

Optimizacija Niza Čerenkovljevih teleskopa (CTA) pomoću Monte Carlo simulacija

Mario Petričević

Fizički odsjek, PMF
Sveučilište u Zagrebu

30. siječnja 2016.

Gama-astronomija

- $E \gtrsim 0,5 \text{ MeV}$
- najviša detektirana $E \approx 100 \text{ TeV}$
- VHE $\gtrsim 30 \text{ GeV}$

Leptonski procesi

- sinkrotronsko zračenje
- inverzno Comptonovo raspršenje

Neleptonski procesi u gustim područjima međuzvezdanog medija

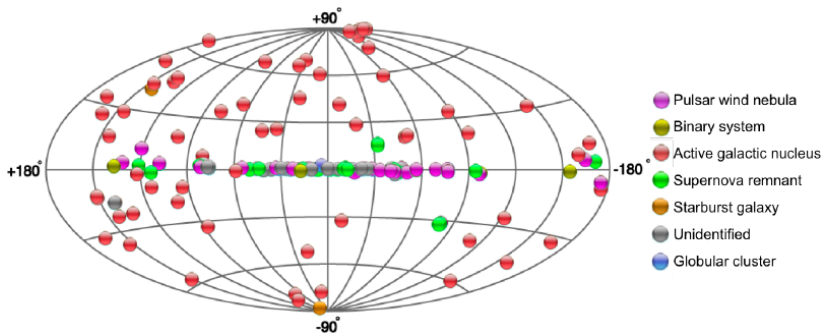
- nastanak neutralnih mezona

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

$$m_0 c^2 / 2 \approx 68 \text{ MeV}$$

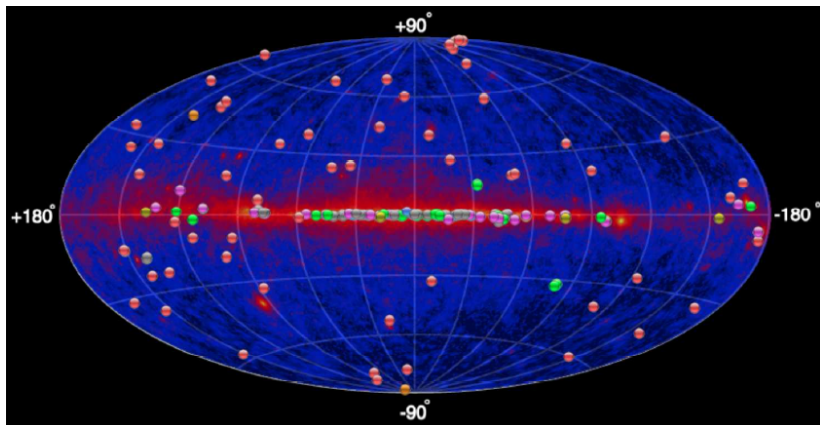
Izvori γ -zračenja

- poznato 155



Slika 1: Preuzeto iz [1], [2]

Izvori γ -zračenja



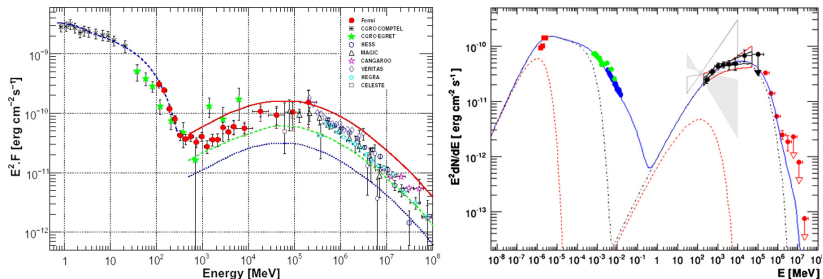
Slika 2: Uključeni i podaci s GLAST/Fermi satelita. Preuzeto iz [1], [2].

Spektar γ -zračenja

- Diferencijalni udarni presjek $\frac{d^3 N_\gamma}{dEdtdS}$ brzo opada s energijom
- Spektralna energetska distribucija (SED):

$$E^2 \frac{d^3 N_\gamma}{dEdtdS} = E \frac{d^3 N_\gamma}{d \ln EdtdS} \quad (1)$$

Spektar γ -zračenja

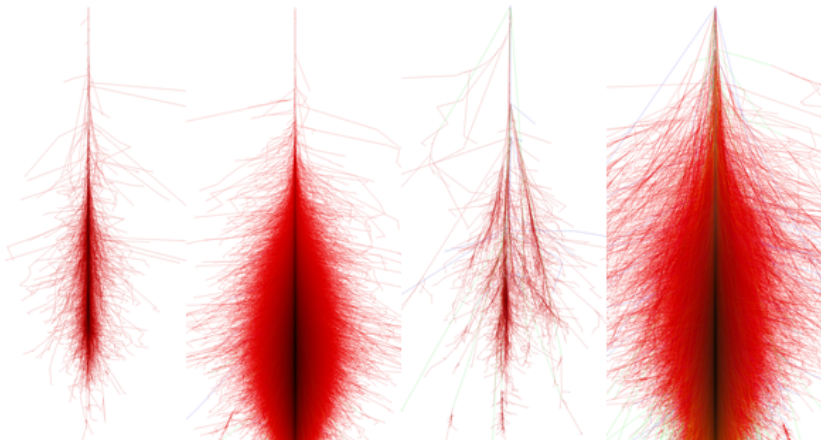


Slika 3: SED $E^2 d^3 N_\gamma / (dE dt dS)$ dvaju različitih netermalnih izvora od radio do VHE γ -područja - Rakove maglice (lijevo) i aktivne galaktičke jezgre PKS2155-304 (desno). Preuzeto iz [4].

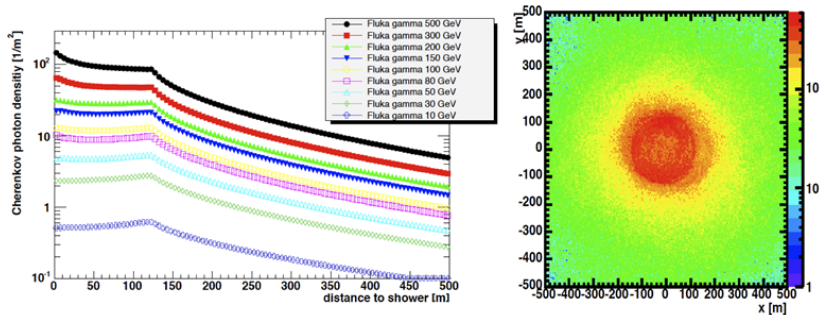
$$\propto E^{-\alpha}$$

α - spektralni indeks

Pljuskovni čestica



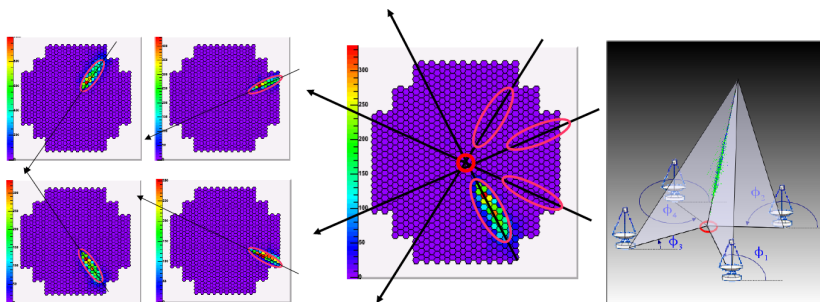
Slika 4: Vizualizacija pljuskovna. Redom: foton energije 100 GeV, foton energije 100 TeV, proton energije 100 GeV i proton energije 100 TeV [8].



Slika 5: Radijalna ovisnost intenziteta Čerenkovljevih fotona [1].

IACT - Imaging Air/Atmospheric Cherenkov Telescope

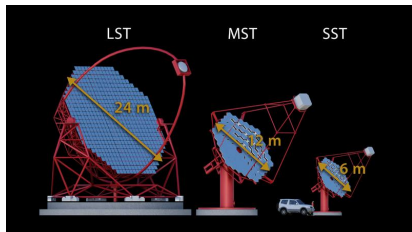
- H.E.S.S, MAGIC, VERITAS
- CTA



Slika 6: Stereoskopski način određivanja smjera i energije upadne zrake. Preuzeto iz [3].

CTA - Cherenkov Telescope Array

- LST
 - ≤ 4
 - ≤ 100 GeV
- MST
 - CCC
 - 0,1 - 10 TeV
- SST
 - CCC
 - ≥ 10 TeV



2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017

Design

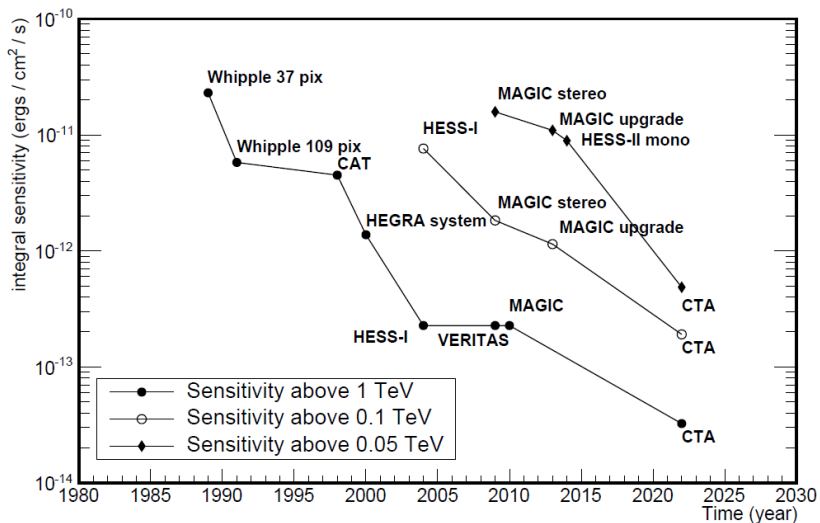
Prototyping

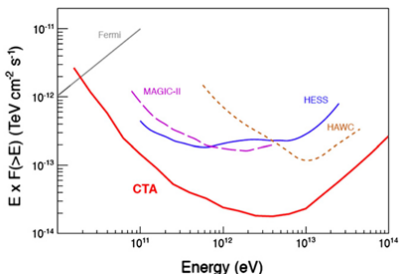
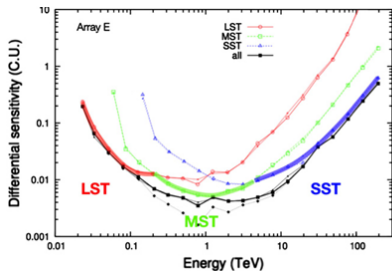
Site development

Construction

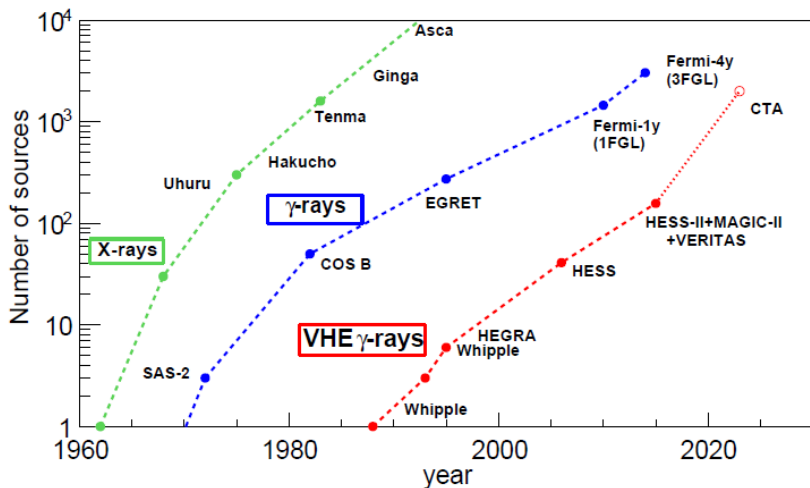
Science

IACT sensitivities





Slika 8: Lijevo: Diferencijalna osjetljivost u jedinicama toka Rakove maglice za jedan od predloženih rasporeda čitavog niza. Tanke linije s malim simbolima prikazuju mali utjecaj smanjenog dinamičkog raspona (omjera signala najmanjeg i najvećeg korisnog intenziteta). Tanka crna linija prikazuje osjetljivost bez utjecaja pozadinskih elektrona. **Desno:** Integrirana osjetljivost za CTA i slične instrumente u sličnim uvjetima (50 sati za IACT-ove, 1 godina za Fermi-LAT i HAWC). [4].

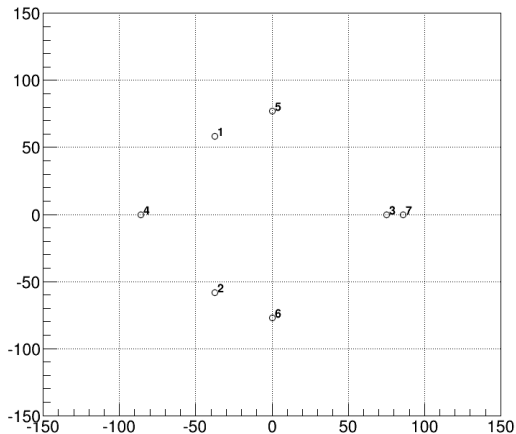


Slika 9: Očekivani broj novih izvora. [3].

CORSIKA

- **CO**smic **R**ay **S**imulations for **KA**scade
- ulazni parametri:
 - spektralni indeks:
2,0 umjesto 2,6
 - impact parameter:
1000 m za fotone
1500 m za elektrone i protone

| primarna čestica | broj simulacija (10^6) | raspon energije |
|------------------|----------------------------|-----------------|
| foton | 5 | 3 GeV - 33 TeV |
| elektron | 4 | 3 GeV - 33 TeV |
| proton | 14 | 4 GeV - 60 TeV |



Slika 10: Predložene lokacije LST-ova na južnoj hemisferi (Čile).

Svakim korakom prolaska kroz atmosferu ispituje se uvjet

$$nv/c = n\beta > 1. \quad (2)$$

Aproksimacija:

$$n = 1 + 0.000283\rho(h)/\rho(0). \quad (3)$$

Ovisnost n o valnoj duljini je zanemarena.

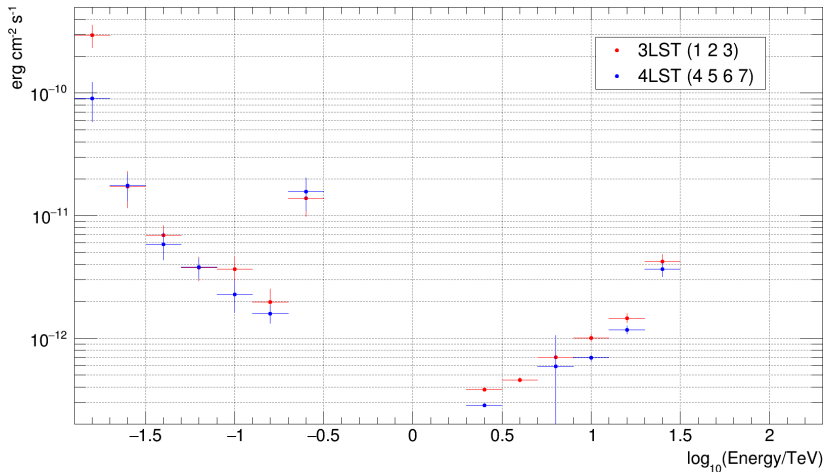
Broj fotona N_C emitiranih po jedinici duljine putanje s pod kutom θ_C :

$$\frac{dN_C}{ds} = 2\pi\alpha \int \frac{\sin^2\theta_C}{\lambda^2} d\lambda. \quad (4)$$

$$\theta_C = \arccos \frac{1}{\beta n}. \quad (5)$$

- Integrirana osjetljivost - integrirani tok izvora iznad energije za koju broj (nepozadinskih) događaja N_{excess} podijeljen sa korijenom broja pozadinskih događaja $\sqrt{N_{bkg}}$ iznosi 5 nakon 50 sati efektivnog promatranja. Donja granica energije odgovara vrhu Monte Carlo distribucije sa spektrom sličnim spektru Rakove maglice (nagiba -2.6)
- Diferencijalna osjetljivost - podaci podijeljeni u pet koraka po dekadi energije [6]

Diff. Sens.



Slika 11: Diferencijalne osjetljivost konfiguracija triju četiriju teleskopa - konfiguracije 123 i 4567 sa slike 11.

- Krivulja diferencijalne osjetljivosti pada niže dodatkom jednog teleskopa
- Najbolje osjetljivosti leže u području 2 - 3.16 TeV
- 1 C.U. = $2,4 \cdot 10^{-8} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 3LST:
 $4 \cdot 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 $16,67 \cdot 10^{-6} \text{ C.U.}$
- 4LST:
 $3 \cdot 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ C.U.}$
- na 2,5 TeV, za 50 sati

Literatura

- [1] [arXiv:1510.05675v1](https://arxiv.org/abs/1510.05675v1)
- [2] <http://tevcat.uchicago.edu/>
- [3] [arXiv:1511.00463v1](https://arxiv.org/abs/1511.00463v1)
- [4] B. Degrange, G. Fontaine, Introduction to high-energy gamma-ray astronomy, Comptes Rendus Physique
- [5] B.S. Acharya, et al., Introducing the CTA concept
- [6] <https://magic.mpp.mpg.de/newcomers/technical-implementation0/>
- [7] <http://isdc.unige.ch/cta/>
- [8] <http://www.ast.leeds.ac.uk/fs/showerimages.html>