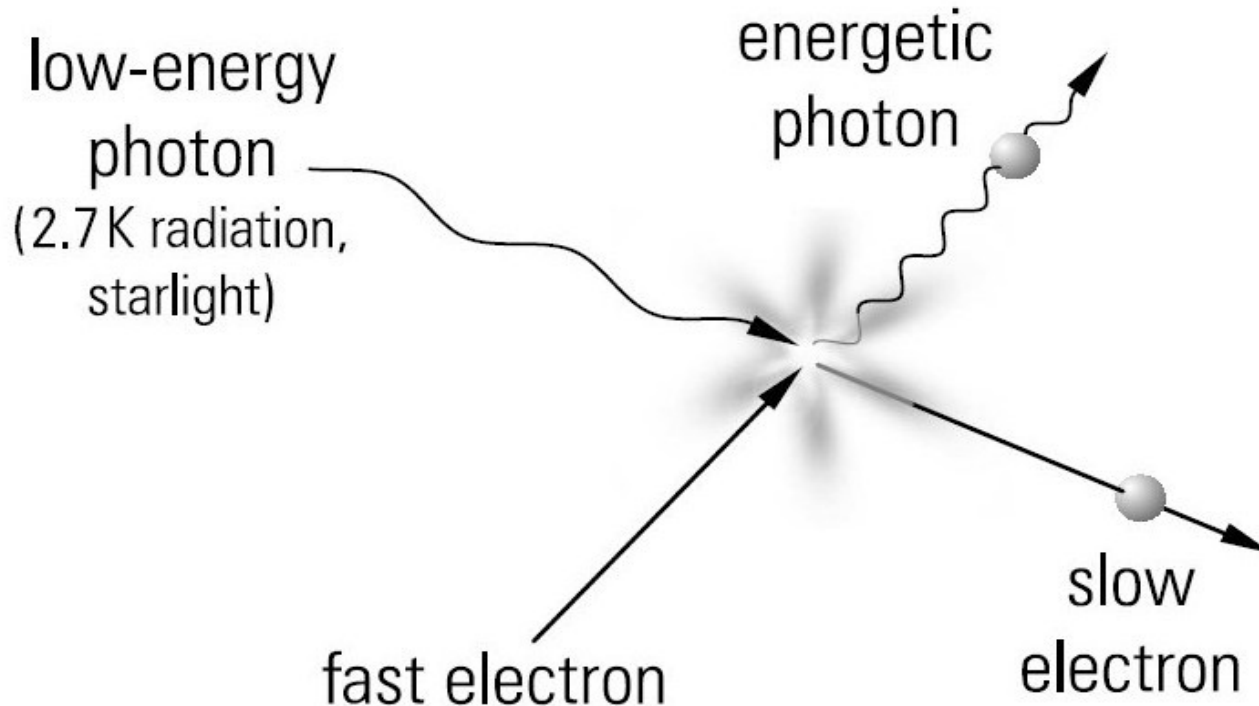
# Bremsstrahlung, wie in einer Röntgenröhre, nur bei höheren Energien



... hauptsächlich durch Wechselwirkung von  
Elektronen mit dem stellaren und interstellaren Gas



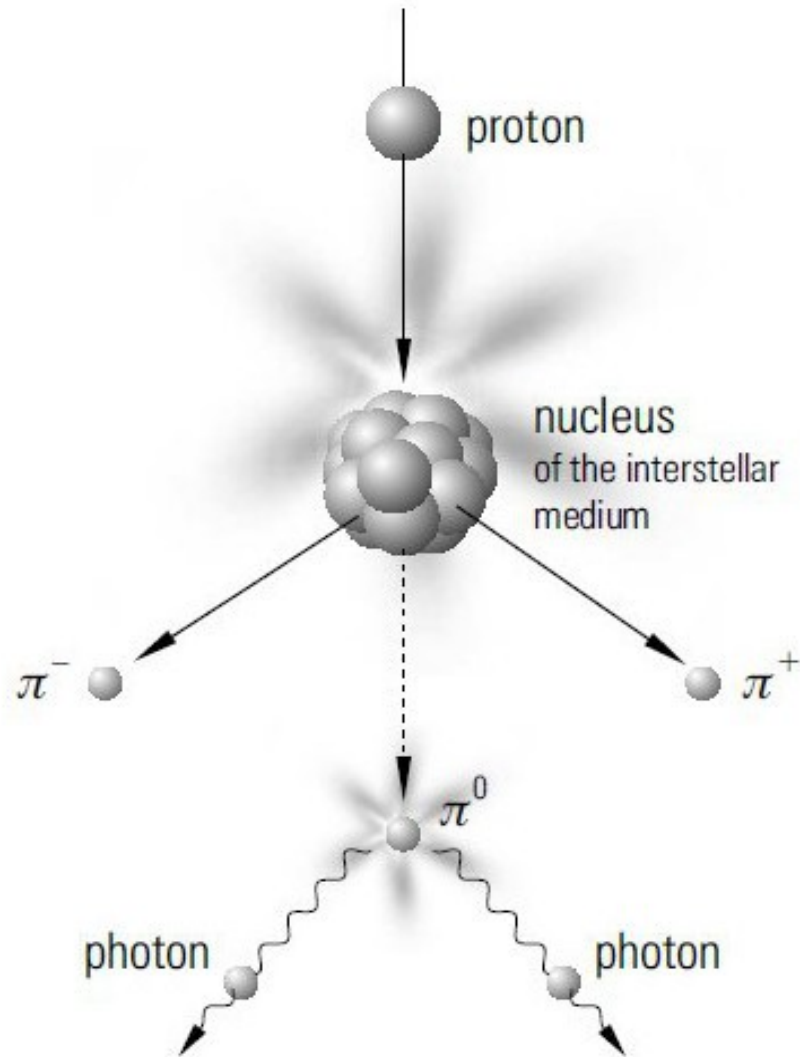
# Inverser Compton-Effekt



**A. Compton**

**Hochenergetische Elektronen 'kicken'  
Photonen in den Gamma-Bereich**

# Hadronische Produktion neutraler Pionen mit anschließendem Zerfall in zwei Photonen

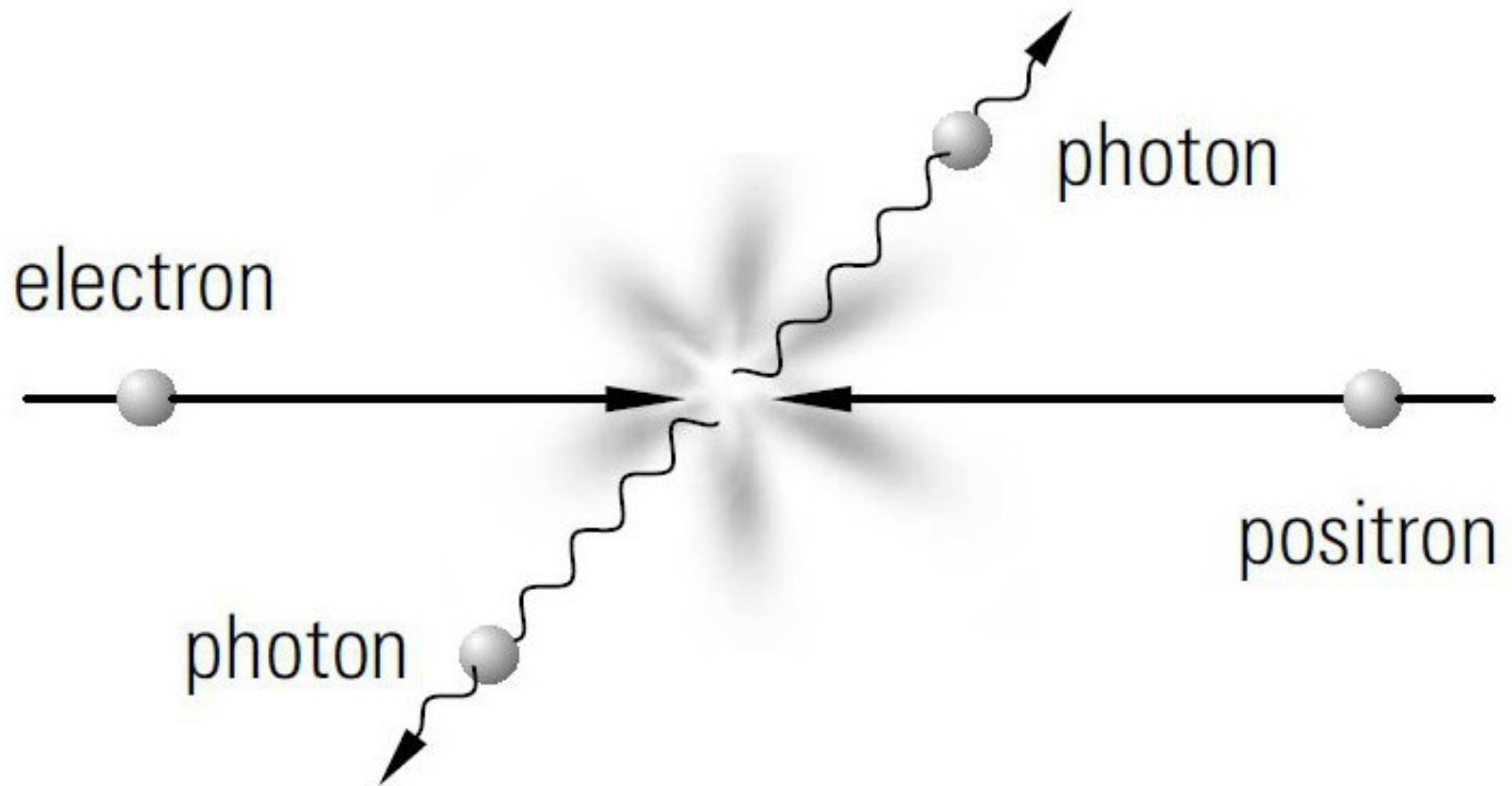


$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

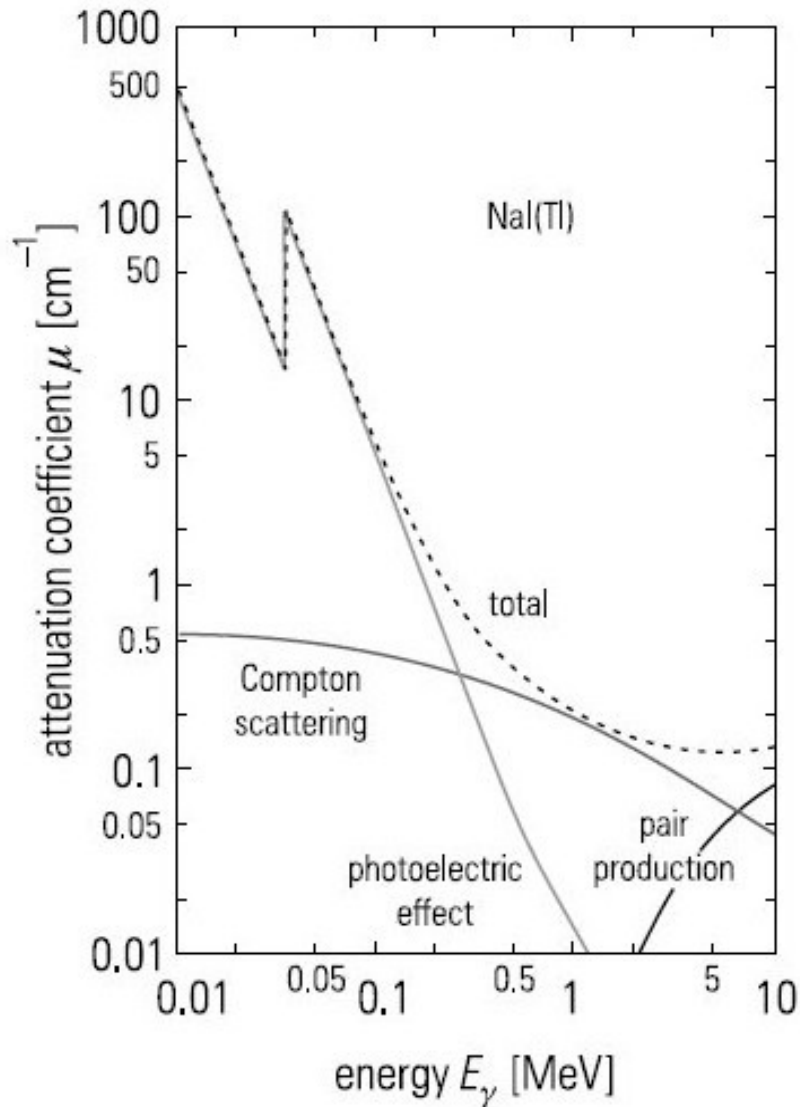
**Gammaquanten  
aus  $\pi^0$ -Zerfällen  
wären ein klarer  
Hinweis auf  
hadronische  
Beschleuniger am  
Himmel!**



**$e^+ e^-$  Vernichtungsstrahlung  
(Annihilation) in Photonen;  
Möglicher Hinweis auf Antimaterie**



# Nachweis von Gammastrahlung

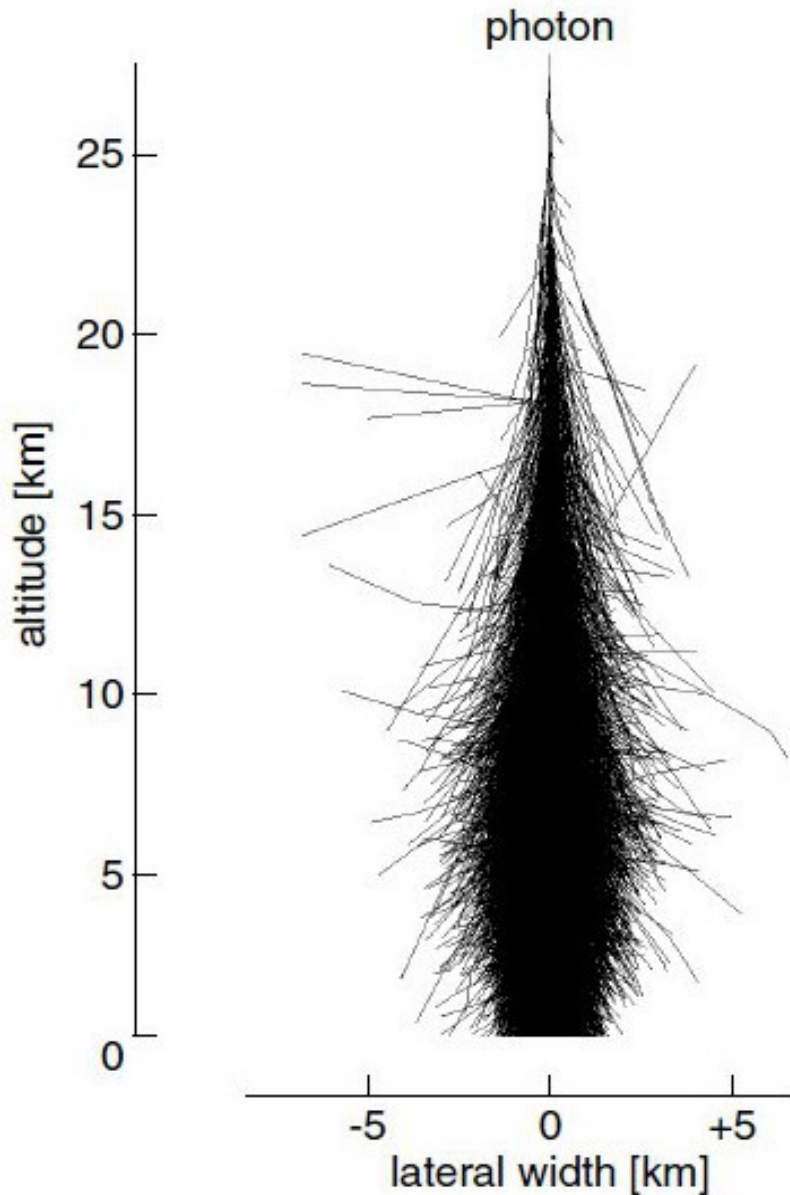


bei Energien ab  
einigen MeV  
ist der dominante  
Wechselwirkungsprozeß  
die Elektron-Positron  
Paarerzeugung  
 $\gamma + \text{Kern}$   
 $\rightarrow e^+ + e^- + \text{Kern}'$



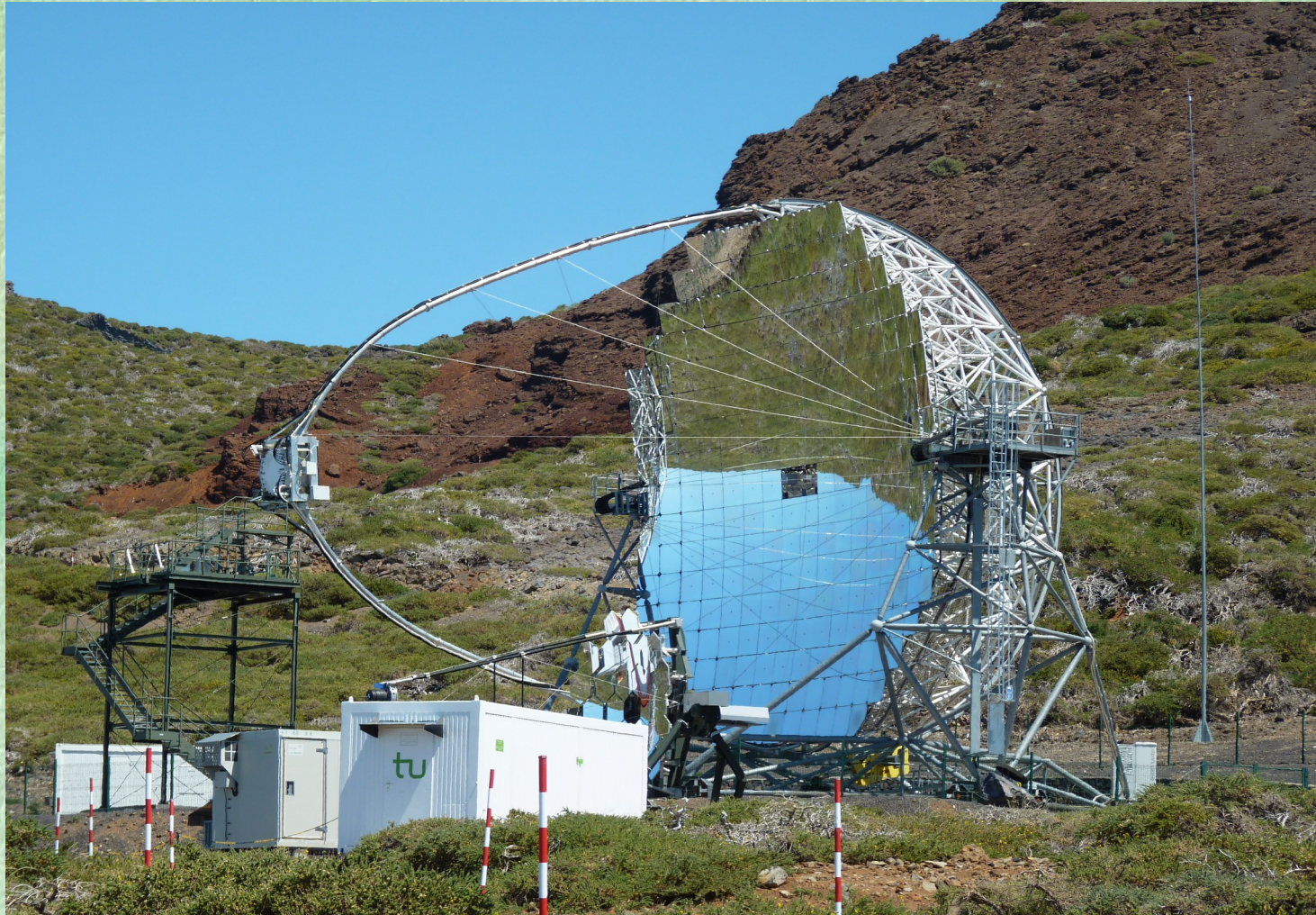
**Hochenergetische  
Photonen lösen  
über die  
Paarerzeugung mit  
anschließender  
Bremsstrahlung  
ganze  
Teilchenkaskaden  
aus.**

**hier: ein Schauer  
ausgelöst von einem  
Photon mit  $10^{14}$  eV  
Monte Carlo Rechnung**





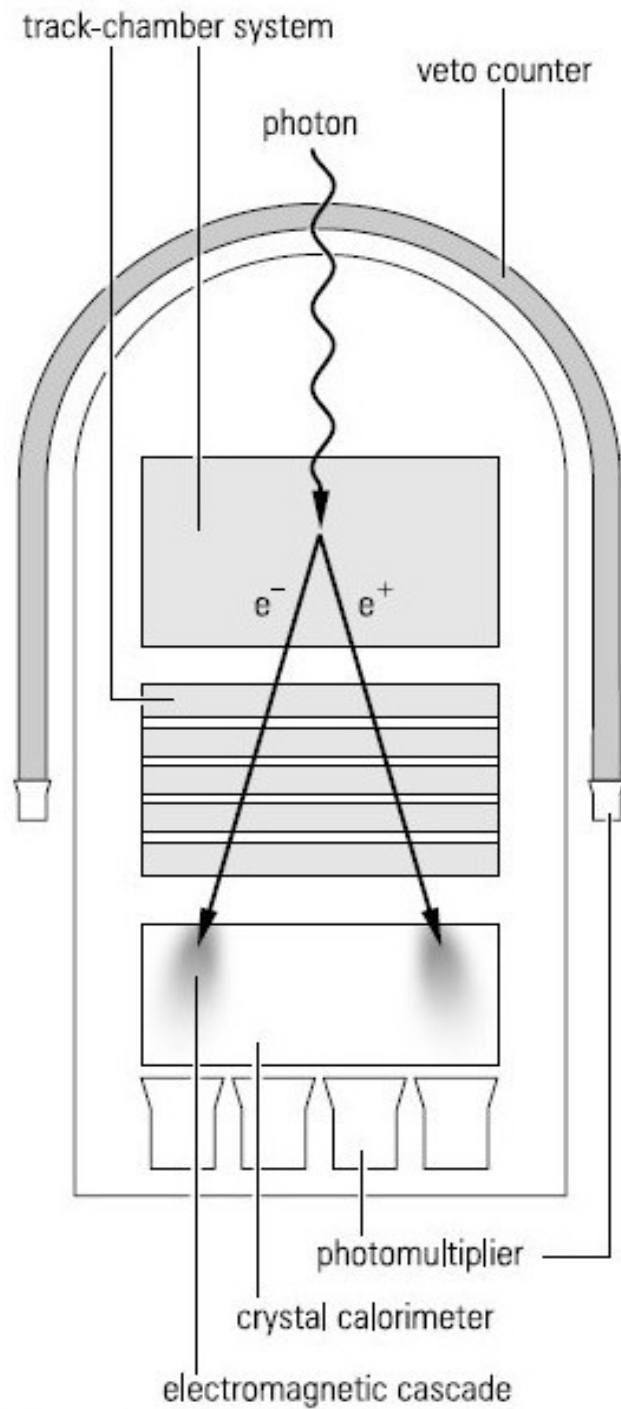
# Messung hochenergetischer $\gamma$ -Strahlen



**MAGIC:**

**Major  
Atmospheric  
Gamma-Ray  
Imaging**

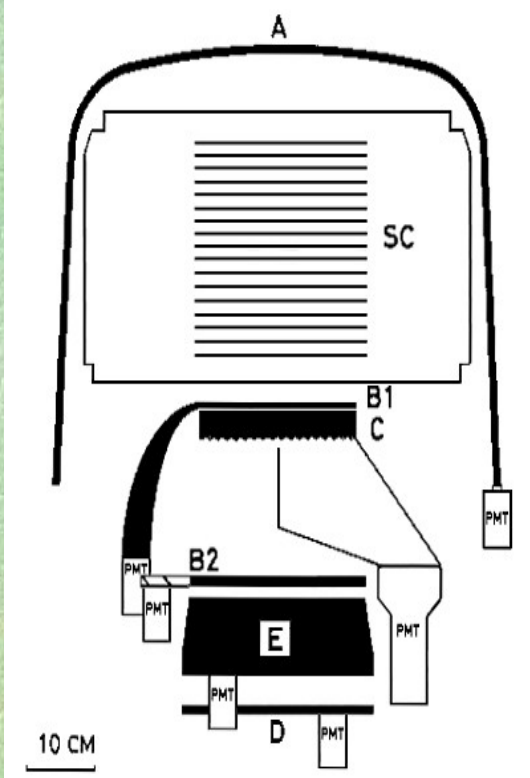
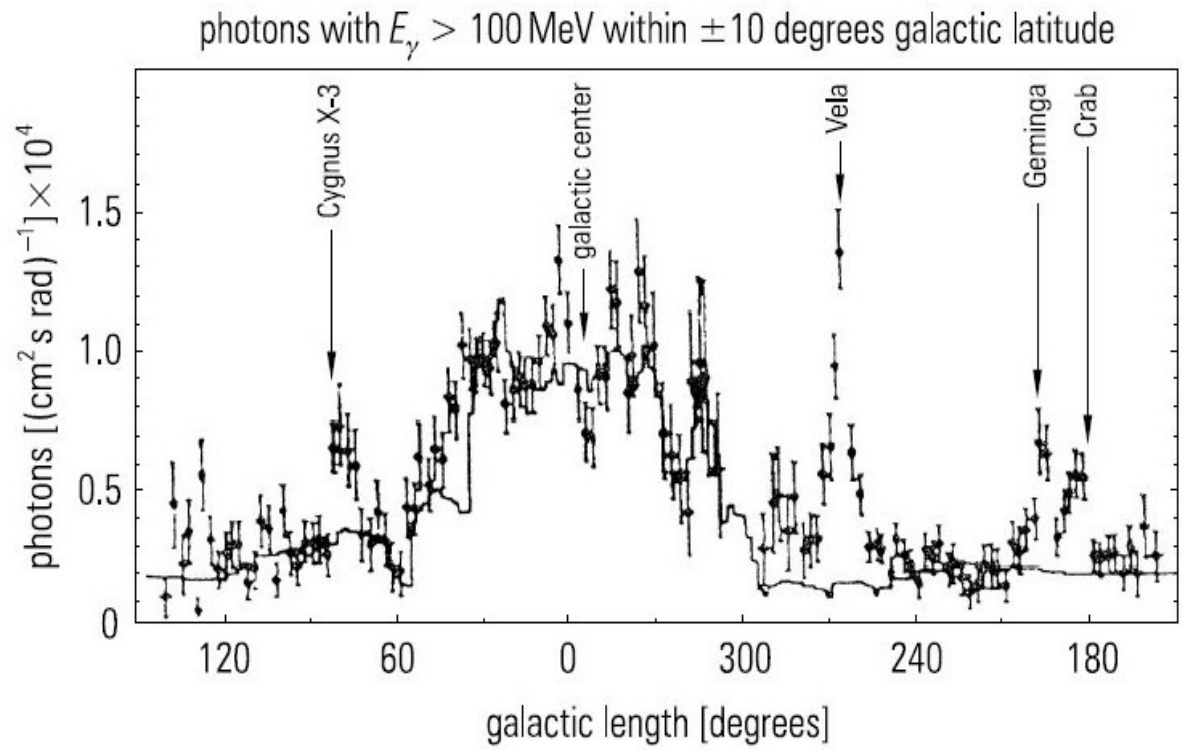




**typischer Detektor  
für Gammastrahlung  
im MeV bis 100 GeV Bereich  
Die Photonenenergie wird  
im Kalorimeter gemessen:  
die Ankunftsrichtung im  
Spurenkammersystem**

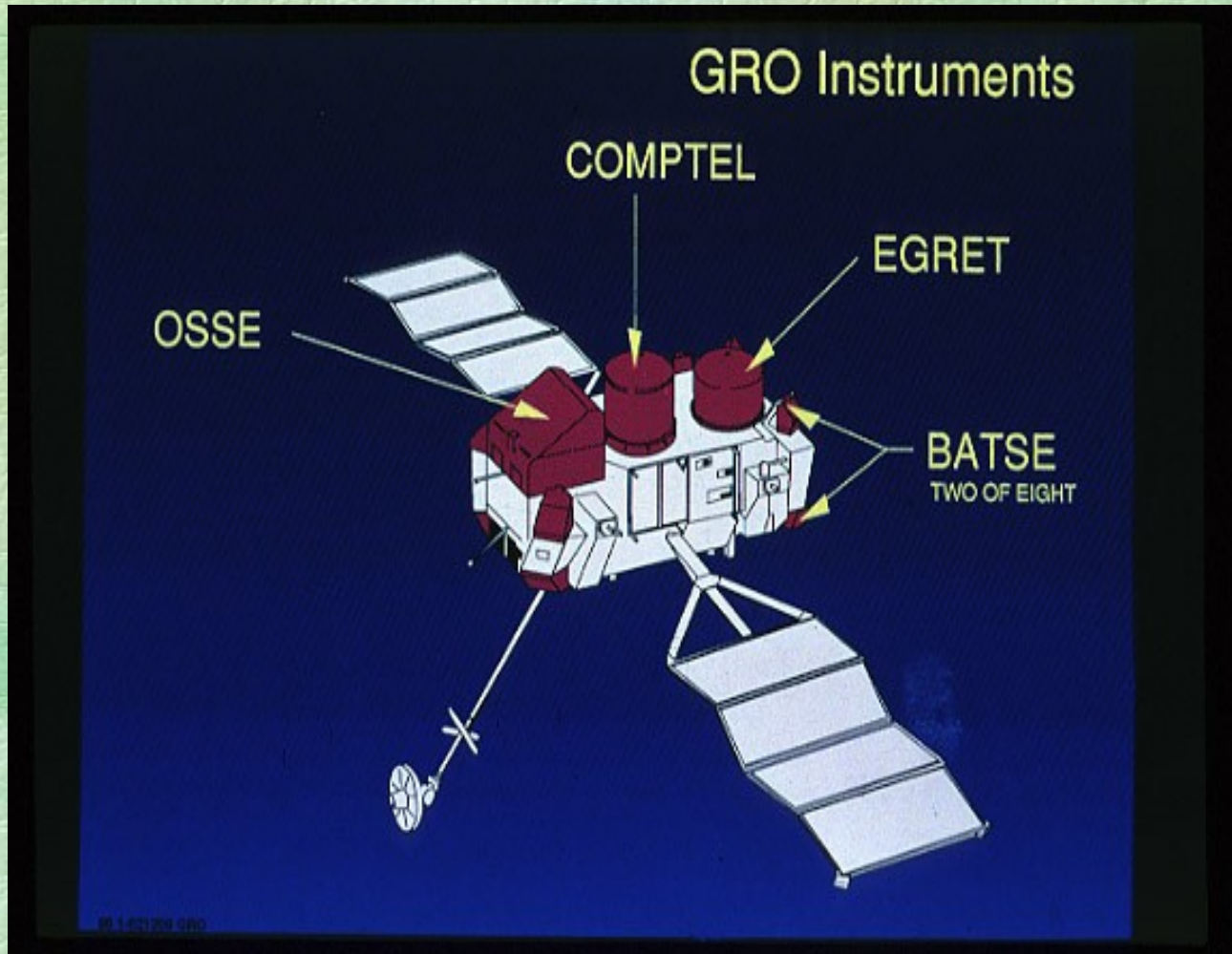
**Der Vetozähler dient dazu,  
geladene Teilchen vom  
Nachweis auszuschließen**

# Frühe Ergebnisse mit dem COS-B Satelliten 1975 - 1982





# Moderne Satellitenexperimente



**COMPTTEL-**  
Compton telescope  
**EGRET –**  
Energetic gamma-  
ray experiment  
telescope  
**BATSE – Burst**  
and transient  
source experiment  
**OSSE – Oriented**  
scintillation  
spectrometer  
experiment

**CGRO Compton Gamma Ray Observatory 1991 - 2000**

# Moderne Satellitenexperimente

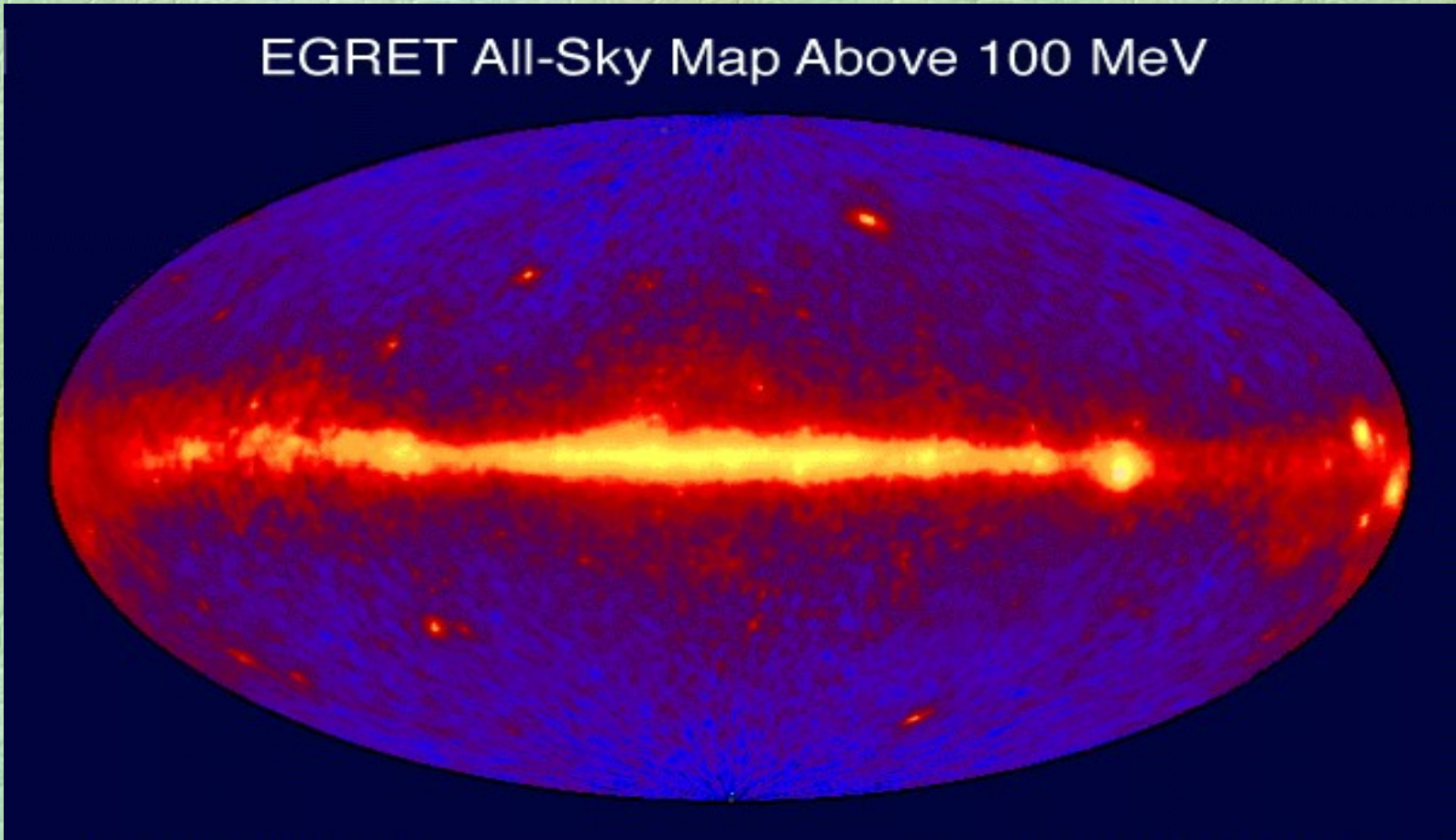


**Fermi Satellit (ab 2008)**



# Vollständige Himmelsdurchmusterung

EGRET All-Sky Map Above 100 MeV



Cygnus X3

Galaktisches Zentrum

Vela

Geminga

Krebsnebel

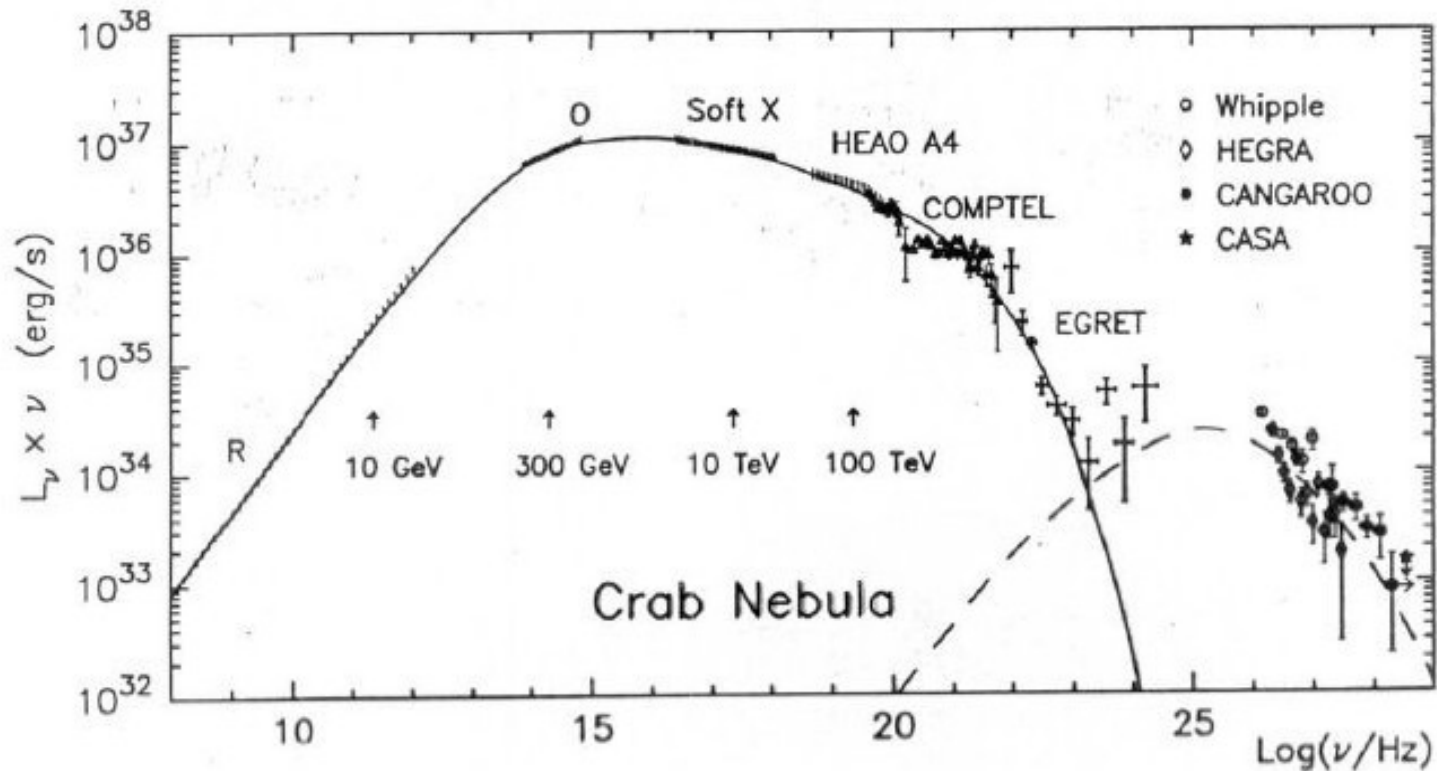


# Supernova (Tycho SN 1572)





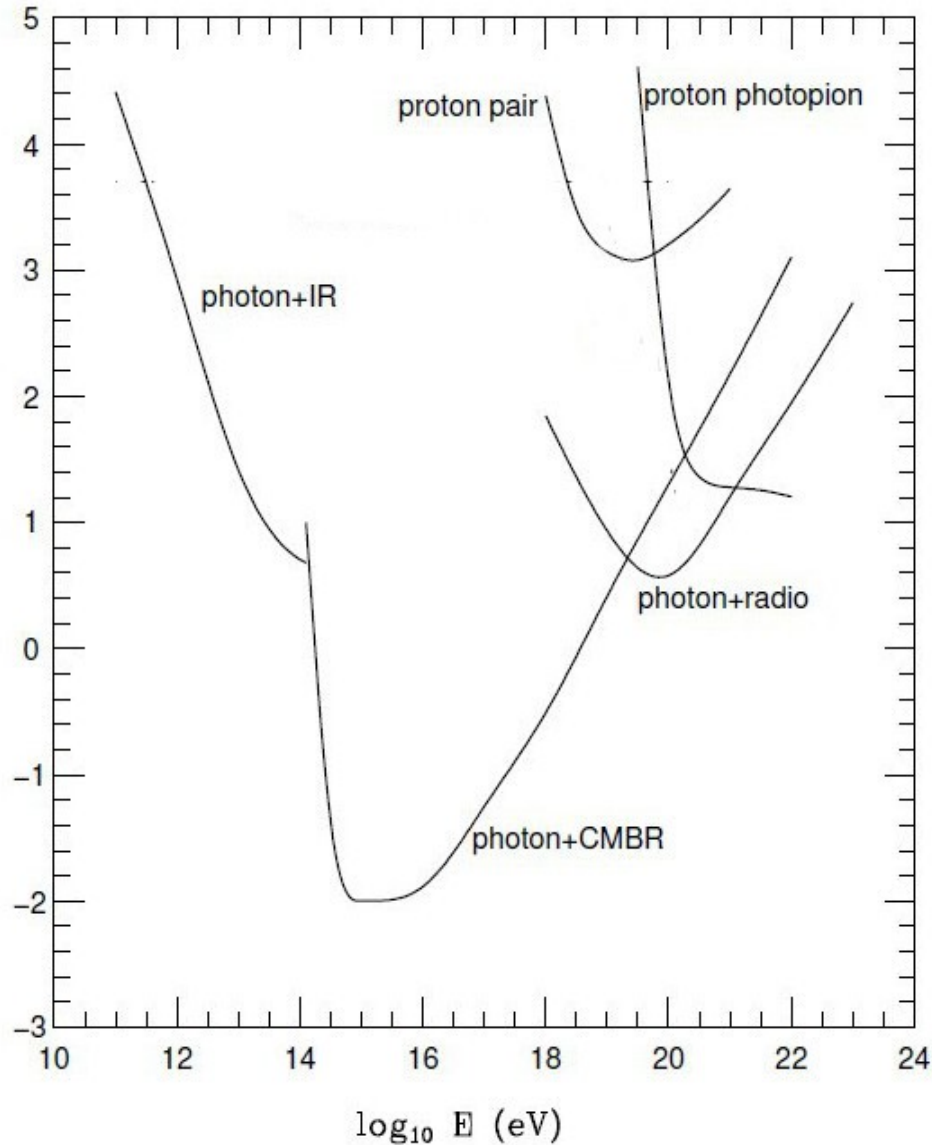
# Spektrum hochenergetischer Gammastrahlung



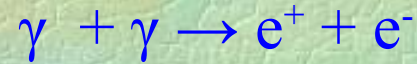
Links: Synchrotronstrahlung, angegeben sind die Energien der Elektronen, die die Synchrotronstrahlung erzeugen

rechts: inverse Compton-Strahlung und ev.  $\pi^0$  Zerfall

# Wie weit kann man mit Gammastrahlen ins Universum sehen?



Dominante  
Absorptionsprozesse

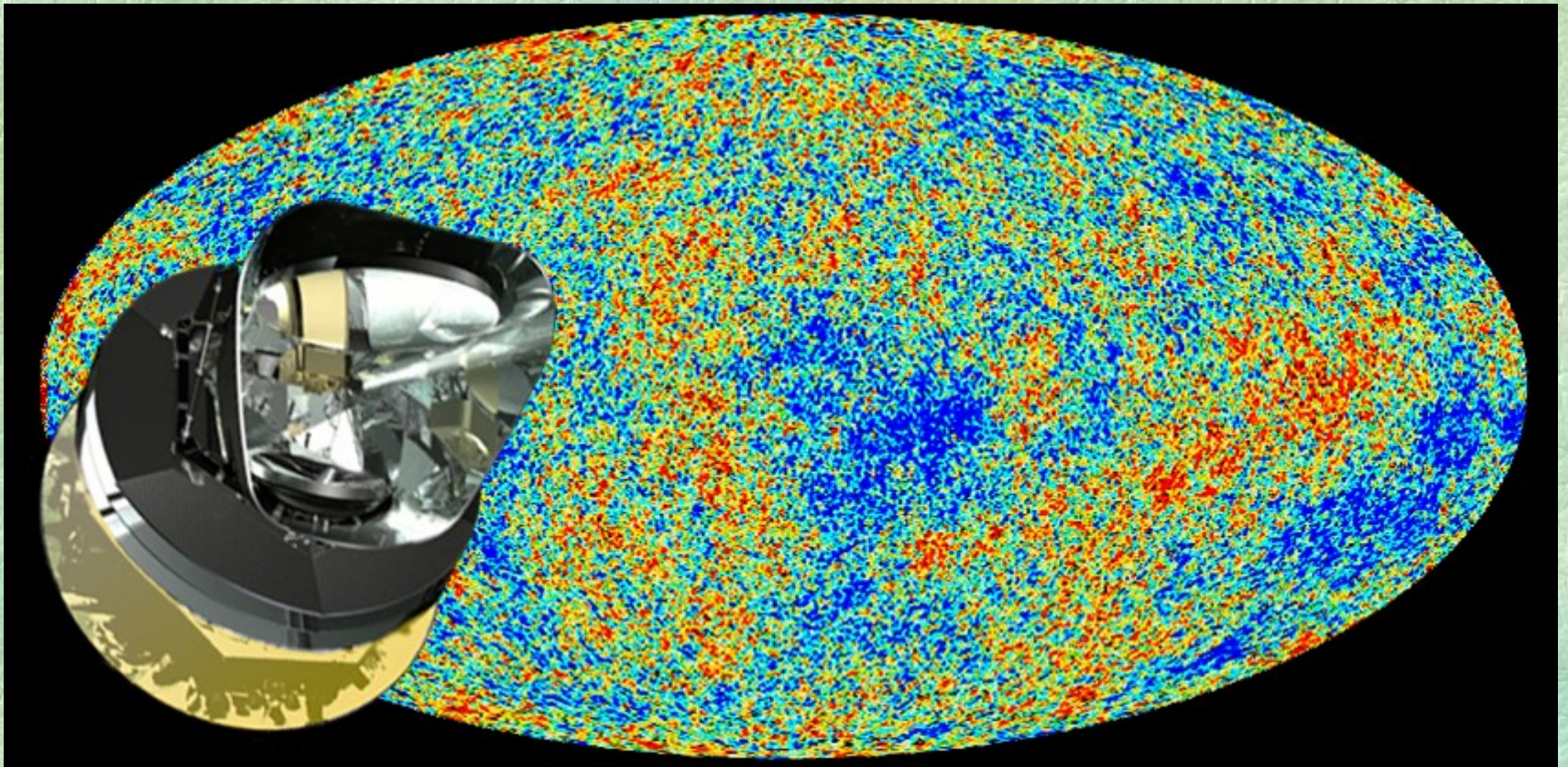


Annihilation mit  
Sternenlicht,  
kosmologischer  
Schwarzkörperstrahlung,  
Proton-Proton  
Paarerzeugung,  
Photopionproduktion

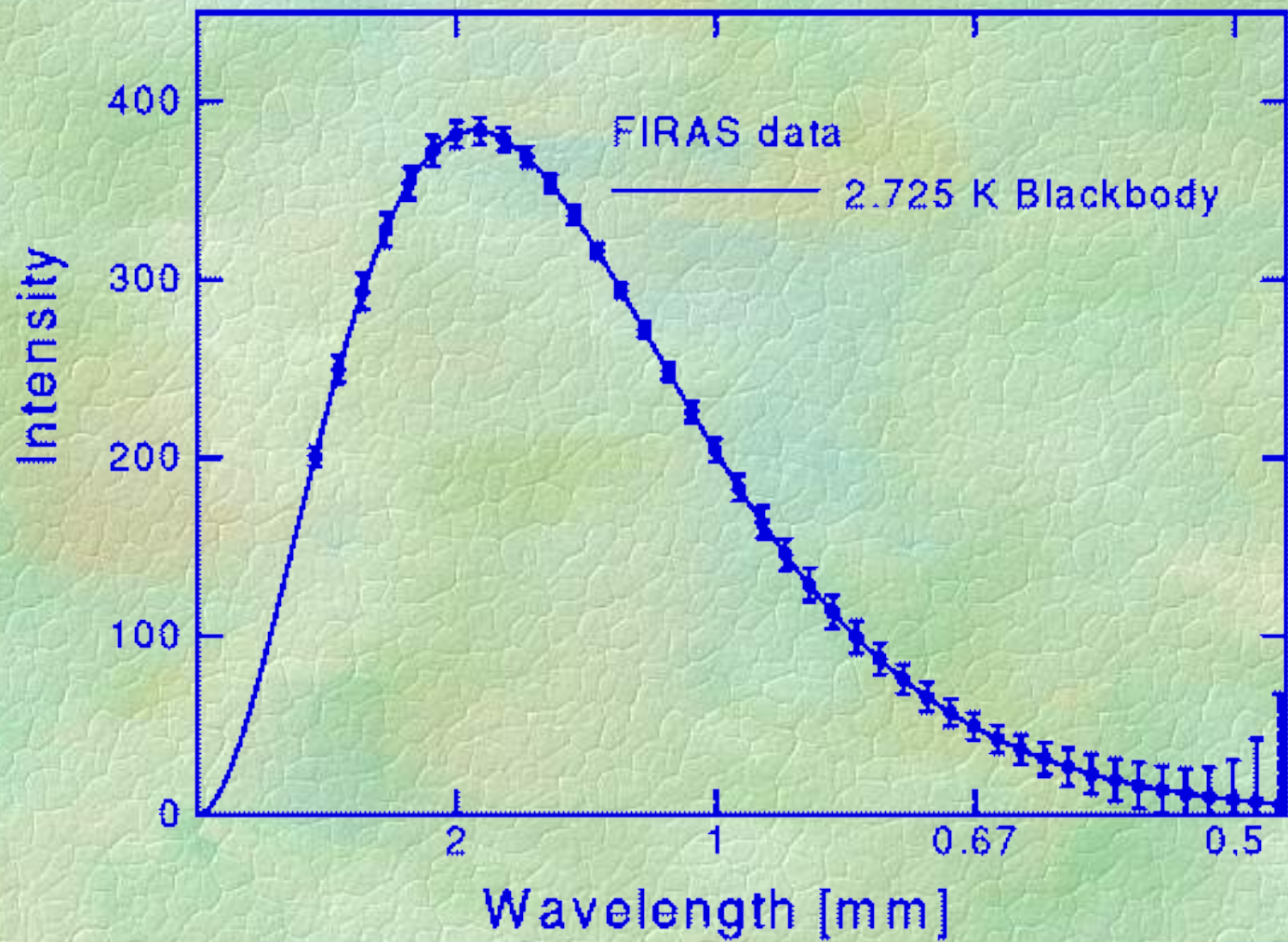
Absorptionslänge bei 1 PeV  
etwa 100 kpc



# Schwarzkörperstrahlung vom Planck-Satelliten gemessen







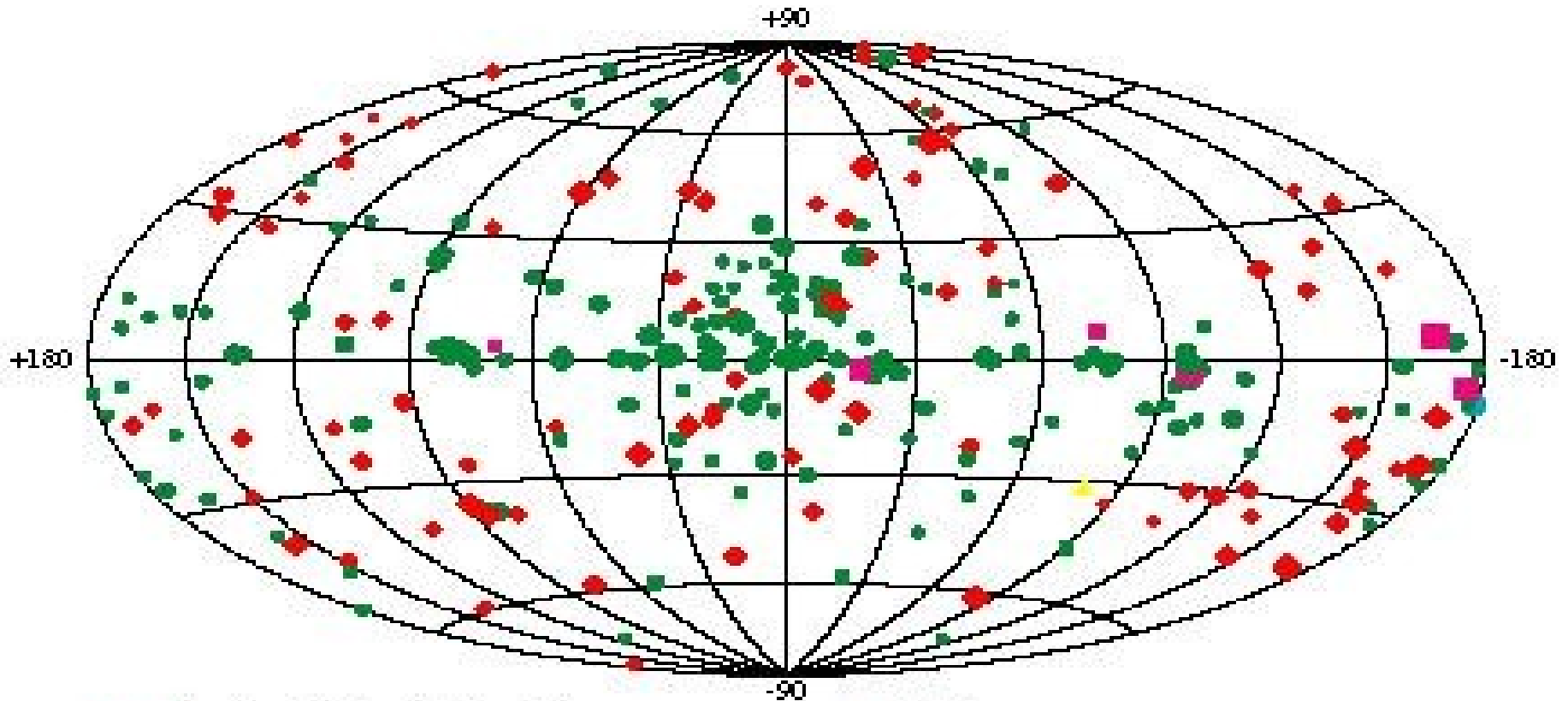


**Absorption von PeV-Gammaquanten durch  
Elektron-Positron Paarzeugung;  
Reichweite ca. 100 kpc (= ca. 300 Lichtjahre).  
Das bedeutet eine starke Einschränkung für  
Hochenergie-Gamma-Astronomie.  
Hochenergetische Gamma-Quellen in  
> Mpc Entfernung kann man nicht sehen.  
Im GeV-Bereich ist das aber möglich.**

# Galaktische und extragalaktische Quellen

## Third EGRET Catalog

$E > 100 \text{ MeV}$

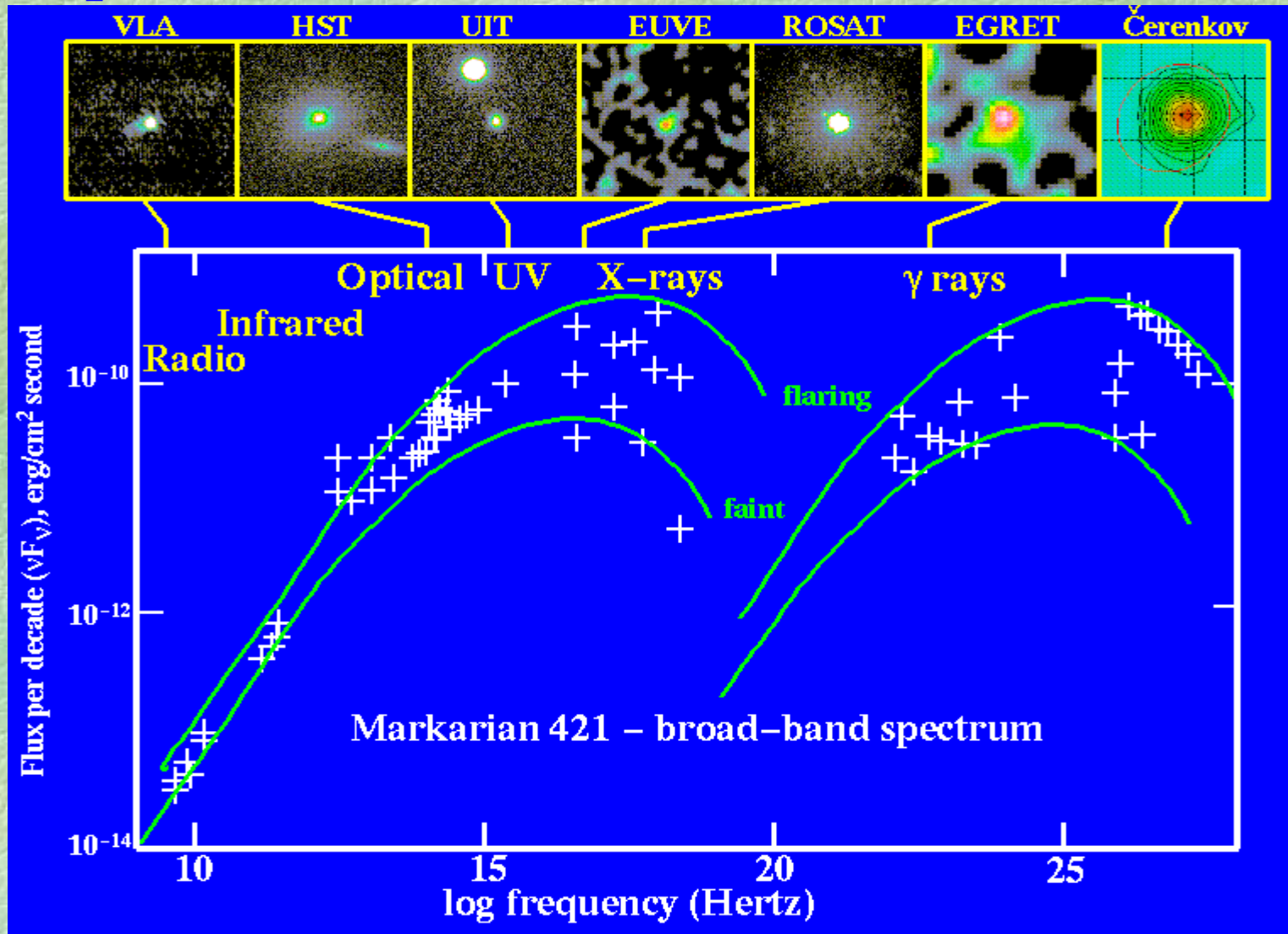


- ◆ Active Galactic Nuclei
- Unidentified EGRET Sources

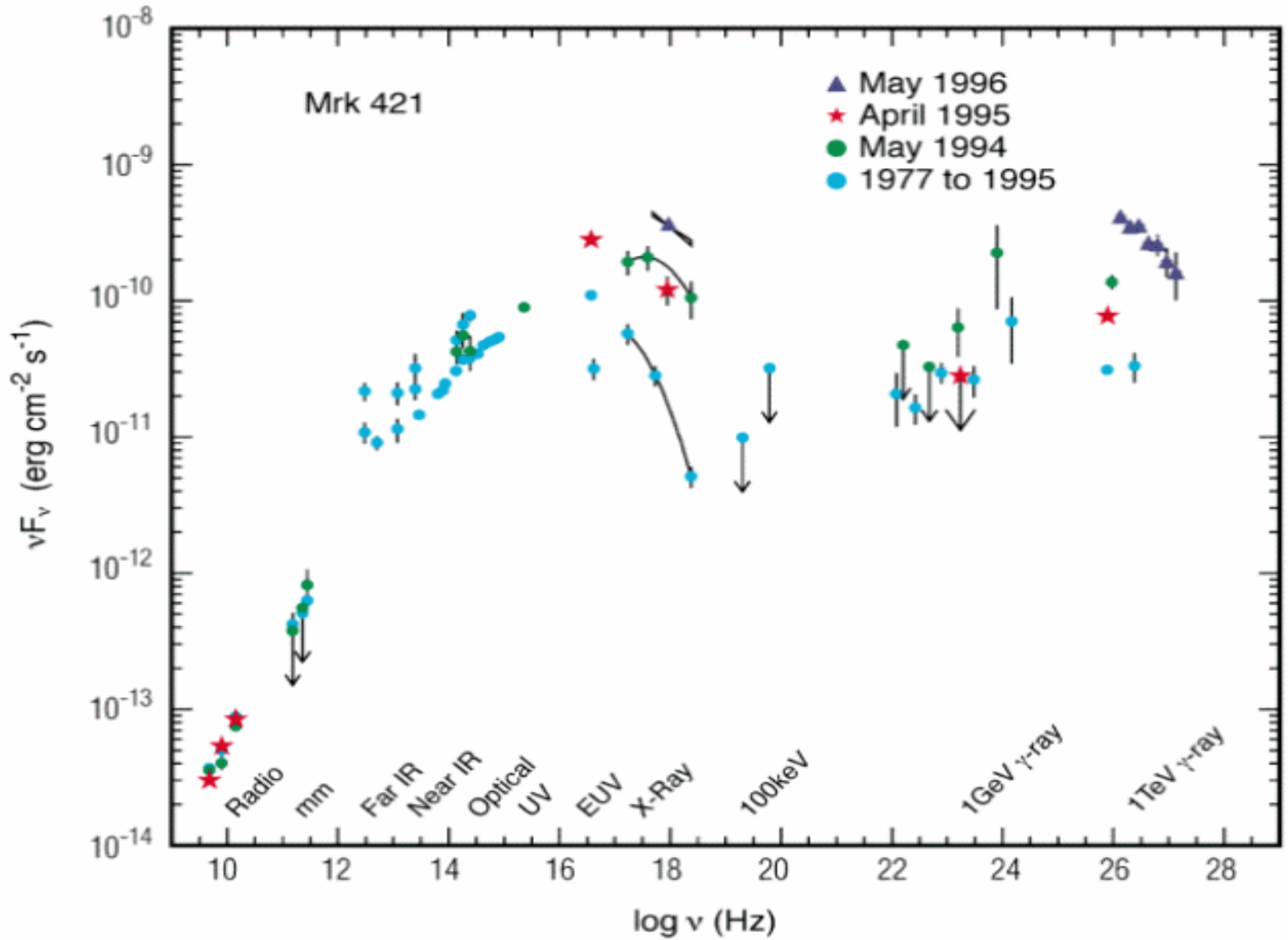
- Pulsars
- LMC
- Solar FLare



# Beispiel: Markarian 421, extragalaktisch; 400 Millionen Lichtjahre Entfernung: ein Blazar (variable Gammaquelle)



# Markarian 421 Gamma-Spektrum



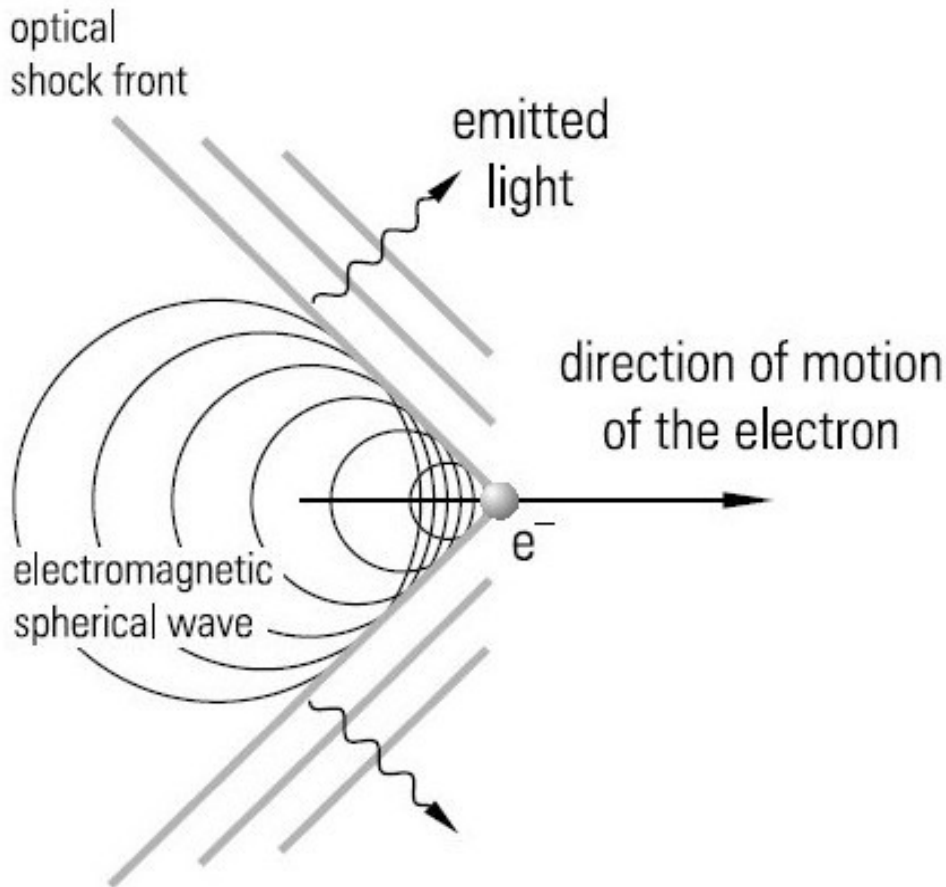


# Messung bei den höchsten Energien mit Cherenkov-Teleskopen; z. B. HESS – High Energy Spectroscopic System; TeV $\gamma$ -Quellen





# Cherenkov-Strahlung durch Elektronen mit Überlichtgeschwindigkeiten



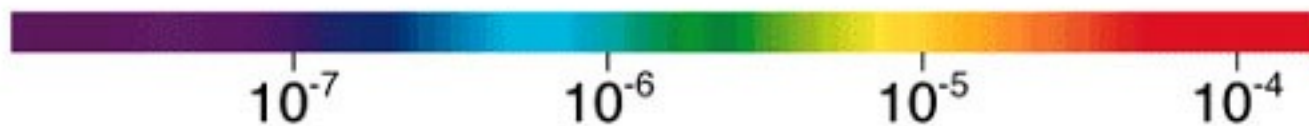
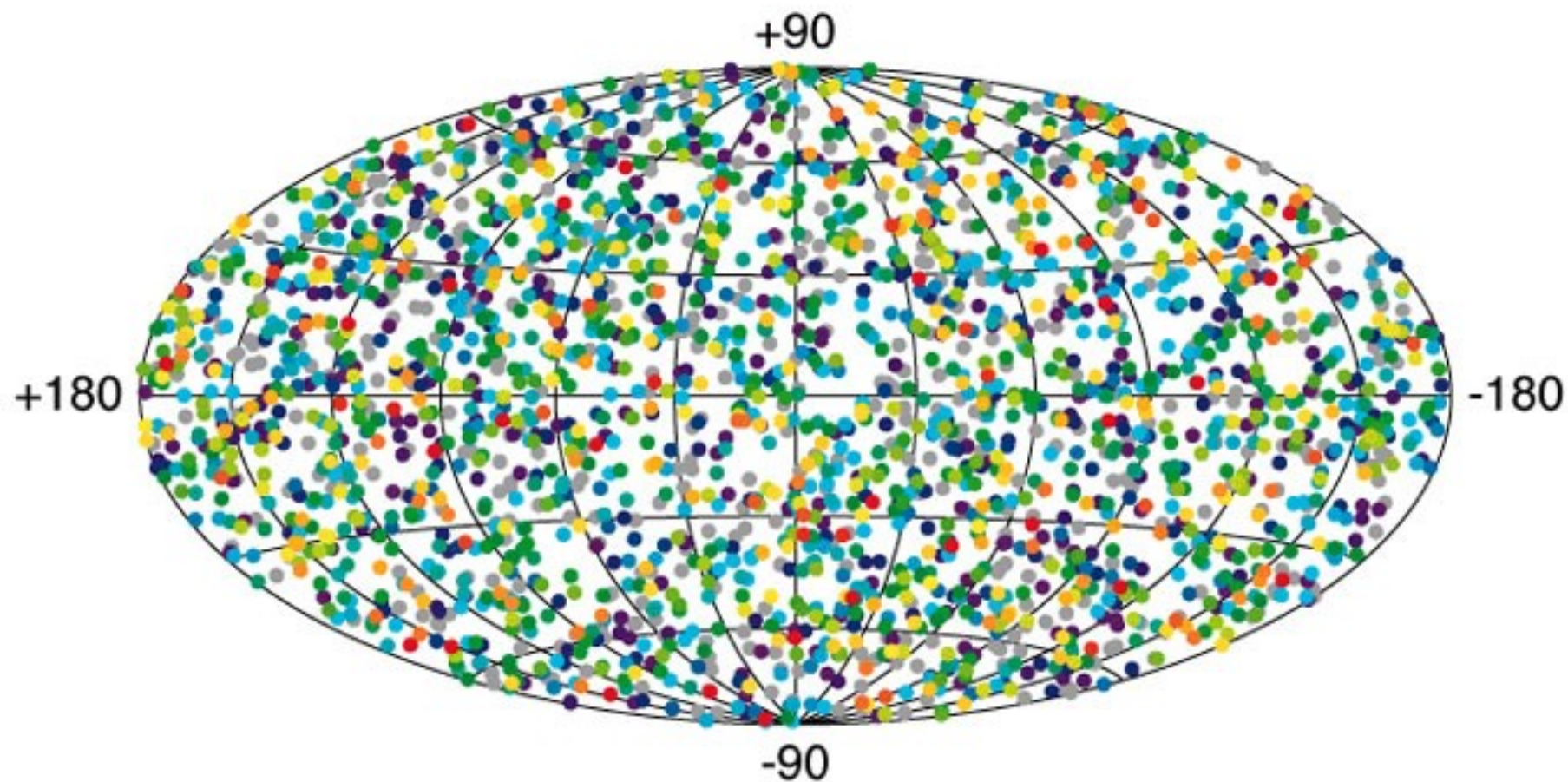
$$v > c/n$$

$n$  ist der Brechungsindex

spielt für die Produktion praktisch keine Rolle, ist aber wichtig für den Nachweis

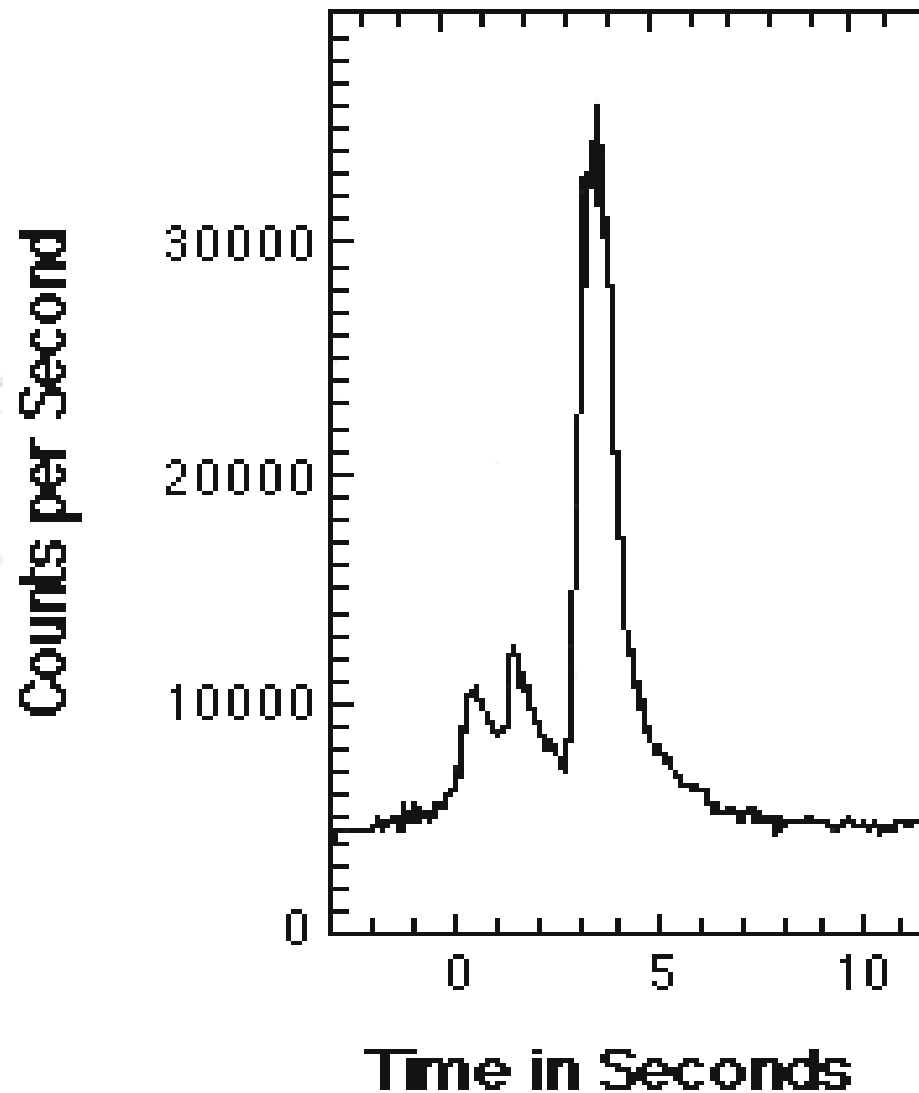


# 2512 BATSE Gamma-Ray Bursts



Fluence, 50-300 keV ( $\text{ergs cm}^{-2}$ )

**April 21, 1991  
64 ms bins**



**Kurzer  
Gammastrahlen-  
ausbruch**

**Durch Zufall von  
amerikanischen  
Überwachungs-  
satelliten entdeckt**

**Russische oder  
chinesische  
Kernwaffentests?**



# Gamma-Ray Bursts (GRBs): The Long and Short of It

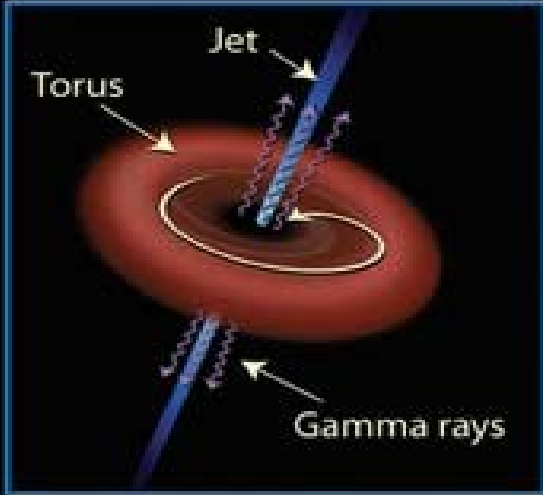
## Long gamma-ray burst ( $>2$ seconds' duration)



A red-giant star collapses onto its core....



...becoming so dense that it expels its outer layers in a supernova explosion.



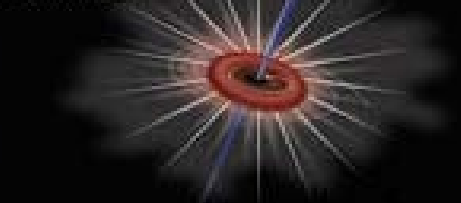
## Short gamma-ray burst ( $<2$ seconds' duration)



Stars\* in a compact binary system begin to spiral inward....



...eventually colliding.



The resulting torus has at its center a powerful black hole.



\*Possibly neutron stars.

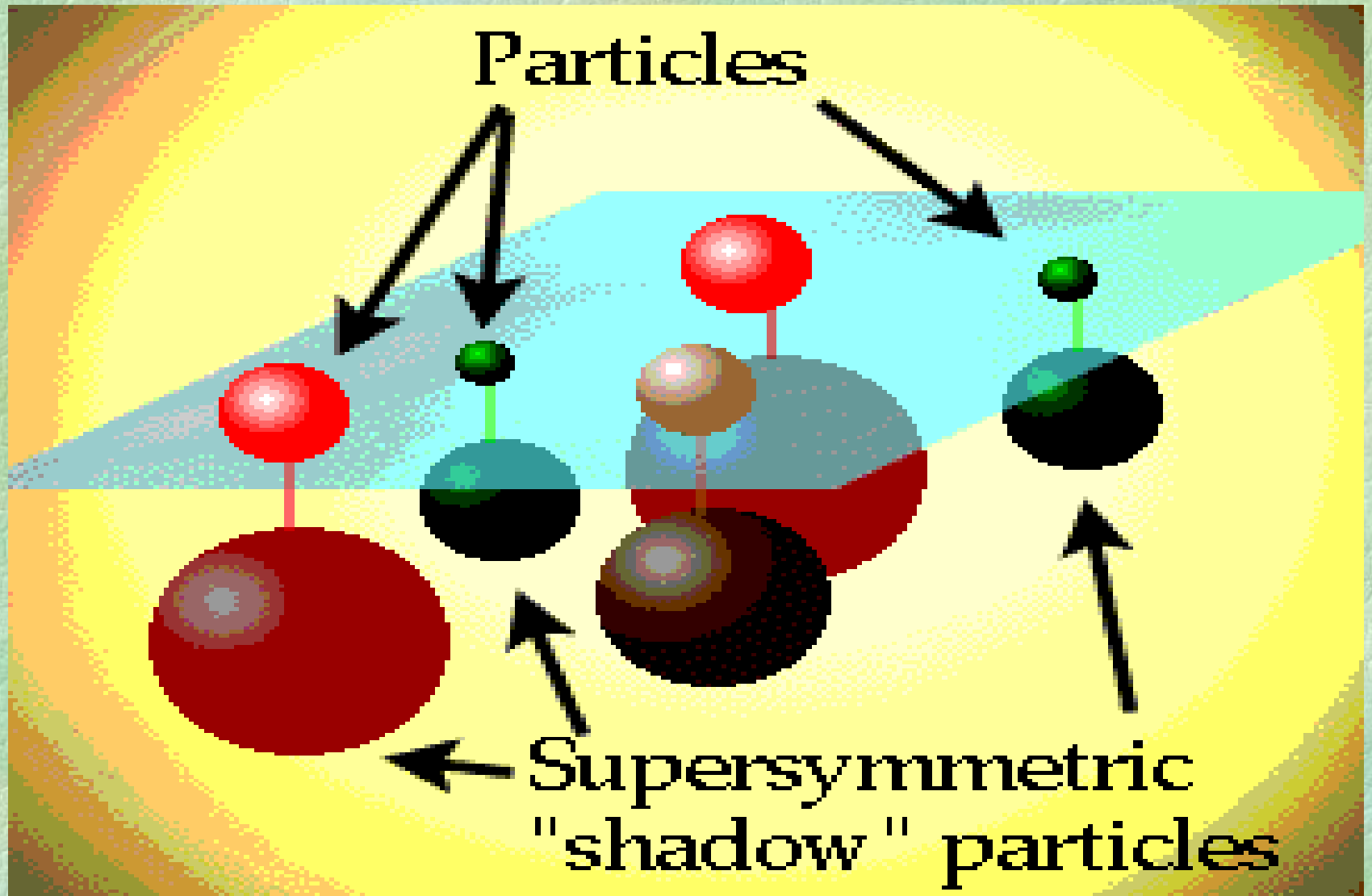
**Kurze Ausbrüche: Kollaps von Roten Riesen**

**Lange Ausbrüche: Kollidierende Sterne (z.B. Neutronensterne)**

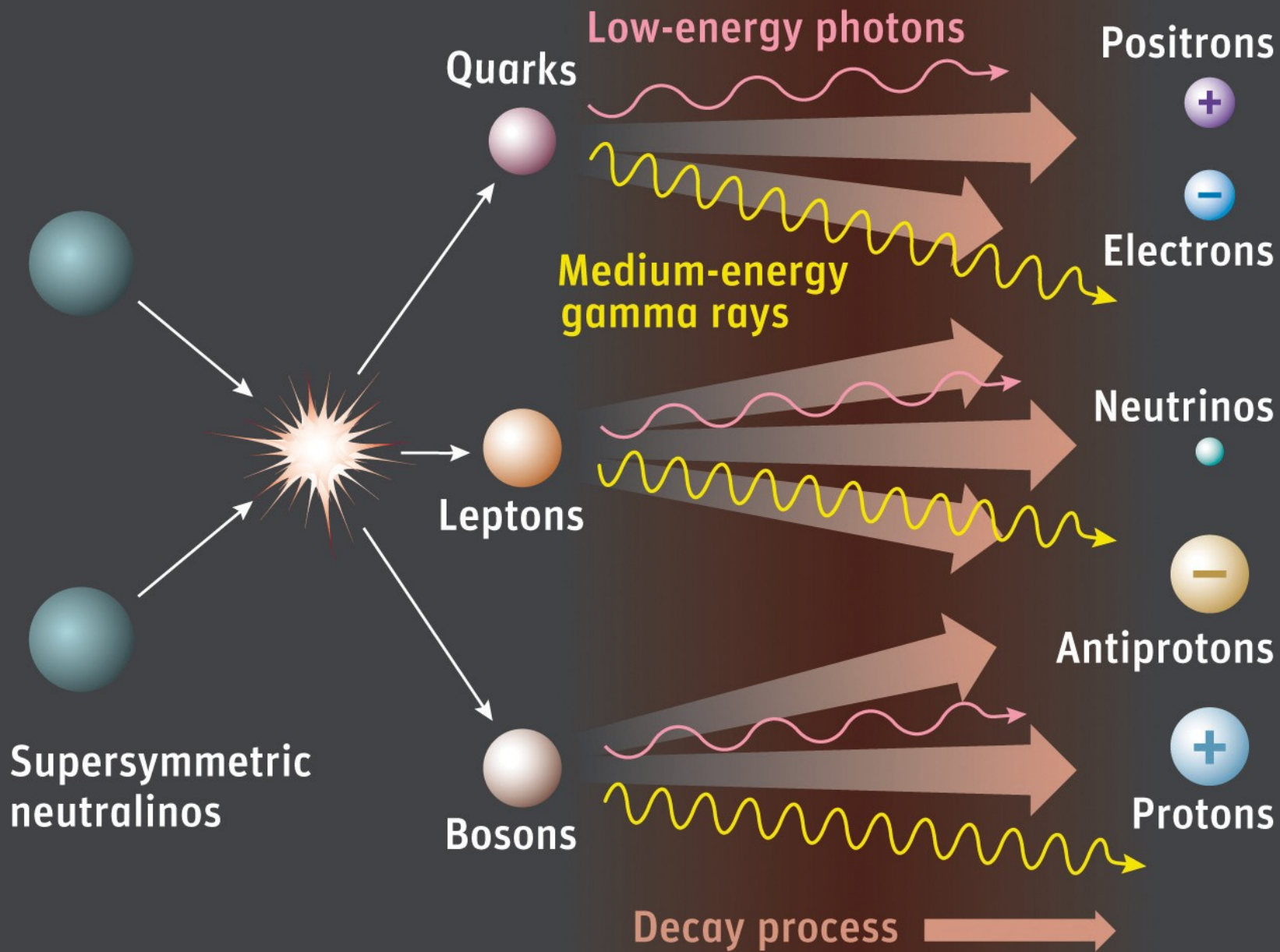
**oder Bildung schwarzer Löcher**

**auf jeden Fall Extragalaktisch**

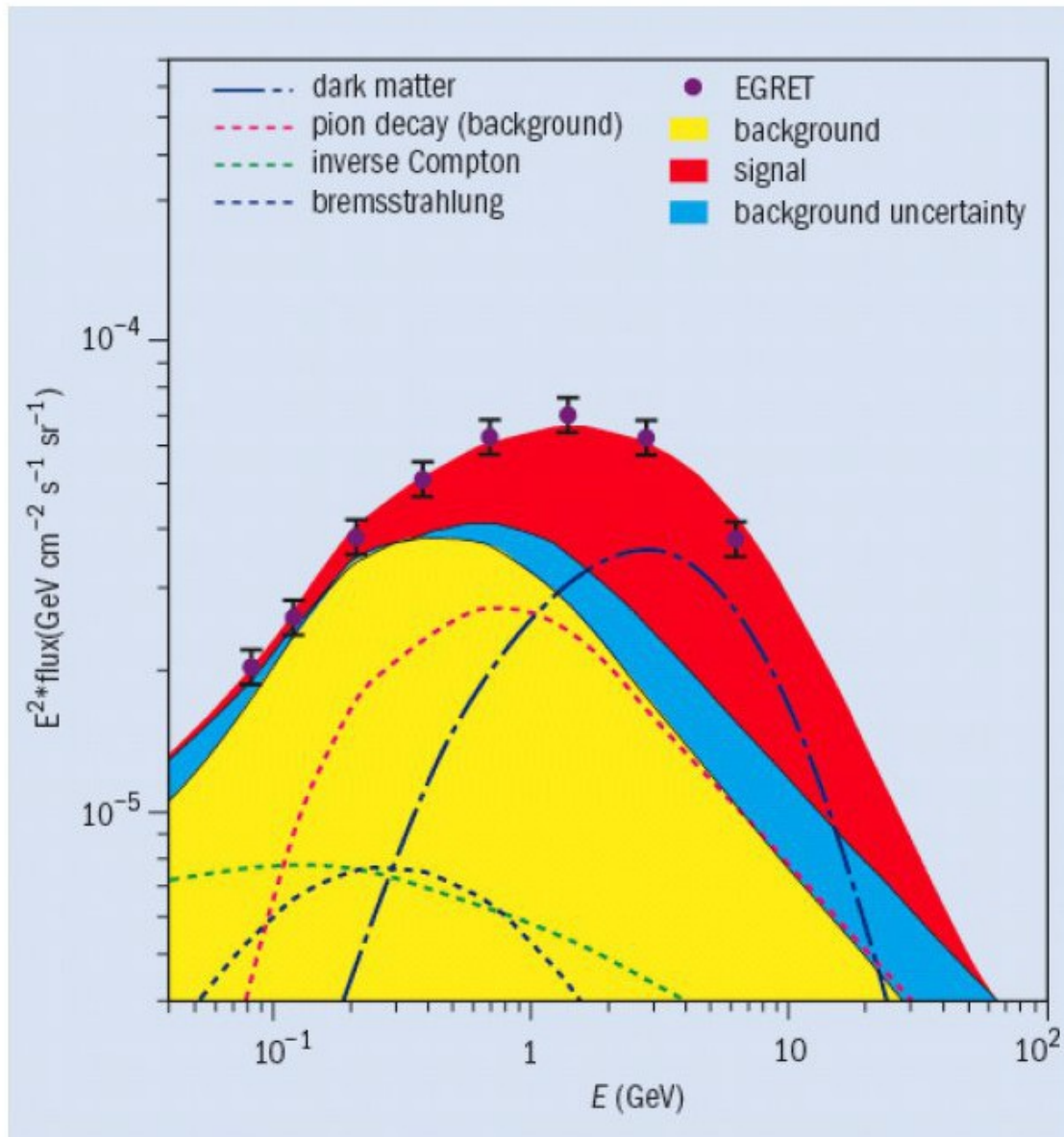
# Supersymmetrische Teilchen (SUSY); hypothetisch







# WIMPS in der Gamma-Astronomie?

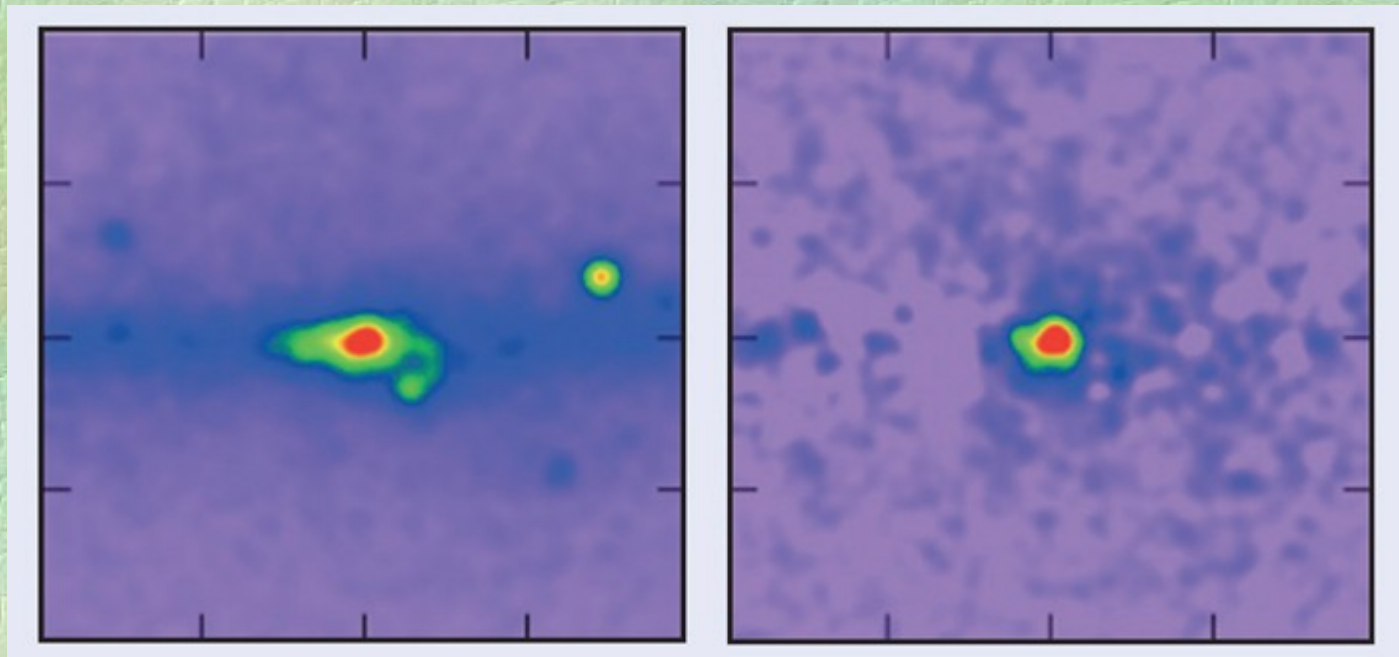


**So könnte man  
nach WIMPS  
in der primären  
Gammastrahlung  
suchen**

**Diese  
Interpretation  
ist höchst  
umstritten!**

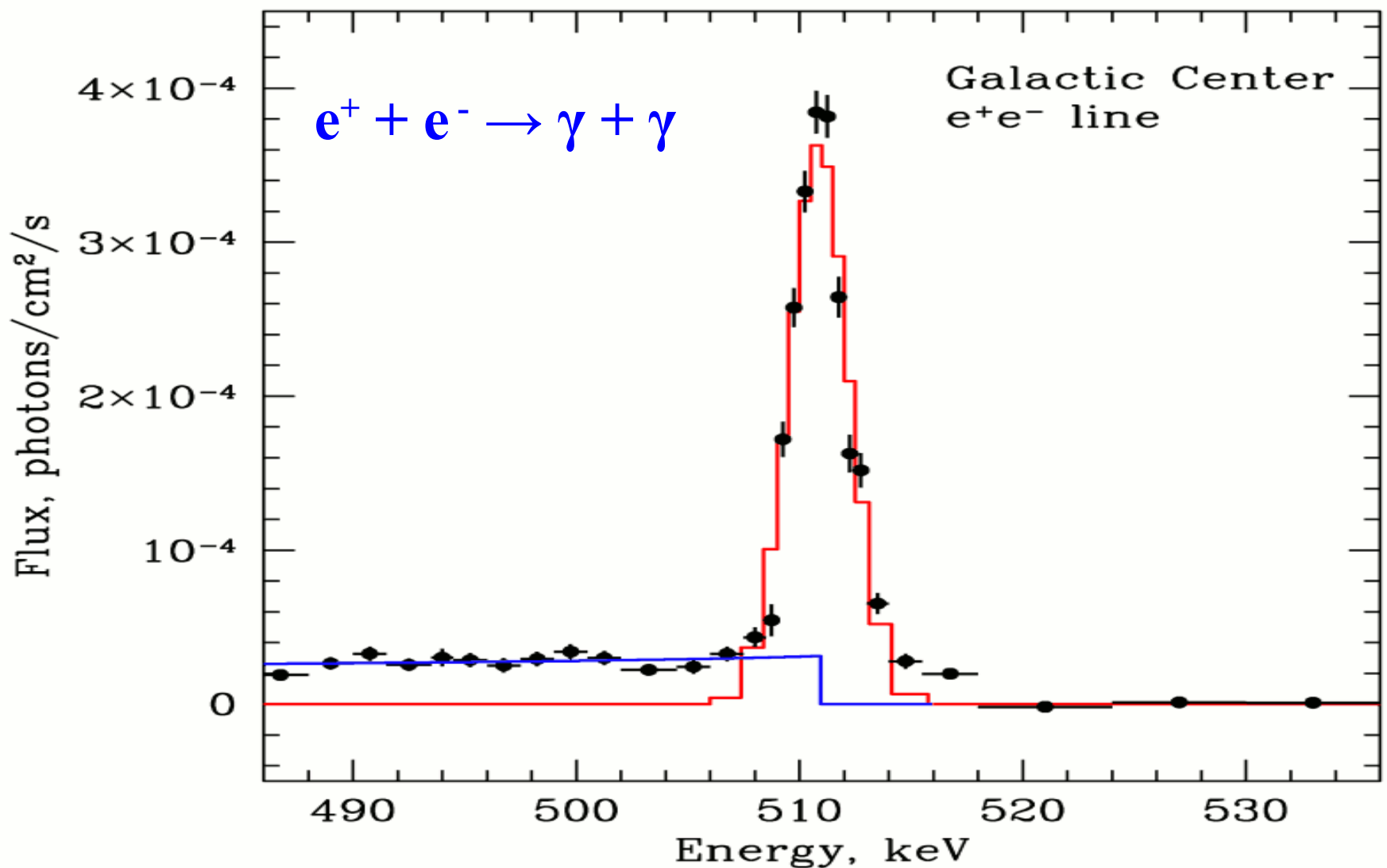


**Fermi-Satellit; links: galaktisches Zentrum,  
rechts: nach Subtraktion aller bekannter  
Mechanismen; Evidenz für Annihilation  
Dunkler Materie?**



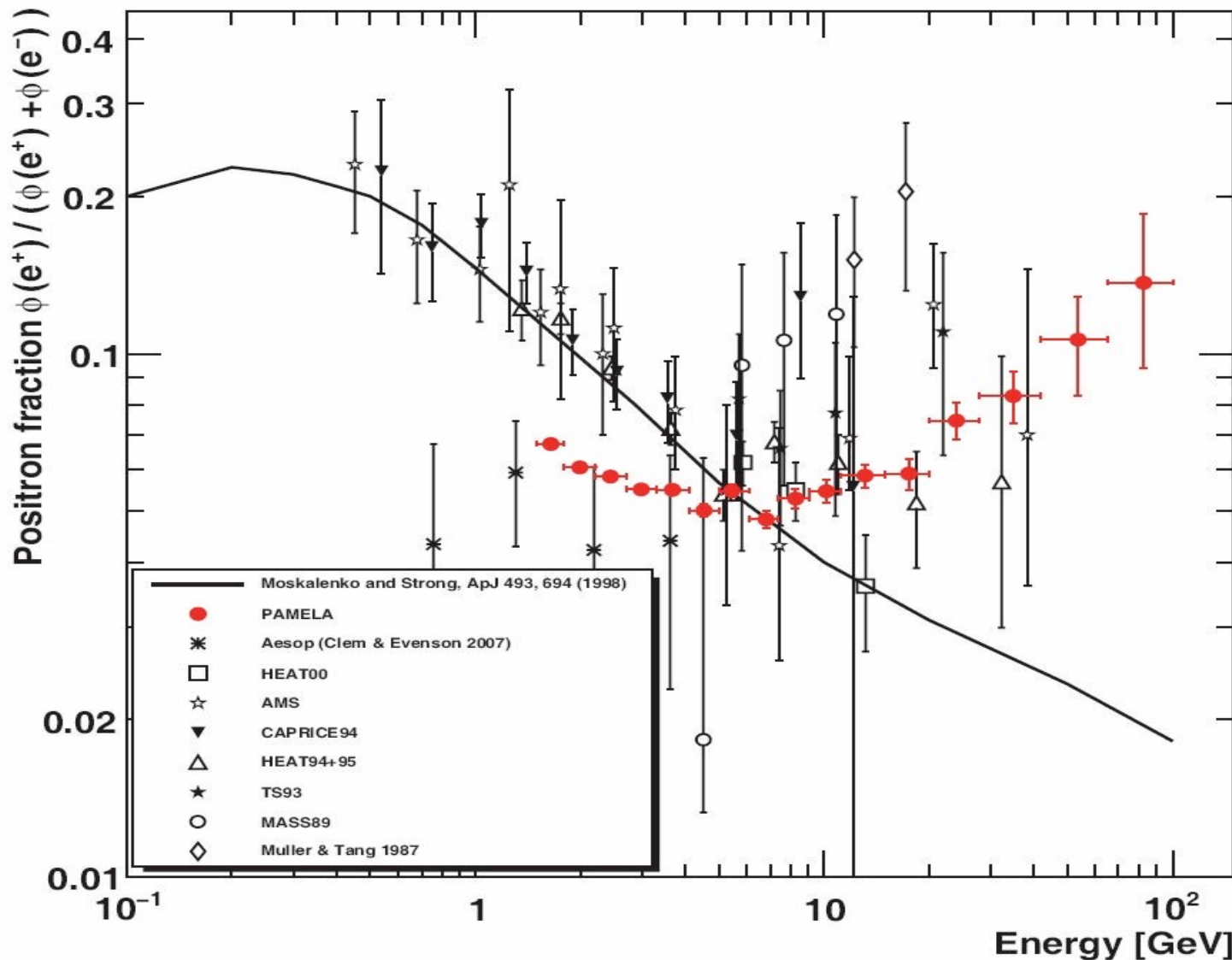
**Gammaenergien 1 bis 3,16 GeV**

# Antimaterie aus dem galaktischen Zentrum? Allerdings konsistent mit sekundärer Produktion!





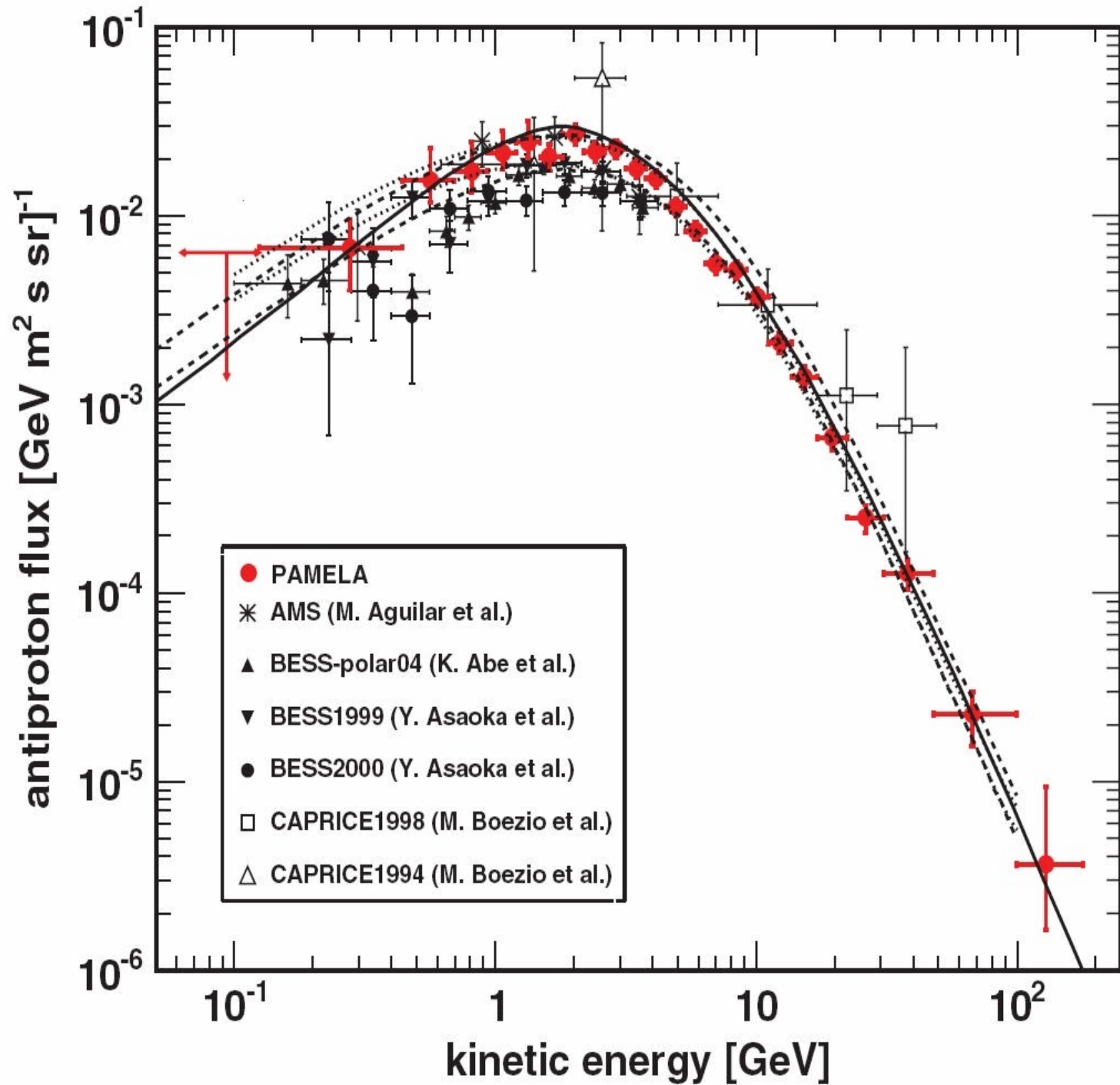
# A Payload for Anti Matter Exploration and Light Nuclear Astrophysics (PAMELA)



PAMELA  
Experiment

...  
Positronen  
sind zu  
zahlreich.

Woher  
kommen  
sie?



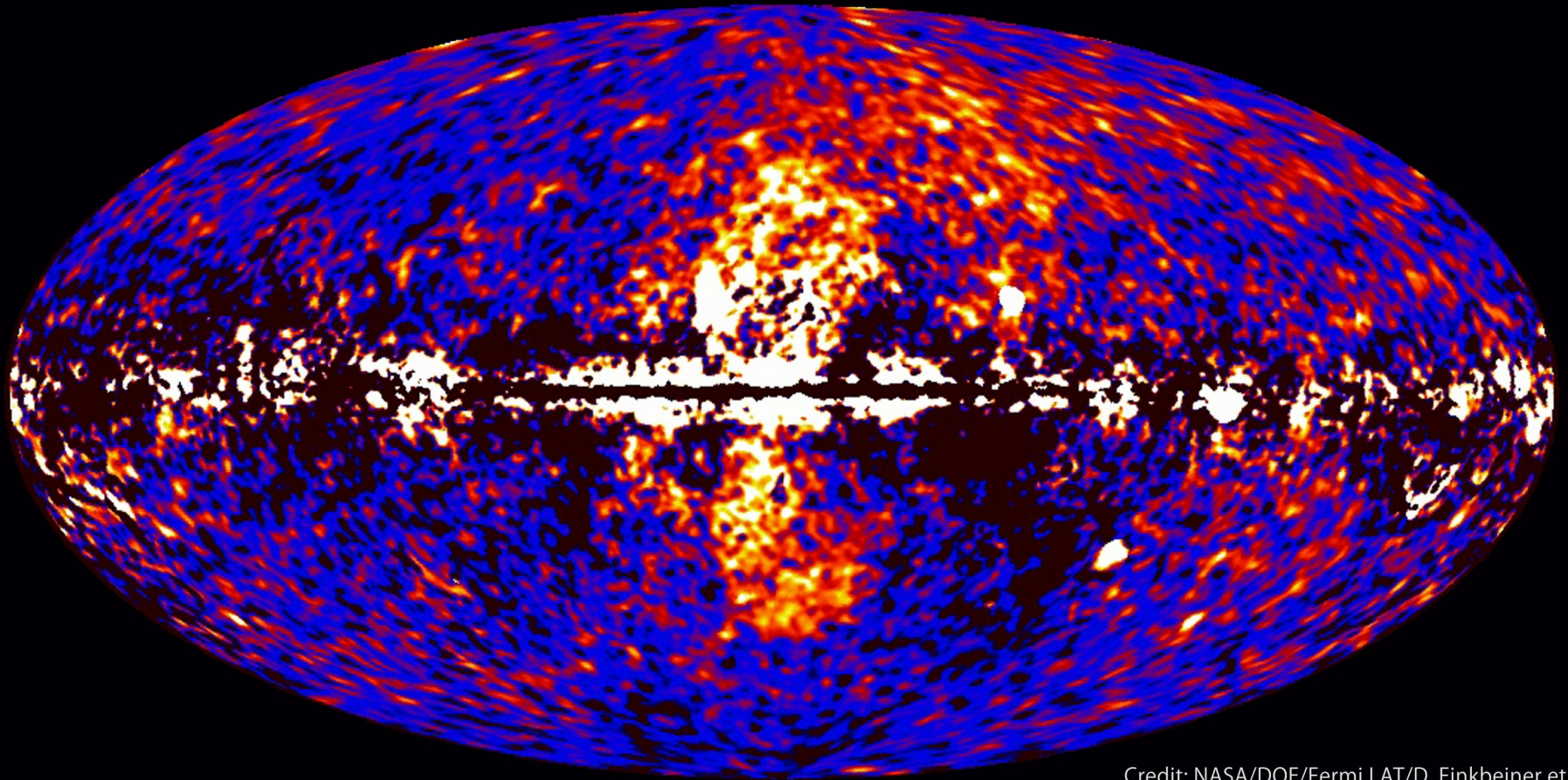
PAMELA

...  
Anti-  
Protonen  
sind  
normal!



# $\gamma$ -Emission aus dem zentralen Schwarzen Loch unserer Milchstraße?

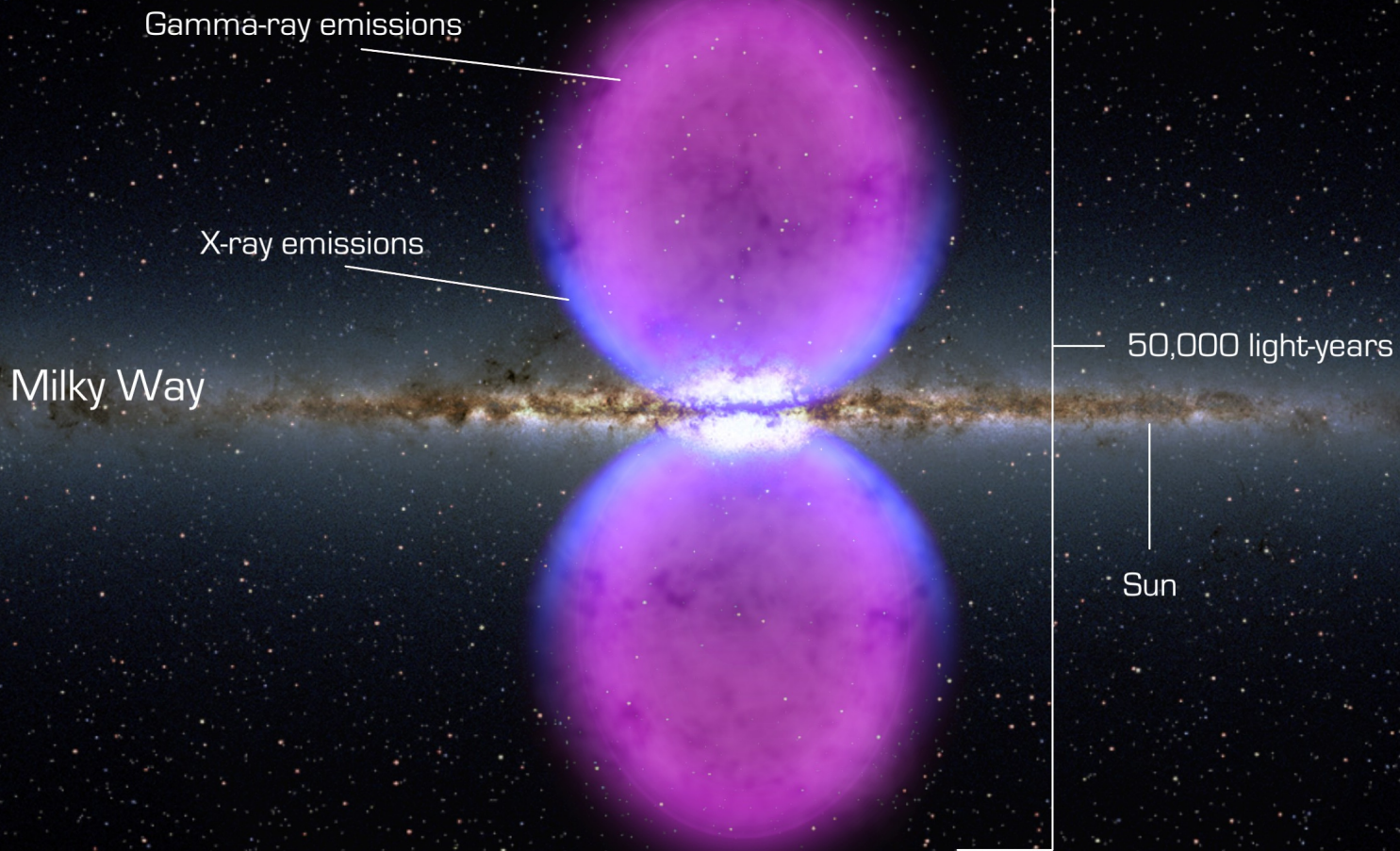
Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles



Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.

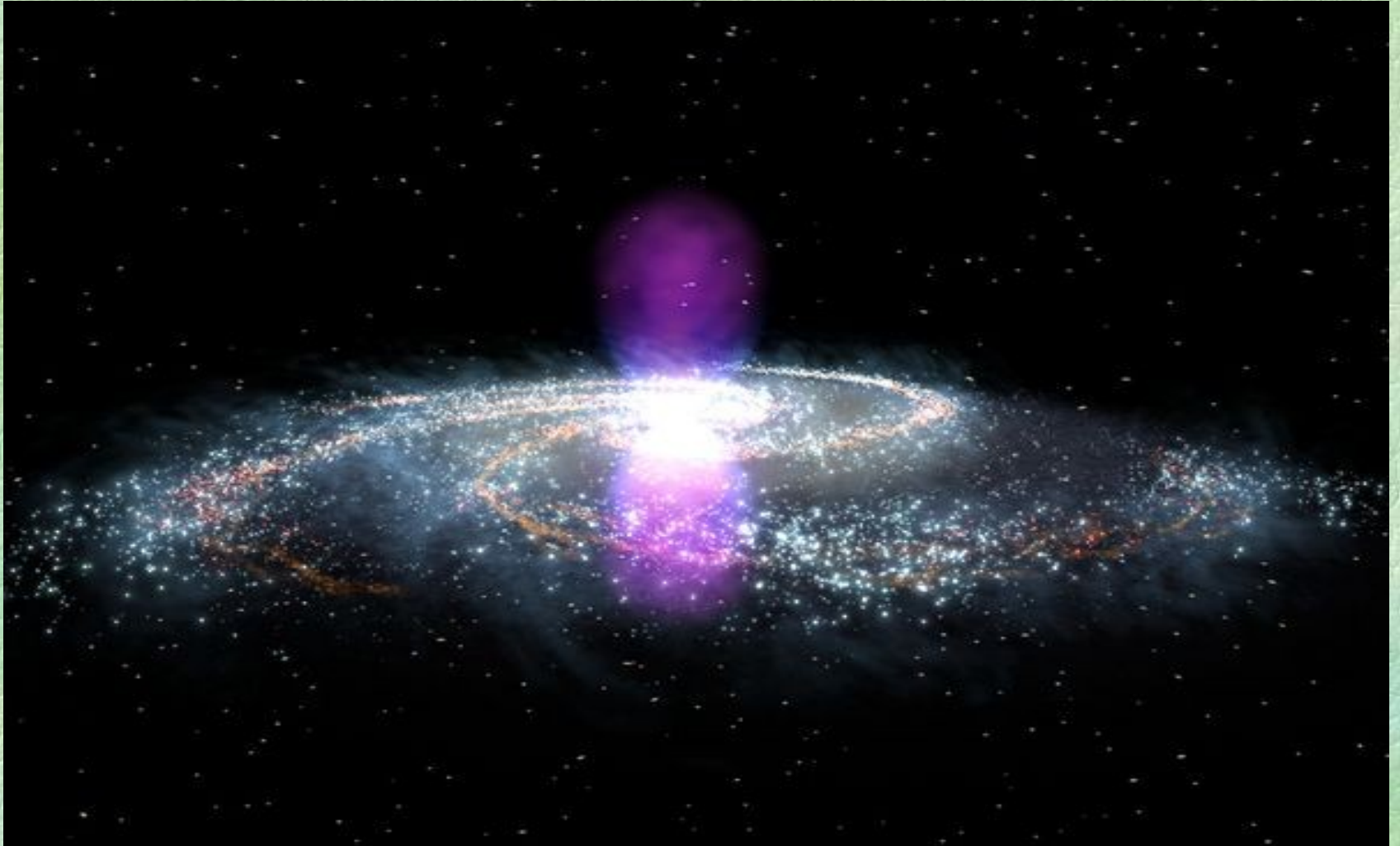


# $\gamma$ -Emission aus dem supermassiven zentralen Schwarzen Loch? (Fermi-Satellit; $E > 20$ MeV) (künstlerische Darstellung)





**... noch ein Darstellungsversuch der Gamma-Cluster  
aus dem galaktischen Zentrum; Jets vom Schwarzen  
Loch??**







# *Zusammenfassung*

*$\gamma$ -Strahlung im Bereich MeV bis 100 GeV erfordert Satelliten-Experimente*

*$\gamma$ -Strahlung oberhalb TeV-Energien kann nur mit Cherenkov Teleskopen gemessen werden*

*Galaktische Punktquellen sind gut verstanden*

*$\gamma$ -Strahlungsausbrüche sind immer noch etwas rätselhaft*

*Keine gute Evidenz für primäre Antimaterie*

Gamma-Rays Bursts  
sind wie Moderne  
Malerei: Keiner  
versteht sie!

