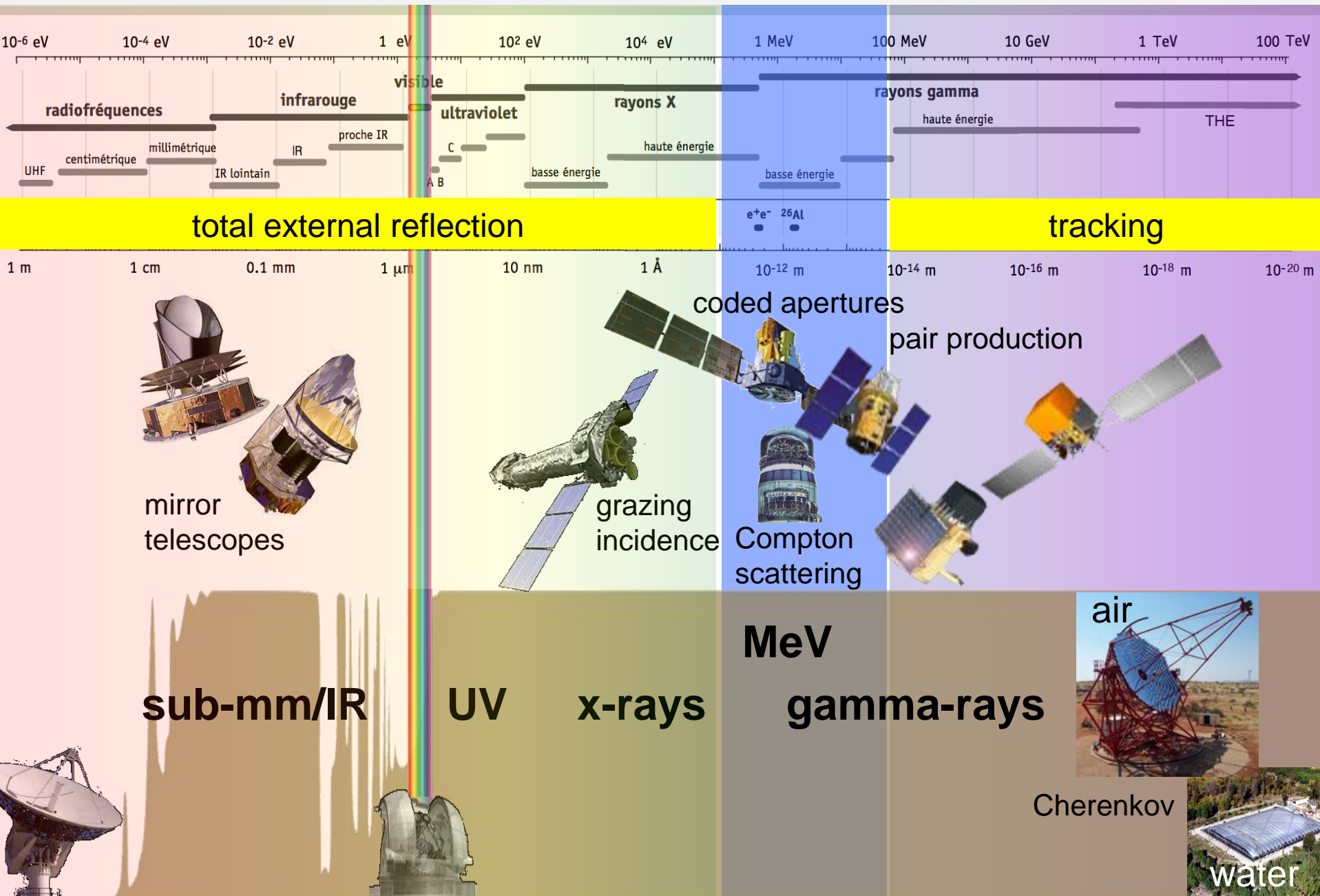


Our Gamma-Ray Universe

Giovanni F. Bignami
INAF

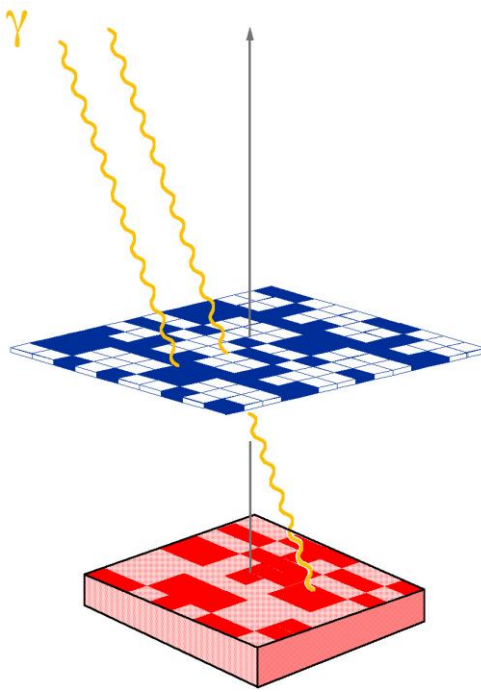


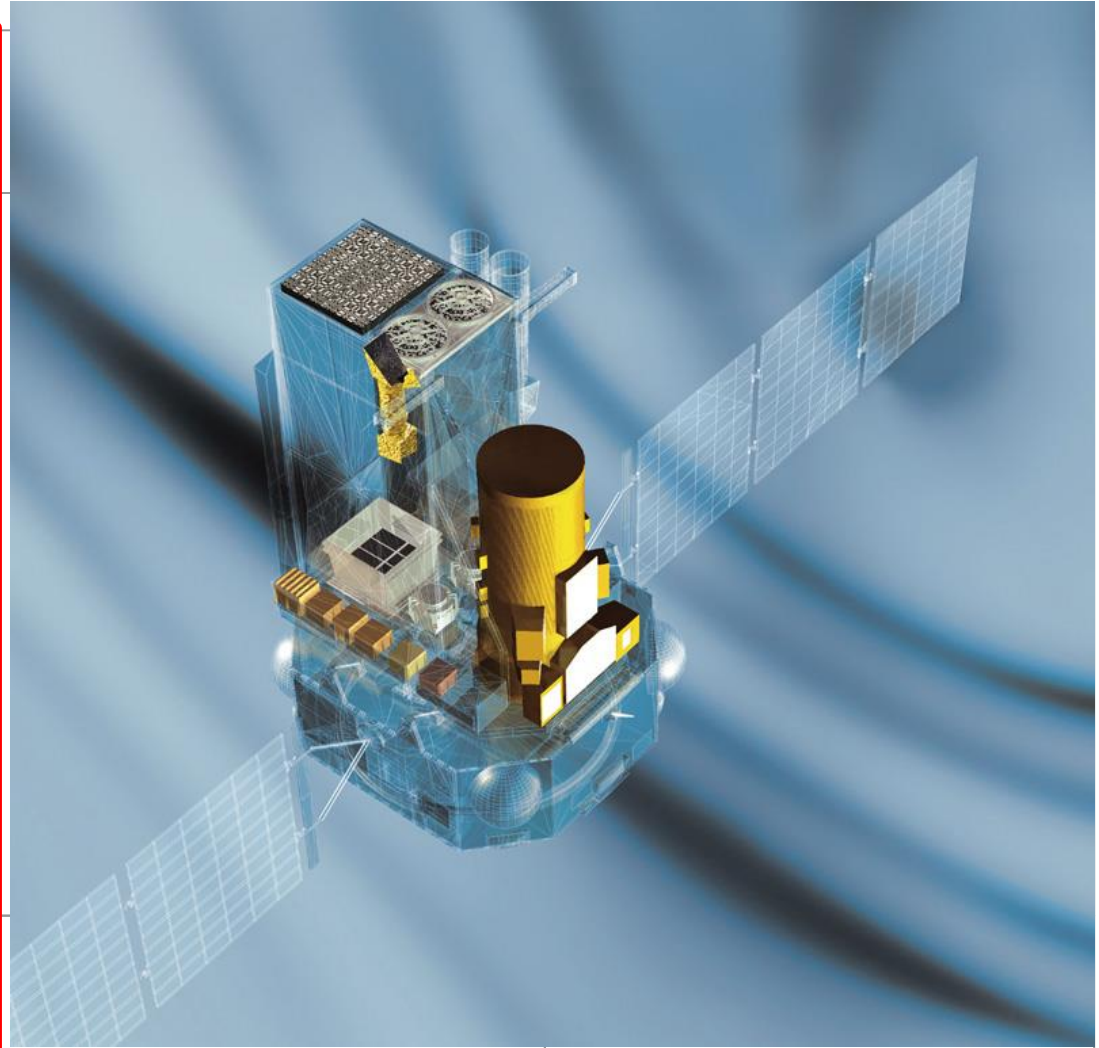
Electromagnetic Astronomy



Instrument concepts in MeV gamma-ray astronomy

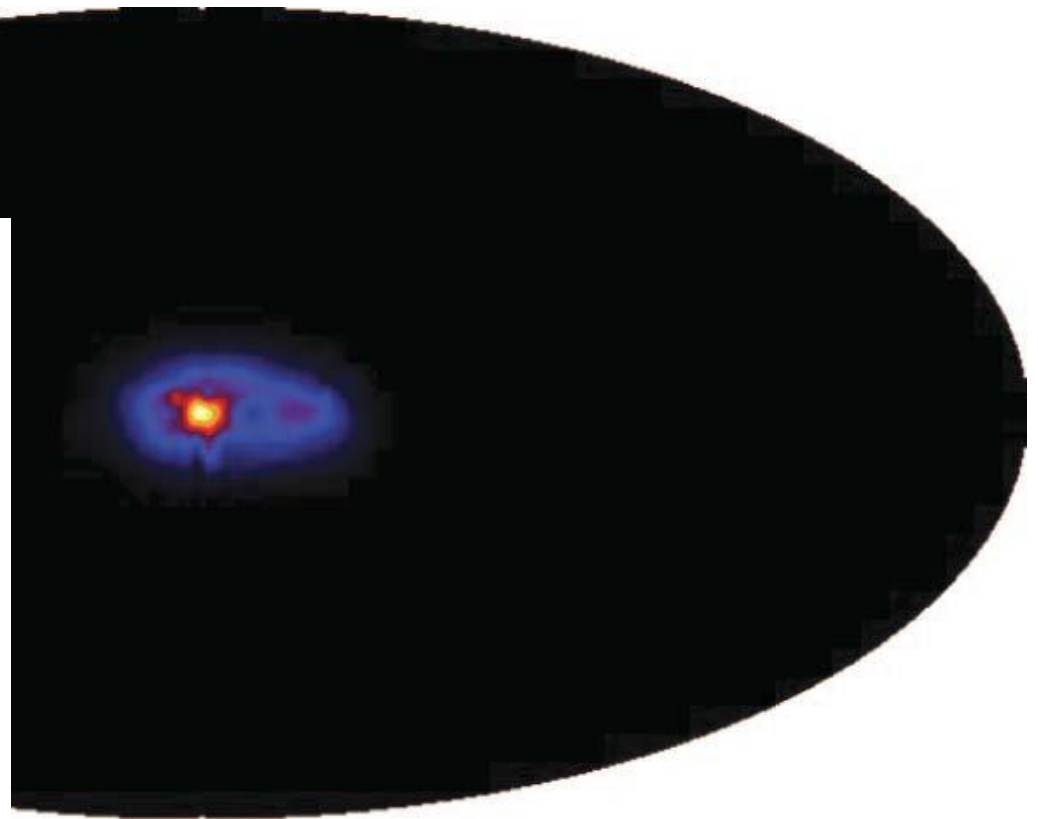
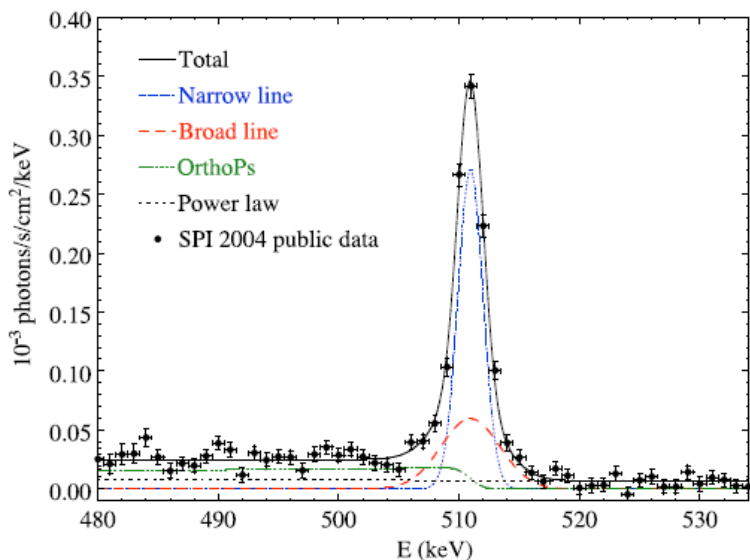
The hardest range for imaging and spectroscopy

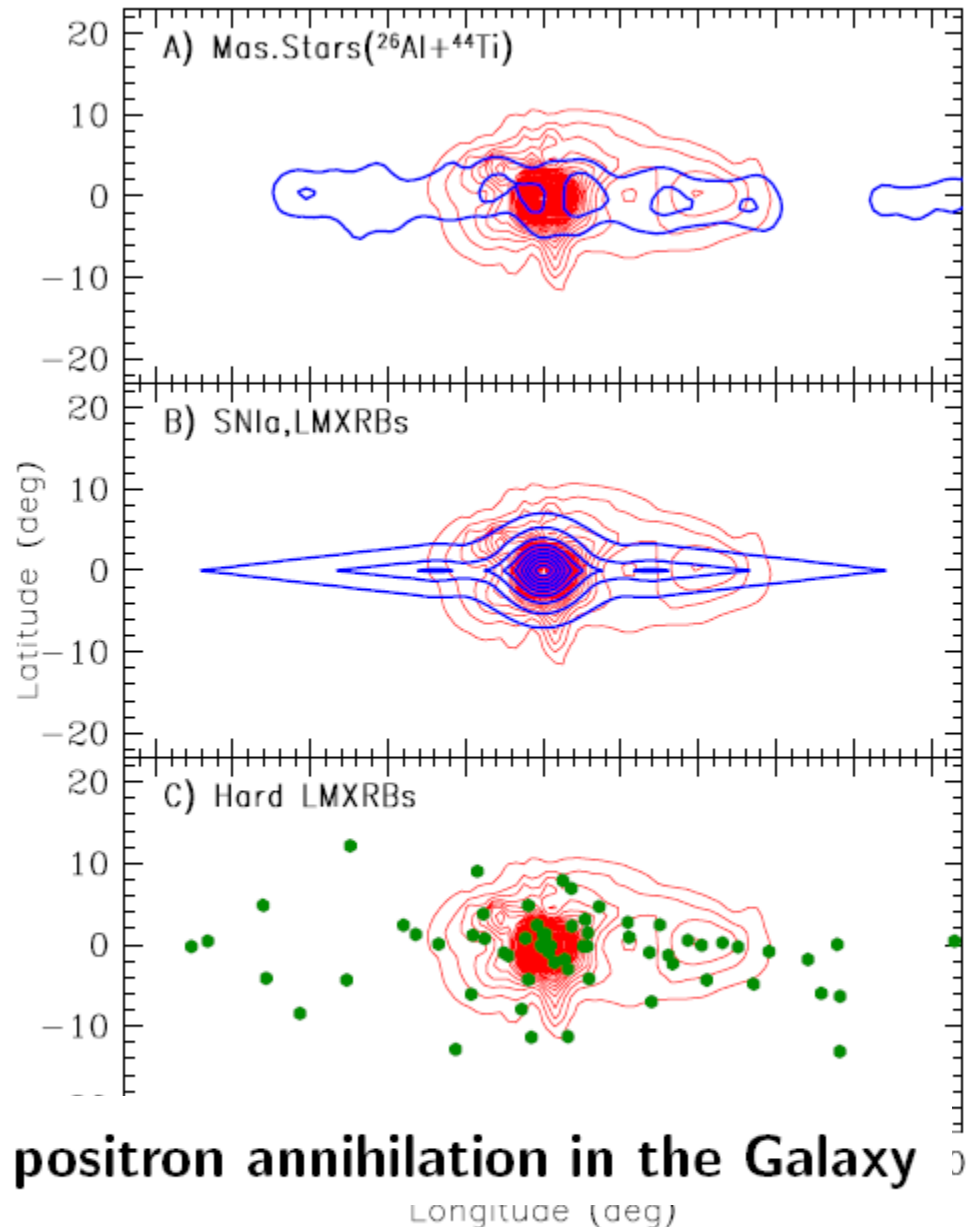
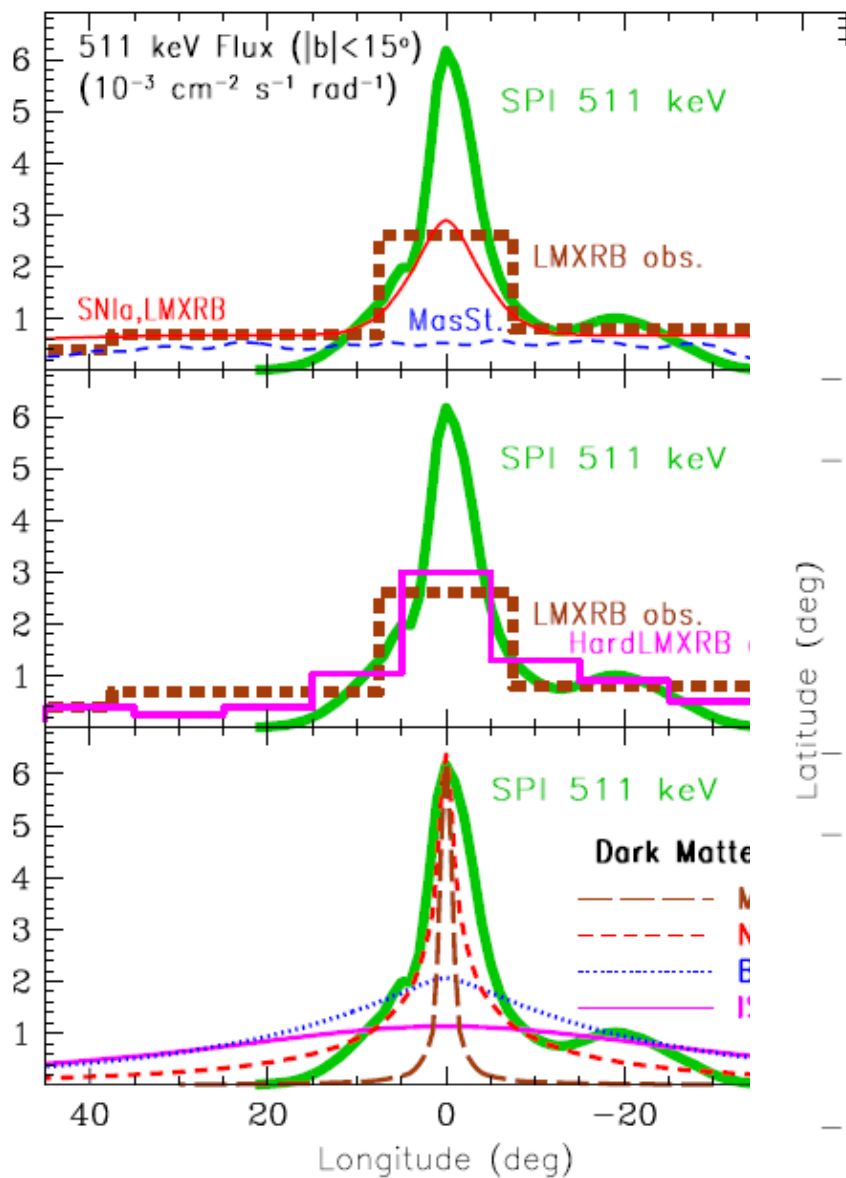
	geometric optics absorption
detector	
	ex. coded masks telesc. "on-off" collimators



An asymmetric distribution of positrons in the Galactic disk revealed by γ -rays

Georg Weidenspointner^{1,2,3}, Gerry Skinner^{1,4,5}, Pierre Jean¹, Jürgen Knödlseider¹, Peter von Ballmoos¹, Giovanni Bignami^{1,8}, Roland Diehl², Andrew W. Strong², Bertrand Cordier⁶, Stéphane Schanne⁶ & Christoph Winkler⁷





The 511 keV emission from positron annihilation in the Galaxy

N. Prantzos et al, 2014

Giovanni Bignami



Siamo davvero figli delle stelle

E noto che non si può cavare sangue da una rapa, ma adesso sappiamo che da una stella invece si può. Più precisamente, dalla esplosione di una stella. Il nostro sangue è rosso perché contiene ferro, essenziale per il trasporto di ossigeno dai polmoni ai tessuti. Sappiamo anche che si tratta degli stessi atomi di ferro che formano una spada o una pentola. Una splendida osservazione del satellite europeo Integral, costruito con forte partecipazione italiana, ci mostra adesso che il ferro nasce in cielo. Lo abbiamo visto apparire nel cuore di una supernova, la gigantesca esplosione con la quale una stella può concludere la sua vita. Che gli elementi dei quali siamo fatti noi, dal carbonio dei tessuti al calcio delle ossa, siano prodotti nelle stelle, lo sappiamo da quando abbiamo capito la fusione termonucleare, per esempio quella che avviene tutti i giorni nel Sole. All'interno del Sole, i nuclei più leggeri, partendo dall'idrogeno, si fondono a formare quelli un po' più pesanti, tipo elio, carbonio, azoto e così via. La fusione regala anche tantissima energia, quella, per intenderci, che sappiamo utilizzare in una bomba (all'idrogeno, appunto), e che vorremmo sfruttare in una centrale termonucleare, ma non siamo ancora capaci. È l'energia che tiene acceso il Sole e che ci permette di vivere, giorno dopo giorno.

Fin qui tutto chiaro: noi, polvere di stelle, abbiamo il calcio nelle ossa perché l'ha fatto una stella come il Sole, e così via. Ma le cose si complicano considerando elementi più pesanti, come appunto il ferro, o addirittura l'oro o l'uranio, che pure esistono in natura. Infatti, proprio a partire dal ferro, la formazione degli elementi non produce più energia, ma ne richiede: per costruire il ferro e gli altri elementi pesanti bisogna fornire al mate-

Il satellite Integral ci ha mostrato che il ferro nasce in cielo. Così come il carbonio: gli elementi della vita

riale stellare una grande quantità di energia, ben di più di quanta ne produca un Sole qualunque.

La sera del 21 gennaio scorso, un astronomo inglese stava mostrando ai suoi studenti l'immagine, appena presa, di una galassia particolarmente spettacolare, M82. Come la nostra, anche M82 contiene centinaia di miliardi di stelle che sono invisibili una per una, ma formano un chiarore lattiginoso (da cui il nome galassia).

L'astronomo notò immediatamente che, invece, nella parte esterna della

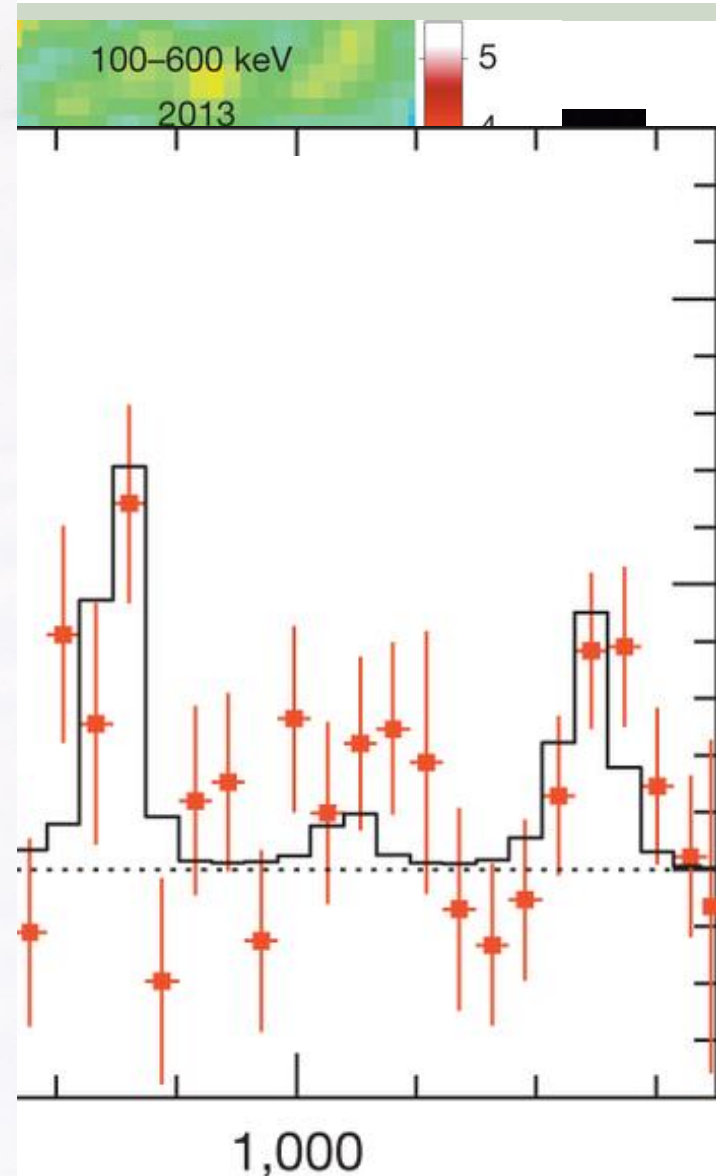


galassia, una "stella" era ben visibile, un puntino luminoso che non c'era in altre immagini dello stesso oggetto. Non poteva che essere una stella temporaneamente molto più luminosa della altre, cioè una supernova, la gigantesca esplosione che emette un picco di luce pari a miliardi di volte quella del Sole. Un'esplosione che per qualche settimana rende la stella, o meglio quello che di lei resta, visibile attraverso mezzo universo. Si capì che si trattava proprio di una esplosione con abbastanza energia da creare il ferro. La supernova in M82 diventava il candidato ideale per cercare la prova della creazione degli elementi che il Sole non sa fare.

Era la grande chance della astronomia gamma, con il telescopio Integral, messo in orbita dall'Europa più di dieci anni fa proprio per carpire i segreti del processo di formazione degli elementi. Il suo rivelatore centrale, in parte costruito in Italia, analizza i raggi gamma. Quelli che vengono da una supernova dovrebbero avere la firma inequivocabile, e ben distinta, di ciascuno degli elementi appena nati, se ci sono davvero. In questo caso, per di più, la supernova era abbastanza "vicina", solo a una decina di milioni di anni luce, alla portata del telescopio.

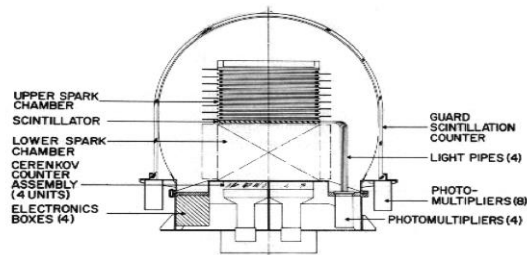
Subito puntato su M82, ecco apparire nel rivelatore di Integral la firma del ferro, cioè quei raggi gamma con la energia che solo il ferro può emettere. Grande emozione: per la prima volta nella storia della astronomia, cioè nella storia dell'uomo, assistiamo in diretta alla creazione dell'elemento che fa rosso il nostro sangue e con il quale siamo così familiari. E il cerchio della natura si chiude: se è il ferro che porta l'ossigeno al mio cervello, è solo grazie a lui che posso capire come è nato.

LA SUPERNOVA REMNANT, NELLA NEBULOSA DI GUM

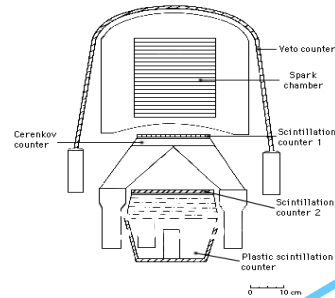


Going higher in Energy : a brief History of γ -ray Trackers

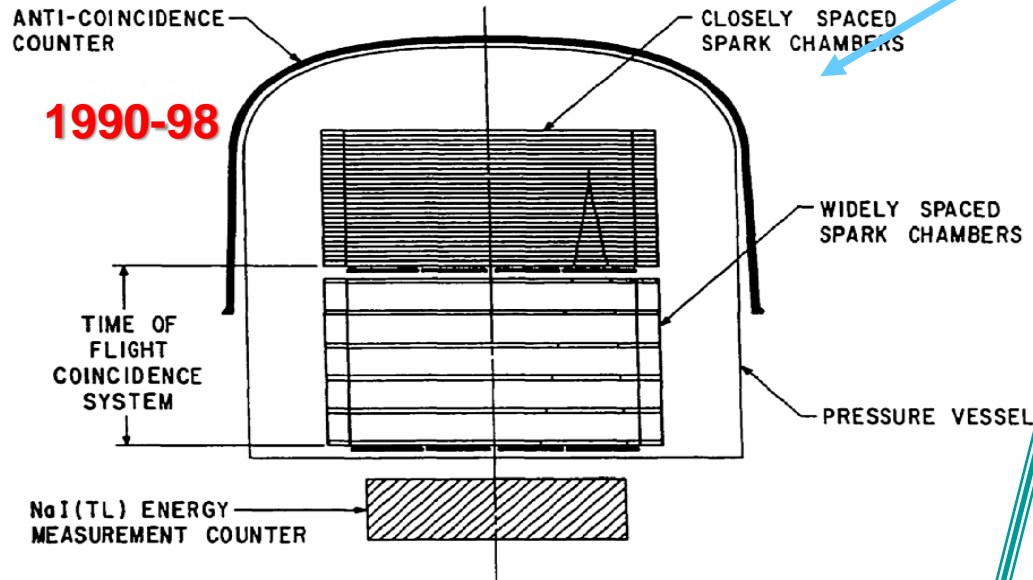
SAS-2 1972-73



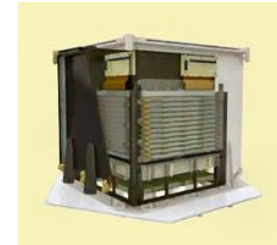
COS-B 1975-82



EGRET



1990-98



2007...

AGILE

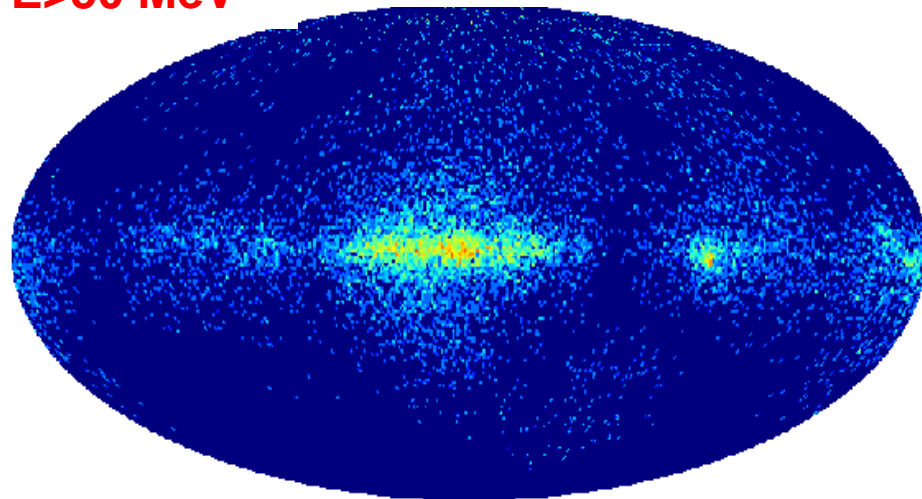
Fermi-GLAST



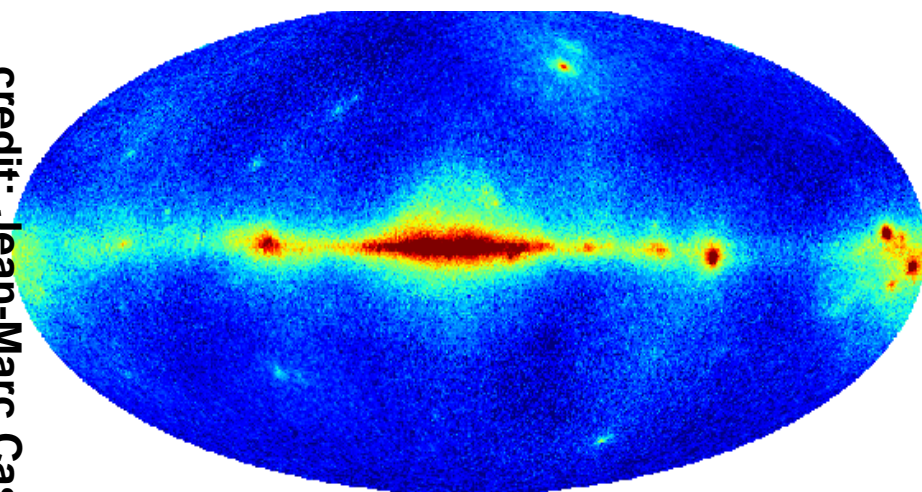
2008...

11,762 γ -rays
 $E > 50$ MeV

SAS-2 ('72-'73)



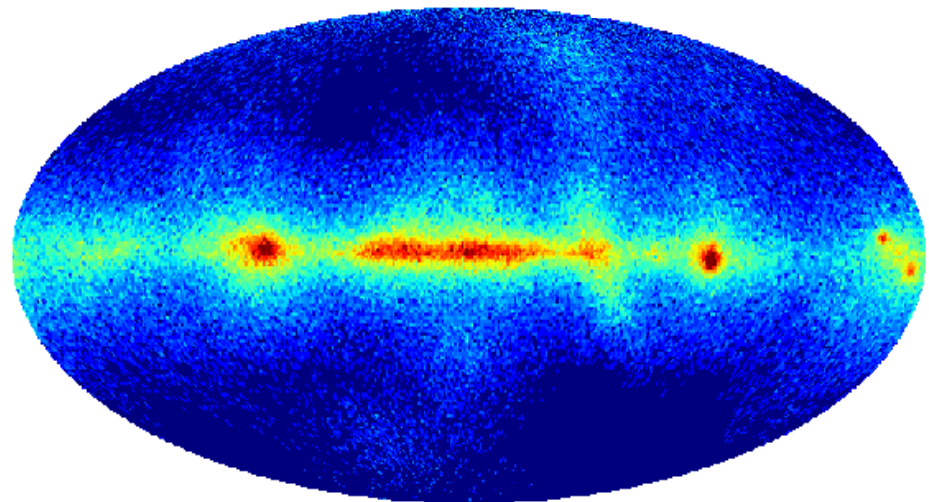
EGRET -GRO- 1990-'98



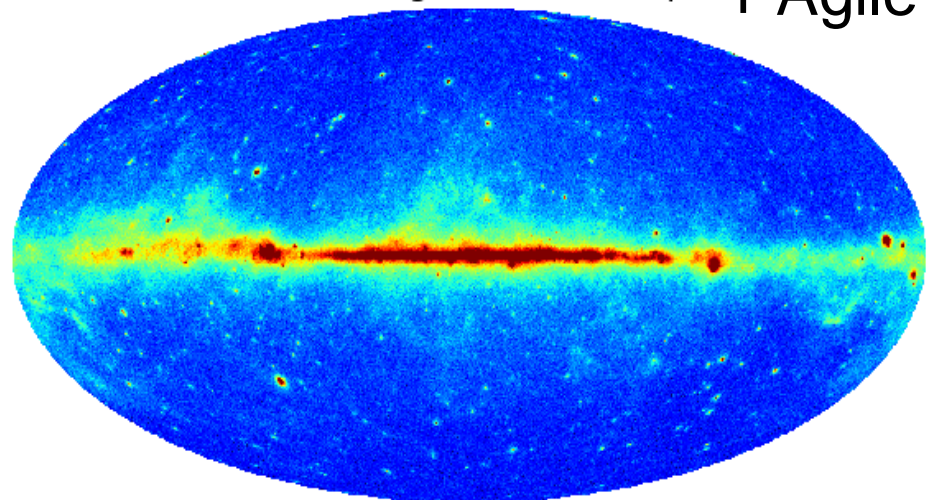
1,151,662 γ -rays $E > 50$ MeV

COS-B ('75-'82)

207,213 γ -rays
 $E > 50$ MeV

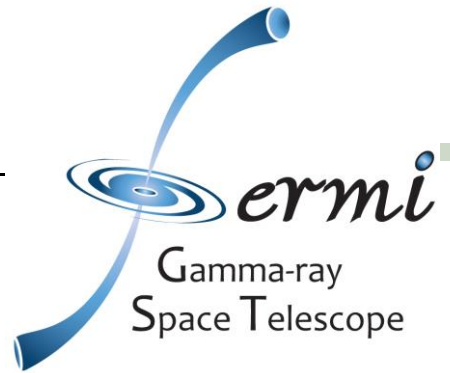
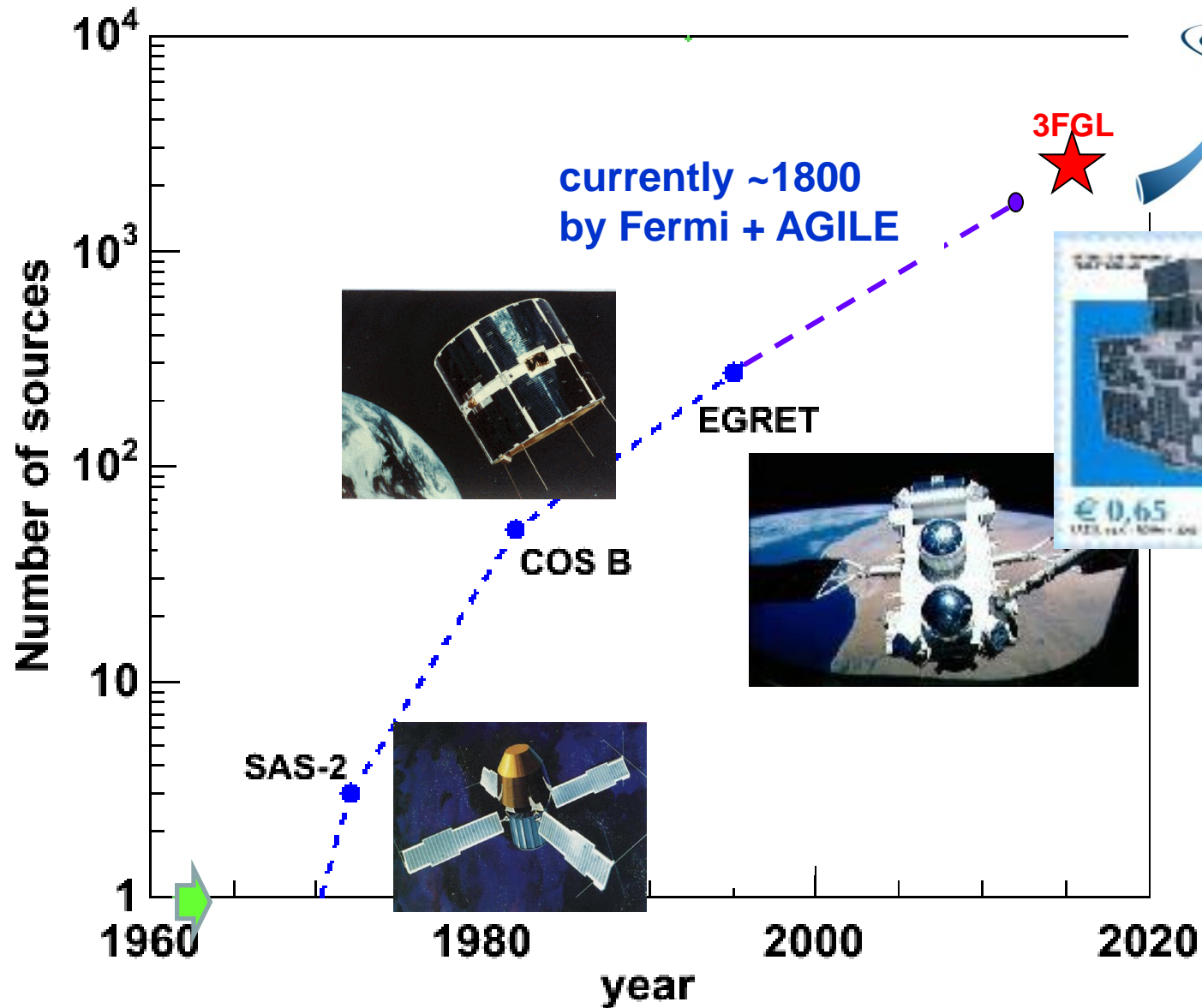


Fermi - Large Area Telescope + Agile

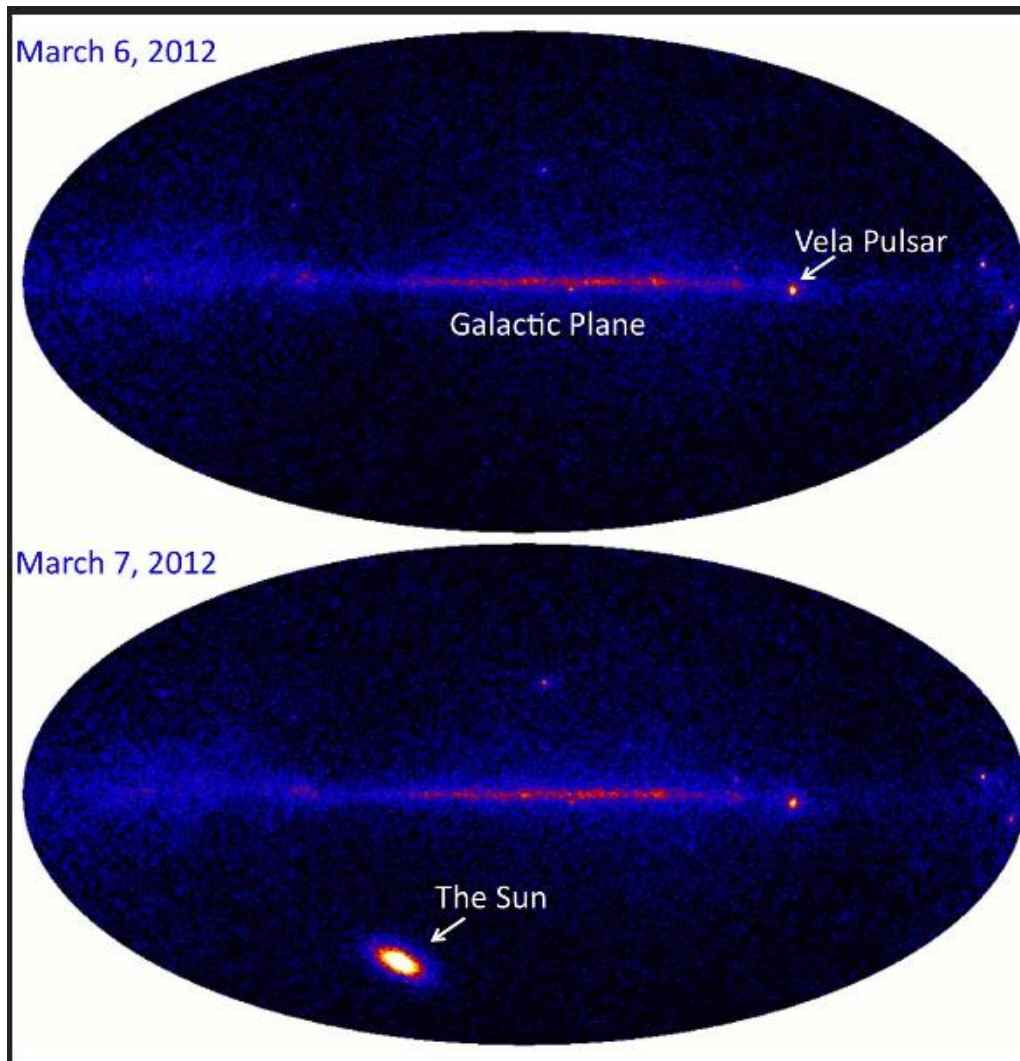


43,109,003 γ -rays $E > 50$ MeV

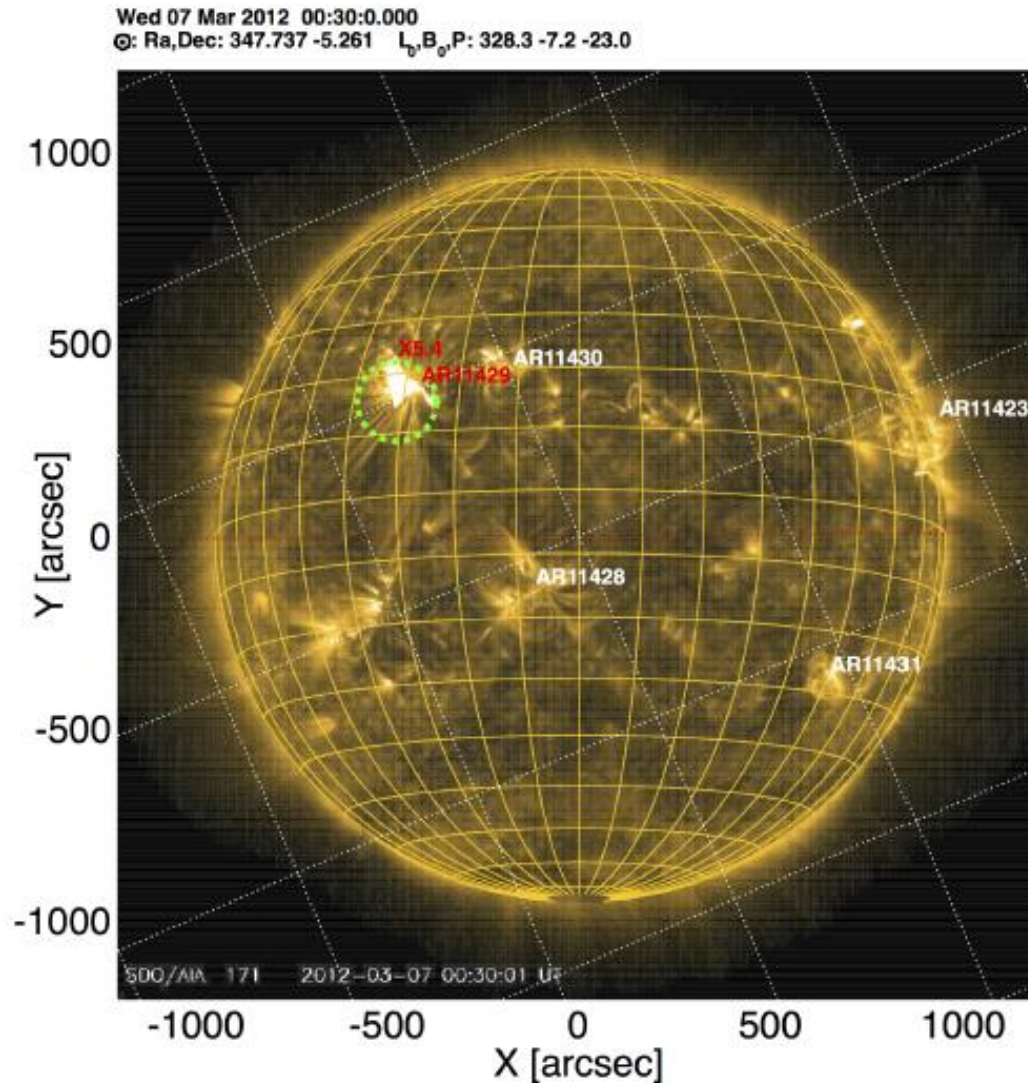
4 decades of γ -ray sources



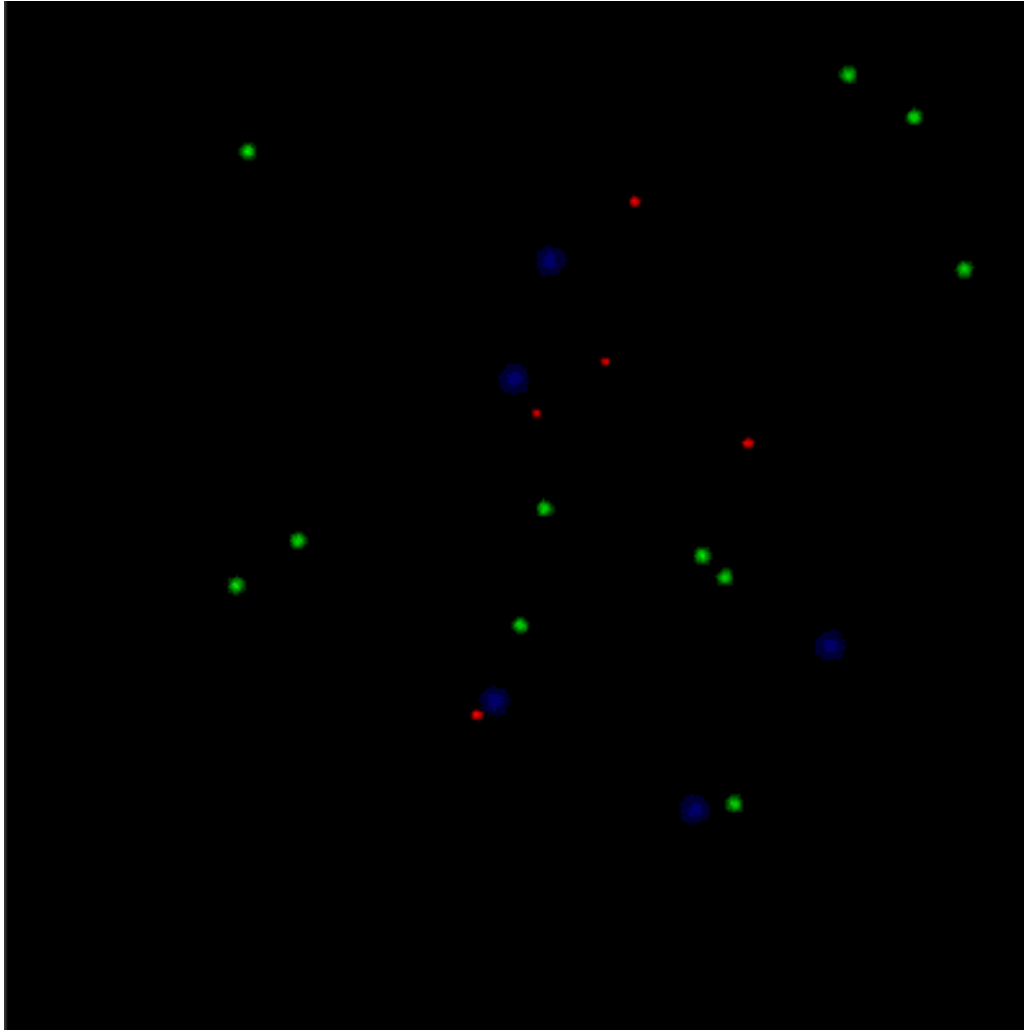
The Flaring Sun – our nearest gamma-ray source



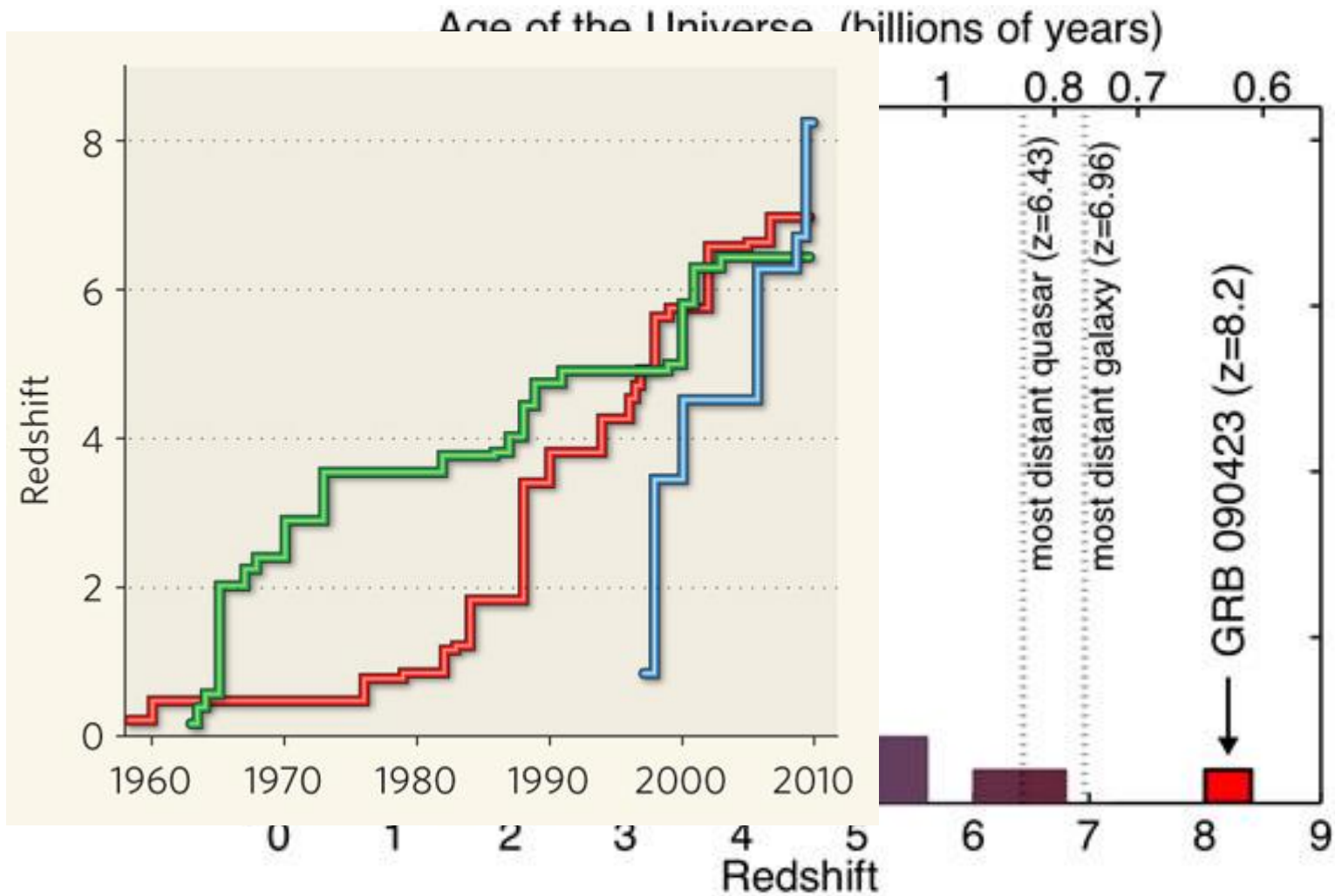
The Flaring Sun – March 7, 2012: pinpointing a flare



GRB 080916C: our farthest gamma source - bursting, if not flaring

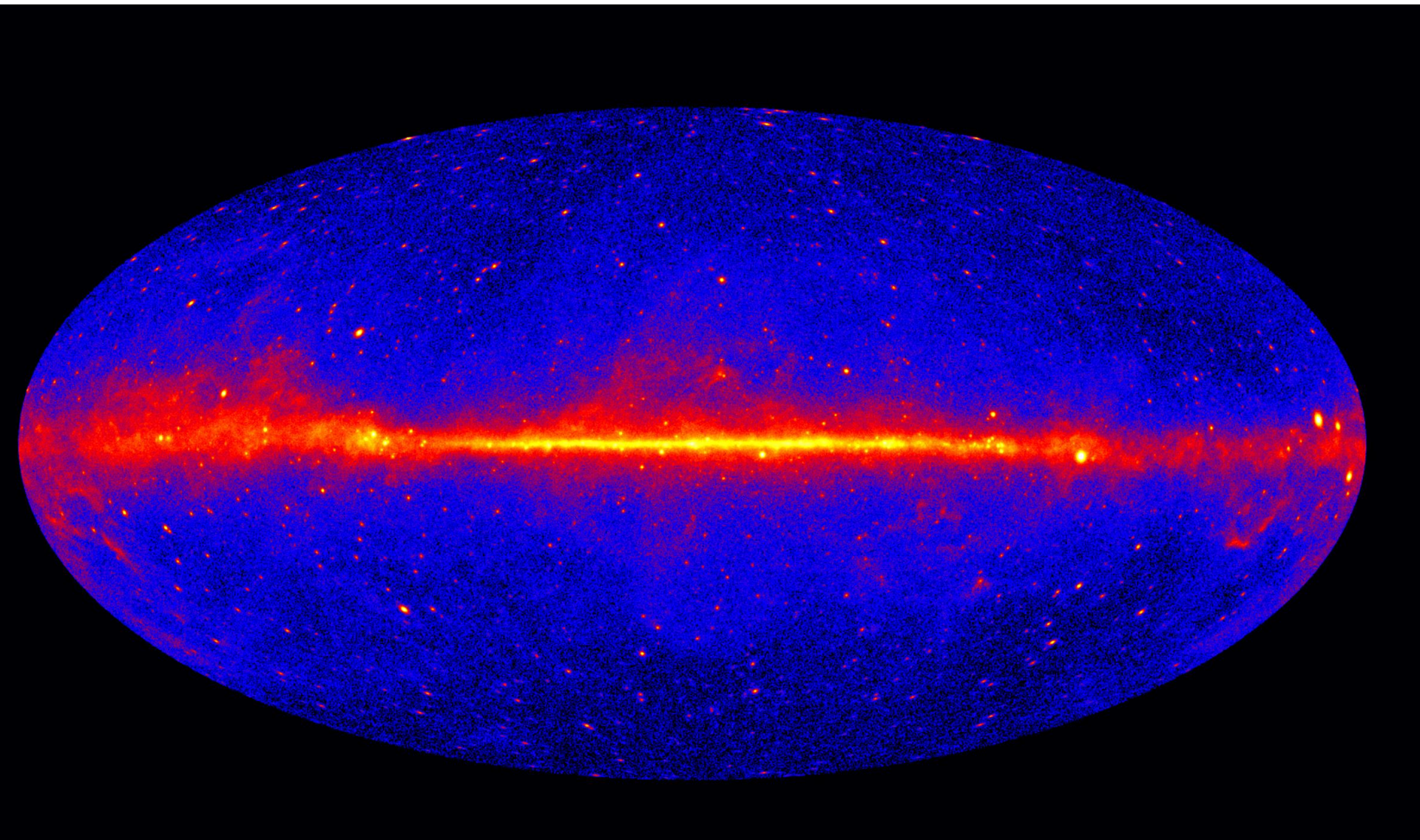


Swift: a GRB contribution to cosmology

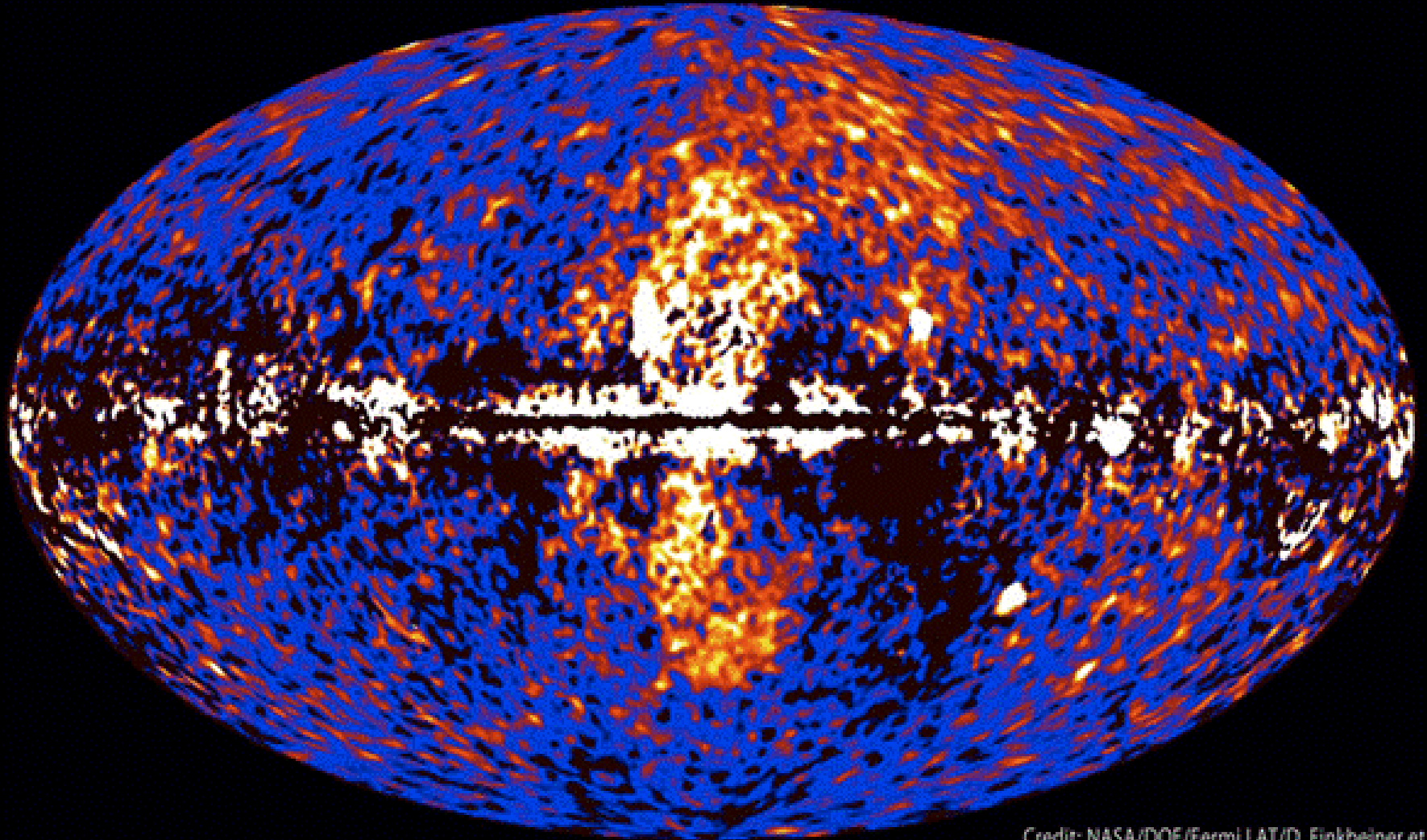


Credit: Edo Berger (Harvard/CfA)

5-year Fermi image

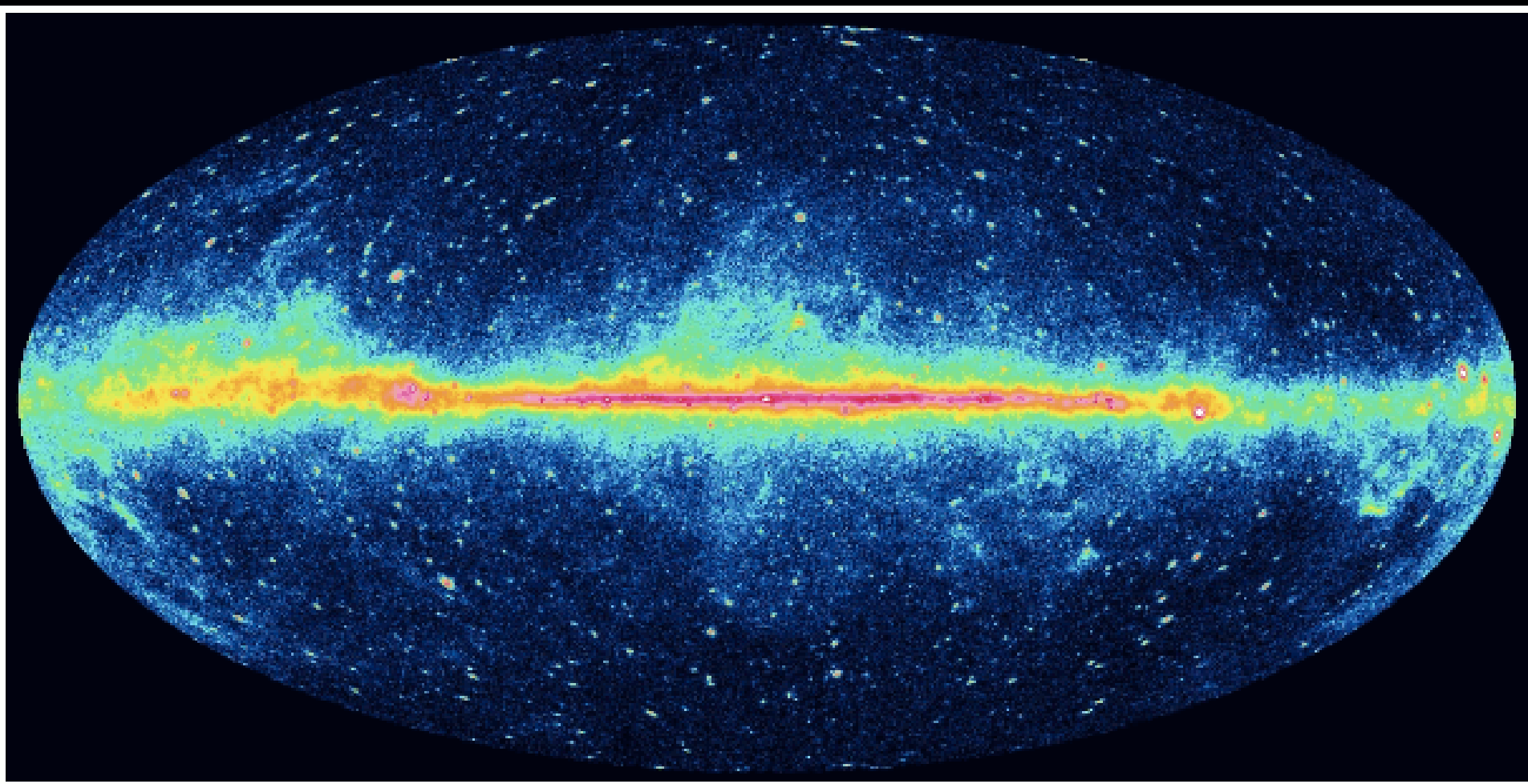


Searching for DM in the GC, we found something funny...

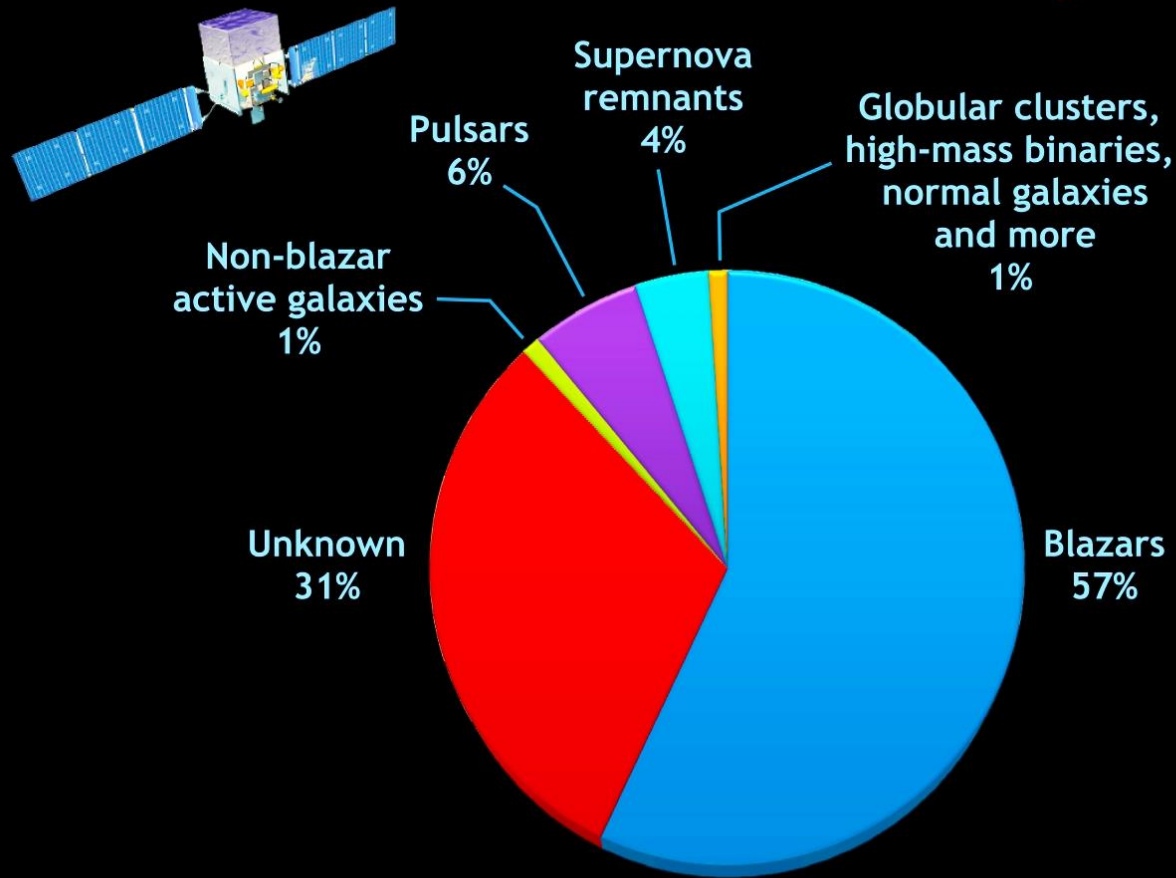


Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.

Back to gamma-ray sources: the 2FGL catalog



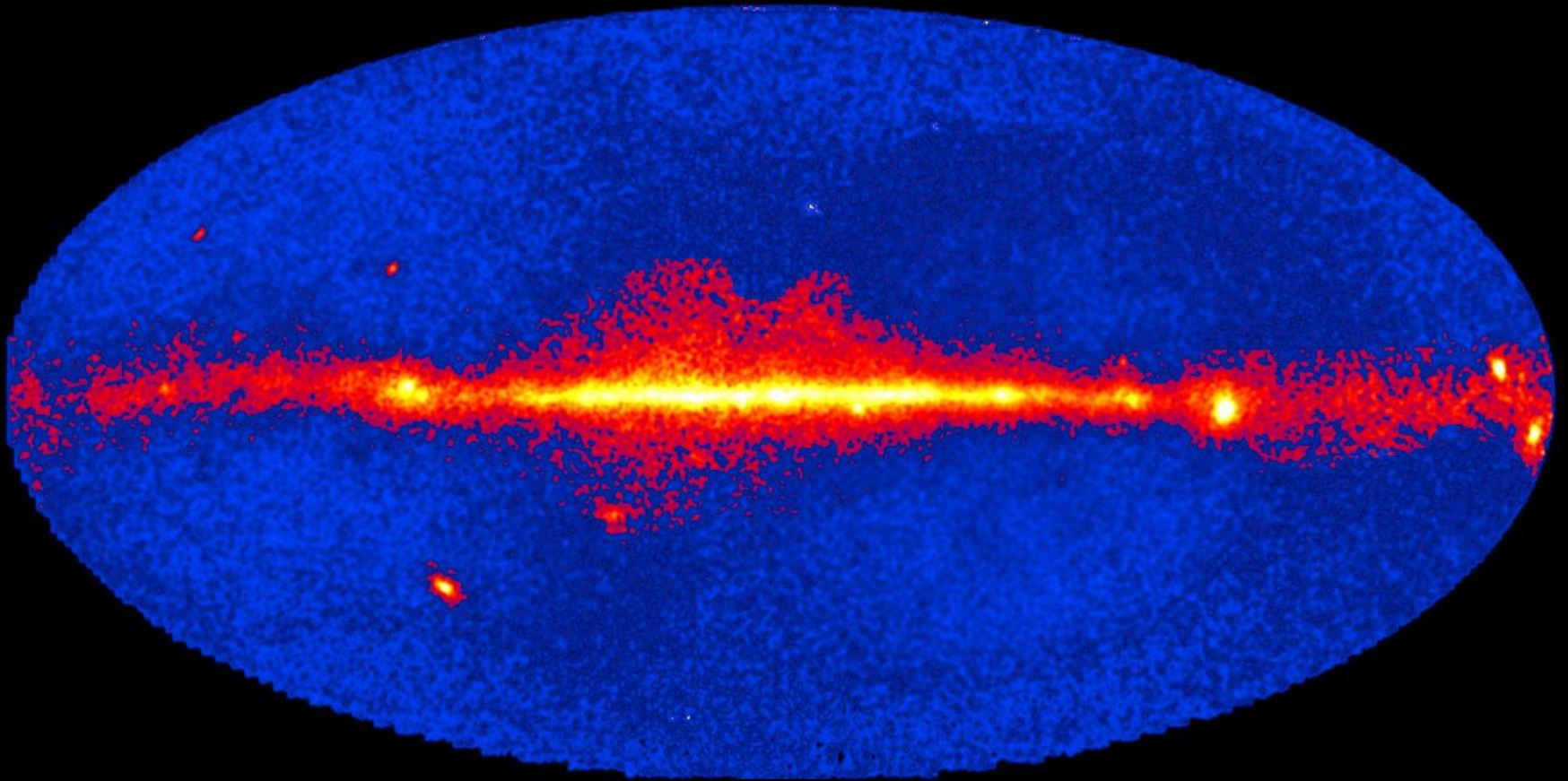
What has Fermi found: The LAT two-year catalog



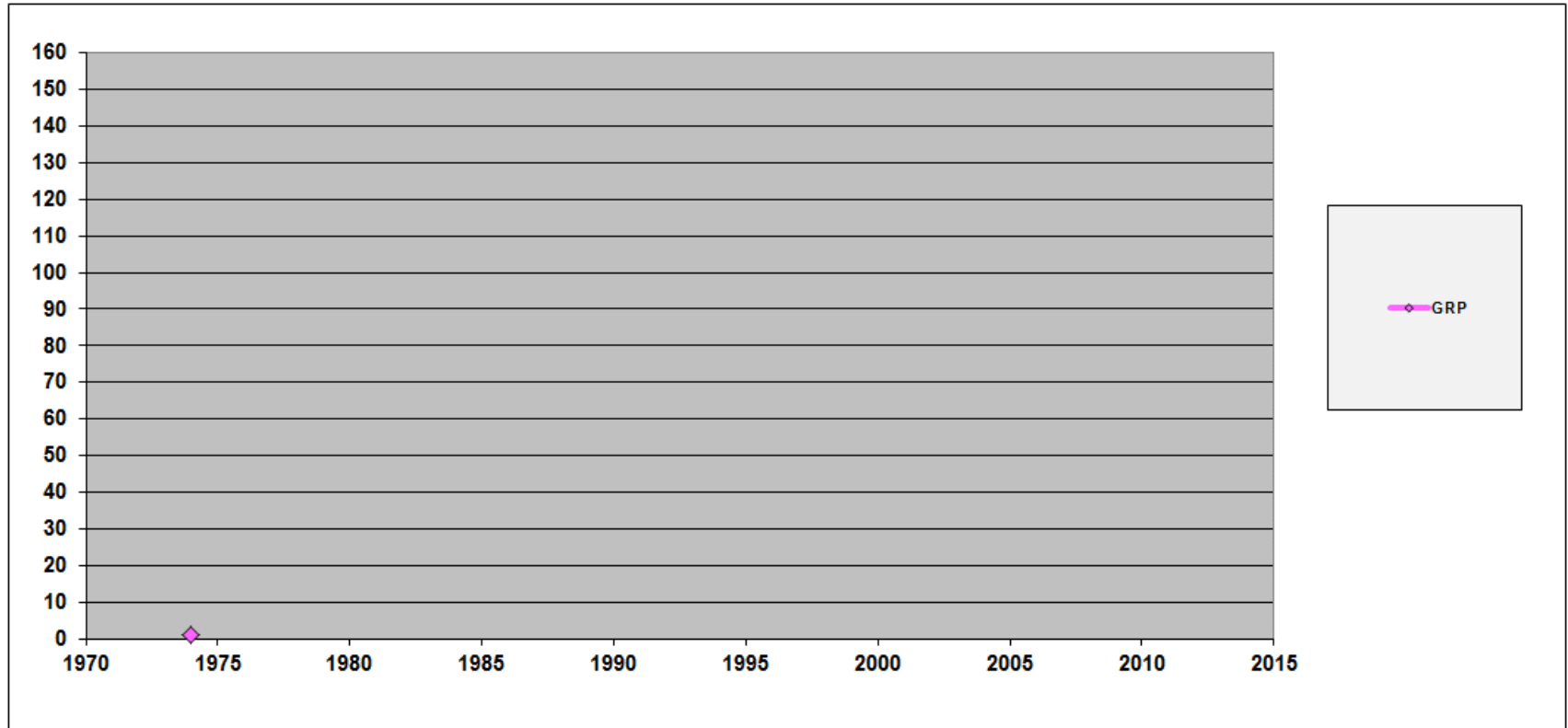
Credit: NASA/Goddard Space Flight Center

**Within our Galaxy, pulsars are the most numerous
In the Universe, Blazars dominate
(Unknowns are everywhere, but most likely galactic)**

Small is beautiful: AGILE



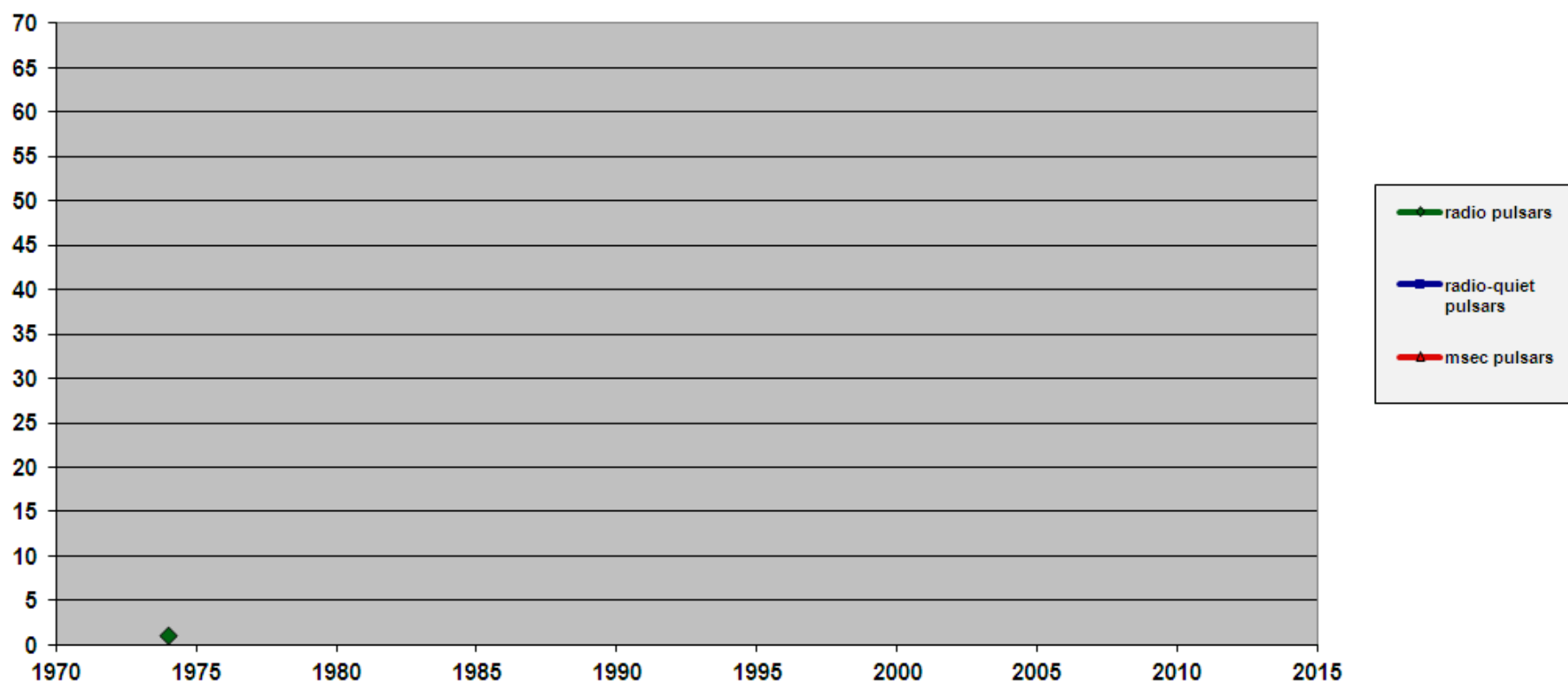
Gamma-ray Pulsars: a success story



Gamma-Ray Pulsar Revolution

Patrizia A. Caraveo

Annu. Rev. Astron. Astrophys. 2014. 52:211–50



MSP Bonanza BONUS: Gravitational waves ?

HUNTING GRAVITATIONAL WAVES USING PULSARS

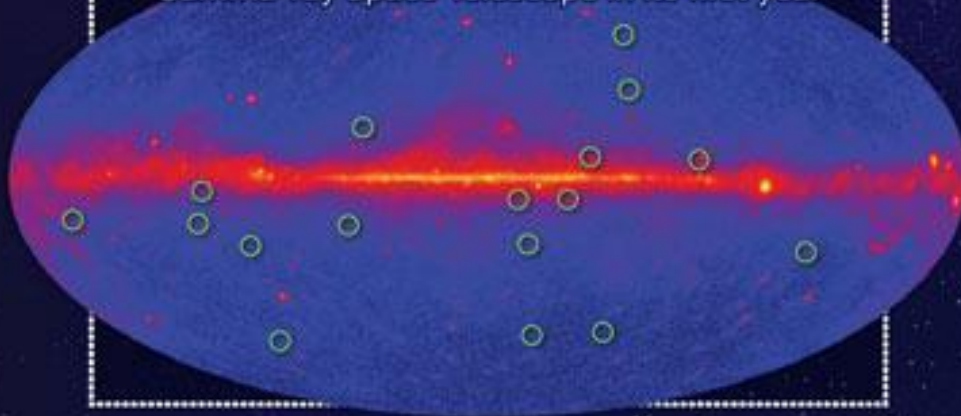
1 Gravitational waves from supermassive black-hole mergers in distant galaxies subtly shift the position of Earth.

2 Telescopes on Earth measure tiny differences in the arrival times of the radio bursts caused by the jostling.

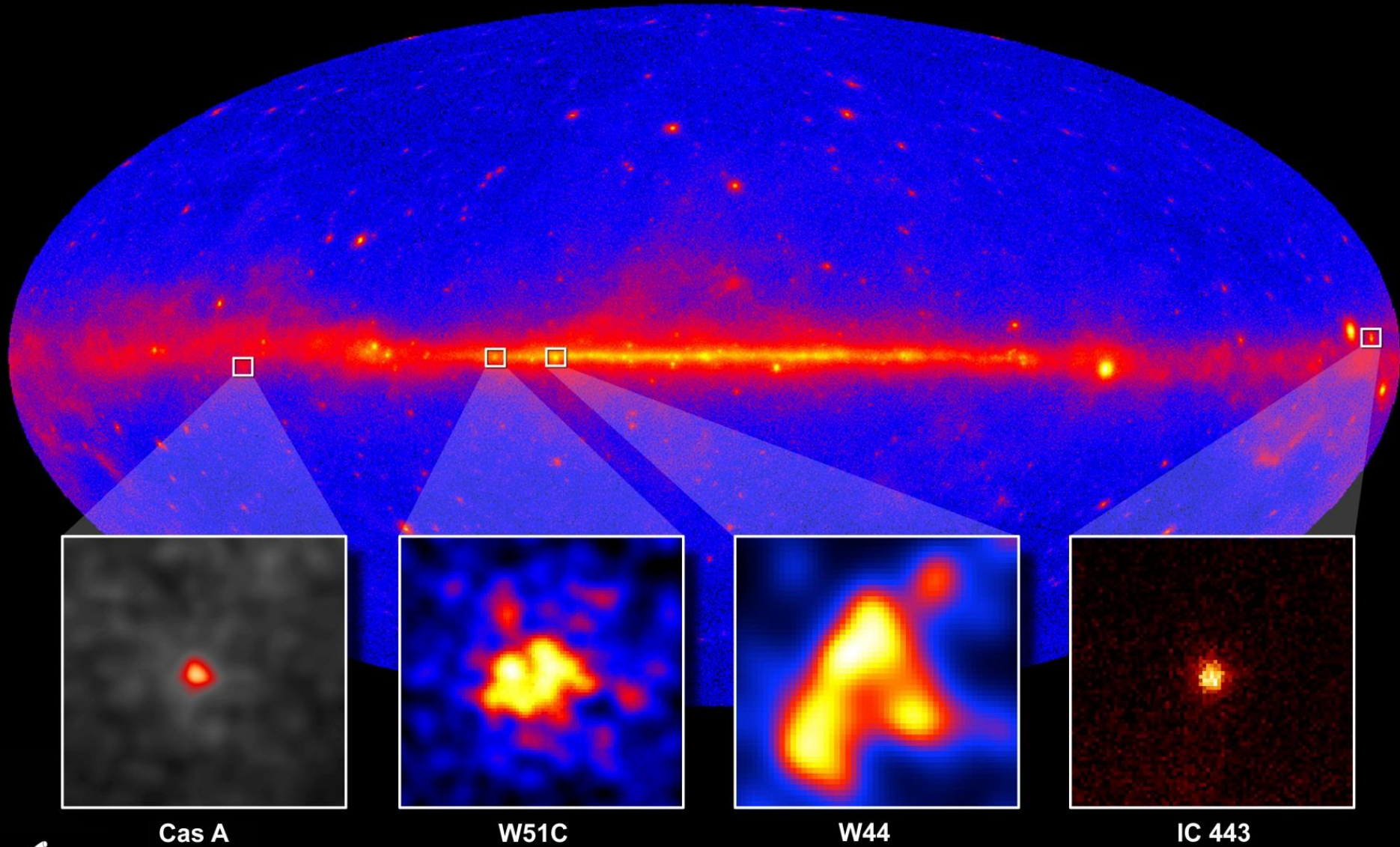
3 Measuring the effect on an array of pulsars enhances the chance of detecting the gravitational waves.

NEW MILLISECOND PULSARS

An all-sky map as seen by the Fermi Gamma-ray Space Telescope in its first year



Gamma-rays, CRs and supernovae: smoking gun evidence



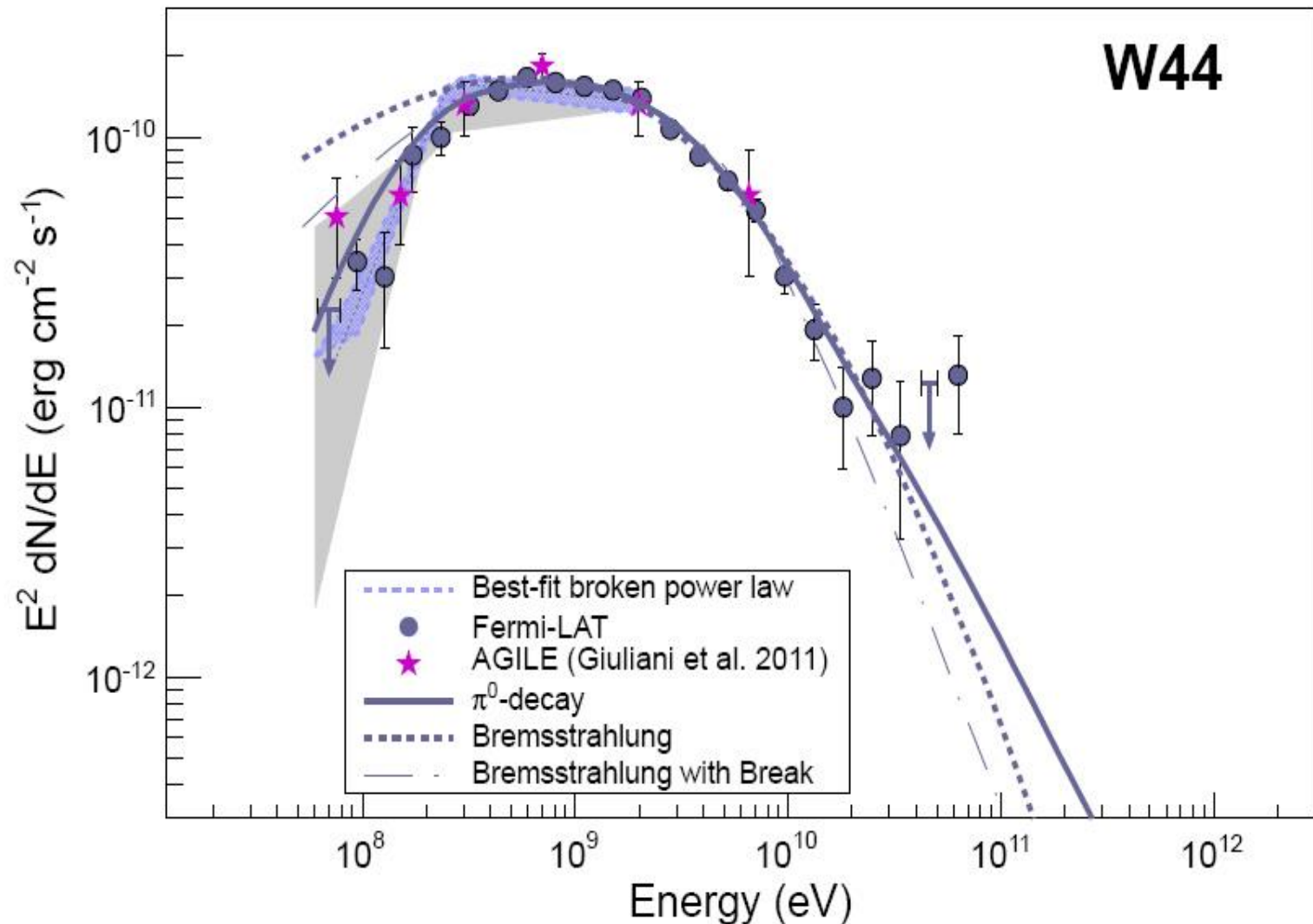
Cas A

W51C

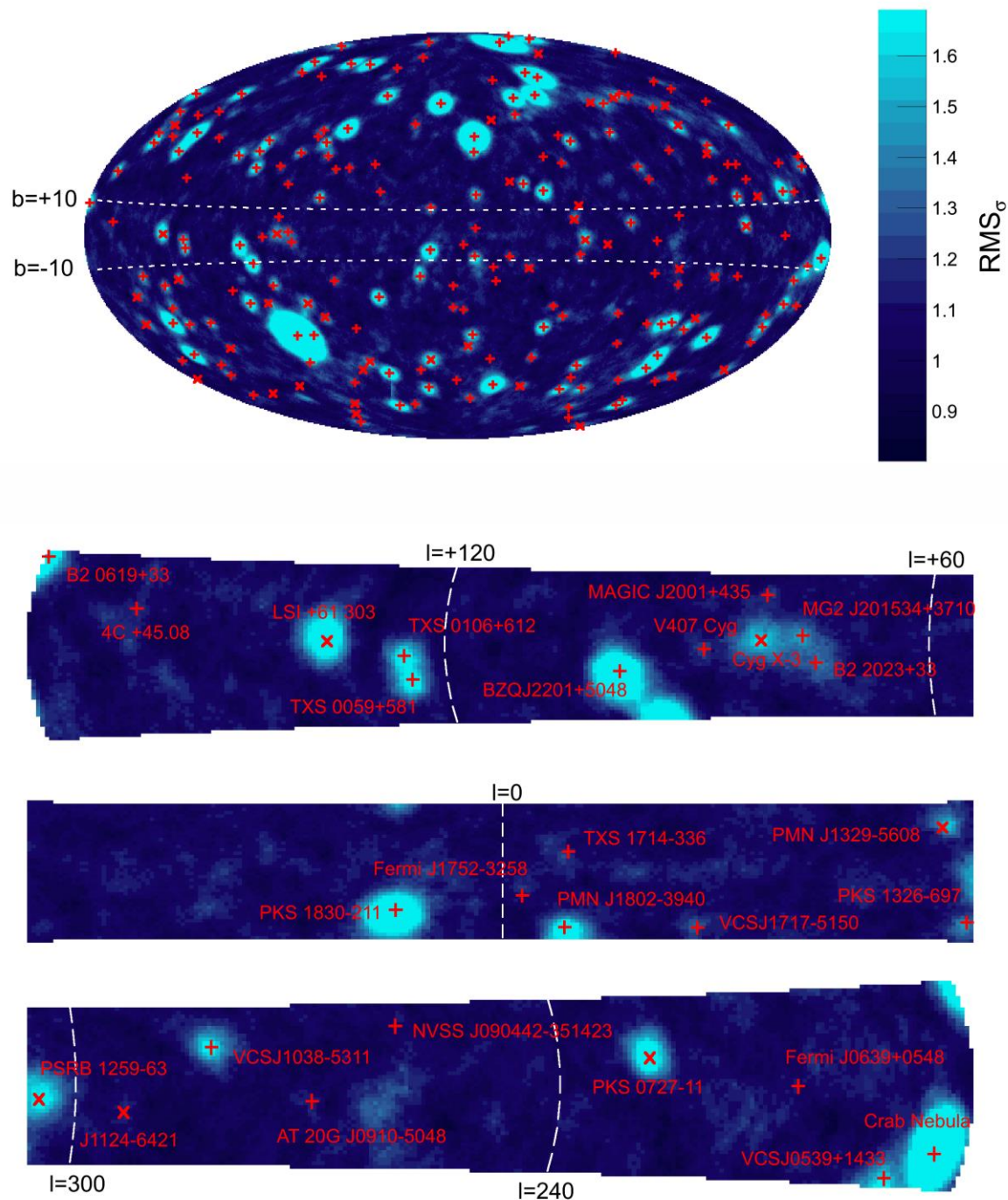
W44

IC 443

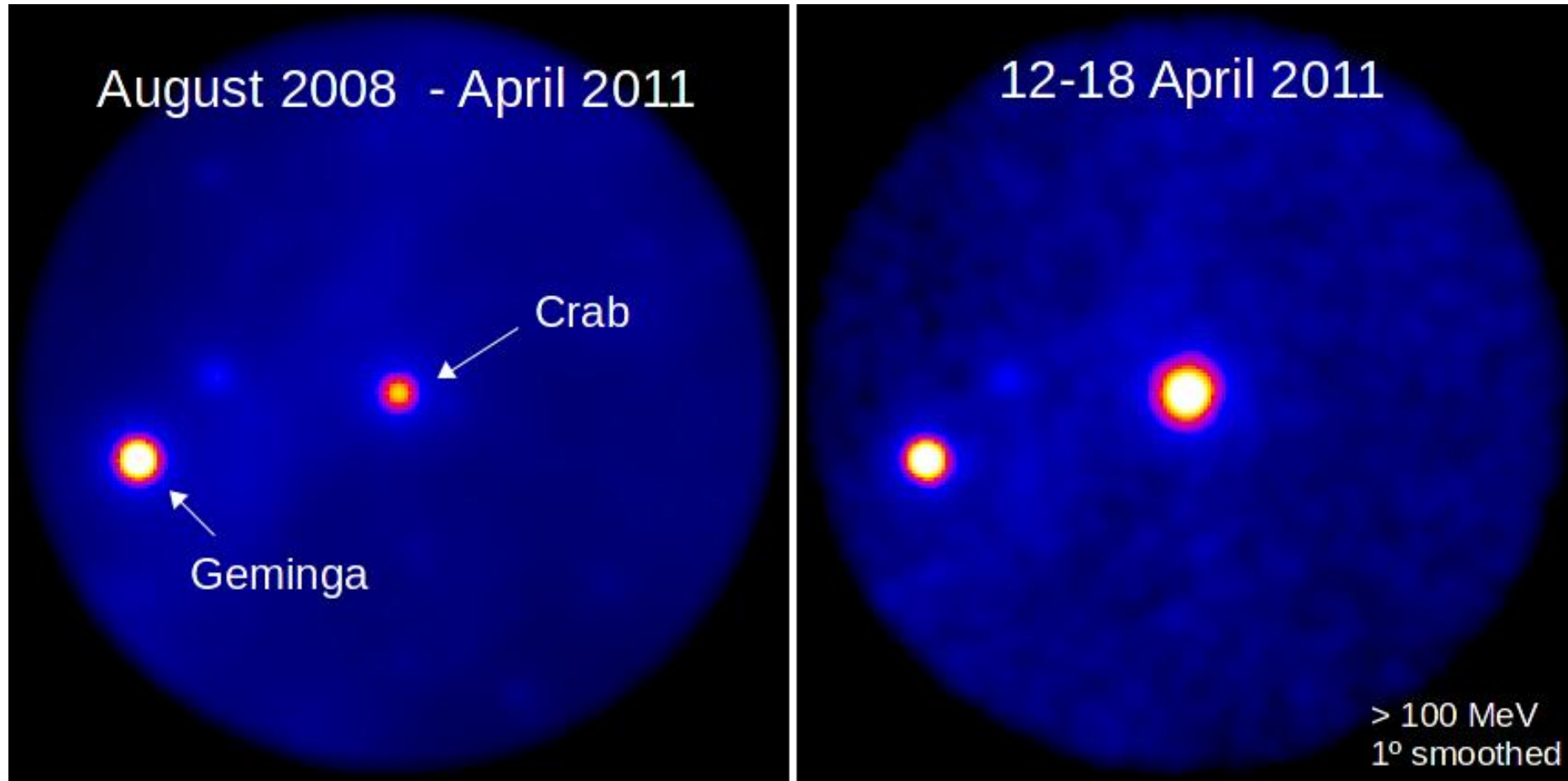
At long last!! a π^0 bump in the W44 spectrum



How to find variable sources anywhere in the sky?

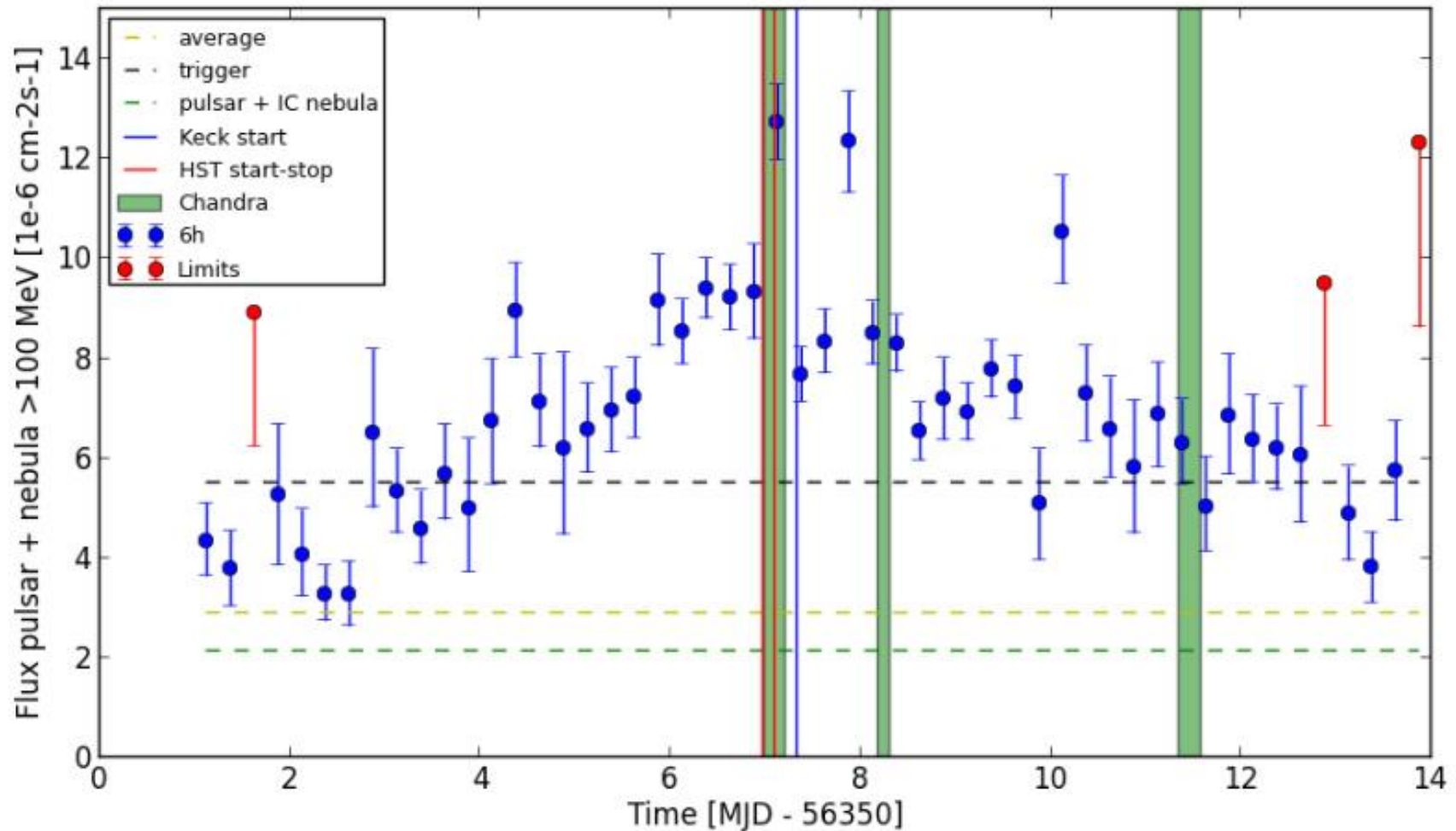


Surprise: the Crab that roared



Variable **Nebular** emission!

Not a unique event. Once per year?



March 2013 flare

More on variable galactic sources

RESEARCH | REPORTS

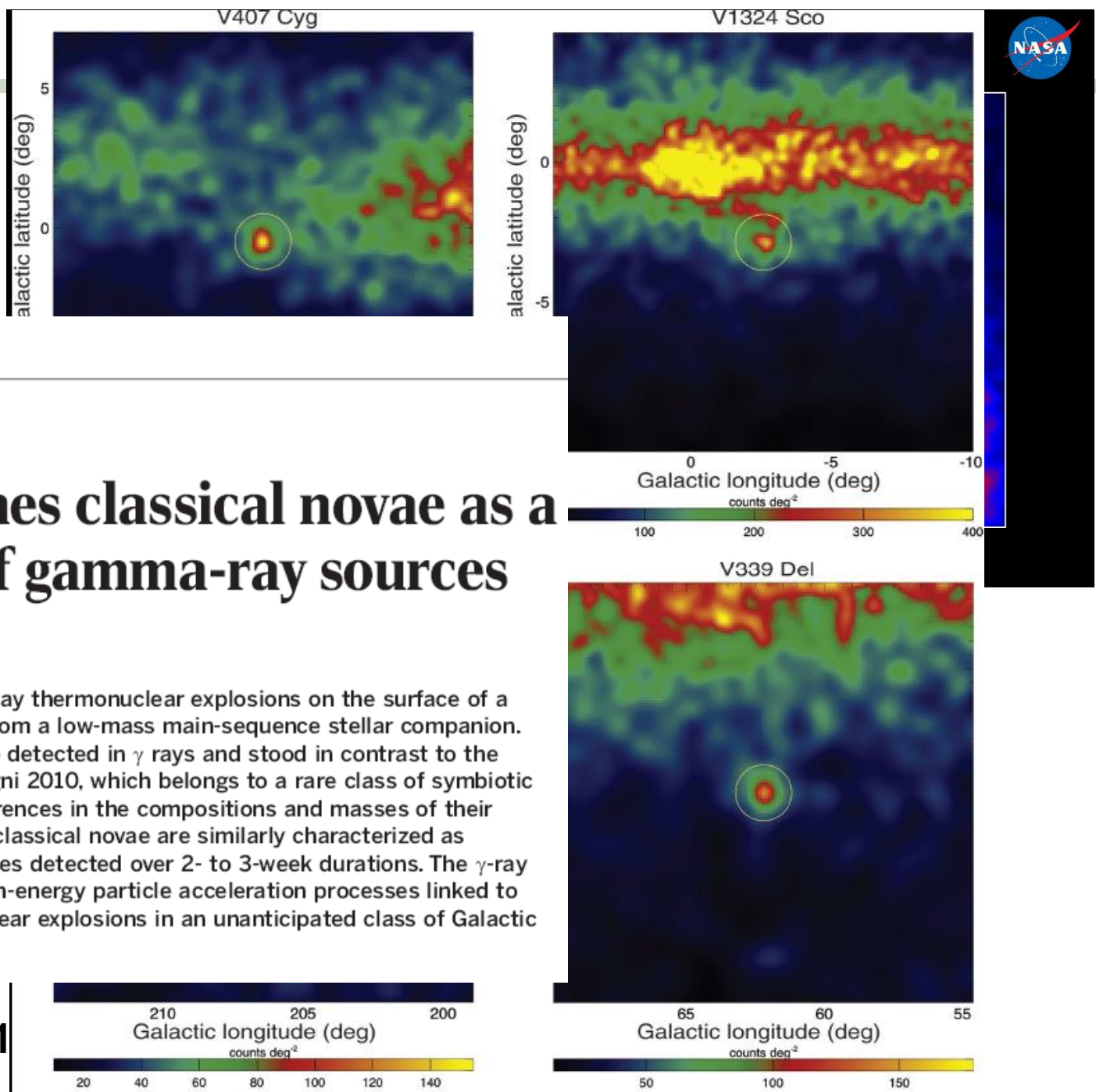
NOVAE

Fermi establishes classical novae as a distinct class of gamma-ray sources

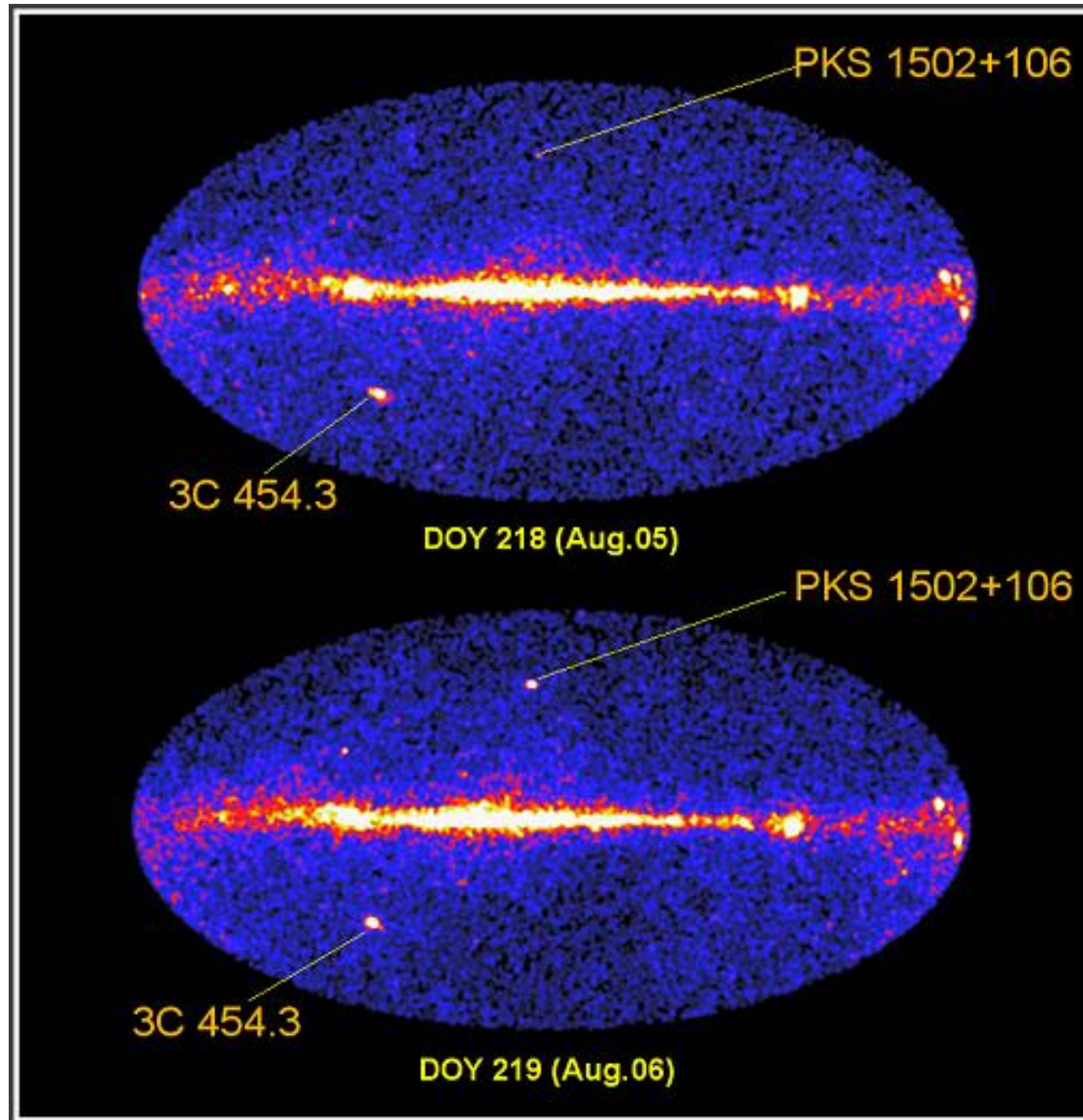
The Fermi-LAT Collaboration*†

A classical nova results from runaway thermonuclear explosions on the surface of a white dwarf that accretes matter from a low-mass main-sequence stellar companion. In 2012 and 2013, three novae were detected in γ rays and stood in contrast to the first γ -ray-detected nova V407 Cygni 2010, which belongs to a rare class of symbiotic binary systems. Despite likely differences in the compositions and masses of their white dwarf progenitors, the three classical novae are similarly characterized as soft-spectrum transient γ -ray sources detected over 2- to 3-week durations. The γ -ray detections point to unexpected high-energy particle acceleration processes linked to the mass ejection from thermonuclear explosions in an unanticipated class of Galactic γ -ray sources.

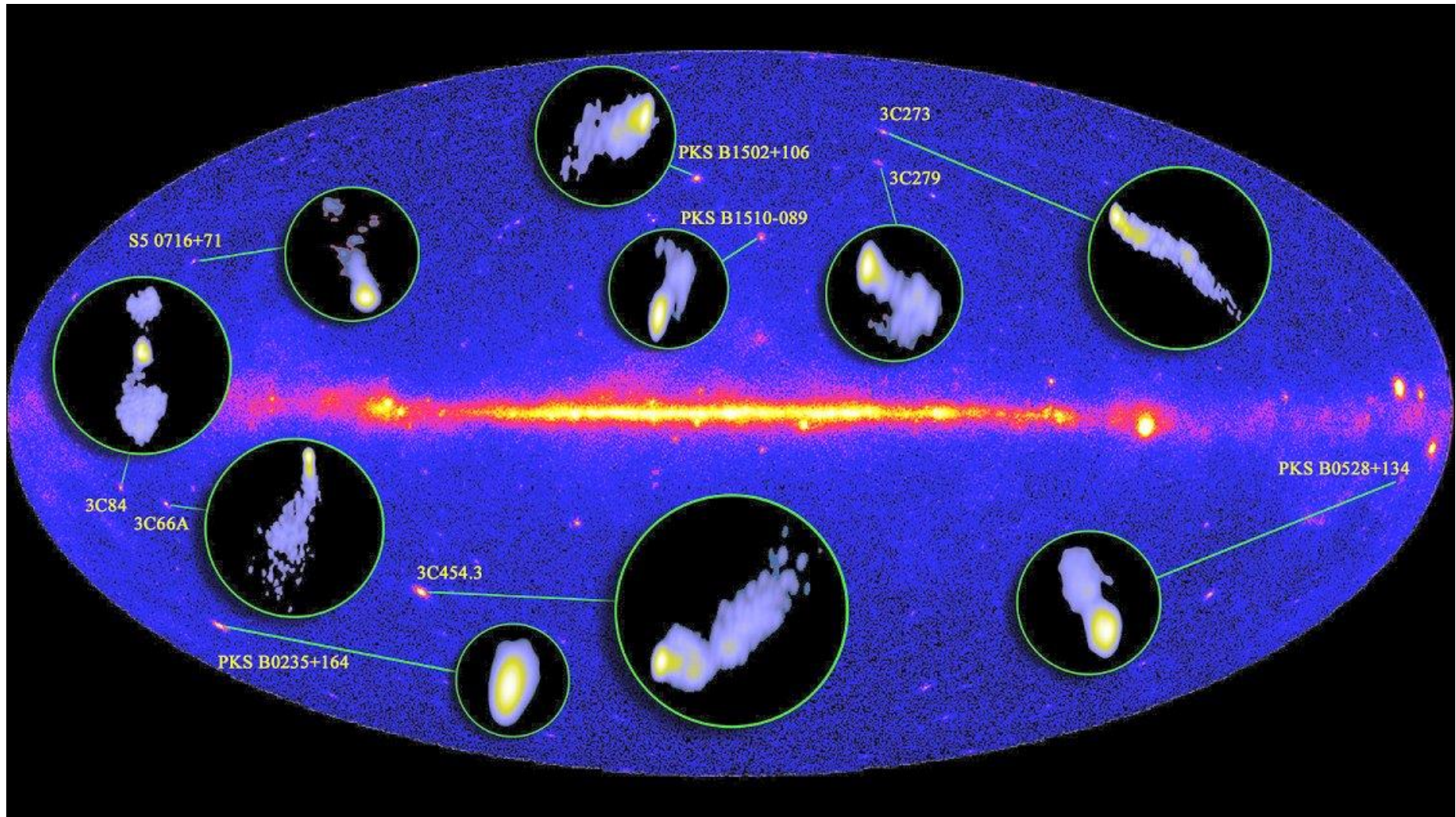
Science, Aug 1, 201



Flaring AGNs

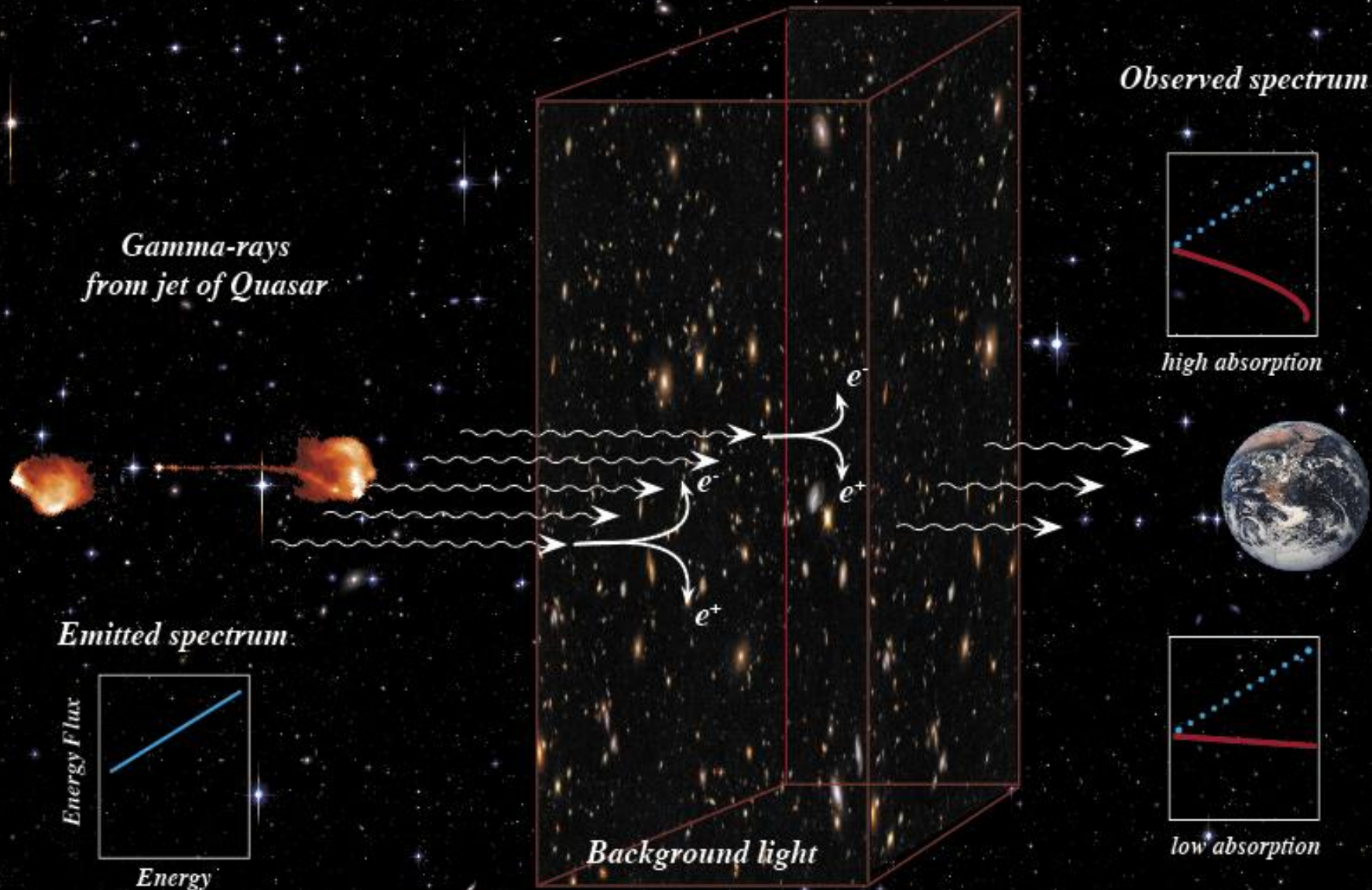


The Fermi catalog is dominated by AGNs....

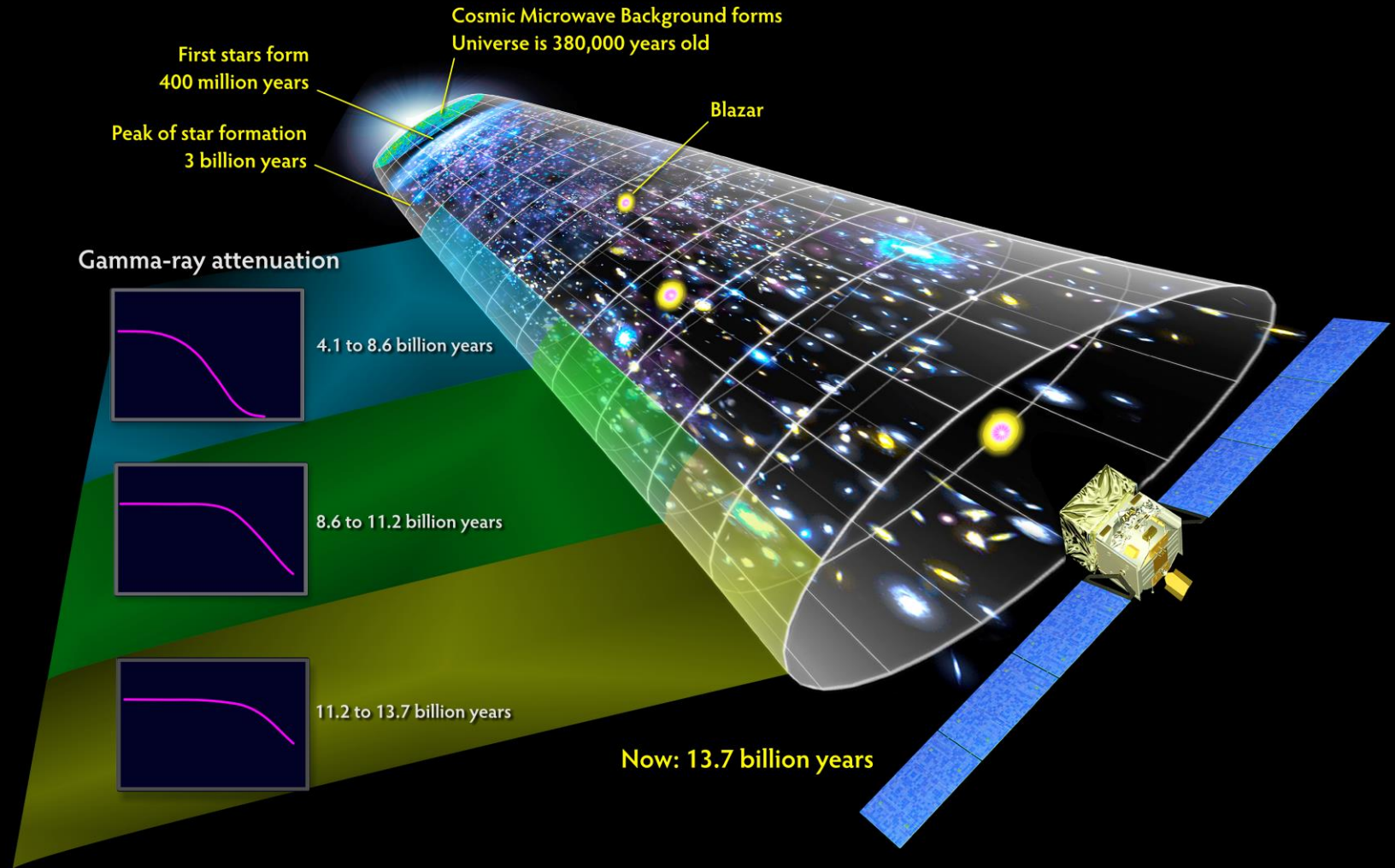


...but for their γ -rays our Universe is not transparent

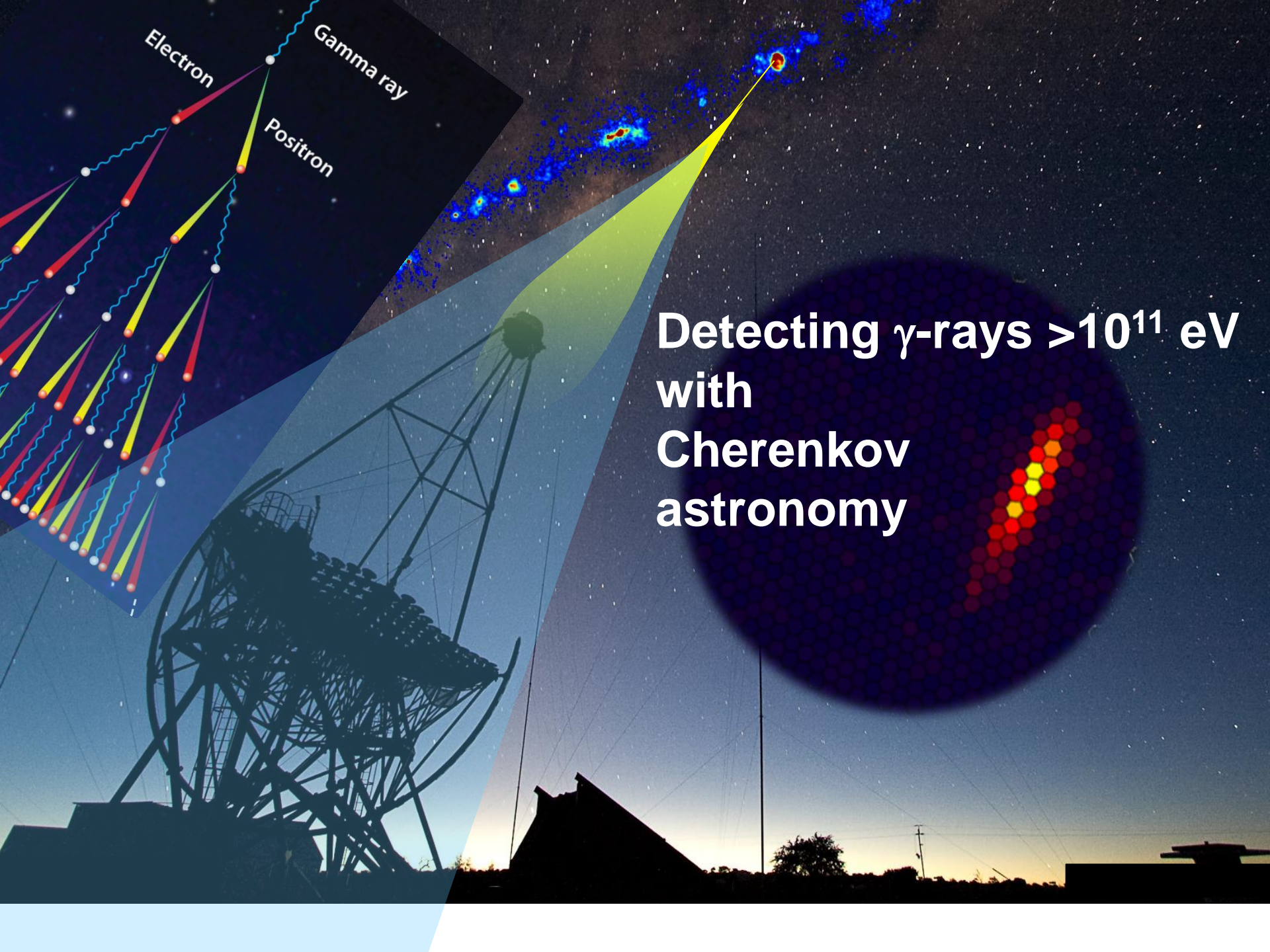
Intergalactic photon-photon absorption



AGNs are especially useful when unseen...



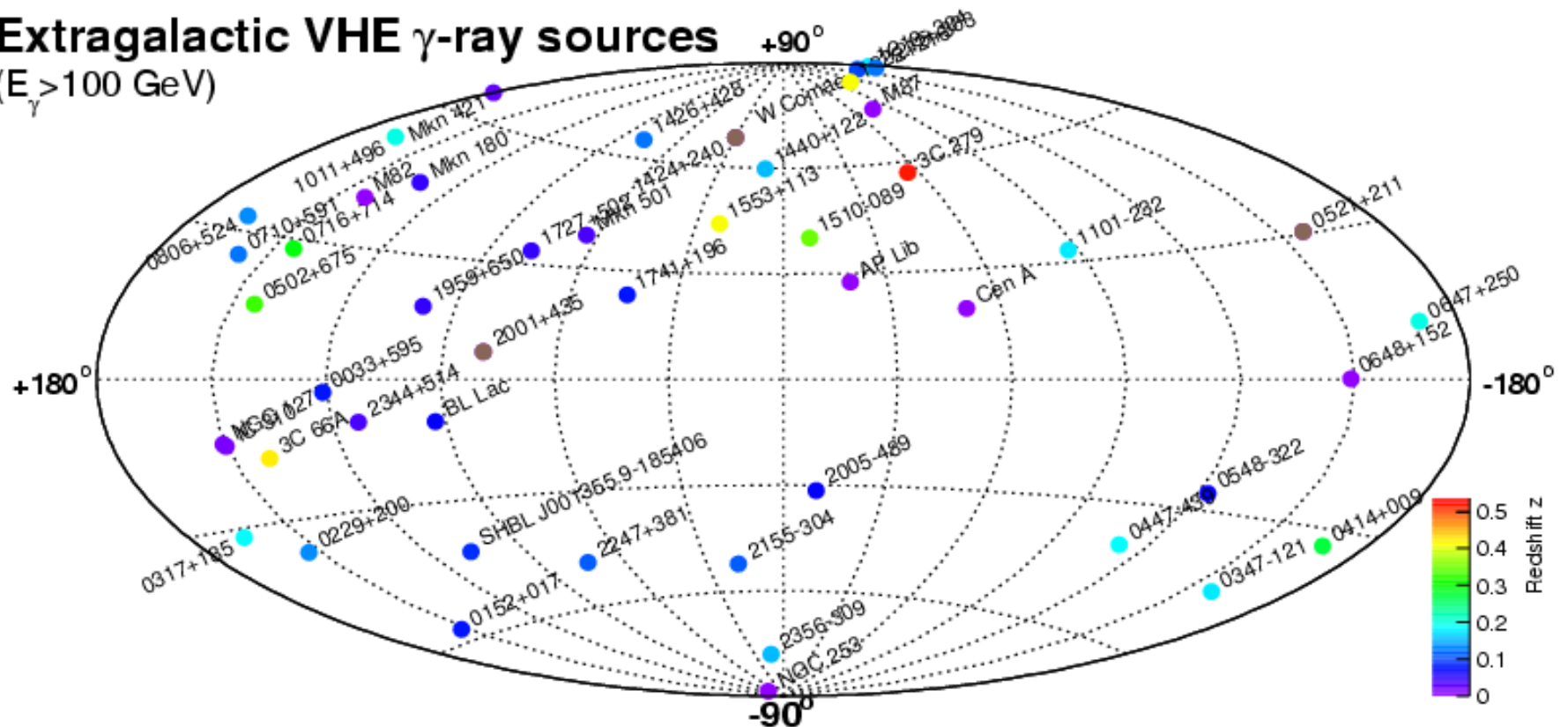
...and even more so at higher energies $>10^{12}\text{eV}$



**Detecting γ -rays $>10^{11}$ eV
with
Cherenkov
astronomy**

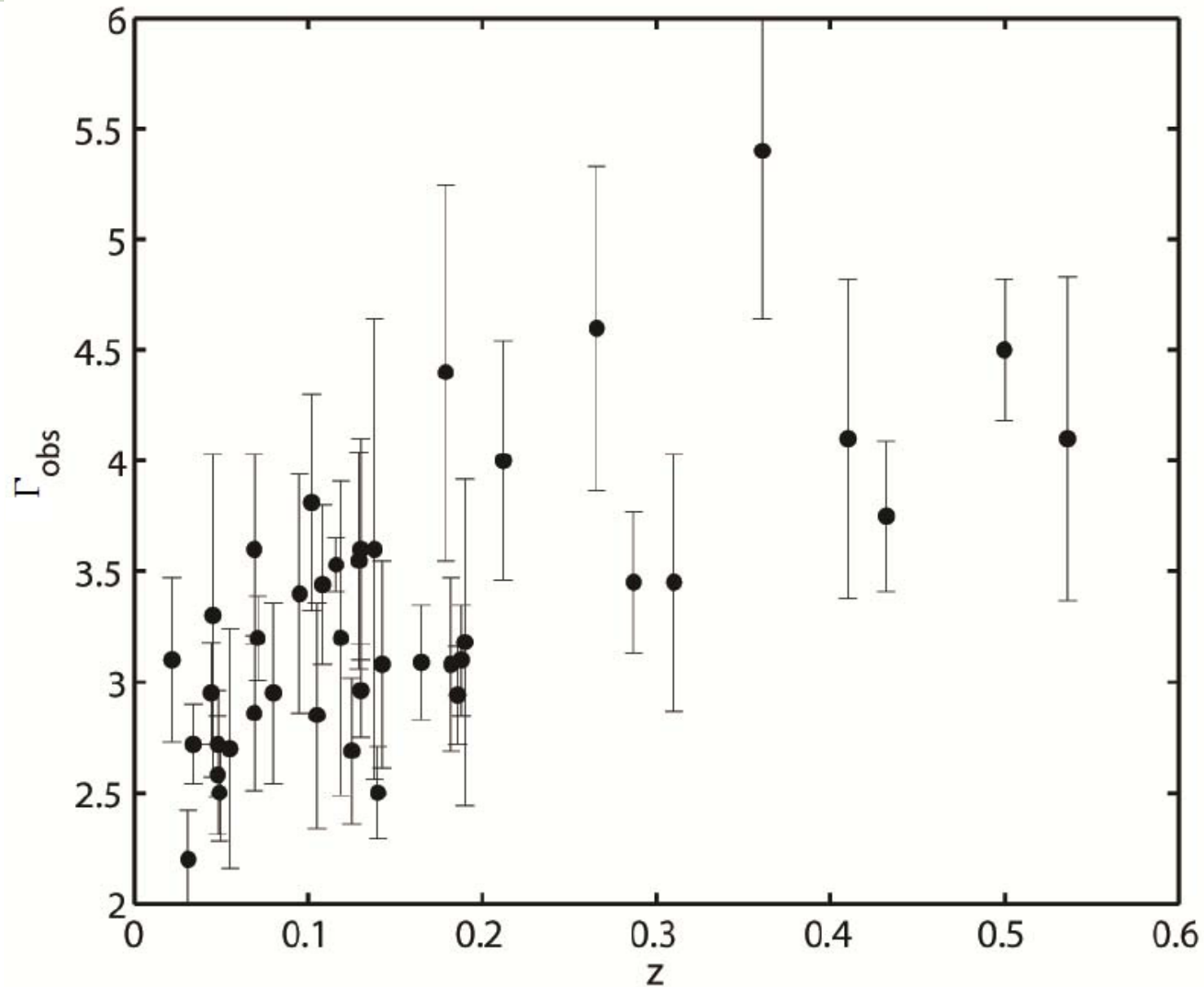
Extragalactic VHE γ -ray sources

($E_{\gamma} > 100$ GeV)

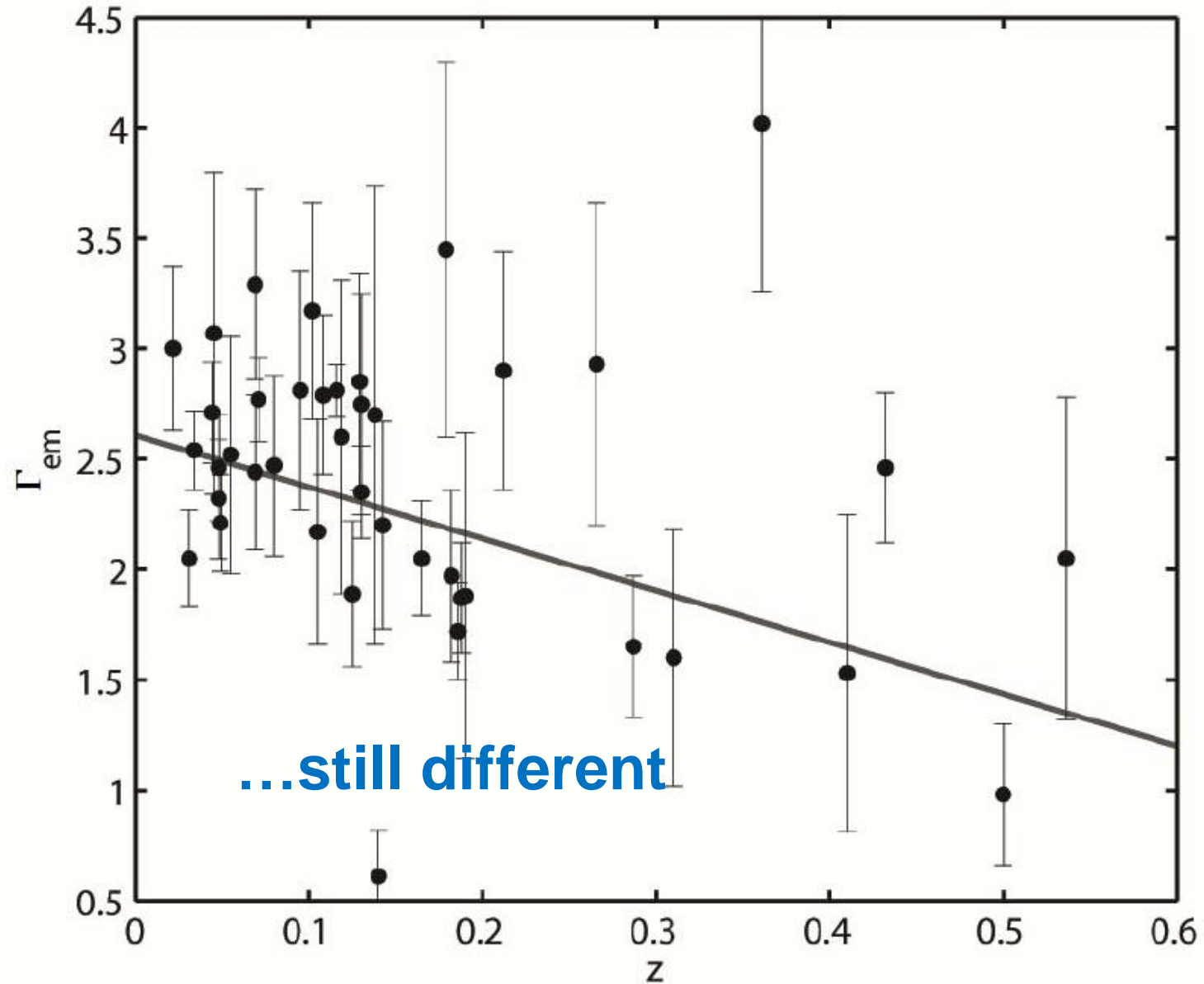


2011-11-20 - Up-to-date plot available at <http://www.mpp.mpg.de/~rwagner/sources/>

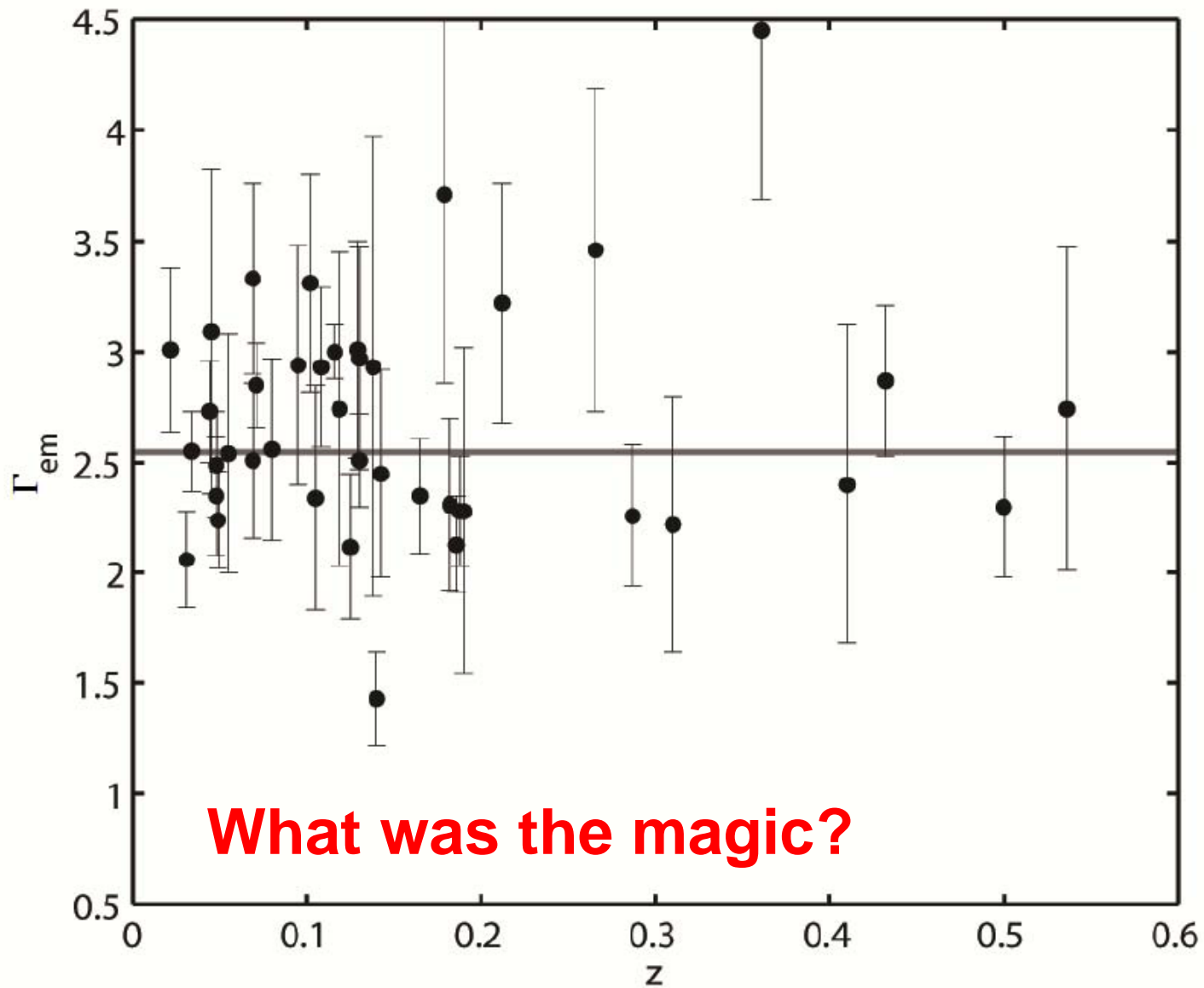
Are AGNs up to $z=0.6$ intrinsically different?



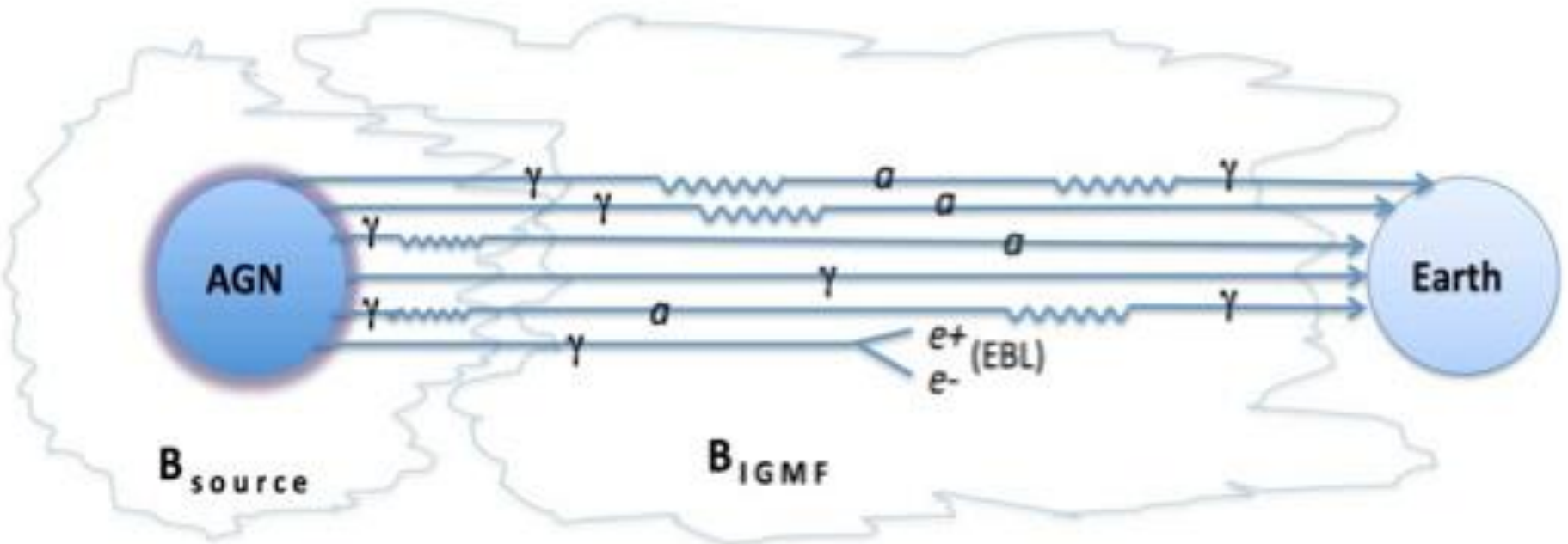
After EBL-induced absorption correction



This is a more «normal» picture.



A photon is a photon is an **axion** is a photon



See Roncadelli et al 2014 on ALPs

Science with the CTA:

- Low-energy γ high γ -ray rate, low light yield
→ require small ground area, large mirror area
- High-energy γ low γ -rate, high light yield
→ require large ground area, small mirror area

large telescopes
for lowest energies

~km² array of
medium-sized
telescopes

7 km² array of
small telescopes,

