

**Dobardžić Aleksandra**

*Katedra za astronomiju, Matematički Fakultet, Univerzitet u Beogradu*

**Prodanović Tijana**

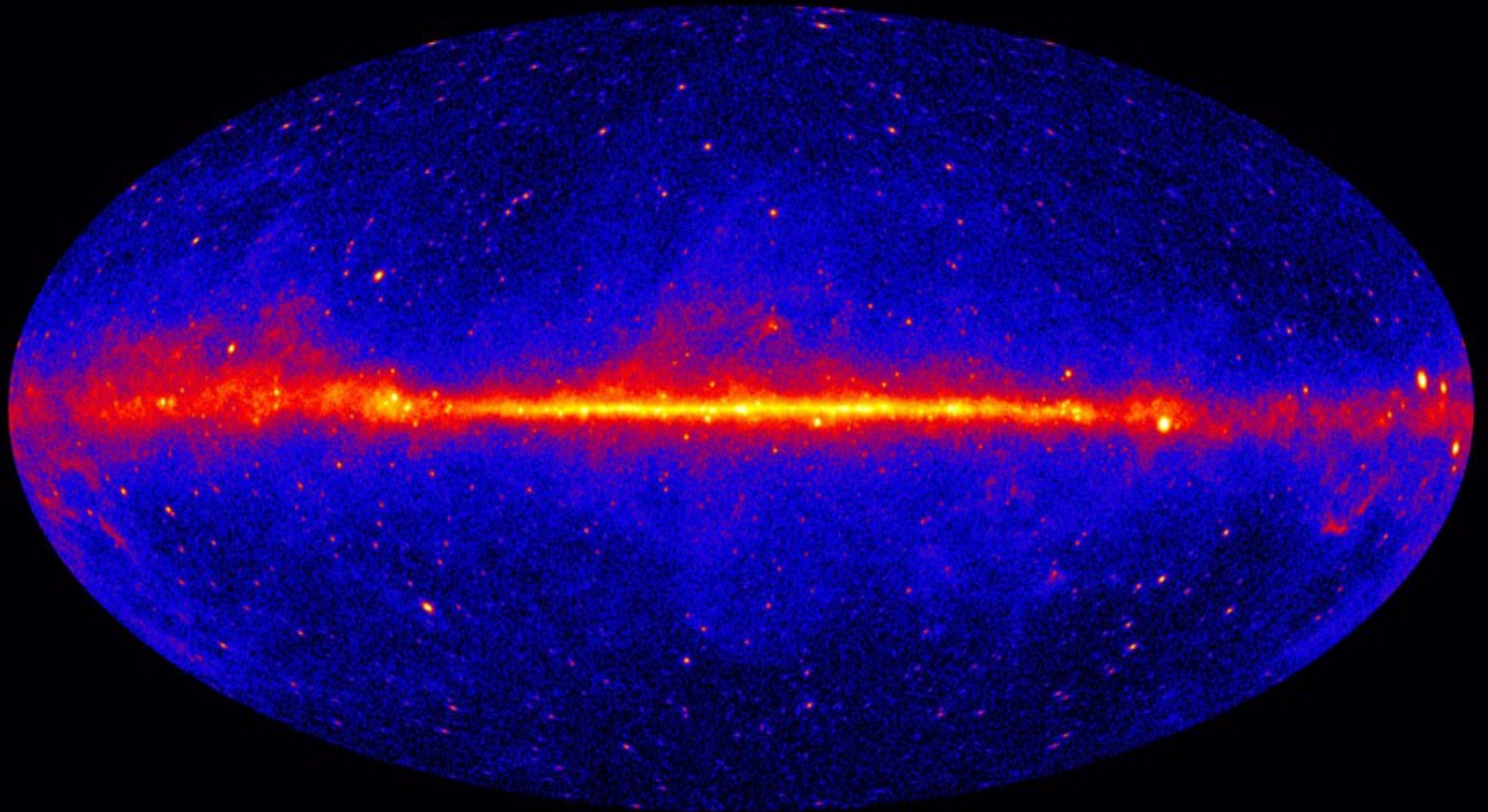
*Departman za fiziku, Prirodno matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*

# Difuzna gama emisija struktura na velikim skalama

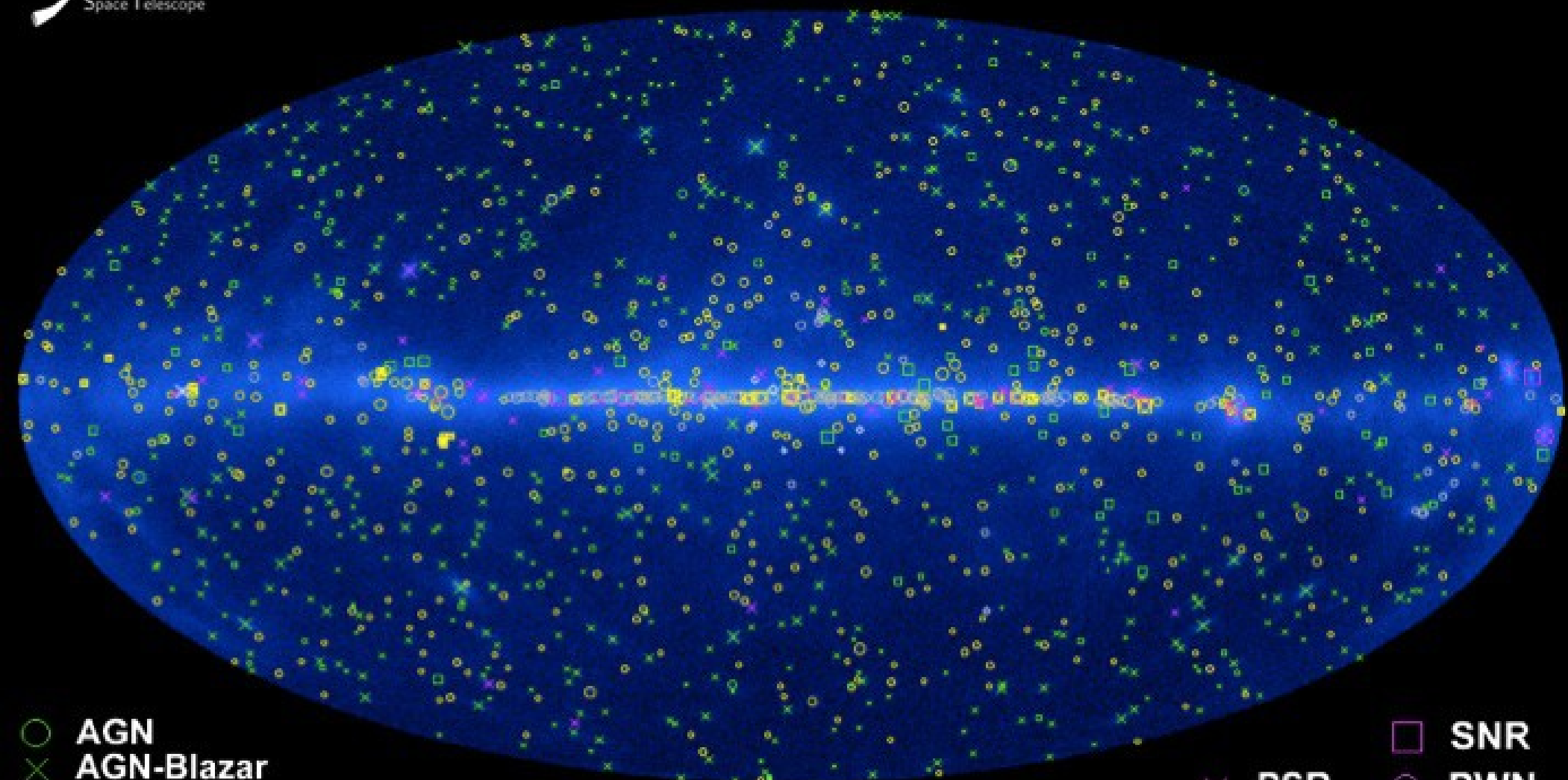
[aleksandra@matf.bg.ac.rs](mailto:aleksandra@matf.bg.ac.rs)



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

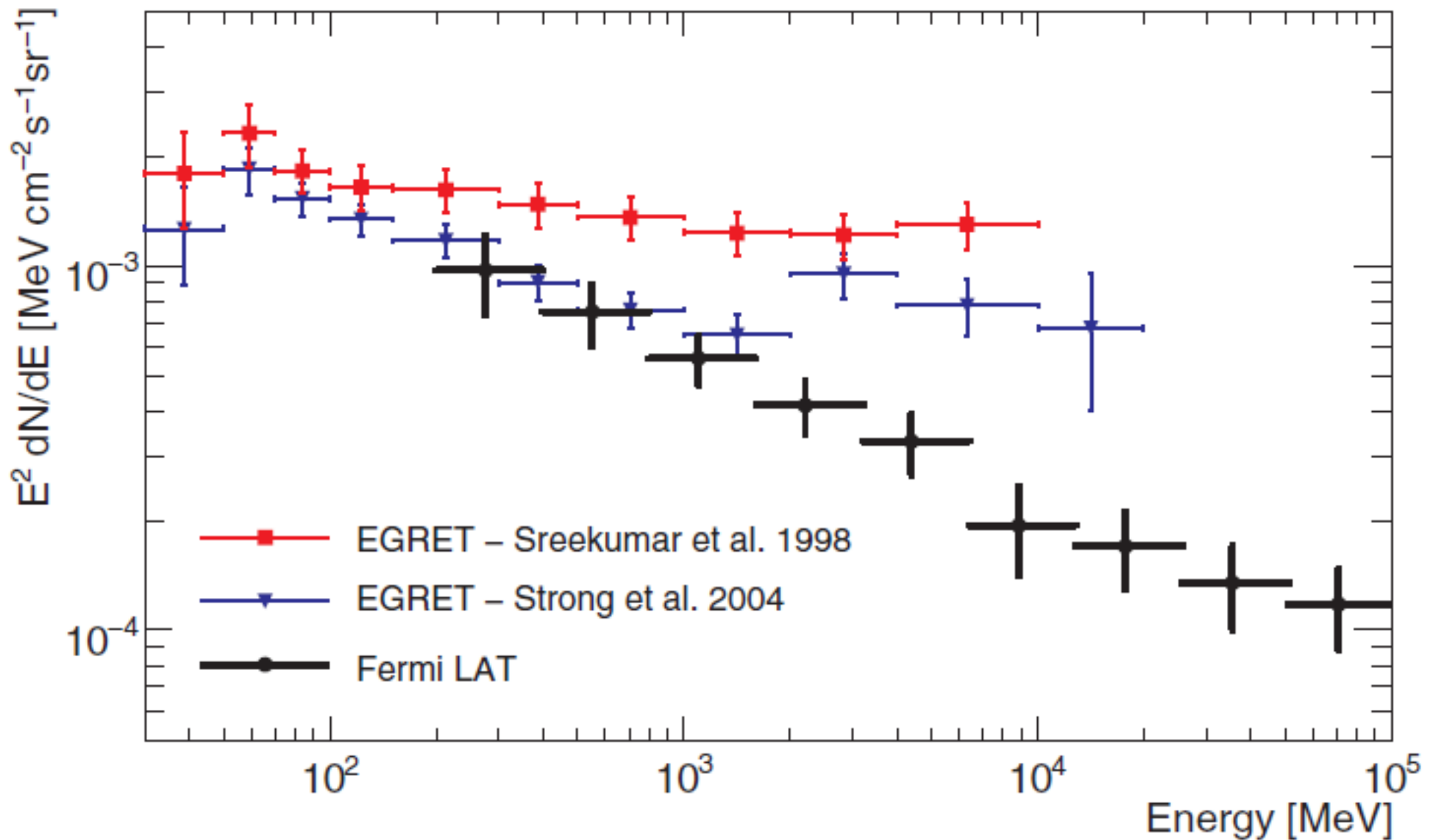


# The Fermi LAT 1FGL Source Catalog



- |   |                    |
|---|--------------------|
| ○ 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

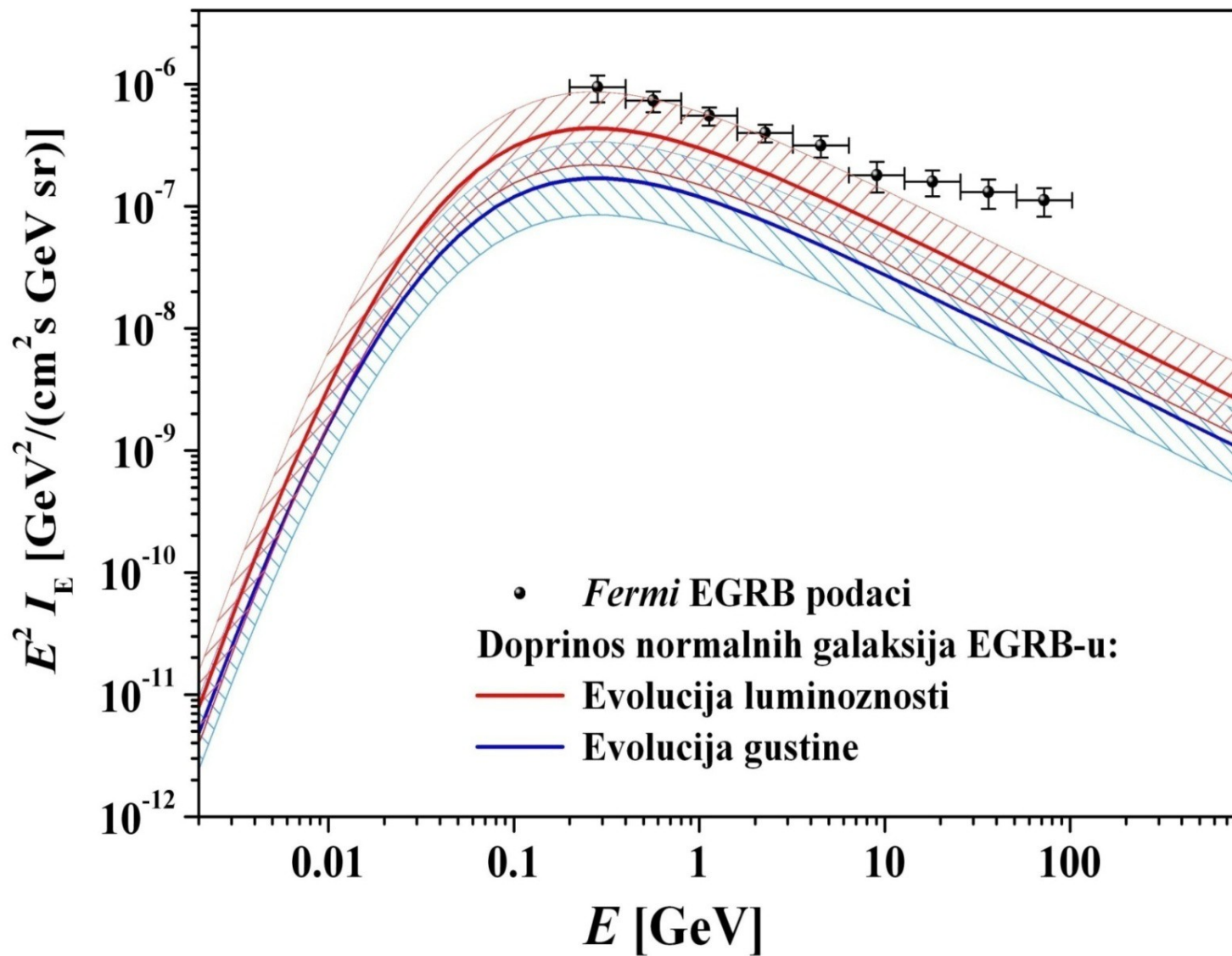
## *Extragalactic Gamma-Ray Background*

### *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*)...
- Ni pojedinačno ni zbirno ne mogu da objasne celu EGRB.

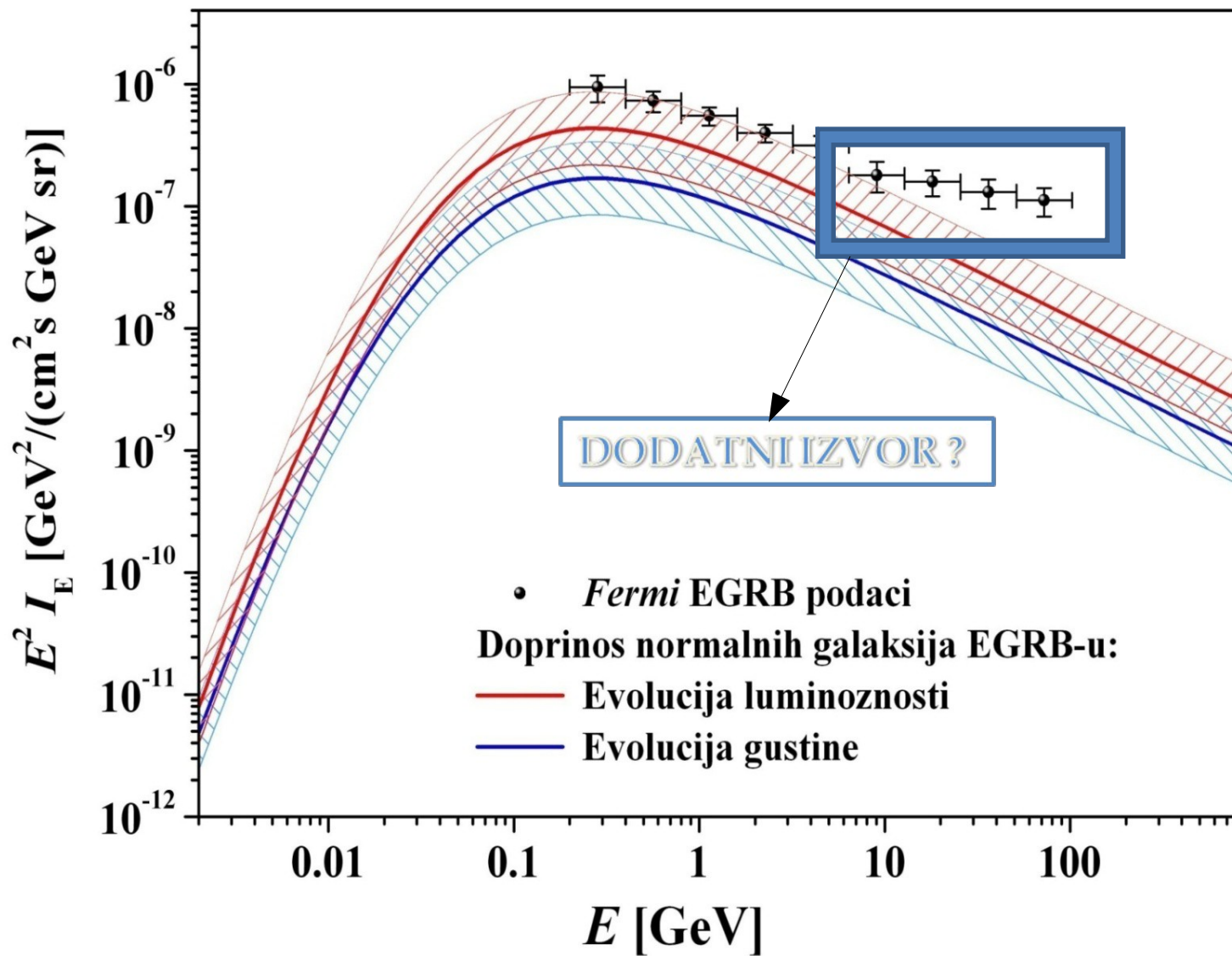
# Doprinos normalnih galaksija

(Fields et al. 2010)



# Doprinos normalnih galaksija

(Fields et al. 2010)



# Mehanizam proizvodnje gama zraka

Kosmički zraci sudaraju se sa medjuzvezdanom materijom



Proizvodnja neutralnih piona



Pion se raspada u dva gama zraka



# Mehanizam proizvodnje gama zraka

Kosmički zraci sudaraju se sa medjuzvezdanom materijom

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

Proizvodnja neutralnih piona

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

... u dva gama zraka

Gde god da imamo  
ubrzavanje kosmičkih zraka  
moguće je proizvesti gama zračenje

·  
·

Nove hipotetičke populacije gama zraka?

# Kosmološki kosmički zraci

- Spektralni oblik

(Pfofommer et.al. 2003.)

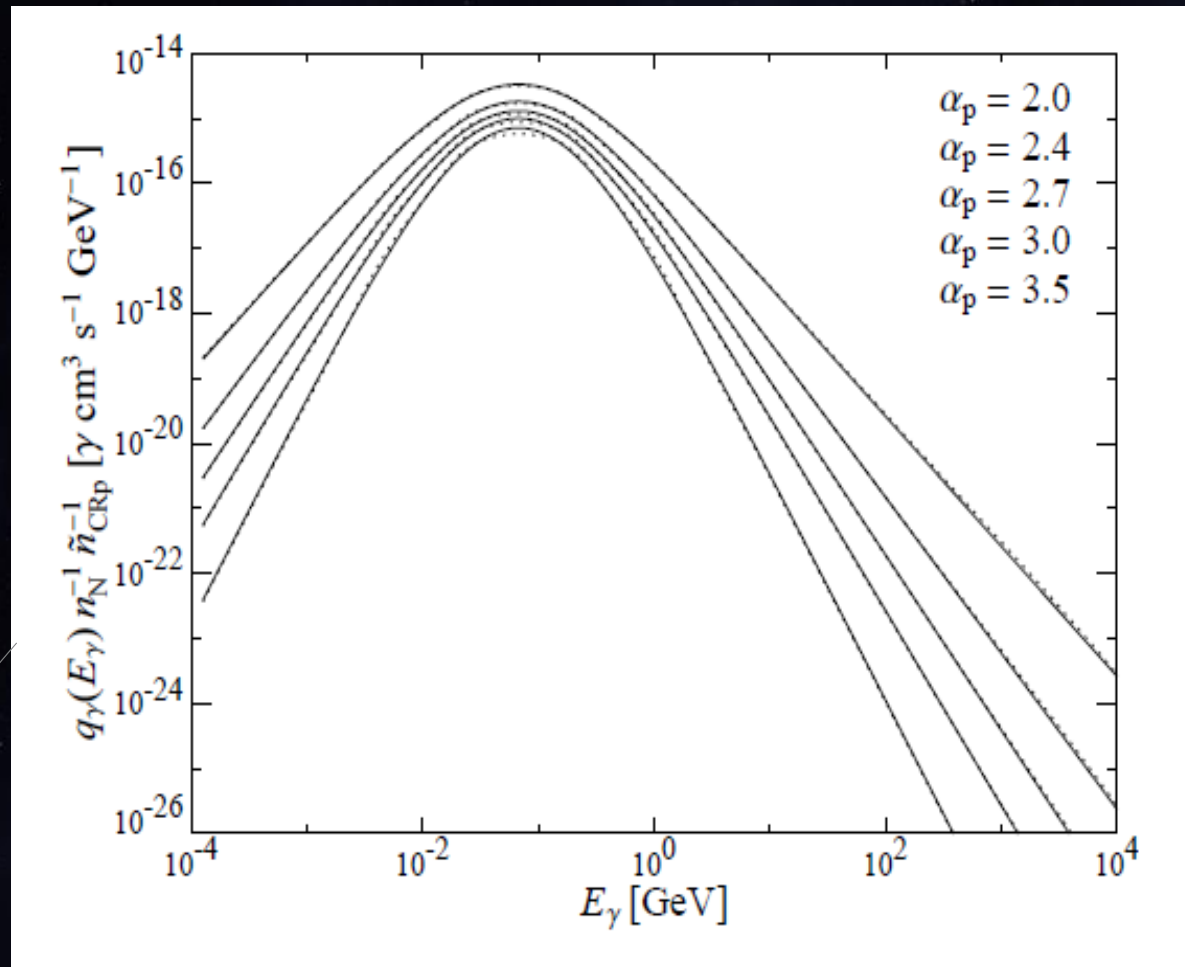
$$\Gamma(z) = C \left[ \left( \frac{2 E_\gamma (1+z)}{m_{\pi^0}} \right)^{\delta_\gamma} + \left( \frac{2 E_\gamma (1+z)}{m_{\pi^0}} \right)^{-\delta_\gamma} \right]^{-\alpha_\gamma / \delta_\gamma}$$

- Spektralni indeks  $\alpha$

– parametar

- Simetričan oko polovine mase mirovanja piona.

$L \propto$  masa gasa \*  
stopa proizvodnje CR \*  
spektar



# 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 filameta koji su već zagrejani i zgusnuti.

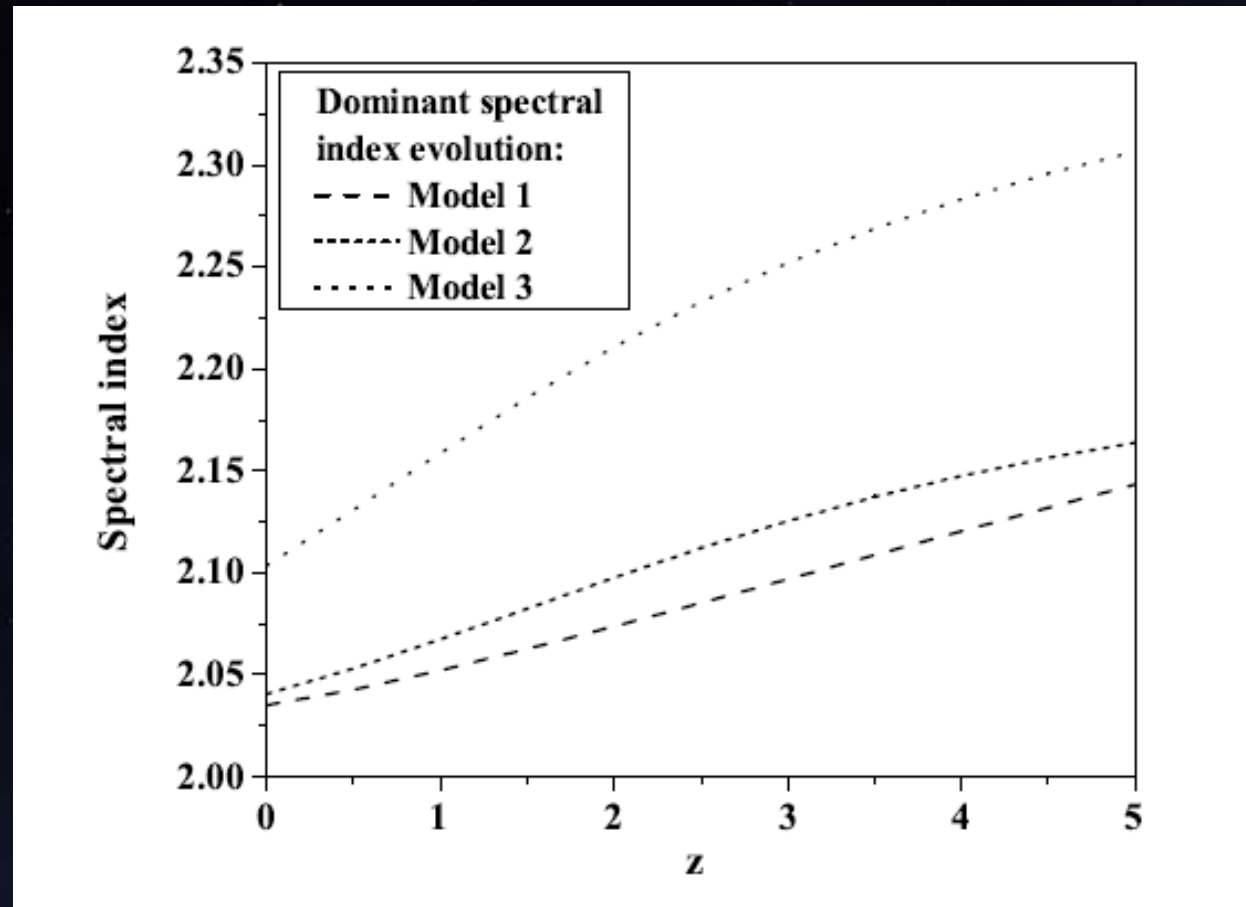
Mnoge od struktura, koje stvaraju udarne talase, već se nalaze u okviru nekog filameta, tako da je materija koja akrecijom pada na ove objekte već jednom prošla kroz udarni talas i pri tome se kompresovala i zagrejala.

# Modeli evolucije akrecionih udarnih talasa

- Raspodela masa objekata:
  - Model 1 – Press-Schechter funkcija mase (*Press & Schechter 1974; Lacey & Cole 1993*)
  - Modeli 2 i 3 – raspodela prema masi objekata i lokalnoj varijaciji gustine, DD – *double distribution* (*Pavlidou & Fields 2005.*)

# 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  $z$   
(*Pavlidou & Fields 2006.*)

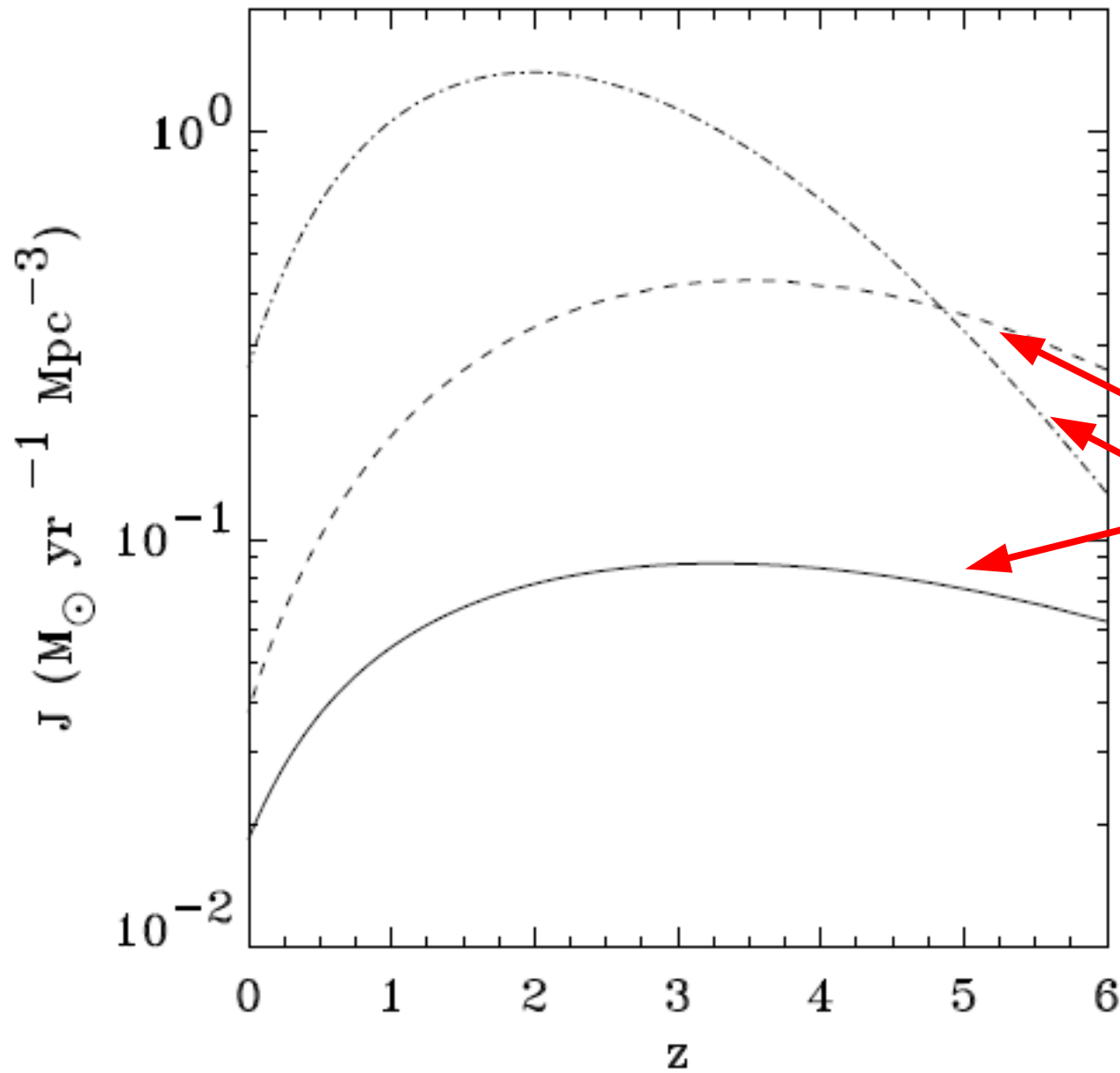
$$L_{\gamma}(\mathcal{M}, z) = \frac{J_1(z, \mathcal{M})}{J_0} \frac{M_g(z, \mathcal{M})}{M_{g,0}} L_{\gamma,0}$$

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

stopa akrecije

masa gasa u objektu koji proizvodi udarni talas sa Mah brojem  $M$  na crvenom pomaku  $z$

# Stopa akrecije



(Pavlidou & Fields 2006.)

Model 1

Model 2

Model 3

# Formalizam

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

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

inicijalni udeo gasa

# Normalizacija – jata galaksija

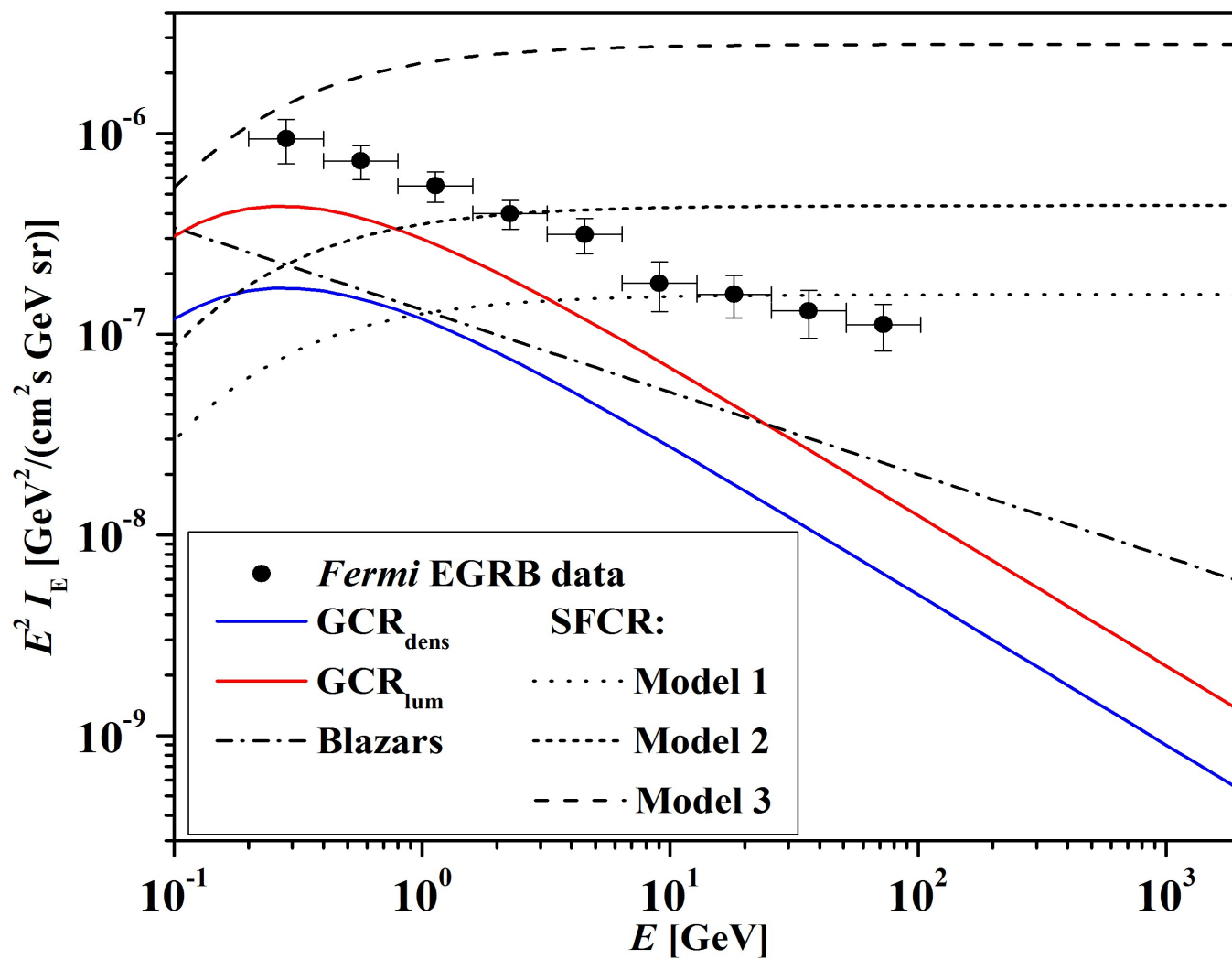
- Ovaj tip kosmičkih zraka očekujemo u jatima galaksija.
- Jata galaksija nisu do sad detektovana u gama oblasti.
- Imamo samo gornje granice za njihove flukseve (Fermi).
- Jato Koma za normalizaciju

*(Ackermann et al. 2010.)*

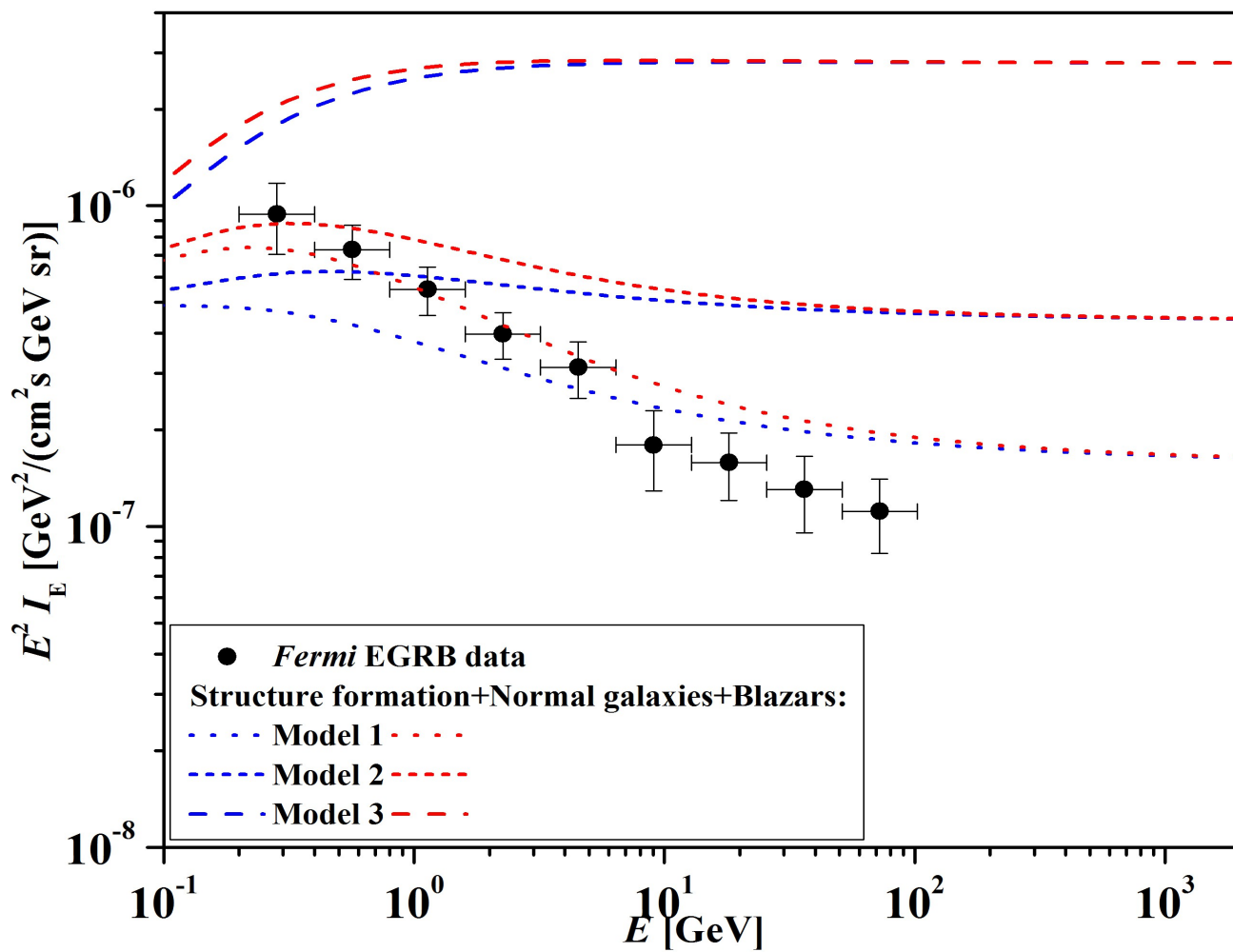
$$F_{\gamma,0} = 4.58 \times 10^{-9} \text{ phot cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



# Rezultati



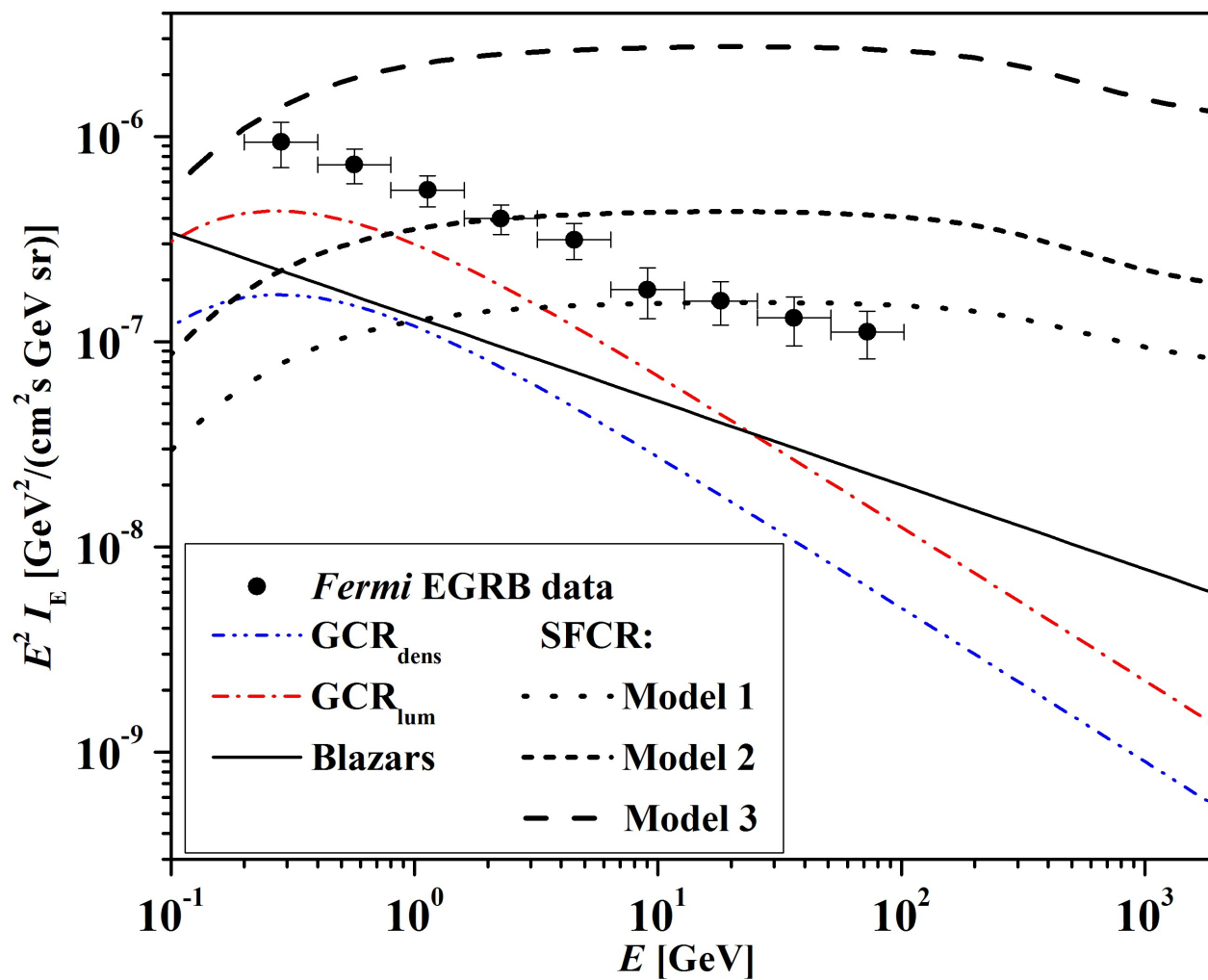
# Rezultati



# EBL-Extragalactic Background Light

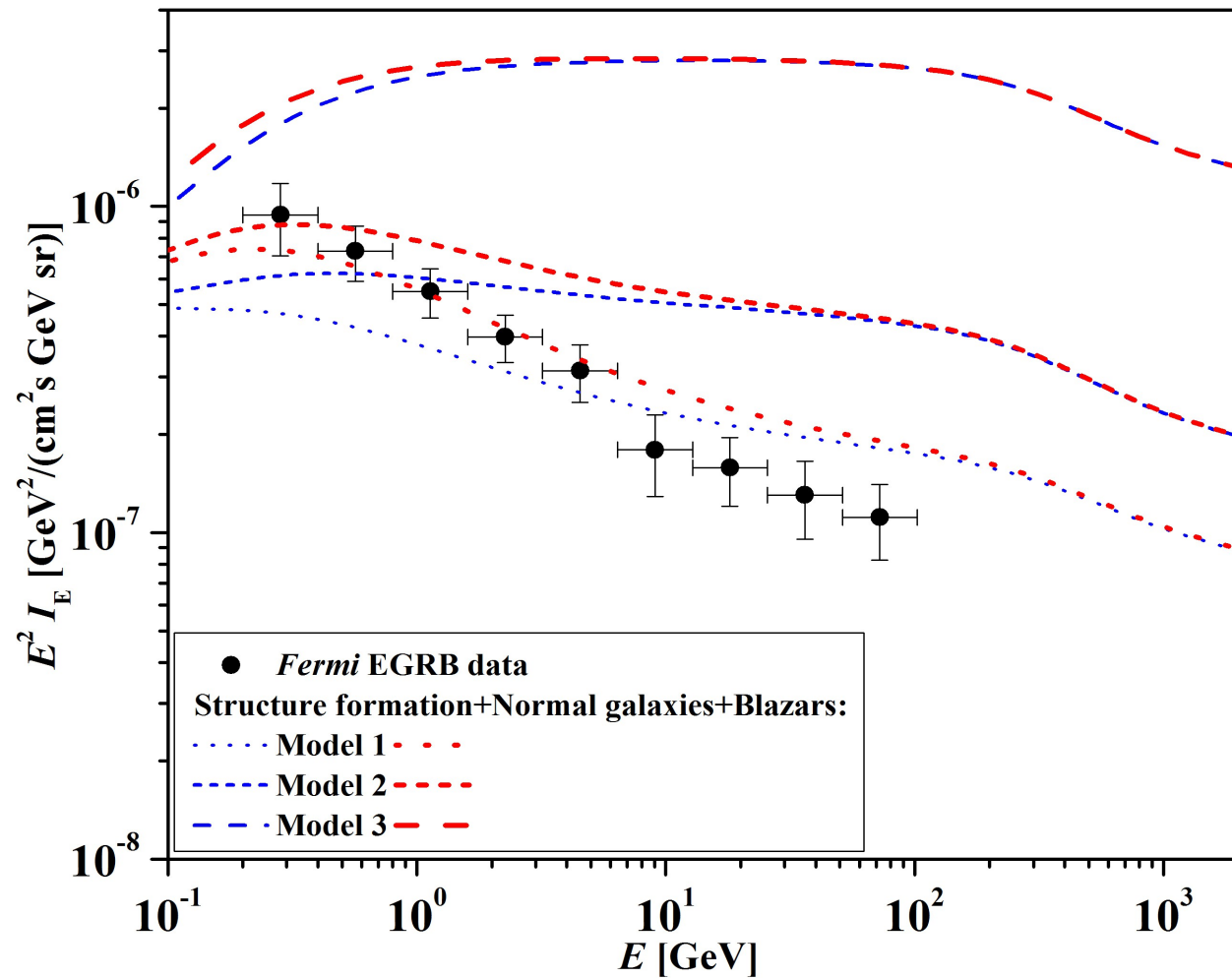
- EBL -fotoni od UV do IC od zvezda, ili fotoni koji su apsorbovani i reemitovano od strane prašine u galaksijama.
- Atenuacija fotona energija većih od 100 GeV.
- Bitno kod izvora sa tvrdim spektrom.
- Gama zranci visokih energija + EBL –  $e^+e^-$  parovi koji rasejavaju EBL fotone (inverznim Komptonom)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

# Rezultati





# Rezultati



# Zaključak

- Nerazlučene normalne galaksije bitno doprinose EGRB-u.  
(*Fields, Pavlidou, Prodanović 2010.*)
- Funkcija izvora SFCR na određenim crvenim pomacima.  
(*Pfrommer, Enßlin 2003.; Prodanović, Fields 2004.*)
- Prvi put dobijen evoluiran spektar kosmoloških kosmičkih zraka.
- Kosmološki kosmički zraci mogu značajno da doprinesu gama pozadini, posebno na višim energijama.
- Problem normalizacije – Koma je bogato jato
- Jato kojim se normira ne sme biti dominirano zračenjem tamne materije.

# Budući rad

- Jata nisu detektovana – naši modeli predstavljaju gornju granicu doprinosa kosmoloških kosmičkih zraka.
- Apsorpcija od strane EBL-a na visokim energijama (*Extragalactic Background Light*)
- Dodatna emisija od strane kaskada.
- Evolucija spektralnog indeksa.

# Hvala na pažnji!



[aleksandra@matf.bg.ac.rs](mailto:aleksandra@matf.bg.ac.rs)