

Dobardžić Aleksandra

Katedra za astronomiju, Matematički Fakultet, Univerzitet u Beogradu

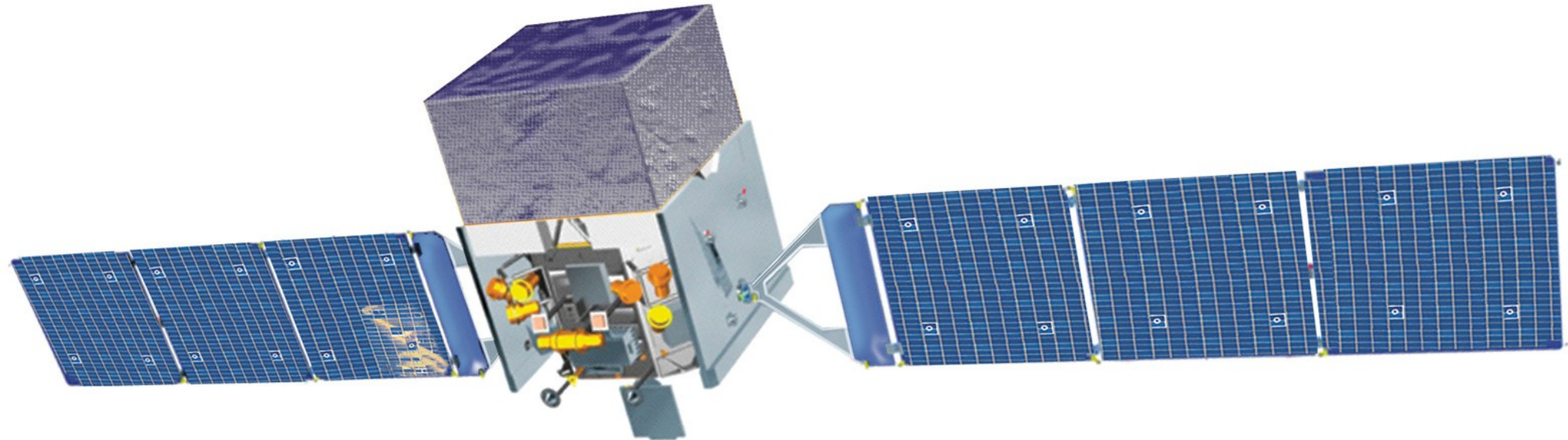
Prodanović Tijana

Departman za fiziku, Prirodno matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

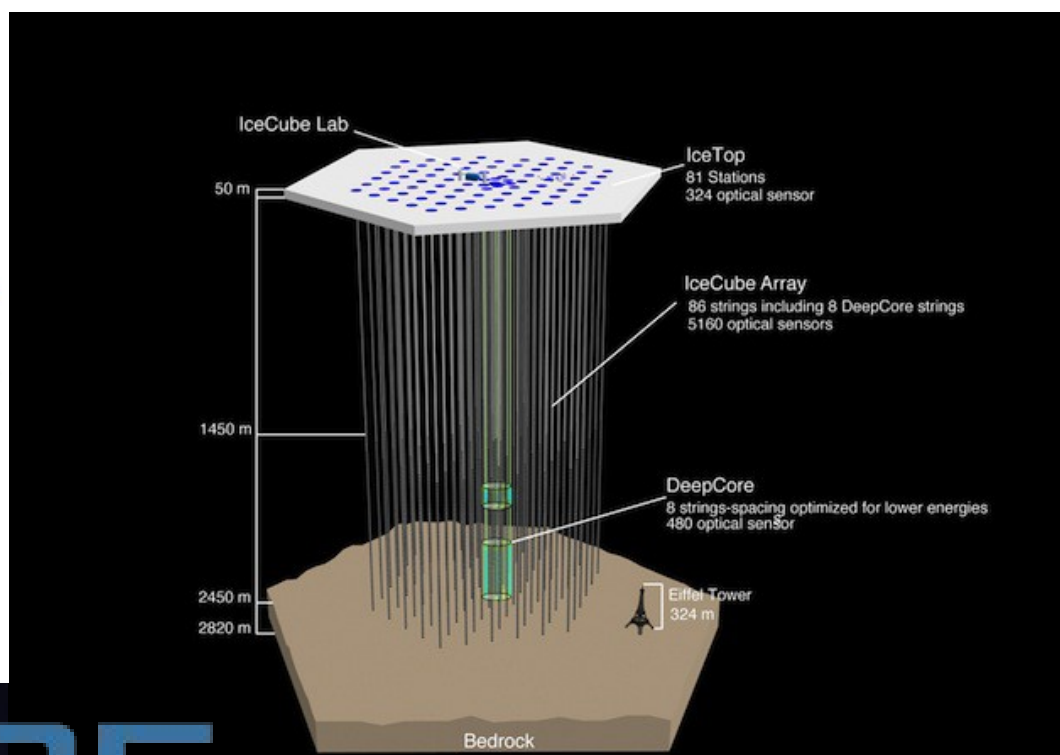
Neutrini i difuzna gama emisija struktura na velikim skalama

aleksandra@matf.bg.ac.rs





Fermi
Gamma-ray
Space Telescope



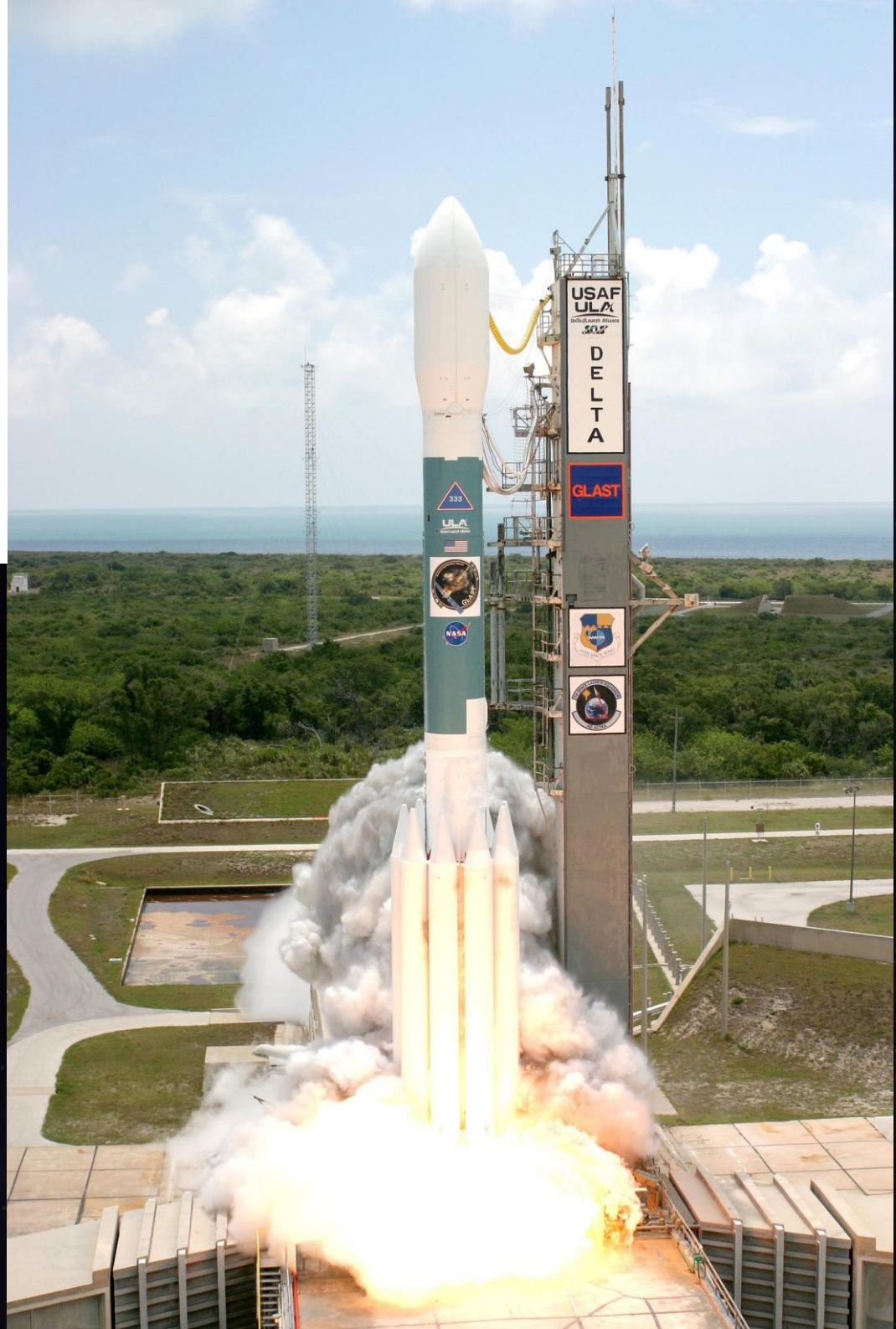
ICECUBE
SOUTH POLE NEUTRINO OBSERVATORY



fermi

Gamma-ray
Space Telescope

- Lansiran 11.6.2008.
- Očekivani radni vek 10+ godina
- Lansirala: NASA + US Department of Energy, Francuska, Nemačka, Italija, Japan, Švedska

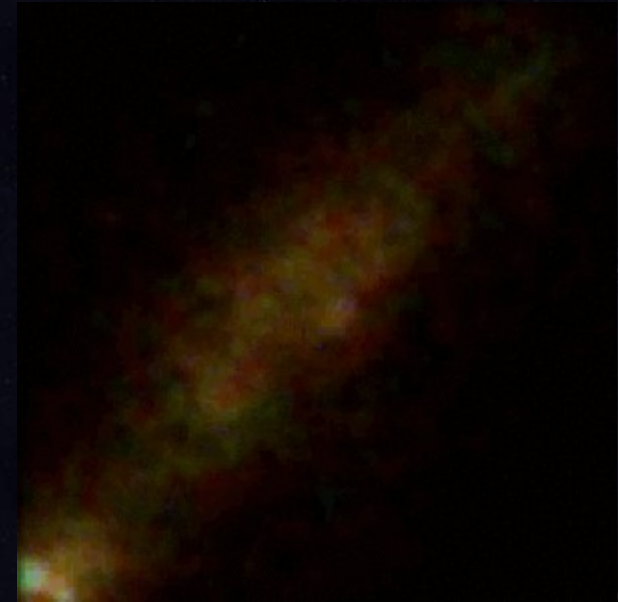




- Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST)
- Gamma-ray Burst Monitor (GBM) – gama bljeskovi
- Large Area Telescope (LAT) – AGN, pulsari, DM...
- Celo nebo pokrije u toku

2 orbite (~3h)

pulsar Vela

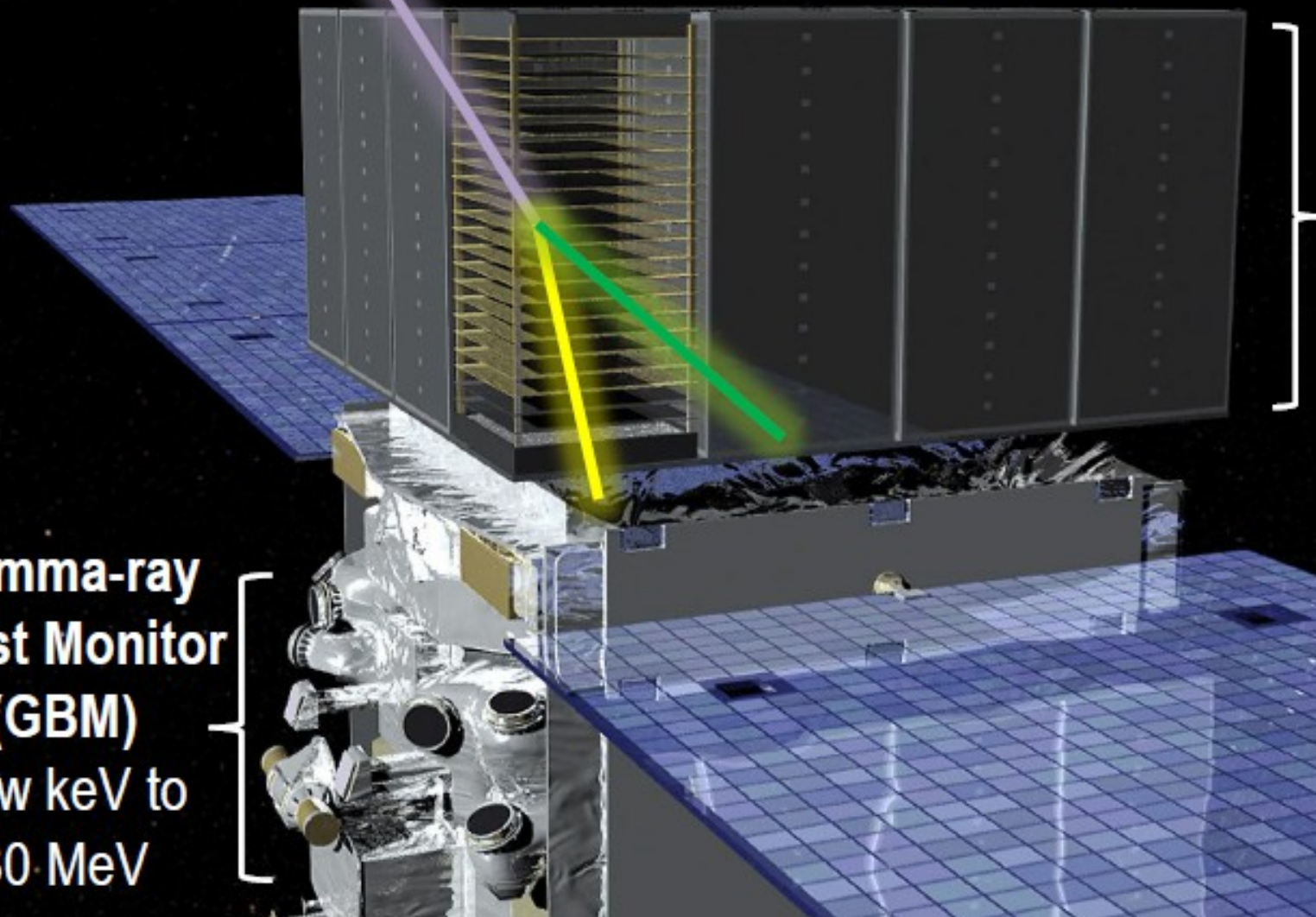




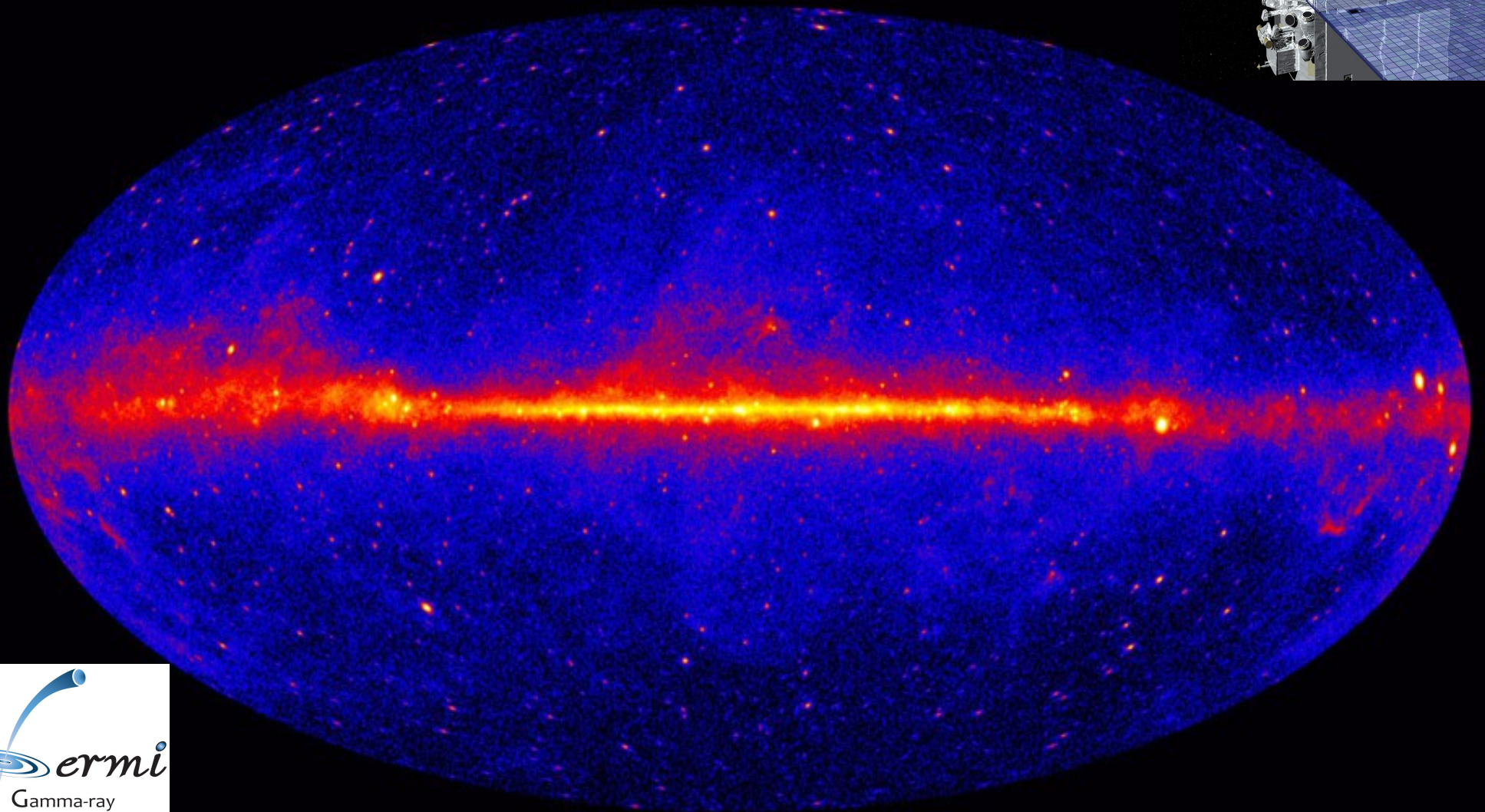
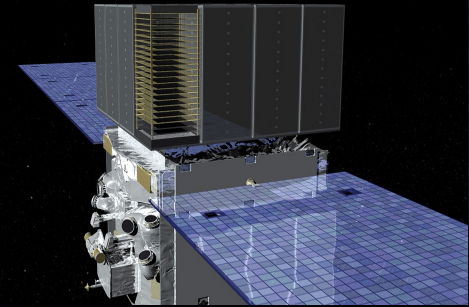
Fermi Gamma-ray Space Telescope (*Fermi*)

**Large Area
Telescope
(LAT)**
20 MeV to
>300 GeV

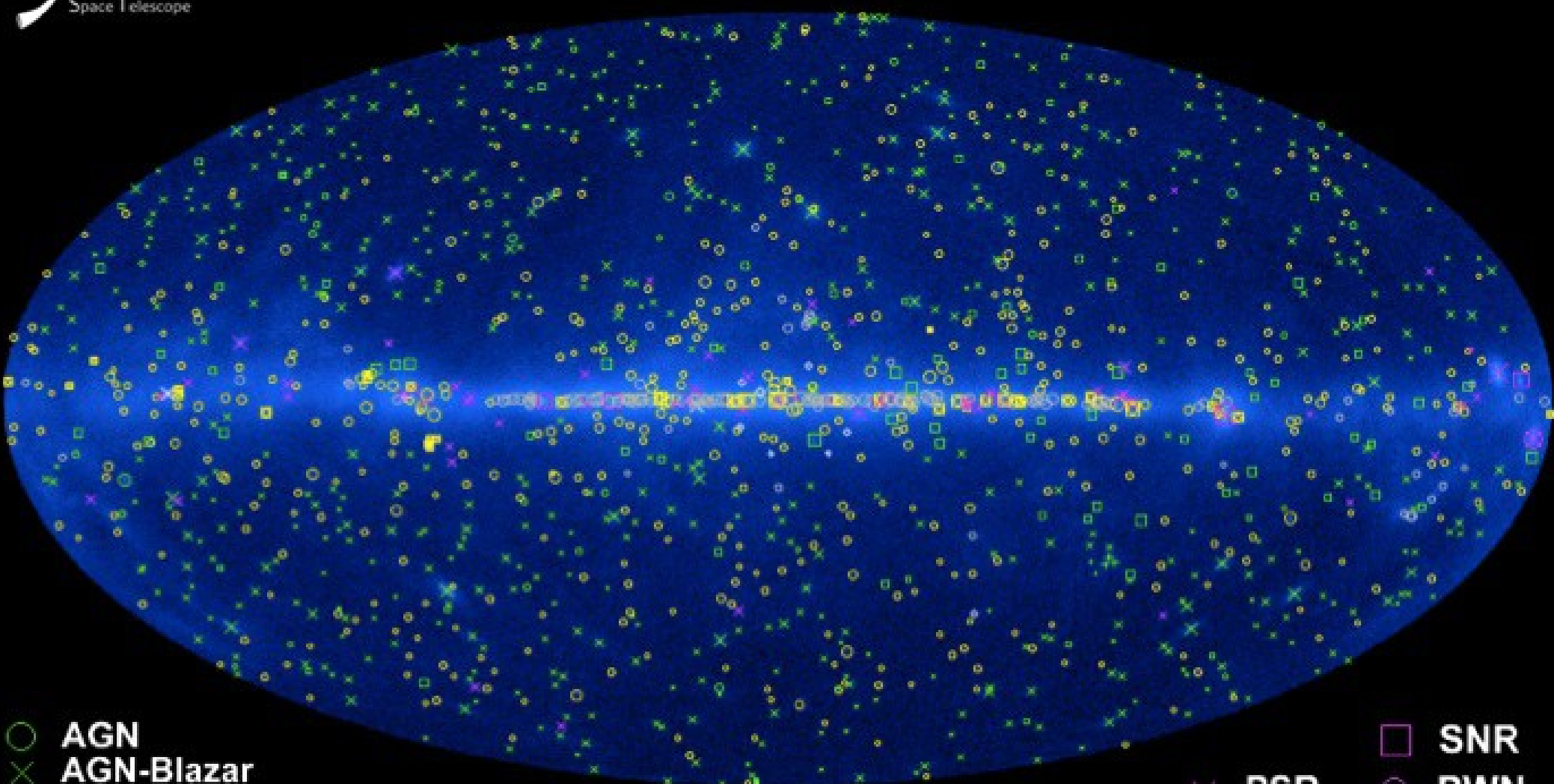
**Gamma-ray
Burst Monitor
(GBM)**
Few keV to
30 MeV



Fermy LAT mapa nakon 3 godine (8.2008. - 8.2011.)

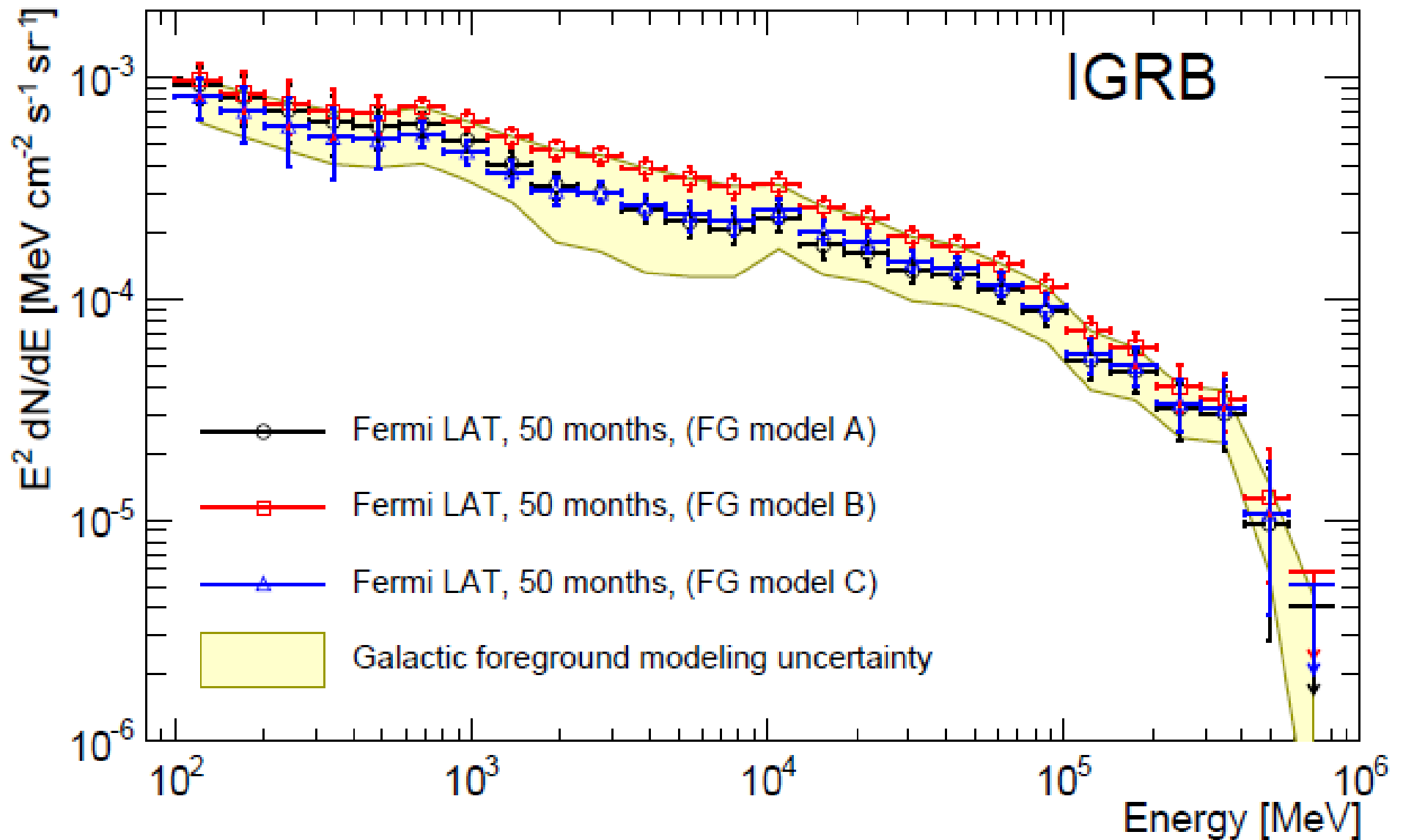


The Fermi LAT 1FGL Source Catalog



- | | |
|---|--------------------|
| ○ AGN | □ SNR |
| × AGN-Blazar | ○ PWN |
| □ AGN-Non Blazar | × PSR |
| ○ 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 | |

Fermi EGRB nakon 1 godine 0.2 – 102.4 GeV



Gama pozadina

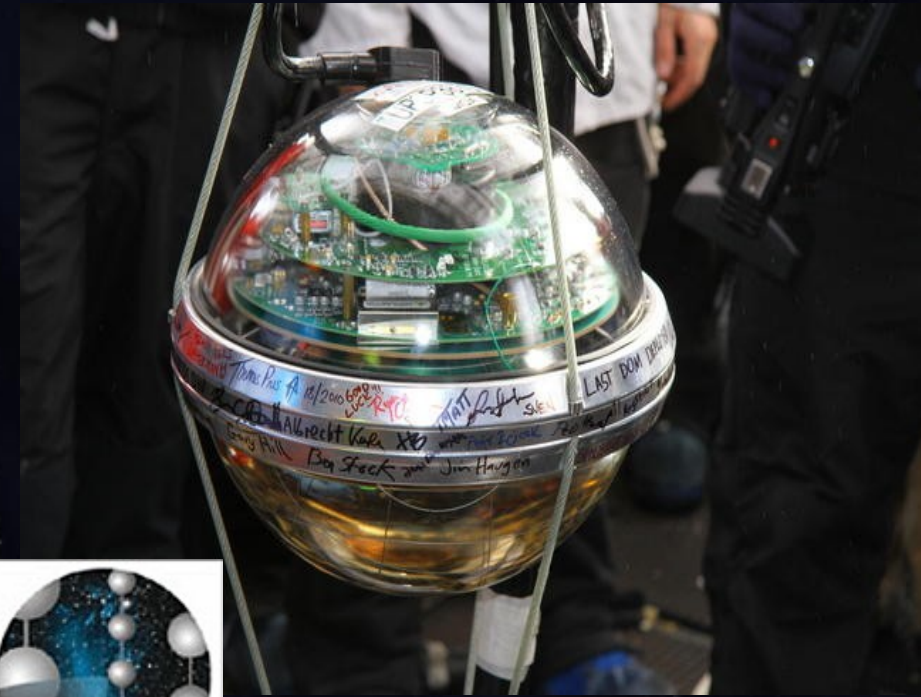
Extragalactic Gamma-Ray Background

EGRB

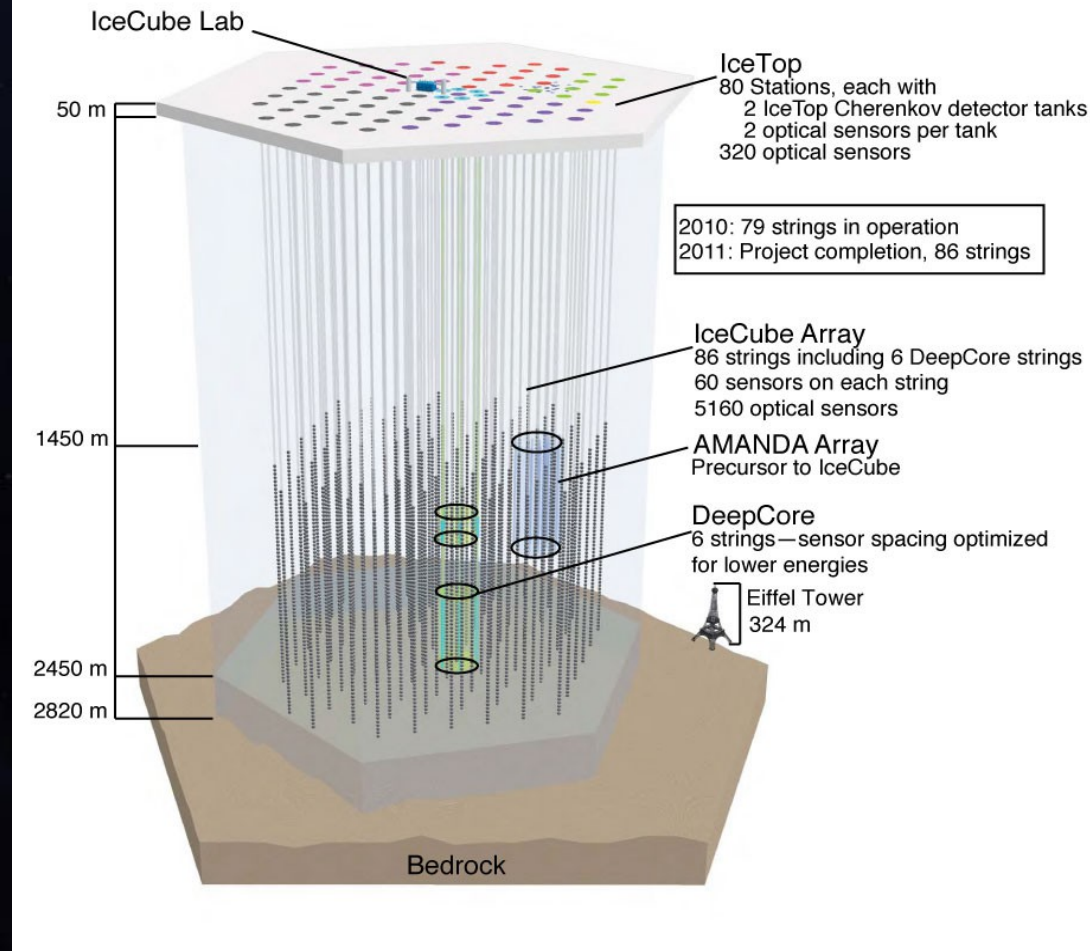
- OSO-3, SAS-2, EGRET, Fermi LAT - difuzna komponenta gamma zračenja.
- Šta doprinosi ovom zračenju?
- Blazari, pulsari, anihilacija tamne materije, gama kaskade, nerazlučene normalne galaksije (*Fields et al. 2010; Lacki et al. 2012*)...
- Još uvek je vrlo neizvesno šta sve doprinosi i u kolikoj meri.

IceCube

- Južni pol
- 1km³ leda, 1500m dubine
- Supernove,
gama bljeskovi,
ANG, DM...
- The National Science
Foundation (NSF) dao veći
deo novca
- University of Wisconsin
– Madison
- Izgradnja započela 2005.
- Završen 12. 2010.



- AMANDA je prethodnik, ugašena 5.2009.
- Fotomultiplikatori, Čerenkovljevi detektori
- Neutrino interaguje sa ledom i nastaje e , μ , τ koji ako su brži od svetlosti u ledu emituju Čerenkovljevo zračenje koje detektuju fotomultiplikatori
- Ako je mion detektovan i sa IceTop sigurno ne potiče od neutrina koji su uleteli u IceCube



- 37 detekcija
- 60 TeV – 3 PeV

Spektar E^{-2}

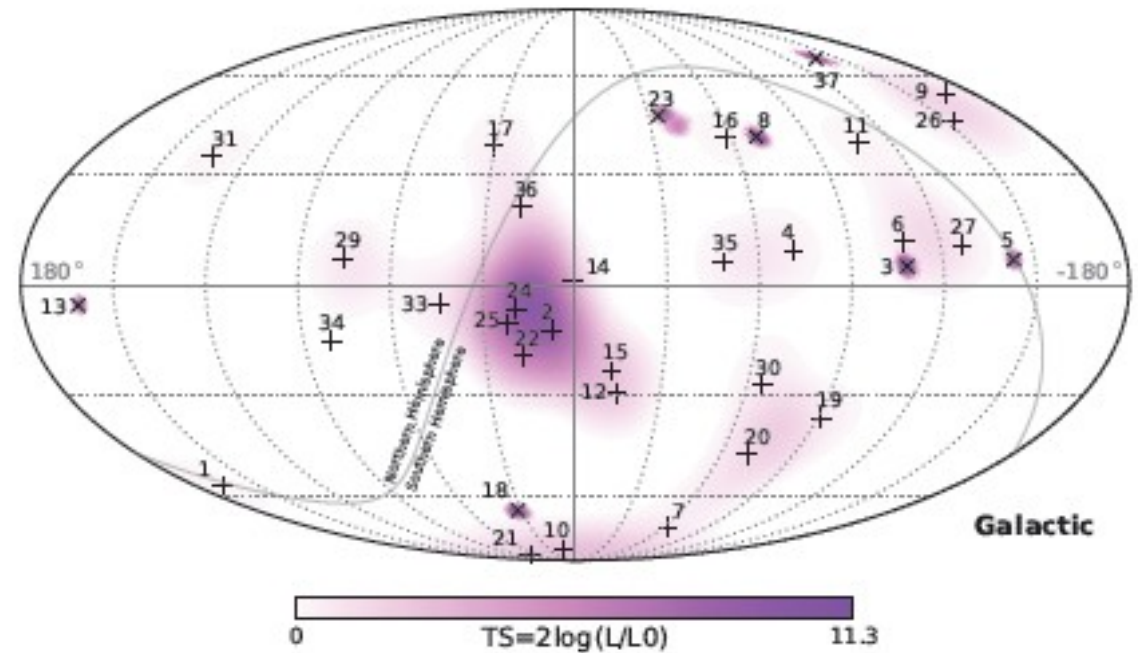
(Aartsen et al. 2014)

- Noviji spektar $E^{-2.46}$

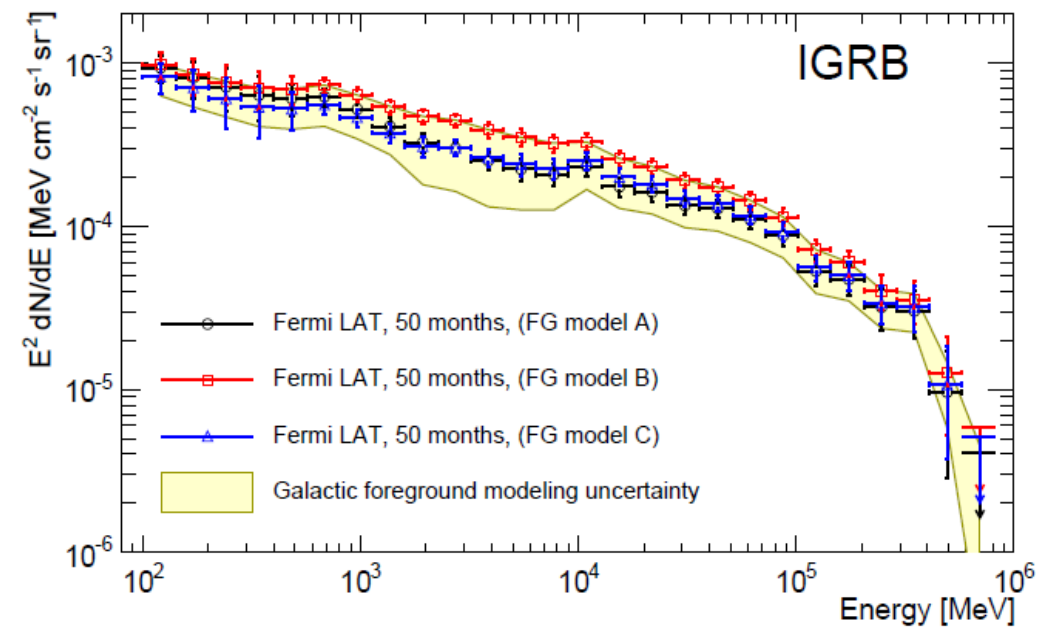
25 TeV – 1.4 PeV

(Aartsen et al. 2015)

- Izotropnost detekcija
- Nerazlučeni ili difuzni izvori?



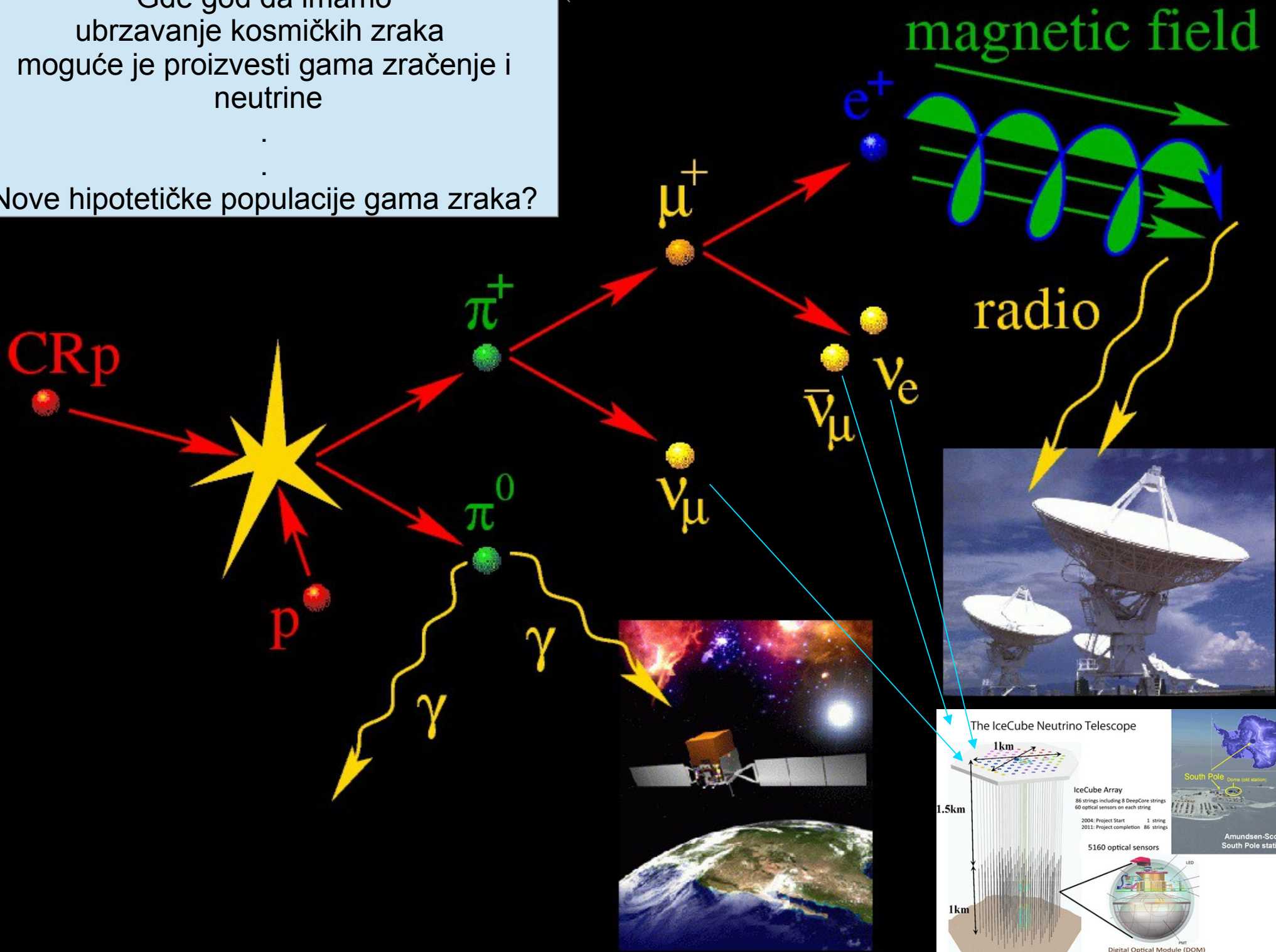
Veza sa gama pozadinom?



Gde god da imamo
ubrzanje kosmičkih zraka
moguće je proizvesti gama zračenje i
neutrino

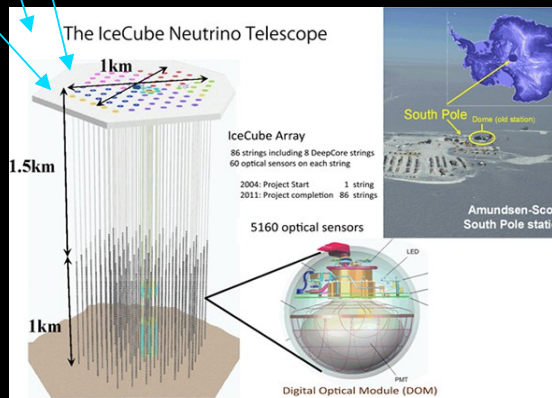
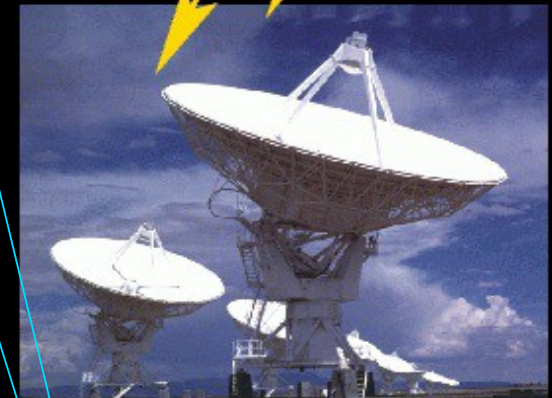
·
·

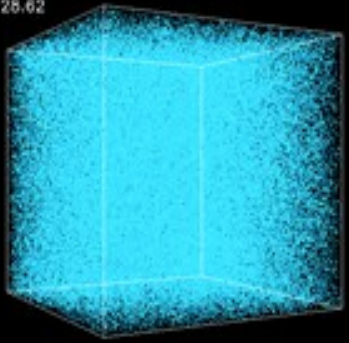
Nove hipotetičke populacije gama zraka?



magnetic field

radio



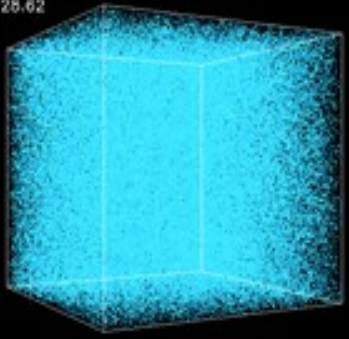


Kosmološki kosmički zraci (SFCR)

- Prilikom formiranja velikih struktura u kosmosu dolazi do stvaranja udarnih talasa veoma velikih dimenzija.
 - Akrecija međugalaktičkog gasa na virijalizovane strukture (*accretion shocks*)
 - Spajanje više struktura (*merger shocks*)
 - Akrecija materije na filamente



Akrecioni udarni talasi



Kosmološki kosmički zraci

- Kosmološki kosmički zraci – i dalje hipotetički
- Akrecioni udarni talasi i njihova evolucija (*Pavlidou & Fields 2006.*)



3 Modela

- Model 1 - Svi objekti prilikom akrecije privlače barione uniformne gustine i temperature.

Na određenom crvenom pomaku svi objekti sa istom masom će imati isti Mah broj i kroz udarne talase takvih objekata prolaziće ista količina materije u jedinici vremena.

Modeli evolucije akrecionih udarnih talasa

- Model 2 - Okolina u kojoj se akretori nalaze ima različite gustine što izazivaja (zbog varijacija u primordijalnoj raspodeli gustine) i varijacije u temperaturi materije koja još nije prošla kroz udarni talas.
- Model 3 – Model 2 + efekti filamenta koji su već zagrejani i zgusnuti.

Mnoge od struktura, koje stvaraju udarne talase, već se nalaze u okviru nekog filameta, tako da je materija koja akrecijom pada na ove objekte već jednom prošla kroz udarni talas i pri tome se kompresovala i zagrejala.

Kosmološki kosmički zraci

- Spektralni oblik

(Pfrommer et.al. 2003.)

$$\Gamma(z) = C \left[\left(\frac{2 E_\gamma (1+z)}{m_{\pi^0}} \right)^{\delta_\gamma} + \left(\frac{2 E_\gamma (1+z)}{m_{\pi^0}} \right)^{-\delta_\gamma} \right]^{-\alpha_\gamma / \delta_\gamma}$$

- Spektralni indeks α

– parametar

- Simetričan oko

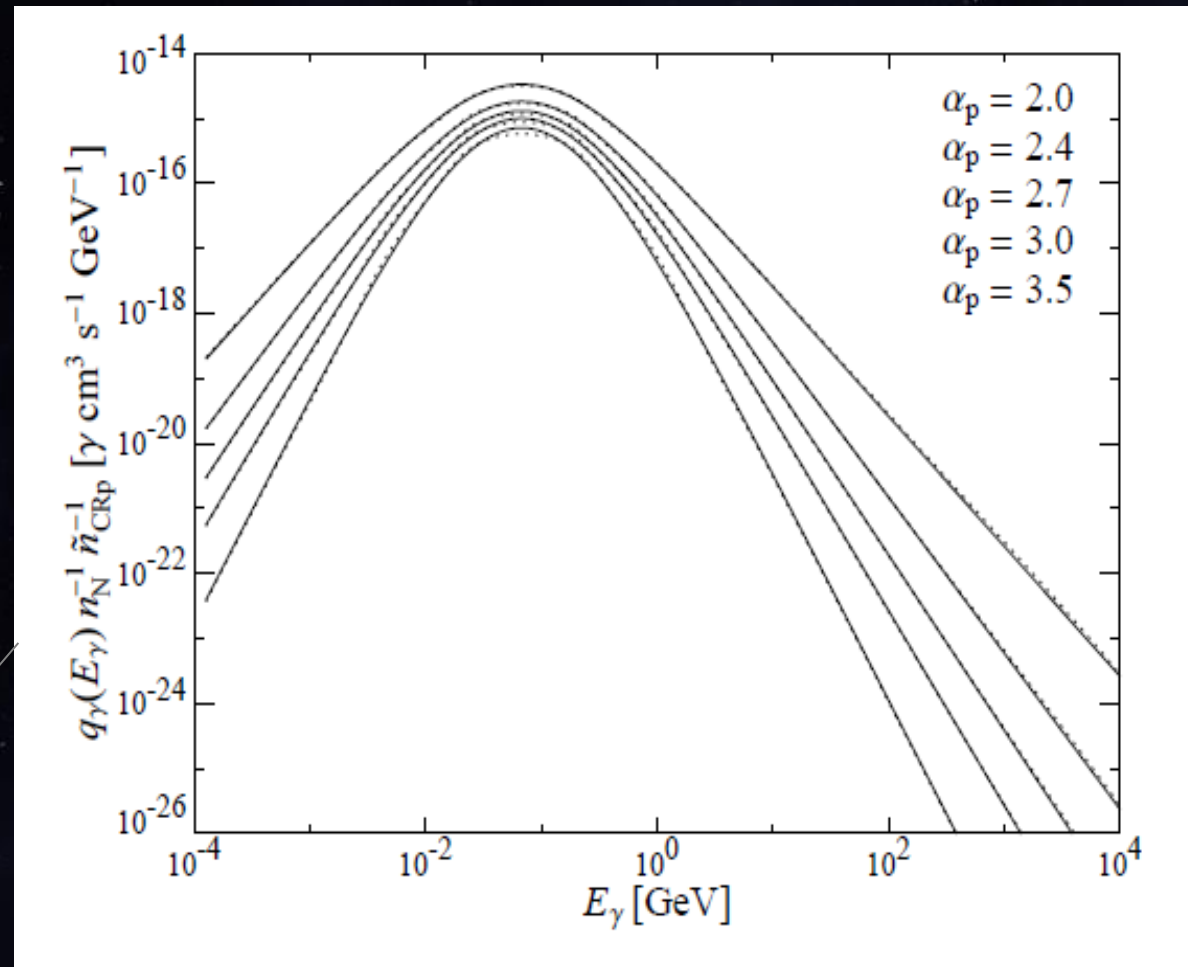
polovine mase

mirovanja piona.

$L \propto$ masa gasa *

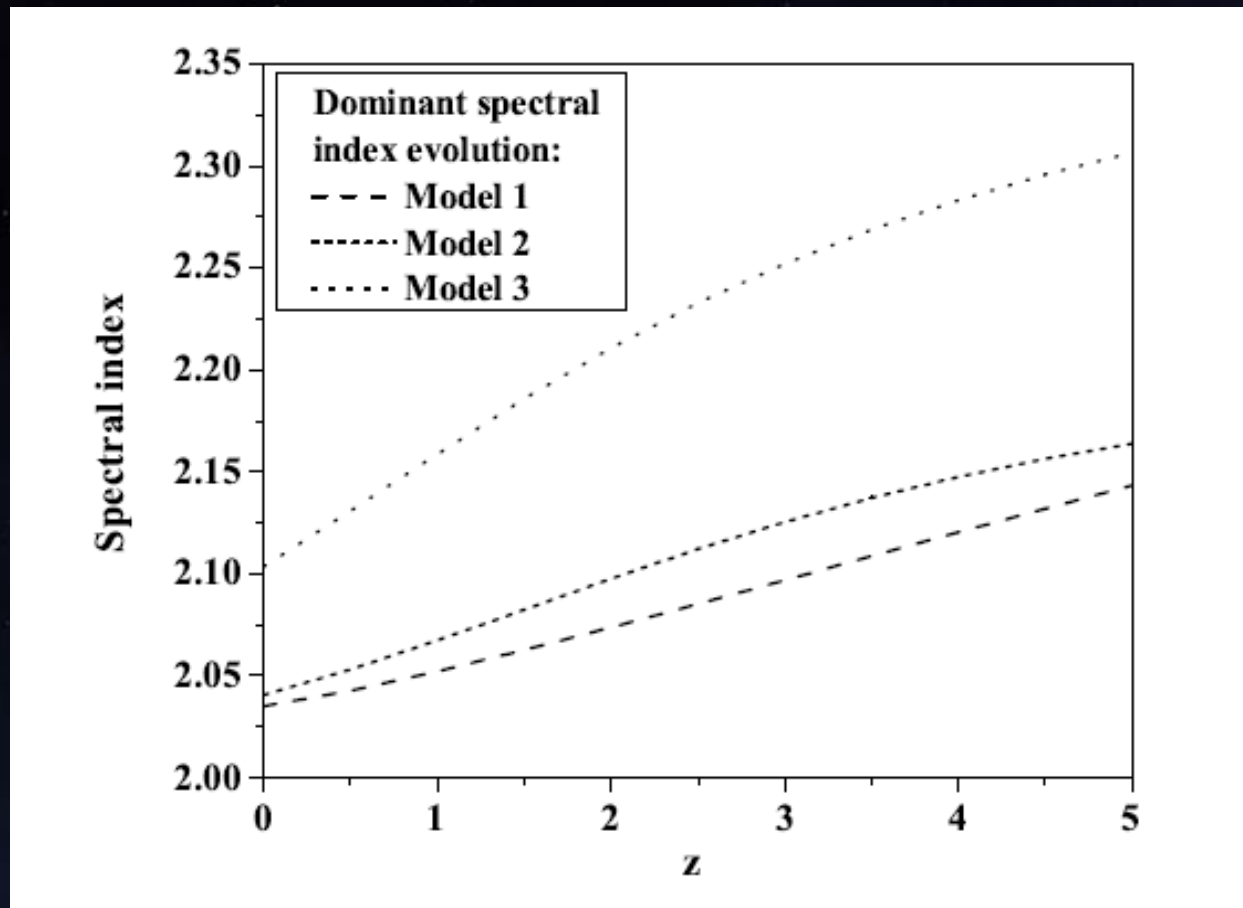
stopa proizvodnje CR *

spektar



Spektralni indeksi

- Jaki udarni talasi
- Uzimamo spektralni indeks kao parametar



Formalizam

- Diferencijalni intenzitet gama zračenja [$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1} \text{sr}^{-1}$]

$$\frac{dI_E}{d\Omega} = \frac{c}{4\pi H_0} \int \frac{\dot{n}_{\gamma, \text{com}}[z, (1+z)E]}{\sqrt{\Omega_\Lambda + \Omega_m(1+z)^3}} dz$$

diferencijalna kopokretna gustina emisivnosti
gama zračenja

Formalizam

gama luminoznost objekta sa Mah brojem M i na crvenom pomaku z

$$\dot{n}_{\gamma,\text{com}}(z, E) = \int L_{\gamma}(\mathcal{M}, z) dn_c/d\mathcal{M} d\mathcal{M}$$

Stopa akrecije na udarnom talasu sa Mah brojem M i na crvenom pomaku z

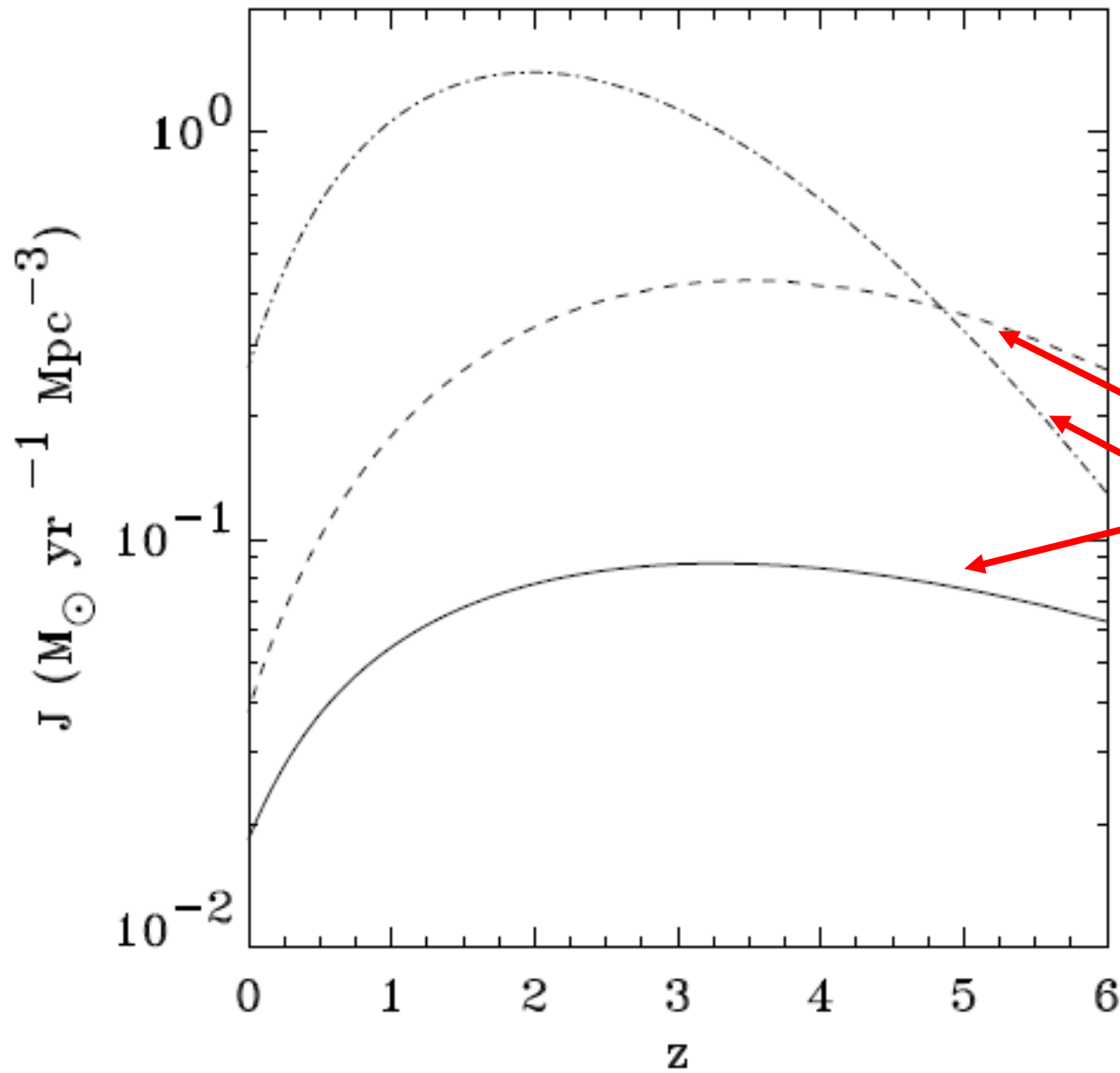
$$L_{\gamma}(\mathcal{M}, z) = \frac{J_1(z, \mathcal{M})}{J_0} \frac{M_g(z, \mathcal{M})}{M_{g,0}} L_{\gamma,0}$$

$$\dot{n}_{\gamma,\text{com}}(z, E) = L_{\gamma,0} [(1+z)E] \frac{\dot{\rho}_{\text{sf}}(z)}{J_0(z_0)} \frac{M_{\text{gas}}(z)}{M_{\text{gas}}(z_0)}$$

masa gasa u

objektu koji proizvodi udarni talas sa Mah brojem M na crvenom pomaku z stopa akrecije

Stopa akrecije



(Pavlidou & Fields 2006.)

Model 1

Model 2

Model 3

Formalizam

$$\frac{M_{\text{gas,acc}}(z)}{M_{\text{gas,acc}}(z_0)} = \frac{\int_{z_{\text{vir}}}^z dz (dt/dz) \dot{\rho}_{\text{sf}}(z)}{\int_{z_{\text{vir}}}^{z_0} dz (dt/dz) \dot{\rho}_{\text{sf}}(z)}$$

$$L \sim C \Gamma$$

$$\frac{dI_E}{d\Omega} = \frac{c}{4\pi H_0 J_0(z_0)} \int_0^{z_{\text{vir}}} dz \frac{\dot{\rho}_{\text{sf}}(z) L_{\gamma,0} [(1+z)E]}{\sqrt{\Omega_\Lambda + \Omega_m (1+z)^3}} \times \left[\frac{\epsilon}{\epsilon + 1} + (\epsilon + 1)^{-1} \frac{\int_{z_{\text{vir}}}^z dz (dt/dz) \dot{\rho}_{\text{sf}}(z)}{\int_{z_{\text{vir}}}^{z_0} dz (dt/dz) \dot{\rho}_{\text{sf}}(z)} \right]$$

inicijalni udeo gasa

Normalizacija – jata galaksija

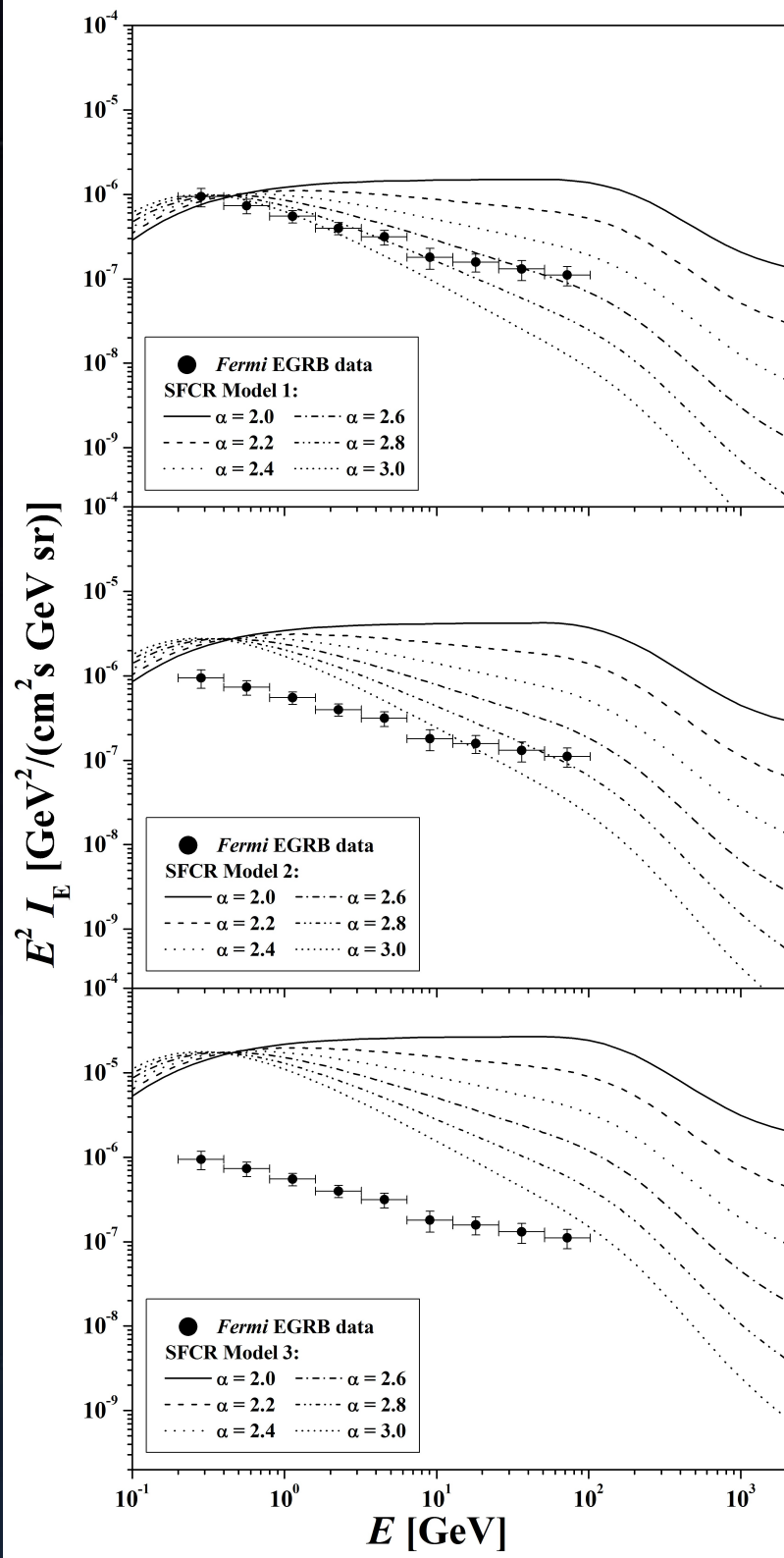
- Ovaj tip kosmičkih zraka očekujemo u jatima galaksija.
- Jata galaksija nisu do sad detektovana u gama oblasti.
- Imamo samo gornje granice za njihove flukseve (Fermi).
- Jato Koma za normalizaciju

(Ackermann et al. 2010.)

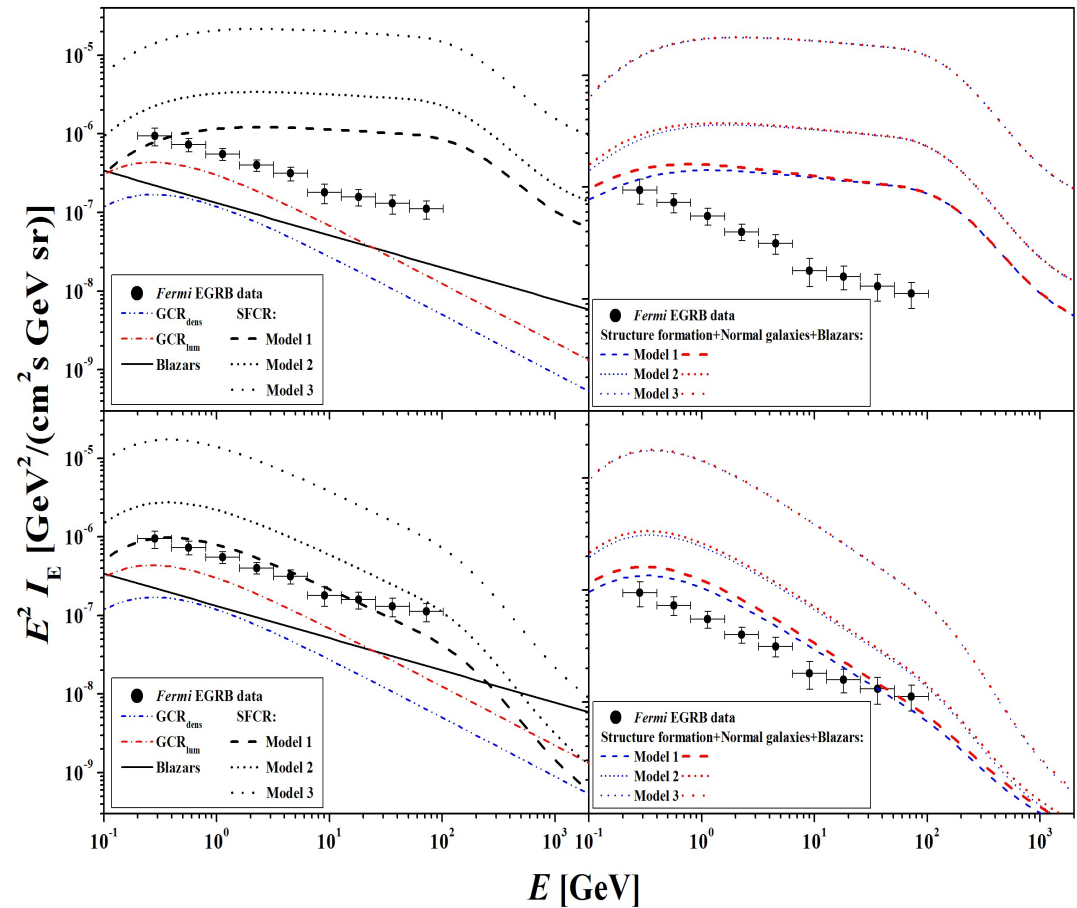
$$F_{\gamma,0} = 4.58 \times 10^{-9} \text{ phot cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



Dobijeni spektri



Dobardžić & Prodanović 2014, ApJ, 782, 109



EBL-Extragalactic Background Light

- EBL -fotoni od UV do IC od zvezda, ili fotoni koji su apsorbovani i reemitovano od strane prašine u galaksijama.
- Atenuacija fotona energija većih od 100 GeV.
- Bitno kod izvora sa tvrdim spektrom.
- Gama zranci visokih energija + EBL – e^+e^- parovi koji rasejavaju EBL fotone (inverznim Komptonom) na veće energije i proizvode sekundarno (kaskadno) gama zračenje.
- Modeli za EBL - Gilmore et al. 2012.

Veza gama zranci - neutrini

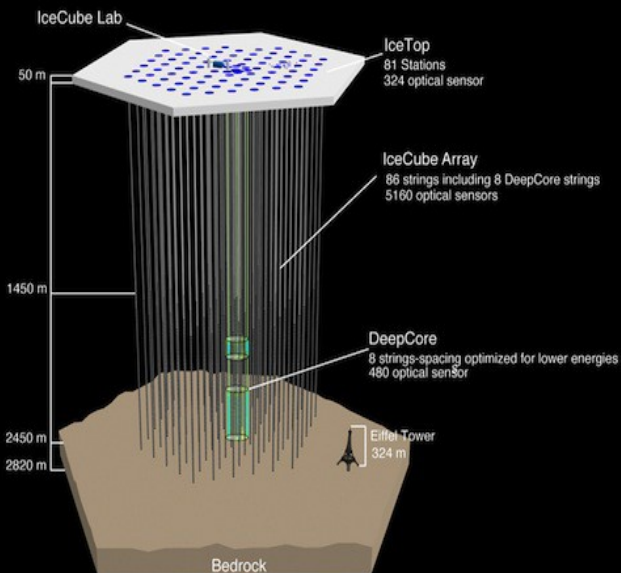
$$p_{cr} + p_{ism} \rightarrow p + p + \pi^0$$

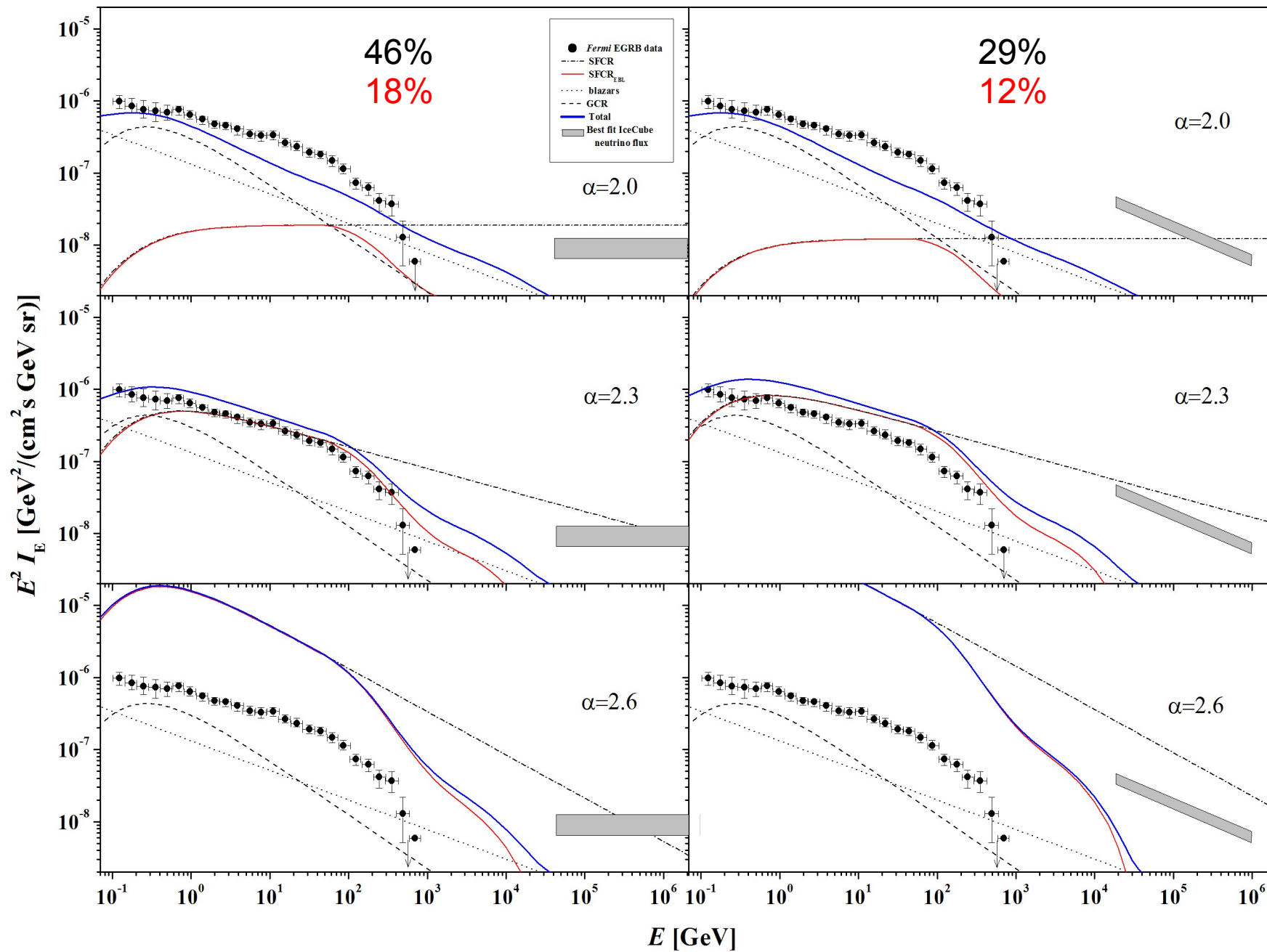
$$p_{cr} + p_{ism} \rightarrow p + p + \pi^+$$

$$p_{cr} + p_{ism} \rightarrow p + p + \pi^-$$

$$\pi^+ \rightarrow \nu_\mu \bar{\nu}_\mu \nu_e e^+, \quad \pi^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu \nu_\mu \bar{\nu}_e e^-$$

$$E^2 I_\gamma(E) \simeq 2E^2 I_{\nu_i}(E) = \frac{2}{3} E^2 I_\nu(E)$$



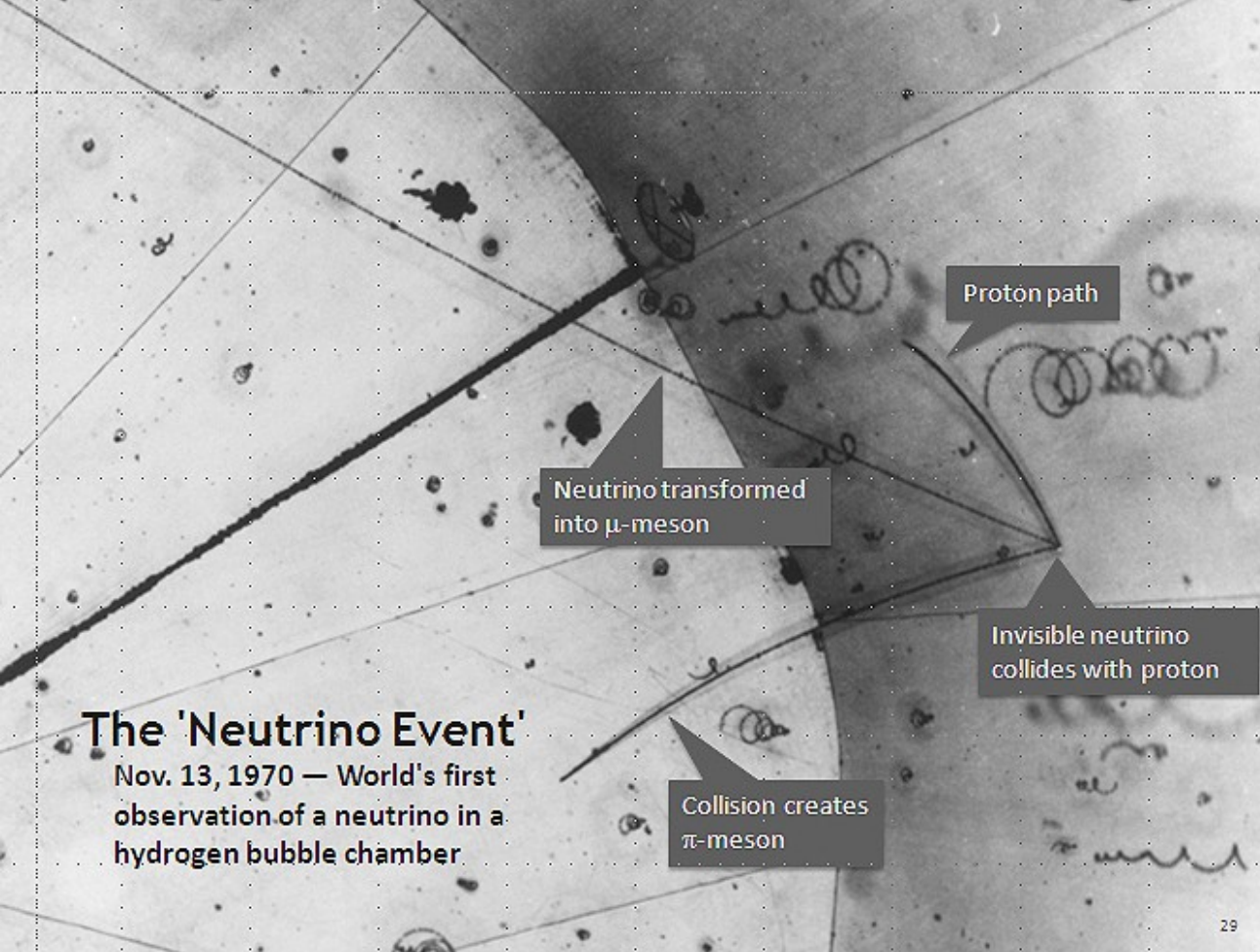


Efikasnos ubrzavanja čestica

- Deo energije udarnog talasa koji se preda kosmičkim zracima
- $\eta = \text{LSFCR} / P_0$
- LSFCR – iz spektra nakon normiranja na neutrine
- P_0 – iz modela za akrecione udarne talase
- Za jake udarne talase, Mah broj oko 10, dobijamo efikasnost od oko 1% (očekivano je oko 20%)
- Za slabije, Mah broj oko 5, 40% (očekivano oko 10%)
- Normiramo na visokim energijama, dok je veći deo energije CR na nižim energijama.

Zaključak

- Kosmološki kosmički zraci mogu značajno da doprinesu gama pozadini, posebno na višim energijama.
- Prvi put dobijen evoluiran spektar kosmoloških kosmičkih zraka (*Dobardžić & Prodanović 2014*)
- Problem normalizacije – Koma je bogato jato
- Neutrini se lako povezuju sama gama zračenjem, pa se mogu iskoristiti za normalizaciju.
- SFCR doprinose max oko 50% gama pozadini



The 'Neutrino Event'

Nov. 13, 1970 — World's first observation of a neutrino in a hydrogen bubble chamber.

29

Hvala na pažnji!



aleksandra@matf.bg.ac.rs