

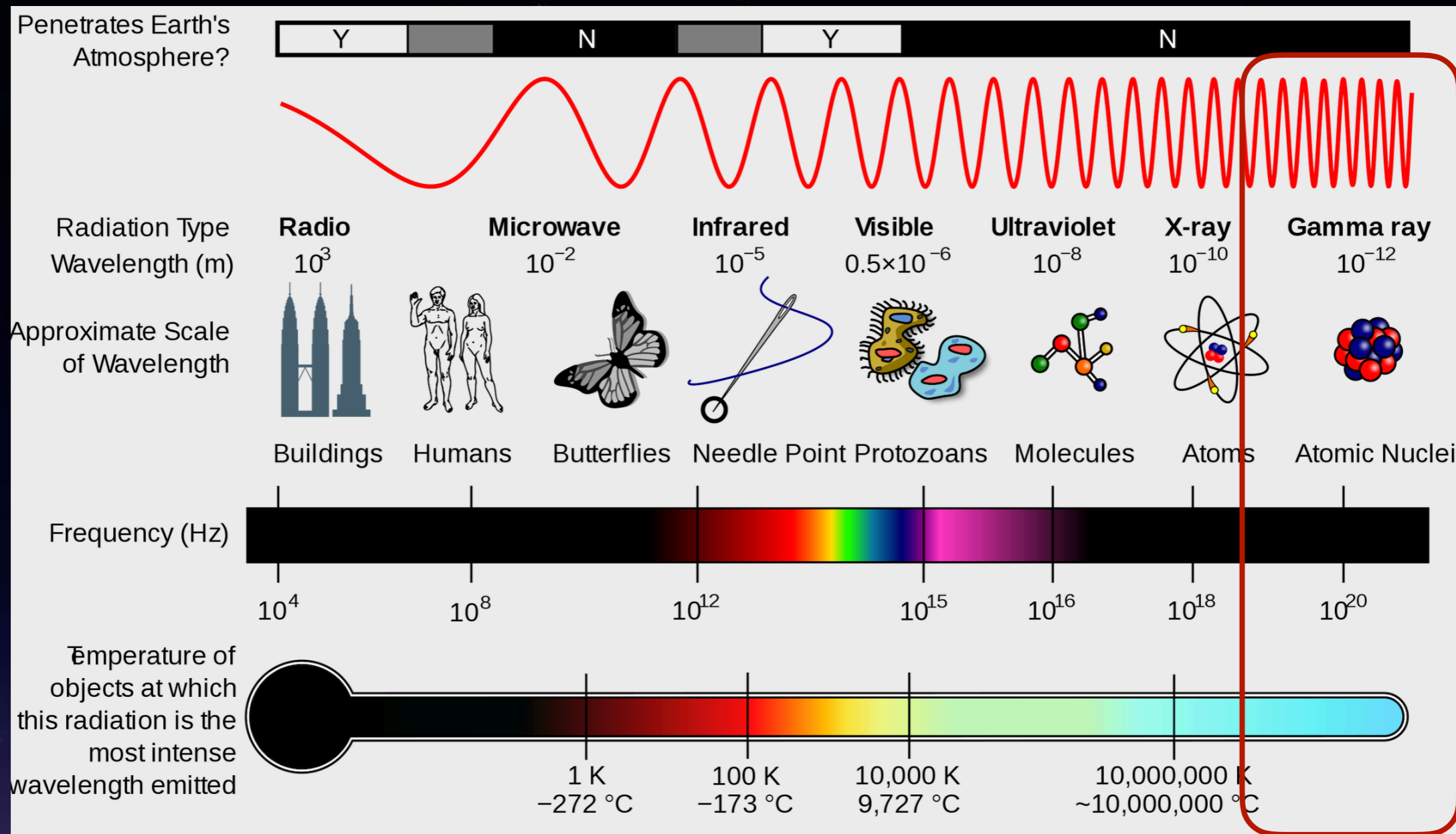
# Nagy energiájú csillagászat

Ultra-nagy energiájú kozmikus sugarak  
VHE gamma fotonok  
Nagy energiájú kozmikus neutrínók

# Kozmikus hírvivők

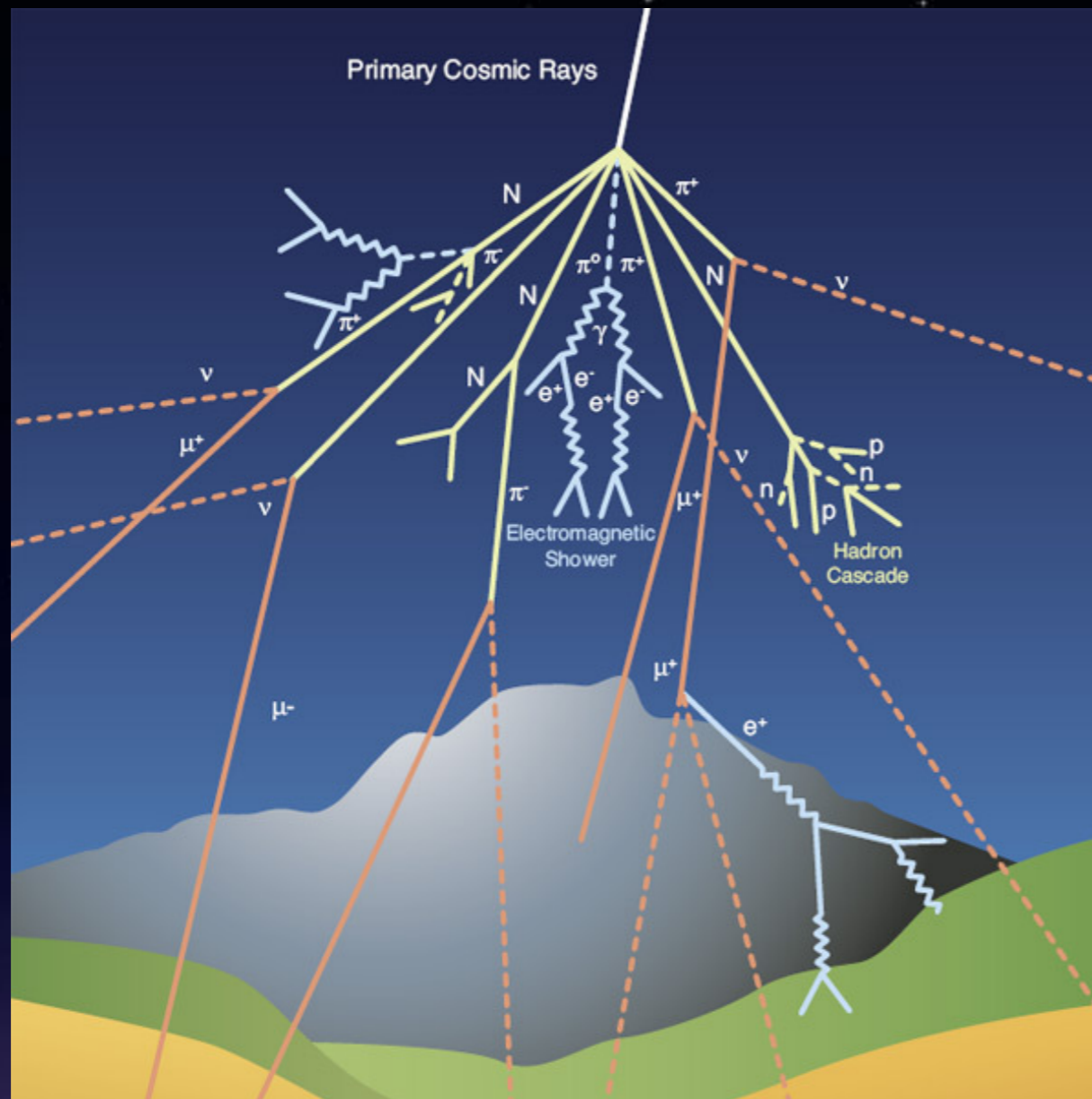
- Elektromágneses sugárzás

$\gamma$ -fotonok



# Kozmikus hírvivők

- Kozmikus sugarak (protonok, könnyebb ionok)



A világűrben érkező elsődleges kozmikus sugarak kölcsönhatnak a Föld légkörével.

A kölcsönhatásban létrejövő részecskezár (másodlagos hadronok zápora és neutrínók), valamint elektromágneses zápor jön létre.

Elsődleges részecskék észlelése világűr bázisú detektorokkal lehetséges.

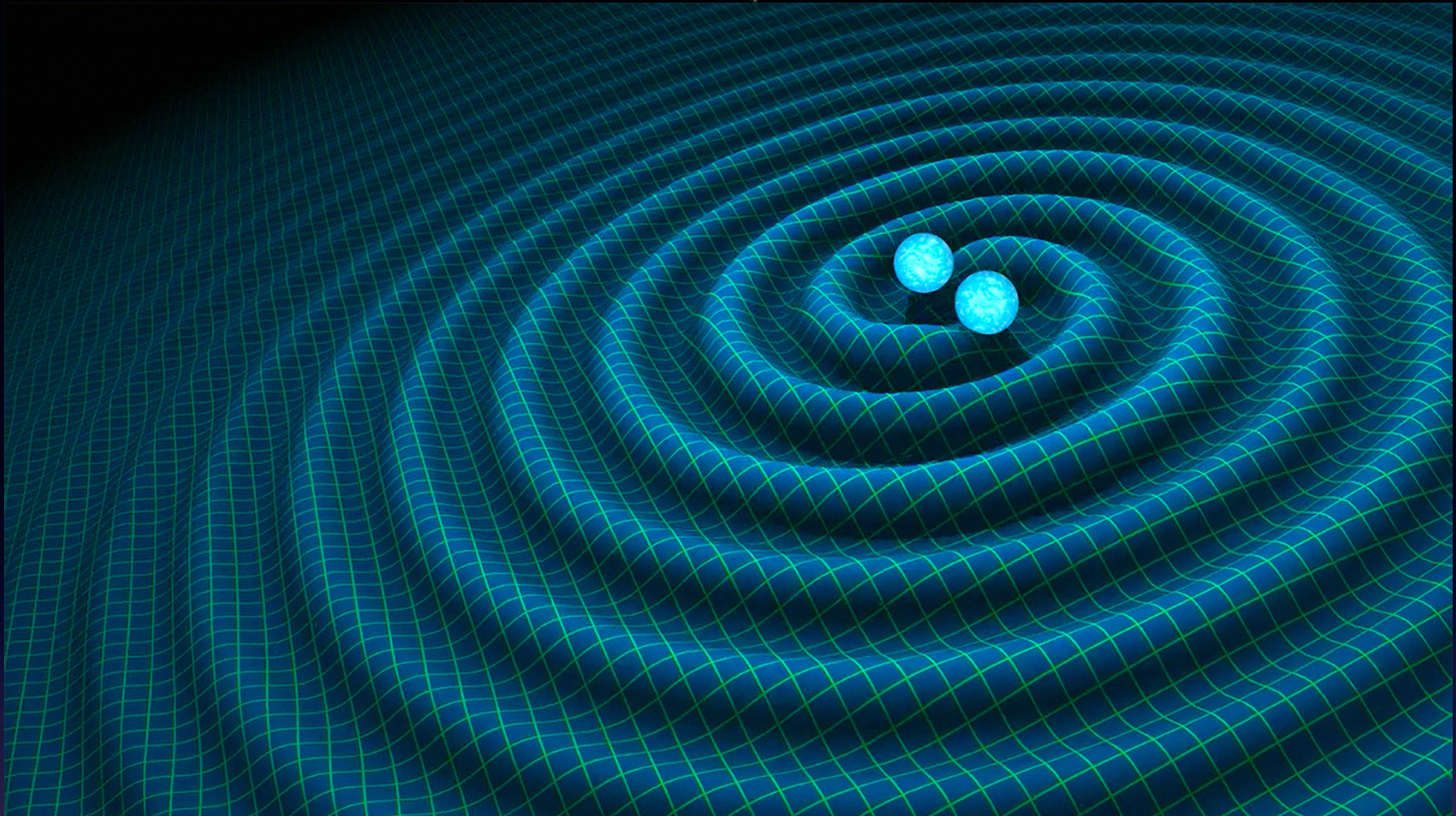
# Kozmikus hírvivők

- Neutrínók (elektron-, müon-, tauneutrínók és antineutrínók)



# Kozmikus hírvivők

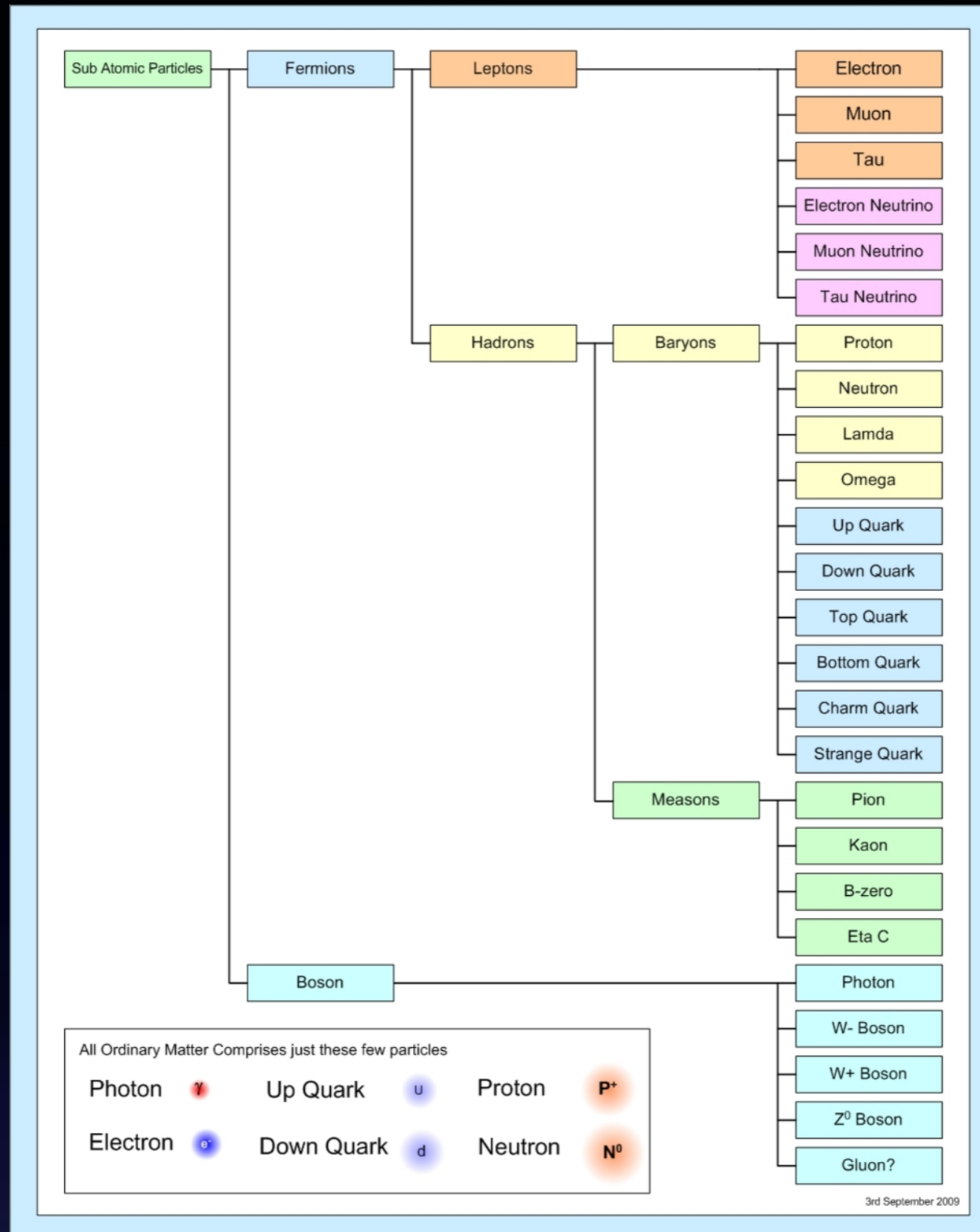
- Gravitációs hullámok



# Az anyagi részecskék három családja (fermionok)

	I	II	III		
tömeg →	2,3 MeV/c <sup>2</sup>	1,27 GeV/c <sup>2</sup>	173 GeV/c <sup>2</sup>	0	125 GeV/c <sup>2</sup>
töltés →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
név →	u-kvark	c-kvark	t-kvark	foton	Higgs-bozon
Kvarkok	4,8 MeV/c <sup>2</sup>	95 MeV/c <sup>2</sup>	4,2 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d-kvark	s-kvark	b-kvark	gluon	
Leptonok	<2,2 eV/c <sup>2</sup>	<0,17 MeV/c <sup>2</sup>	<15,5 MeV/c <sup>2</sup>	91,2 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	elektron-neutrínó	müon-neutrínó	tau-neutrínó	Z-bozon	
	0,511 MeV/c <sup>2</sup>	105,7 MeV/c <sup>2</sup>	1,777 GeV/c <sup>2</sup>	80,4 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	$\pm 1$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	elektron	müon	tau	W-bozon	

Bozonok (köölcsönhatások)



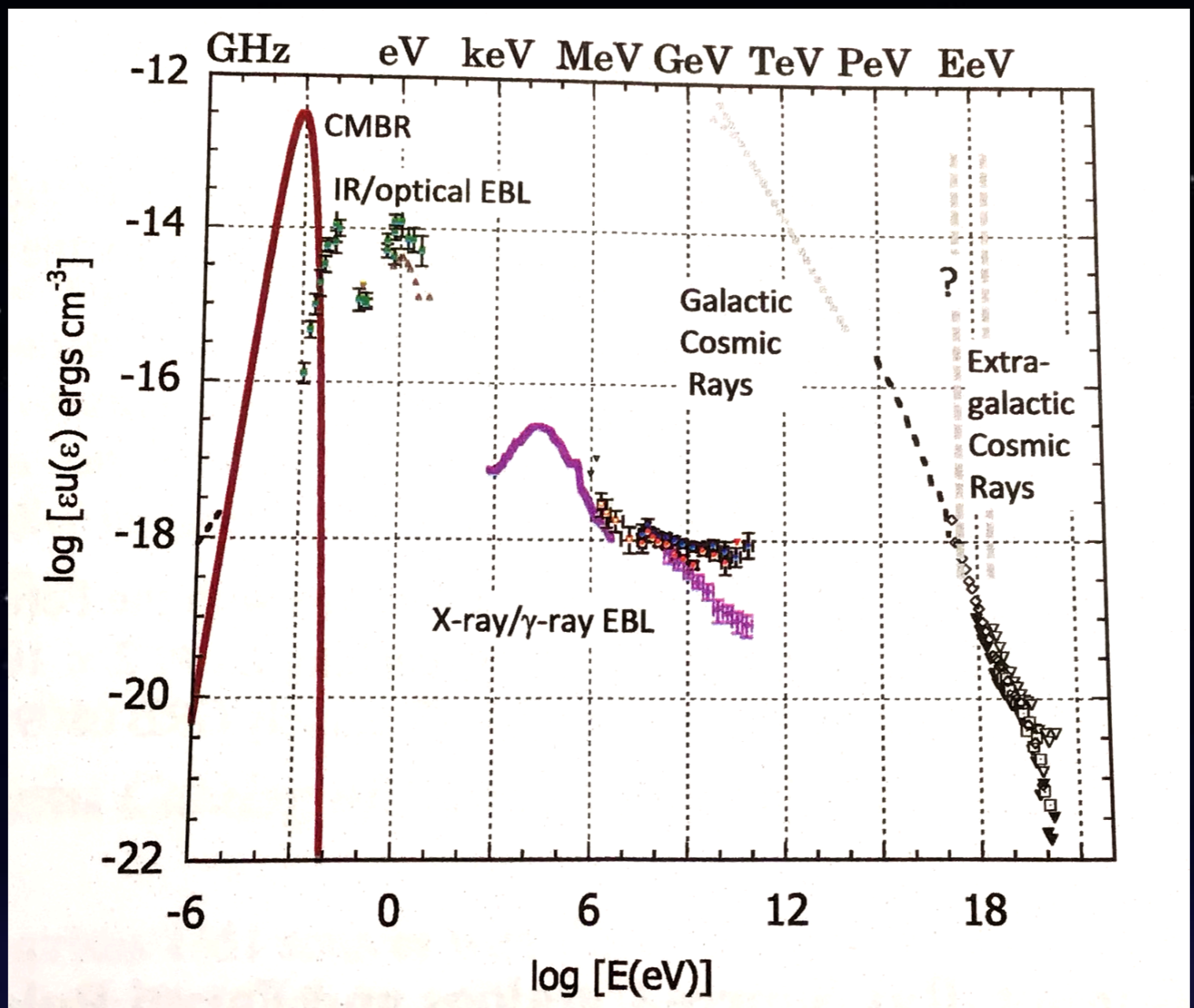
A részecskefizikai folyamatban **megmarad:**  
 az **elektromos töltés**, a **barionszám**, a **leptonszám** és az **energia**.

# Alapvető kölcsönhatások

- **Elektromágneses (EM) kölcsönhatás.**  
Elektromosan töltött részecskék között ható erő (foton kisugárzás  $10^{-16}$  s).
- **Erős kölcsönhatás.**  
Összetartja a nukleonokat (protonok és neutronok) az atommagban (a magreakciók átlagos ideje  $10^{-22}$  s).
- **Gyenge kölcsönhatás.**  
Alapvető folyamata a béta-bomlás ( $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ), ez a leglassabb az erős és az EM folyamatok között (10 perc). A neutrínók egyedül ebben vesznek részt.
- **Gravitációs kölcsönhatás.**  
Tömeges részecskék között ható erő (Newtoni gravitációban).

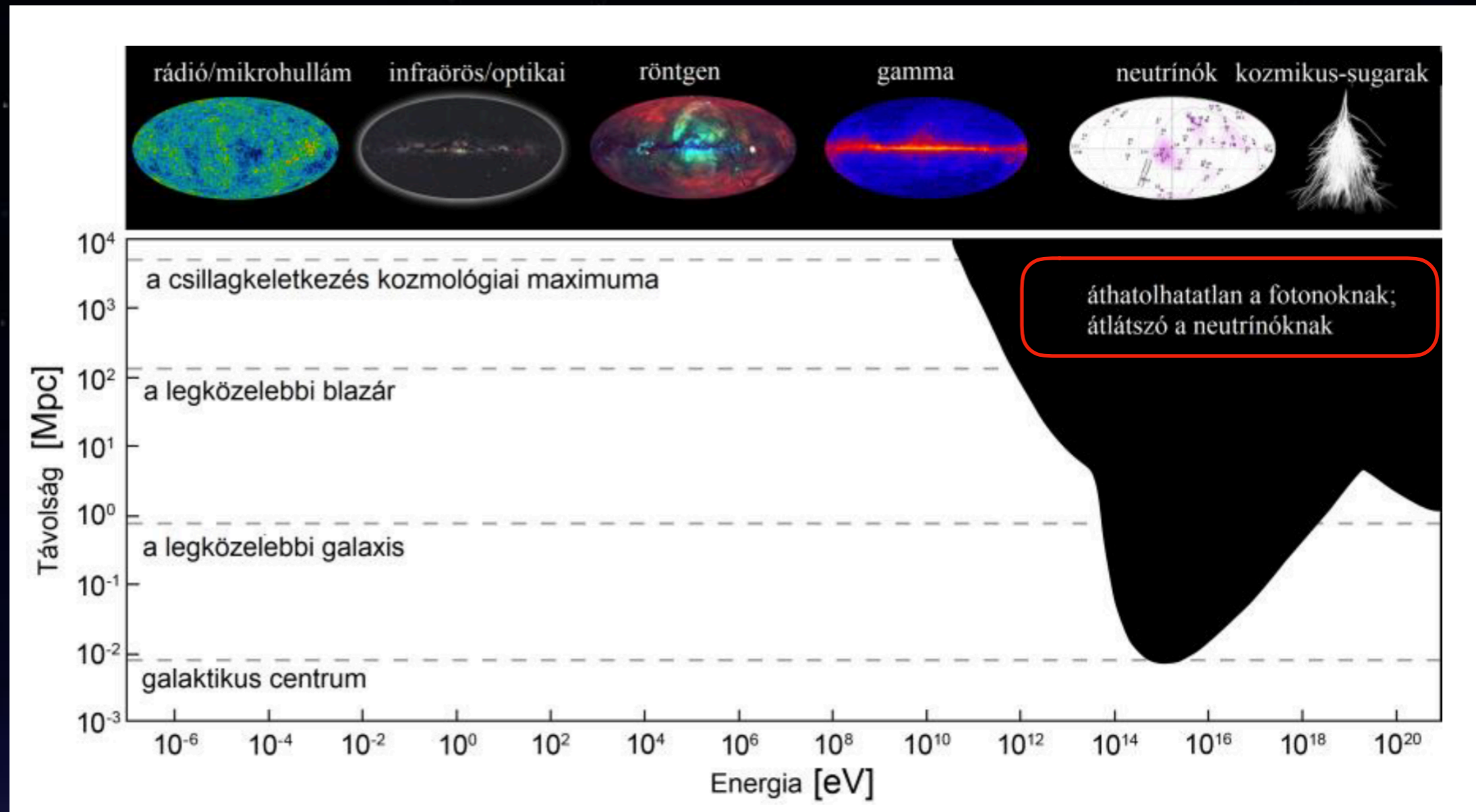


# Az intergalaktikus tér energiasűrűsége a Föld közelében



$1\text{J} (1\text{N} \cdot 1\text{m}, 1\text{W} \cdot 1\text{s}, 1\text{C} \cdot 1\text{V}, 1\text{kg} \cdot 1\text{m}^2 \cdot 1\text{s}^{-2})$  energia  
 $1\text{eV} = 1,602\ 176\ 487(40) \cdot 10^{-19} \text{ J}$   
 $1\text{erg} = 10^{-7} \text{ J}$

# A látható világegyetem távolsága



Az extragalaktikus eredetű, azaz a Galaxisunk határain túlról érkező hírvivők közül a neutrínókat észlelhetjük a világegyetem azon távoli szegleteiből is, amelyek mind a kozmikus sugarak, mind a fotonok számára átláthatatlan régiók - **a neutrínók a világegyetem legjobb szabaduló művészei.**

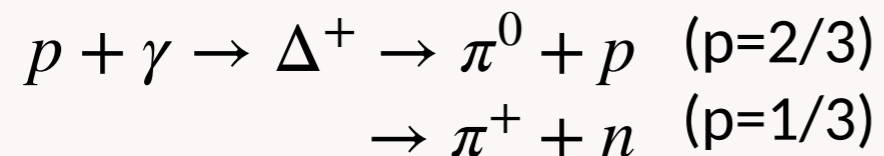
# A neutrínó égbolt

- (Földi körülmények között részecskegyorsítóknban, atomreaktorokban, akár a Föld belsejében (geoneutrínók))
- Az égbolt felől (növekvő energia szerint):
  - **Kozmikus neutrínó háttér.** Komponensei a Primordiális háttér (“Big Bang” neutrínók, jelentősen lehűltek,  $E \sim 10^{-4}$  eV) és a Diffúz Szupernóva háttér ( $2,9\bar{\nu}_e / \text{cm}^2 / \text{s}$ , 17,3 MeV felett).
  - Sztelláris neutrínók. Pár 10 MeV-nál kisebb energia. Főként nukleáris folyamatokban jönnek létre, pl. a Nap belsejében vagy robbanó szupernóvákban.
  - Kozmikus neutrínók. Pár 10 GeV és feletti energia. Kozmikus részecskegyorsítóknban, távoli források kozmikus sugarai által keltett mezonok bomlása során.
  - **Kozmogenikus neutrínók.** Pár 10 PeV felett az UHECR-ek és a KMHS kölcsönhatásában.

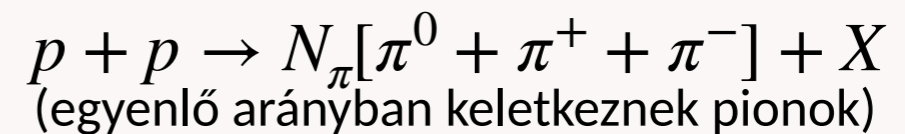
# Kozmikus neutrínókat keltő csatornák

## Relativisztikus energiájú hadronok kölcsönhatnak

... sugárzással

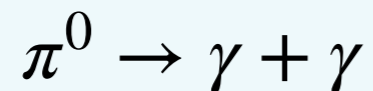


... anyaggal



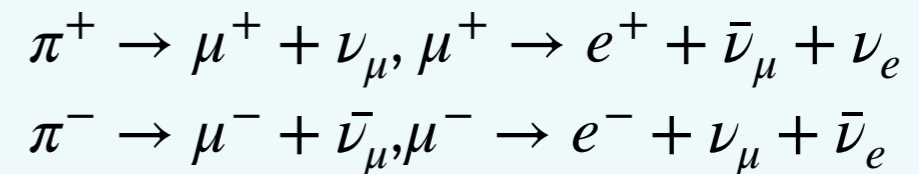
Feltétel, hogy a folyamatok tömegközépponti energiája fedezze a keletkező részecskéknek legalább a nyugalmi energiáját. Ehhez a protonoknak **gyorsulnia** kell (0.64c)

A semleges pionok  
gamma fotonokká bomlanak

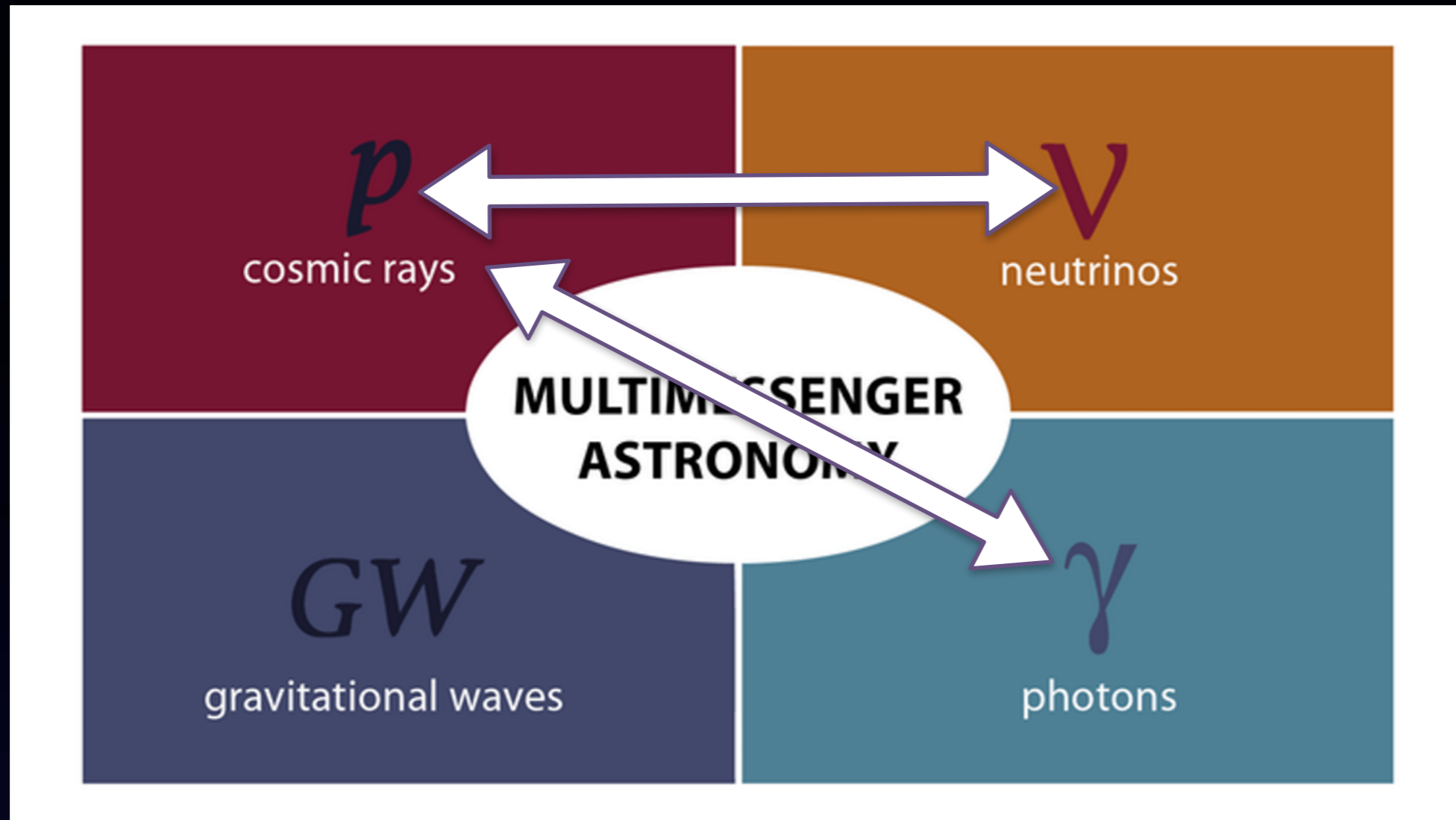


A töltött pionok

bomlásában neutrínók is keletkeznek



4 müonneutrínó, 2 elektronneutrínó

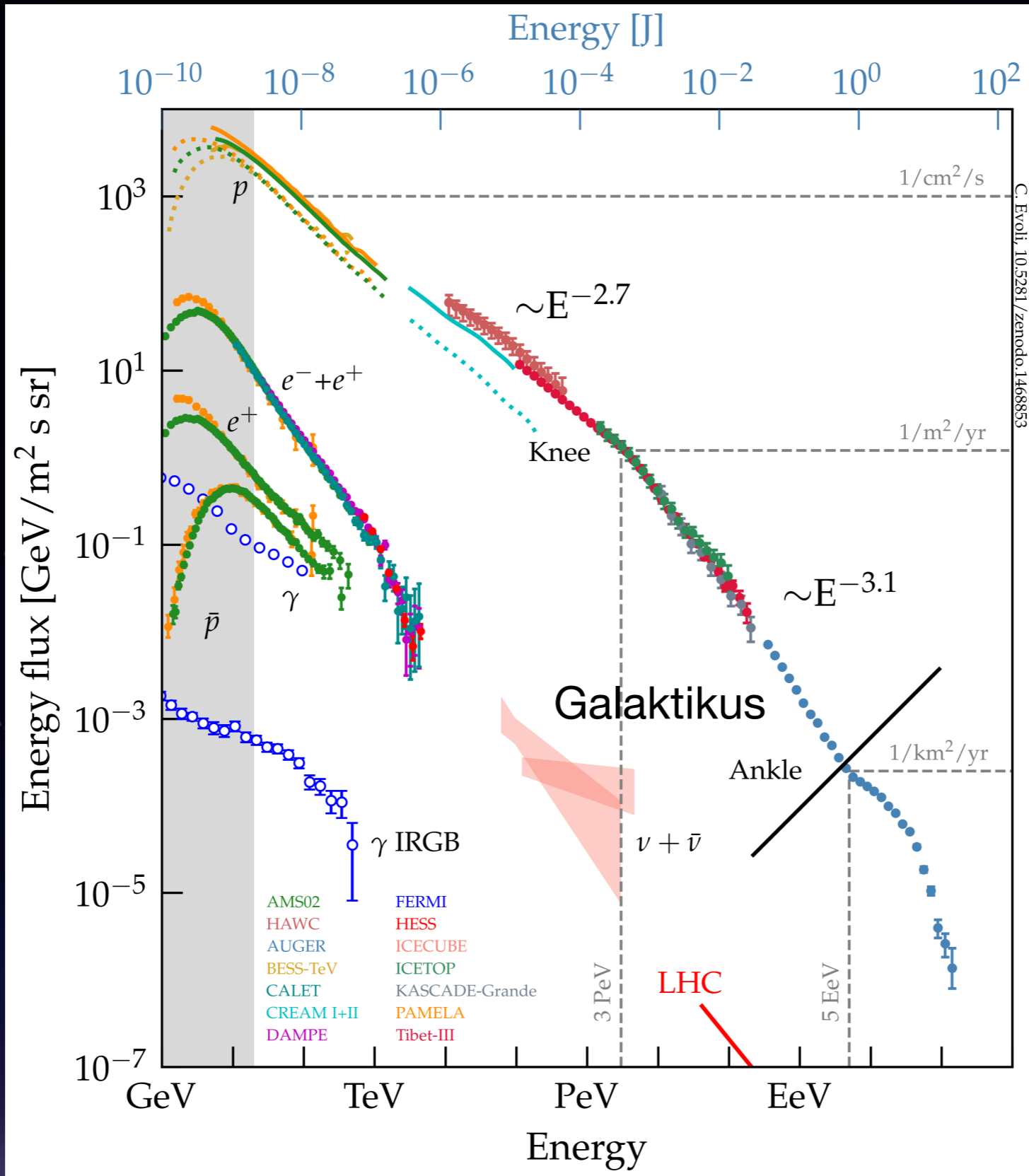


A nem-termális világegyetemben a kozmikus sugarak, gamma-fotonok és neutrínók eredete szorosan összefügg

# Ultra-nagy energiájú kozmikus sugarak

“Ultra-high energy cosmic rays” (UHECR)

- Nagy energiájú ( $>10^{18}$  eV) kozmikus sugarak (hadronok)  
“Oh-my-God” részecske  $(3,2\pm 0,9)\times 10^{20}$  eV, vagy  $51\pm 14$  J (1991.10.15., Fly's Eye kamera, Dugway Proving Ground, Utah, U.S.)
- Kicsi detektálási gyakoriság (1 részecske/1km<sup>2</sup>/100 év)
- Kölcsönhatnak a KMHS fotonjaival:
  - Bethe-Heitler féle párkeltés.  $>5\times 10^{18}$  eV,  $p + \gamma_{CMB} \rightarrow p + e^+ + e^-$
  - $\Delta^+$  rezonancia.  $>5\times 10^{19}$  eV, energiaspektrumukban a **Greisen-Zatsepin-Kuzmin** levágáshoz vezet
- A GZK horizont  $5\times 10^{19}$  eV energián 50 Mpc ( $z\sim 0.01$ ). A detektált UHECR-ek ezen horizonton belülről érkeznek, kozmikus értelemben fiatalok, forrásaik a Lokális Univerzumban találhatóak.

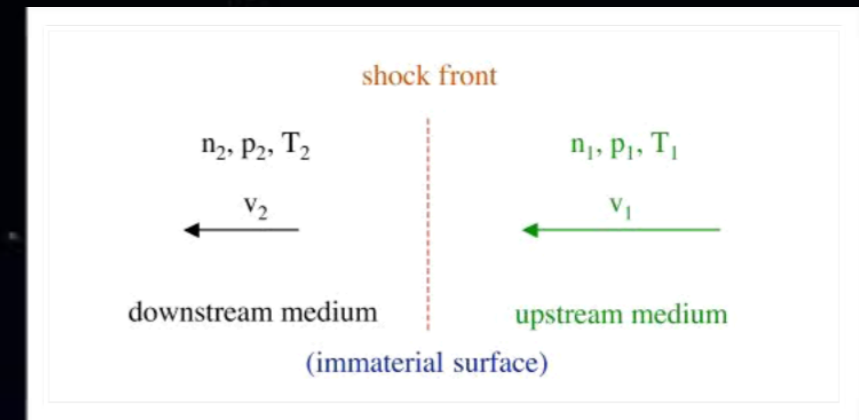


C. Evoli, 10.5281/zenodo.1468853

# Gyorsítási folyamatok

- Diffúz lökeshullám általi gyorsítás, vagy elsőrendű Fermi gyorsítás.

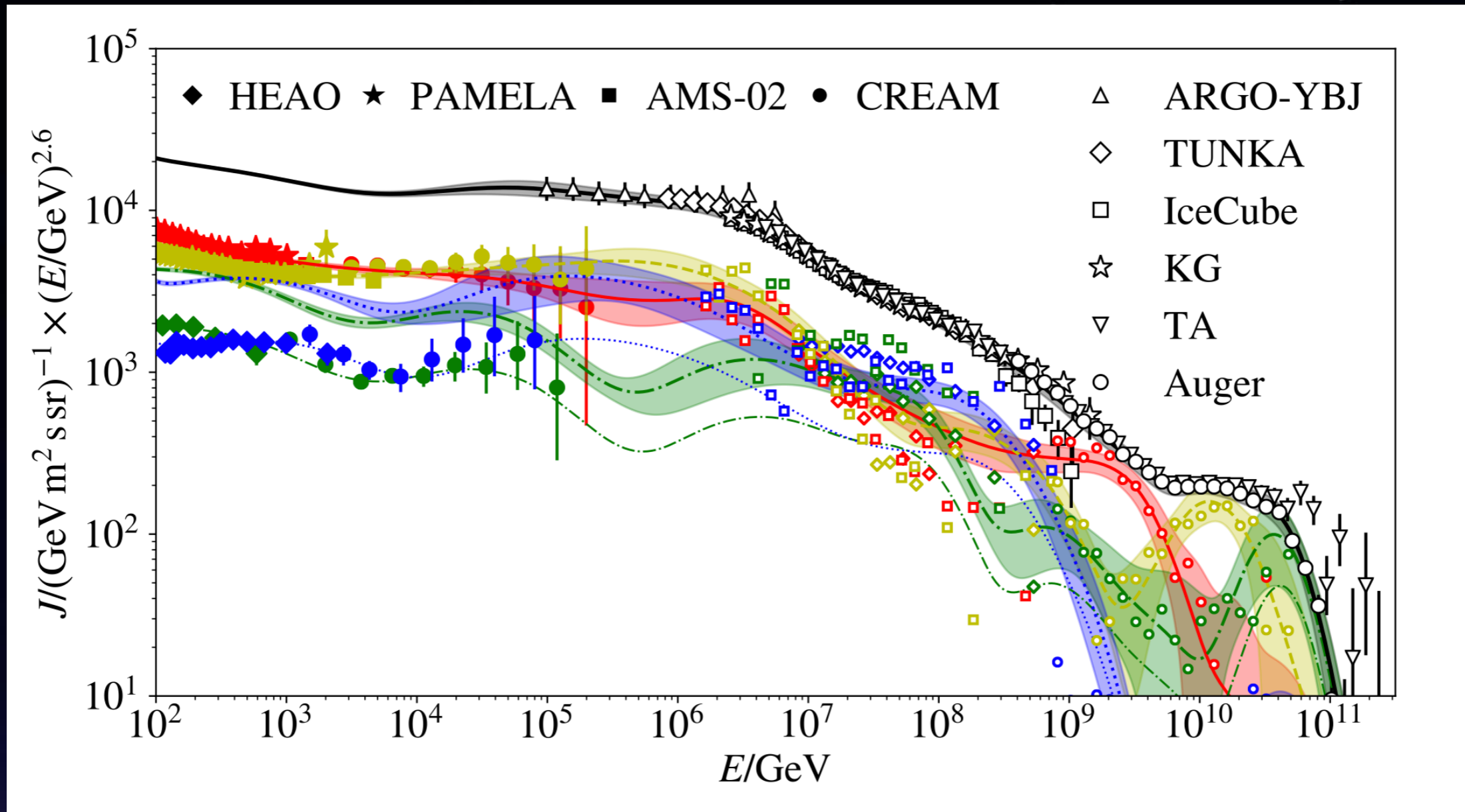
Galaxishalmazokat körbevevő burkokban, csillagontó galaxisok szeleiben, aktív galaxismagok („active galactic nuclei”, AGN) permanens és gamma-kitörések tranziens részecskenyalábjaiban, vagy árapály–szétszakítások részecskenyalábjaiban.



- “Espresso” modell. UHECR részecskék prekurzorai szupernóva maradványokban létrejött alacsonyabb energiájú kozmikus sugarak, amelyek AGN-ek relativisztikus nyalábja általi nyírási gyorsítással képesek elérni akár a  $10^{20}$  eV energiát is.
- Elektromotoros erő hatására. Pl. pulzár és magnetár szelekben.



# A megfigyelt kozmikus sugár spektrum

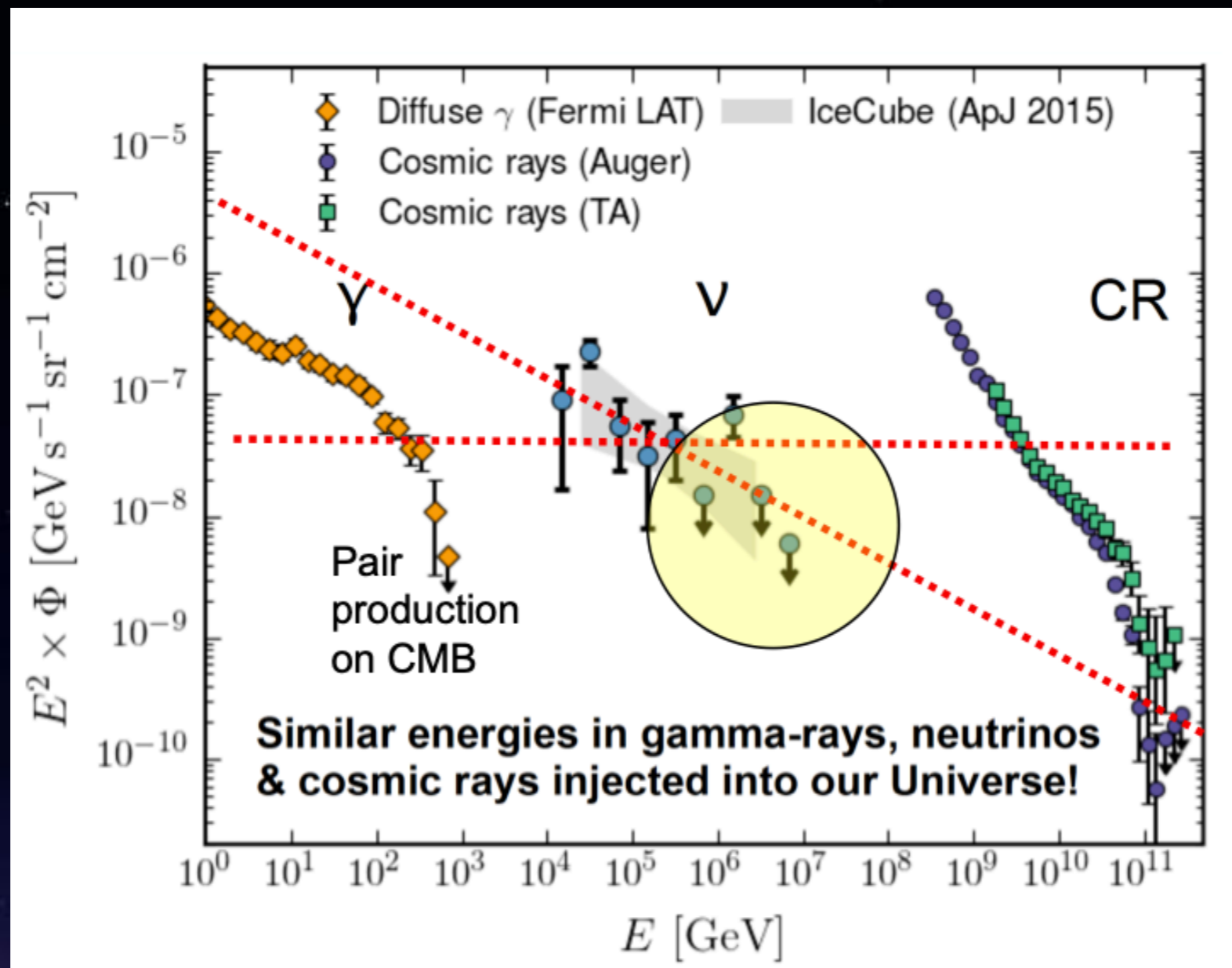


[Dembinski et al., 2017](#)

Teljes részecskefluxus

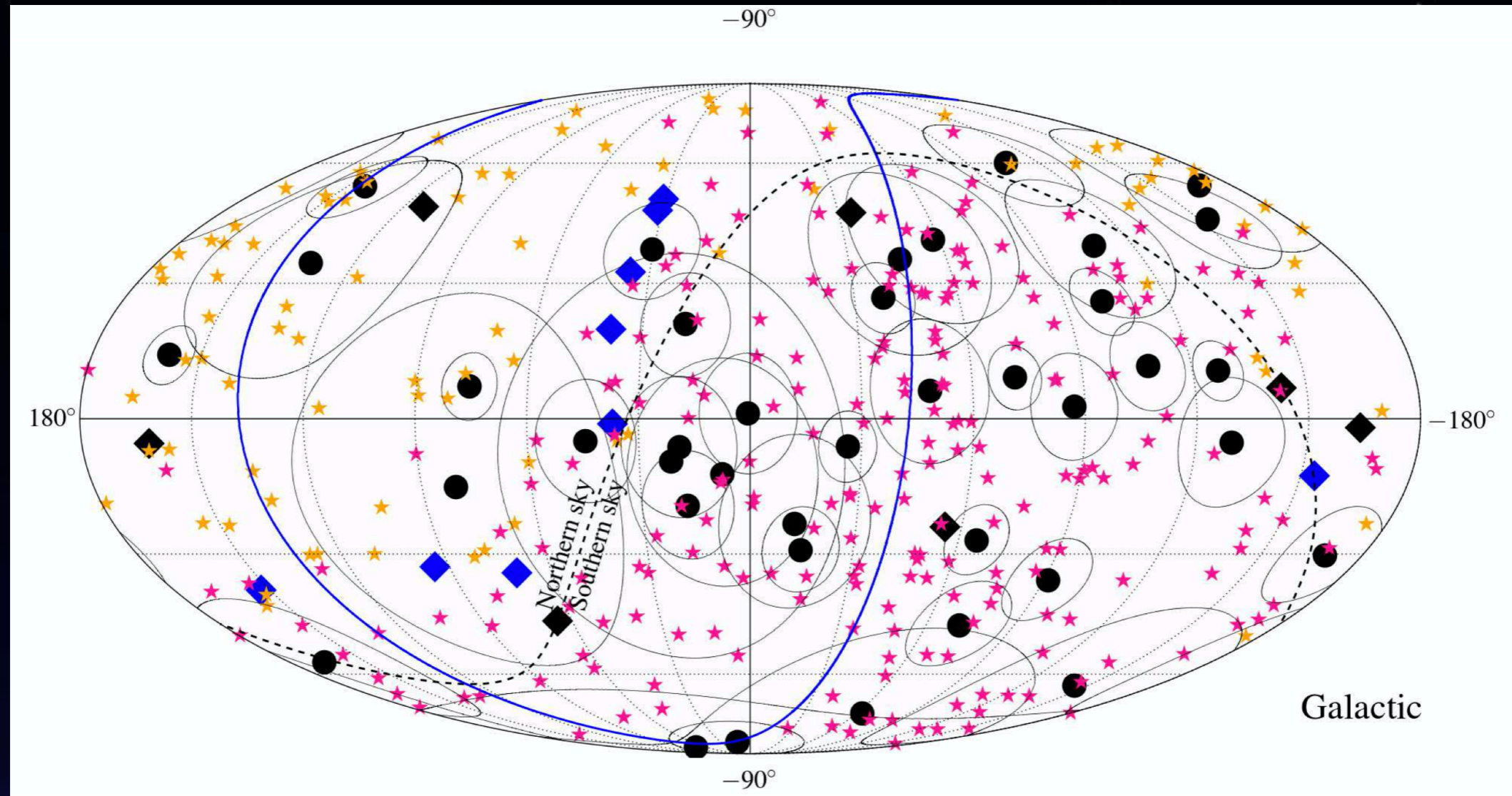
Proton fluxus, hélium csoport, oxigén csoport, vas csoport

Az észlelt neutrínó spektrum meredeksége hasonló az ...UHECR-ekéhez Waxman, Bahcall, Phys. Rev. D.,59 (1999) 023002 ... és a diffúz  $\gamma$ -sugarakéhoz Fermi-LAT, Astrophys. J. 799 (2015) 86



# UHECR-ek és kozmikus neutrínók

(IceCube, Pierre Auger és Telescope Array Kollaborációk, 2016, JCAP, 01, 037)



○ IceCube shower neutrínó események

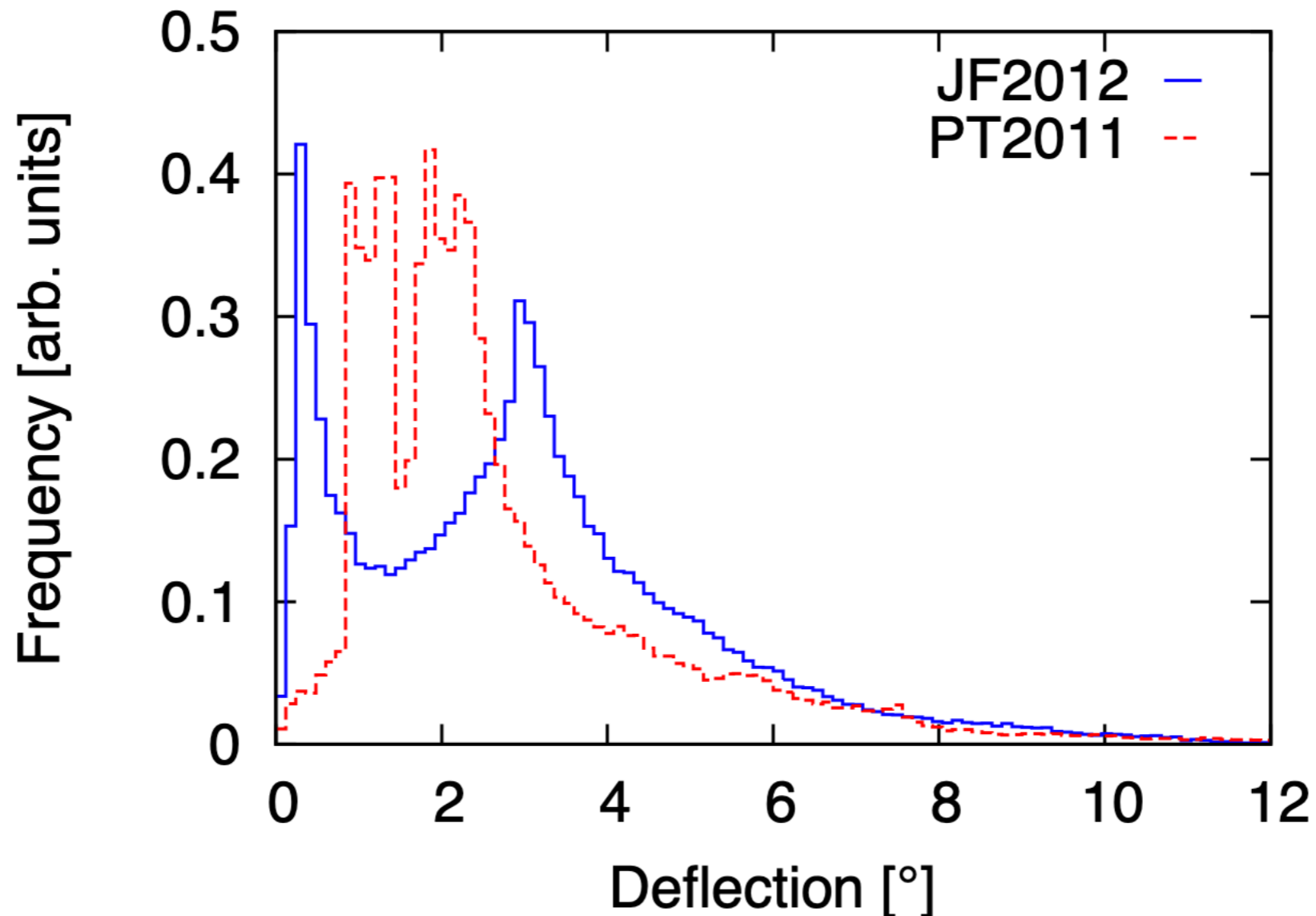
★ Pierre Auger UHECR-ek

◆ IceCube track neutrínó események

★ Telescope Array UHECR-ek

Az érkezési irányok közötti korreláció kisebb, mint ami a kapcsolat felfedezéséhez szükséges

- Az UHECR-eket igen nehéz irányok alapján forrásaikhoz kötni. Ennek oka egyrészt a GZK levágás, másrészt a
- Galaktikus és intergalaktikus mágneses terek általi eltérítés viszonylag nagy -> az UHECR-ek forrásaik körül halmozódnak (“clustering”)



# Kozmikus sugár obszervatóriumok

## Föld bázisú

- [Akeno Giant Air Shower Array](#)
- [Chicago Air Shower Array](#)
- [CHICOS](#)
- [CLOUD](#)
- [GAMMA](#)
- [GRAPES-3](#)
- [HAWC](#)
- [High Energy Stereoscopic System](#)
- [High Resolution Fly's Eye Cosmic Ray Detector](#)
- [HEGRA](#)
- [IceCube](#)
- [KASCADE](#)
- [MAGIC](#)
- [MARIACHI](#)
- [Milagro](#)
- [CRIPT](#)
- [NMDB](#)
- [Pierre Auger Observatory](#)
- [QuarkNet](#)
- [Spaceship Earth](#)
- [Telescope Array Project](#)
- [Tunka experiment](#)
- [VERITAS](#)
- [Washington Large Area Time Coincidence Array](#)

## Világűr bázisú

- [PAMELA](#)
- [Alpha Magnetic Spectrometer](#)
- [ACE \(Advanced Composition Explorer\)](#)
- [Voyager 1](#) and [Voyager 2](#)
- [Cassini–Huygens](#)
- [HEAO 1, HEAO 2, HEAO 3](#)
- [Fermi Gamma-ray Space Telescope](#)
- [Solar and Heliospheric Observatory](#)
- [Interstellar Boundary Explorer](#)
- [Langton Ultimate Cosmic-Ray Intensity Detector](#)

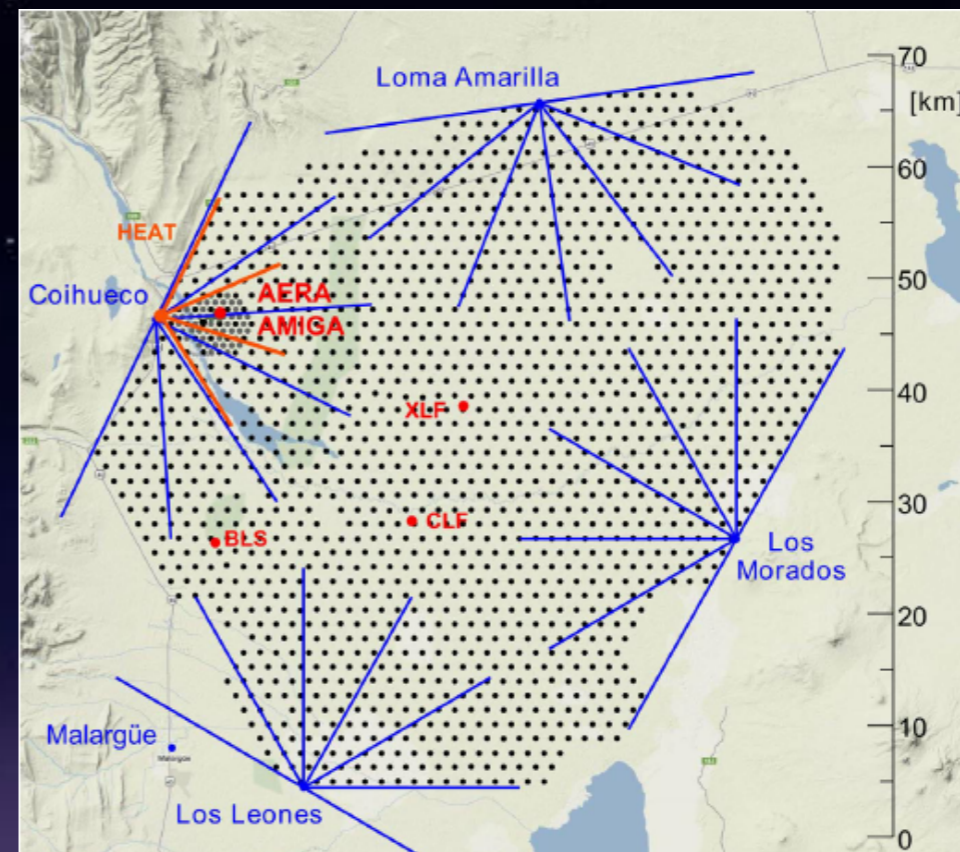
## Ballonos

- [BESS](#)
- [Advanced Thin Ionization Calorimeter](#)
- [TRACER \(cosmic ray detector\)](#)
- [TIGER](#)
- [Cosmic Ray Energetics and Mass \(CREAM\)](#)
- [PERDaix](#)
- [HEAT \(High Energy Antimatter Telescope\)](#)

Több gamma-sugár obszervatórium is található a felsorolásban, mivel ezek képesek a kozmikus sugarak által keltett gamma fotonokat, s mintegy indirekt módon a kozmikus sugarakat is észlelni.

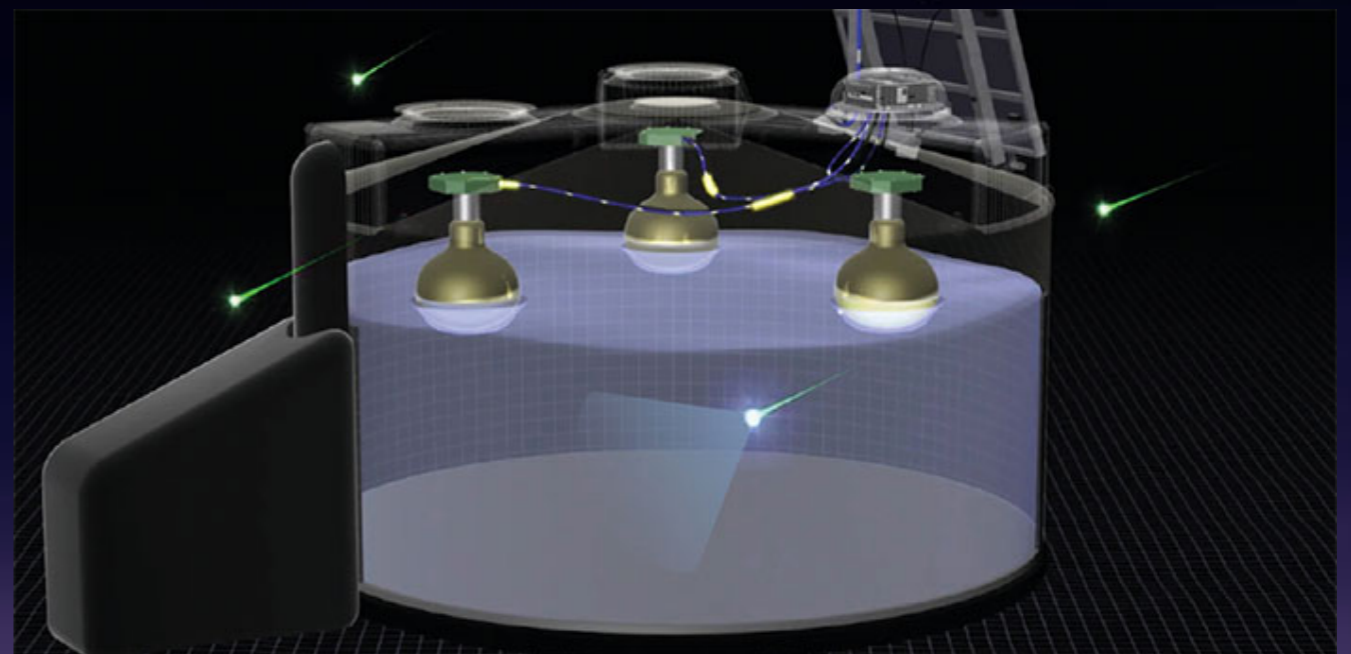
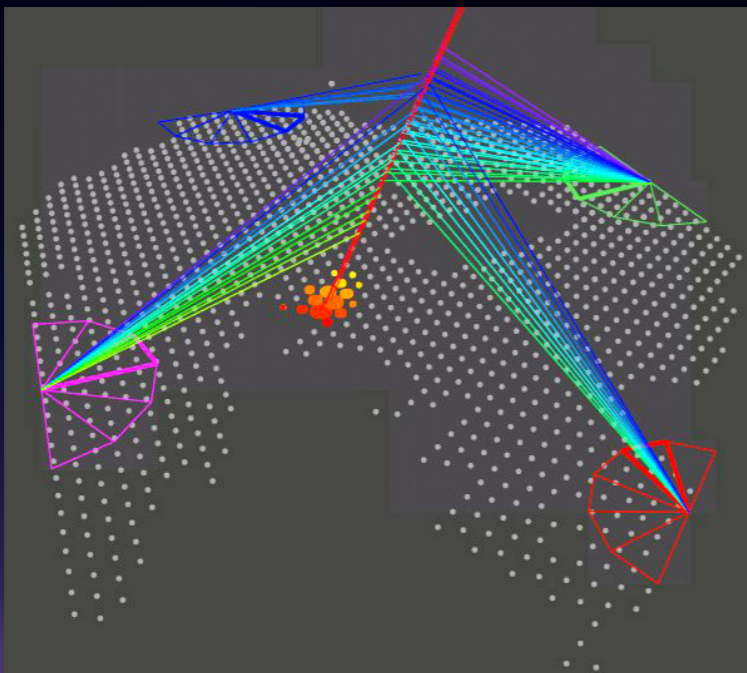
# Pierre Auger Obszervatórium

- A legnagyobb energiájú kozmikus sugarak észlelésére építették (ultra-high-energy cosmic rays, UHECRs)
- Két észlelési technikát ötvöz  
**Felzíni Detektor:** Cserenkov sugárzást mérnek  
**Fluoreszcencia Detektor:** fluoreszcens felvillanásokat fotóznak



# Felszíni Detektor

- Beérkező UHECR részecskék részecskezapotot indukálnak és a felszíni detektor vízzel töltött tárolóiba csapódnak
- Cserenkov -sugárzást mér, fotoelektron-sokszorozókkal
- 1 detektáláshoz 1 évszázad 1 km<sup>2</sup>-en (GZK levágás, sokat várunk vagy nagy felületen helyezünk el detektorokat)
- A Felszíni Detektor 1660m db egymástól 1500m-re levő, egyenként 12 m<sup>3</sup> térfogatú tartályból áll, 3000 km<sup>2</sup>-en



# Felszíni Detektor

- Beér...
- felszí...
- Cseré...
- 1 det...
- vagy...
- A Fel...
- 12 m...

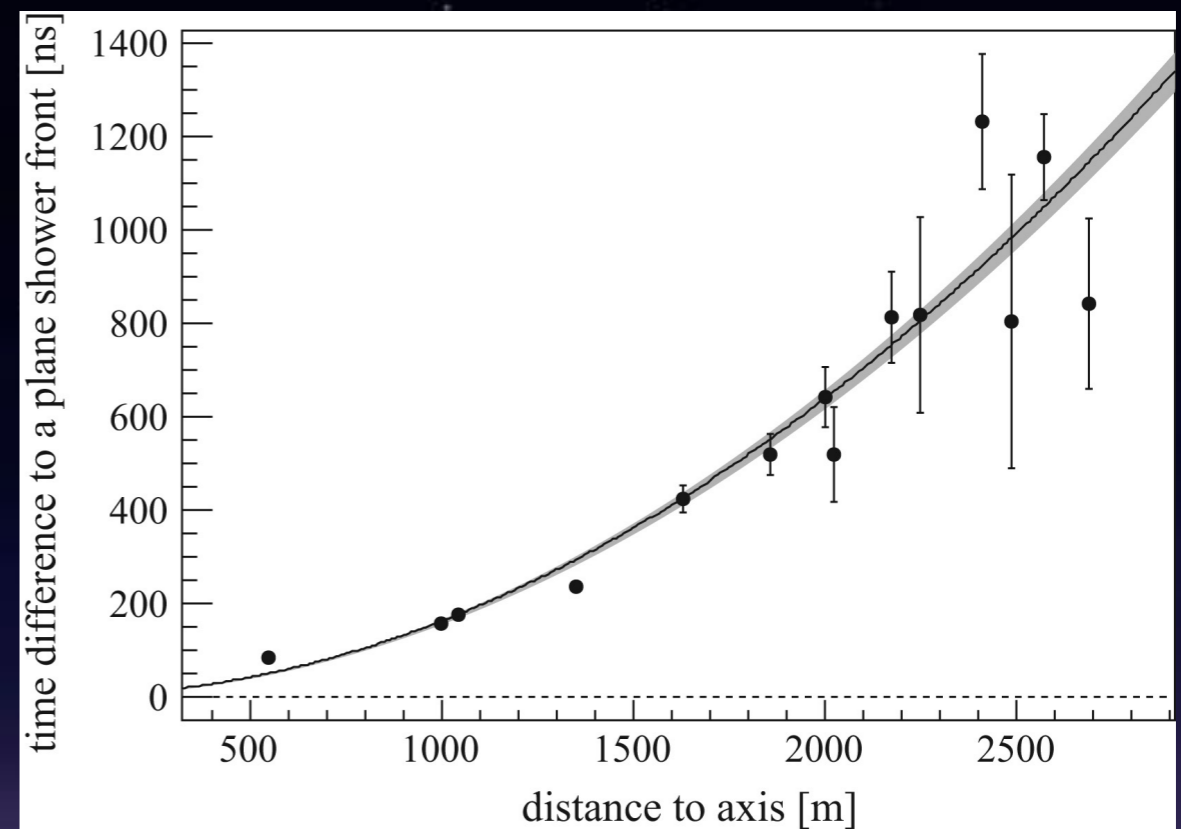
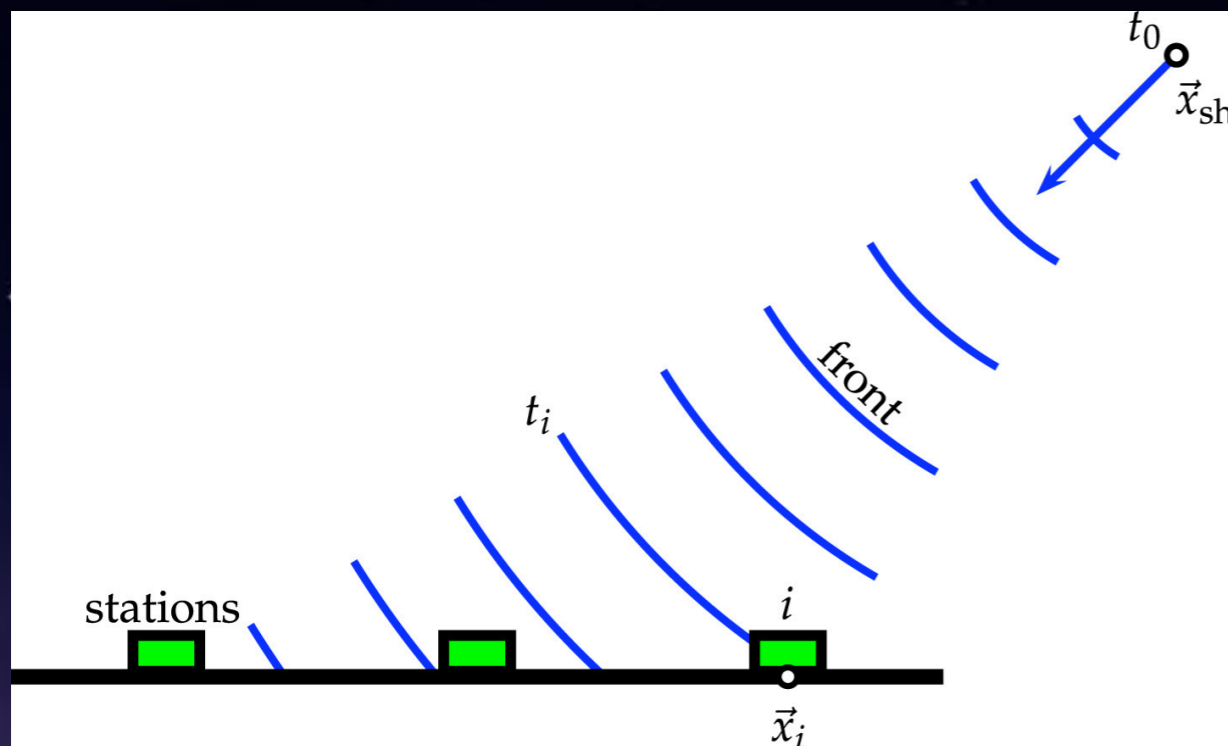


ként





- Longitudinális zápor részecskéinek beérkezési ideje
- Tárolók közötti távolság miatt időkéésés az elsőként jelző tárolóhoz képest
- Időmérés és trigonometria, azonosítható a beérkező elsődleges részecske, a kozmikus sugár iránya



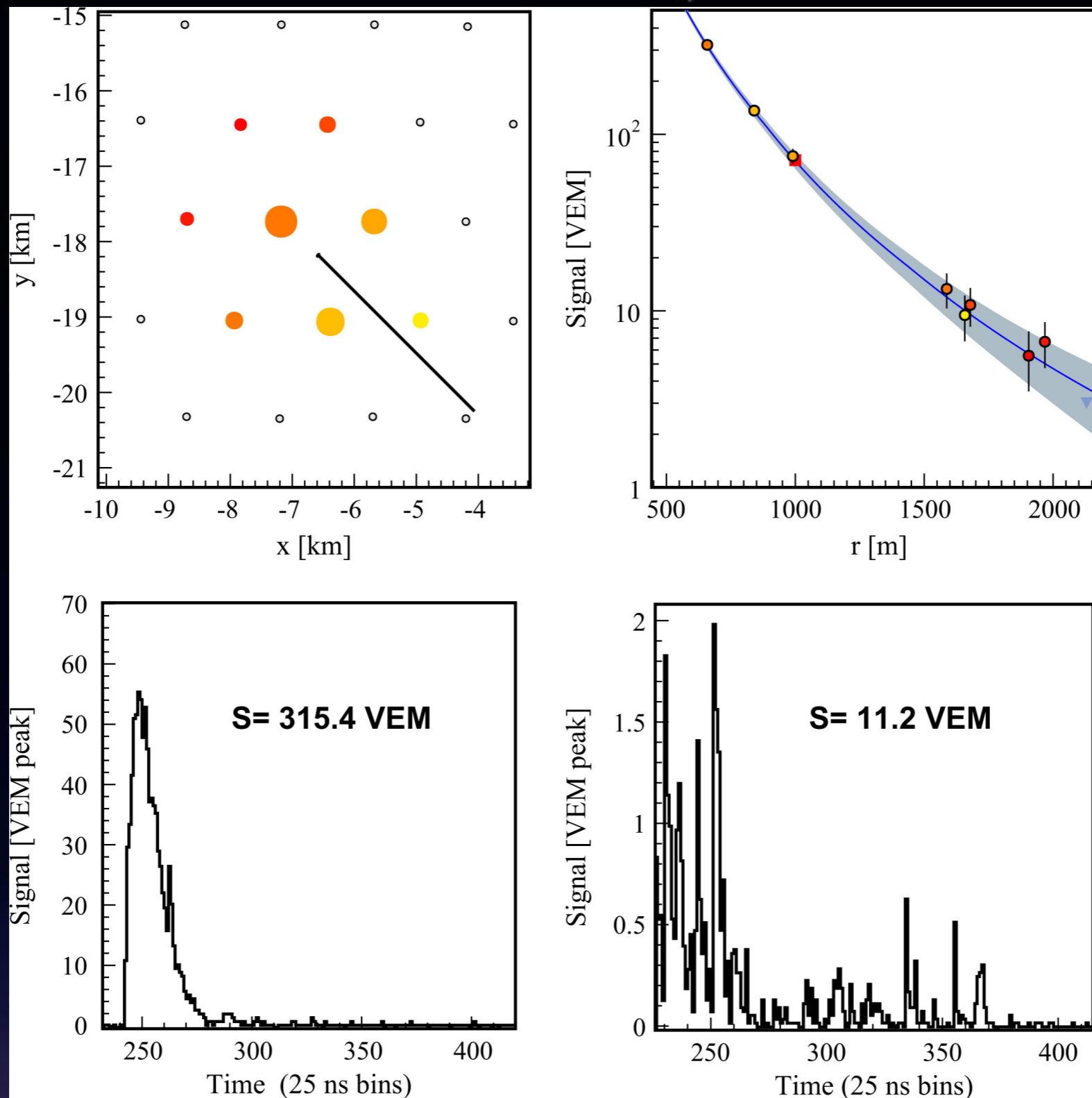


Fig. 17. Event 13357690: a typical vertical event of about  $3 \times 10^{19}$  eV. Top left: The array seen from above with the 8 triggered stations. Top right: The fit to the lateral distribution function (LDF) for this shower of zenith angle  $28^\circ$ . Bottom: The FADC traces from 2 detectors at distances of 650 and 1780 m from the shower core. The signal sizes are in units of VEM.

## Az iránymeghatározás pontossága

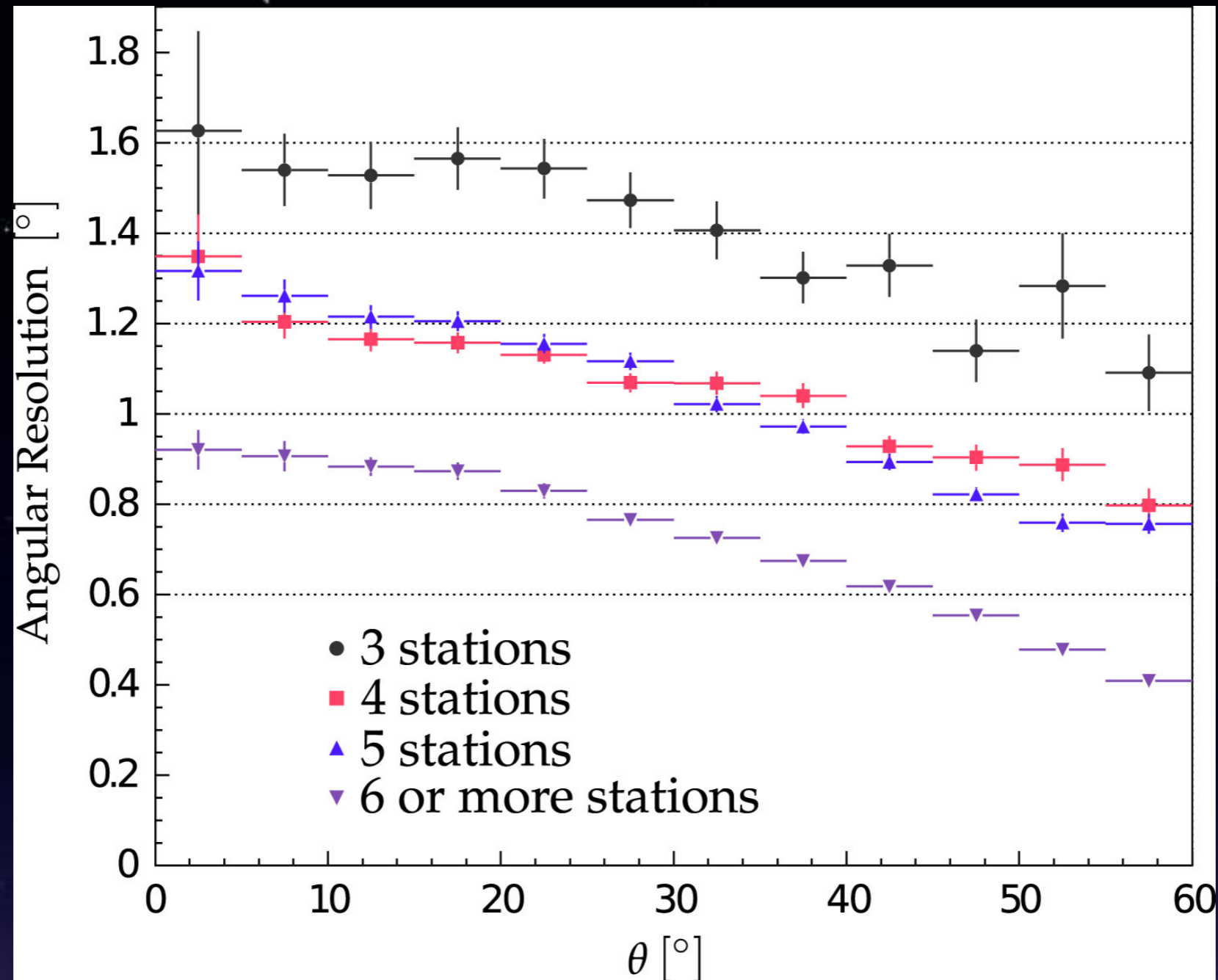
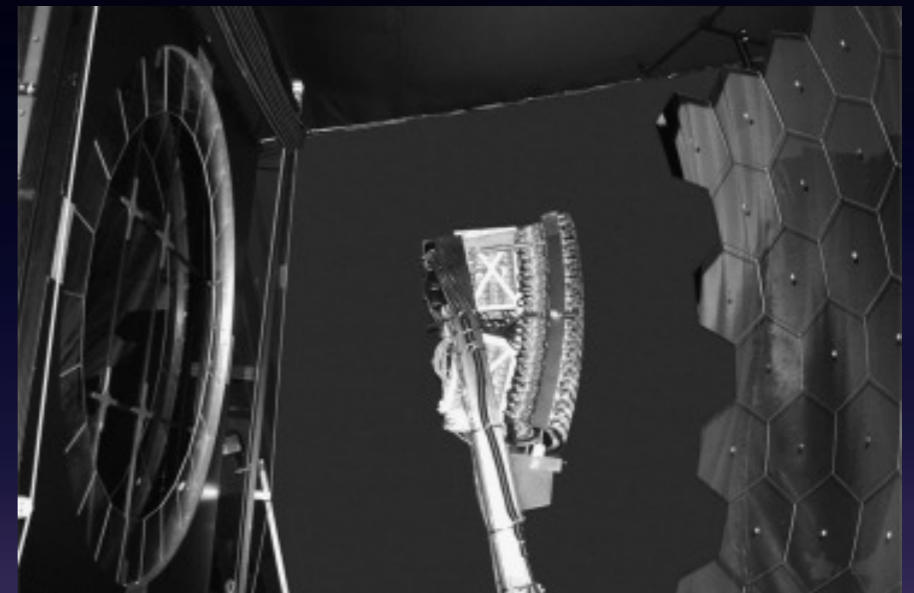
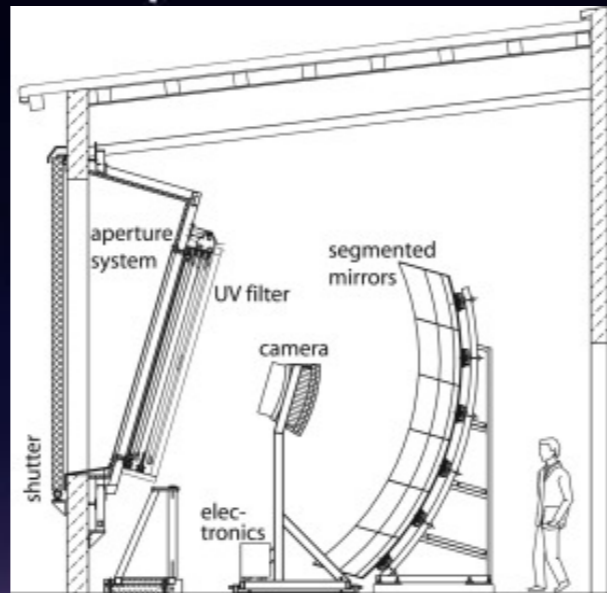
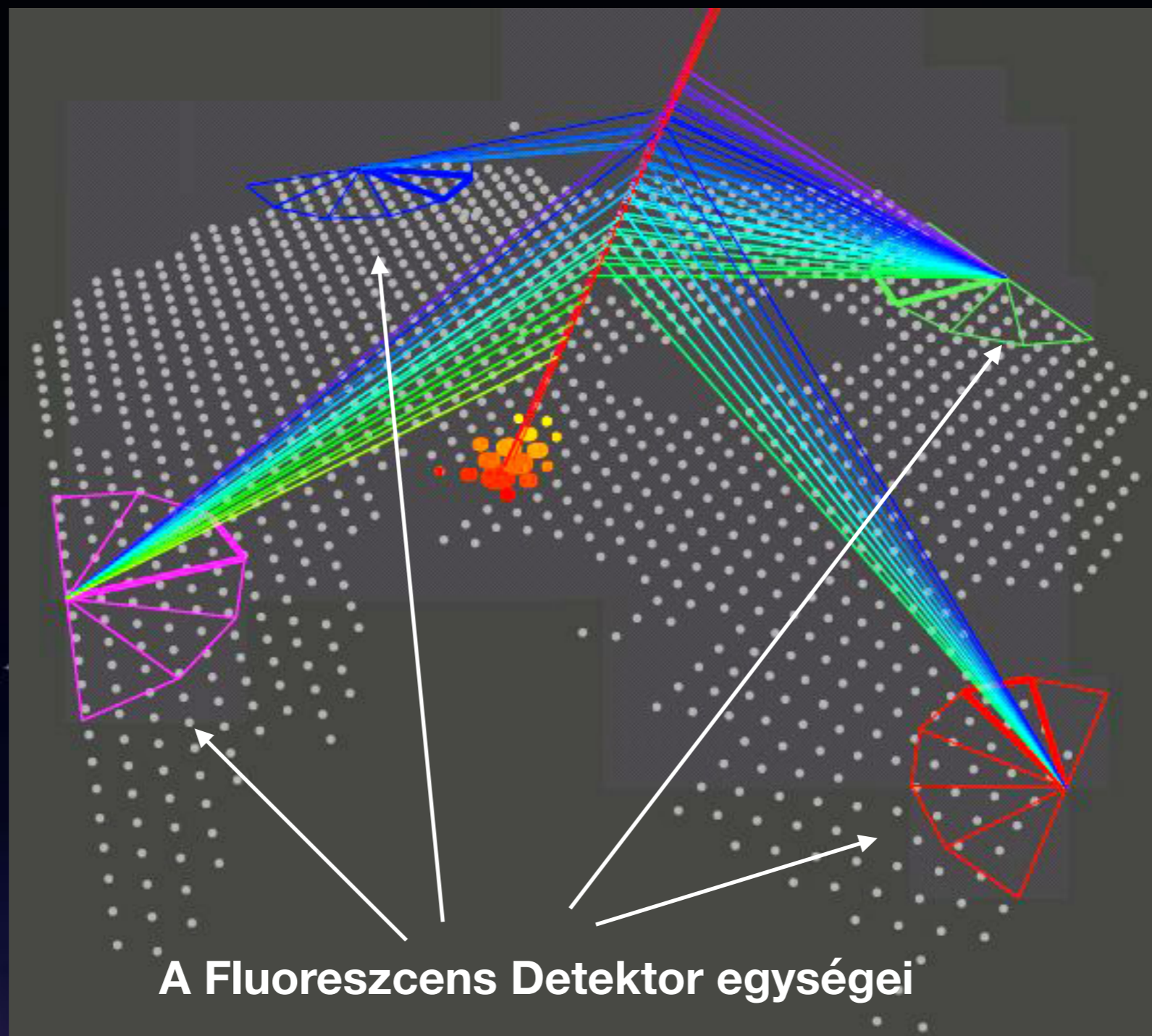


Fig. 39. Angular resolution as a function of the zenith angle  $\theta$  for events with an energy above 3 EeV, and for various station multiplicities

# Fluoreszcens detektor

- Az UHECR által létrehozott részecskezápör fluoreszcens fényt sugároz, ennek mennyiségét méri a Fluoreszcens Detektor
- 4 egységben elhelyezett, összesen 27 db teleszkóp,  $30^\circ \times 30^\circ$  látómező, 80x80 cm-es felületű kamerák
- A kamerák minden 10. milliomod másodpercben felvételt készítenek, nagy FPS-ű film, ezen keresik a fluoreszcens felvillanásokat



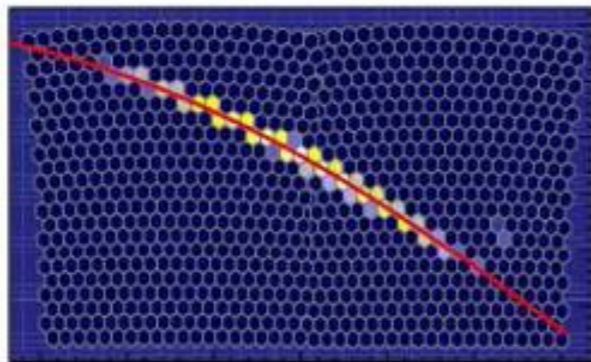
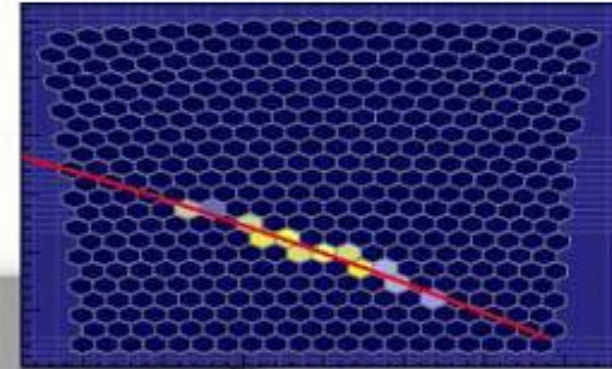


**A Fluoreszcens Detektor egységei**

2007 májusa (nem a végleges állapot)

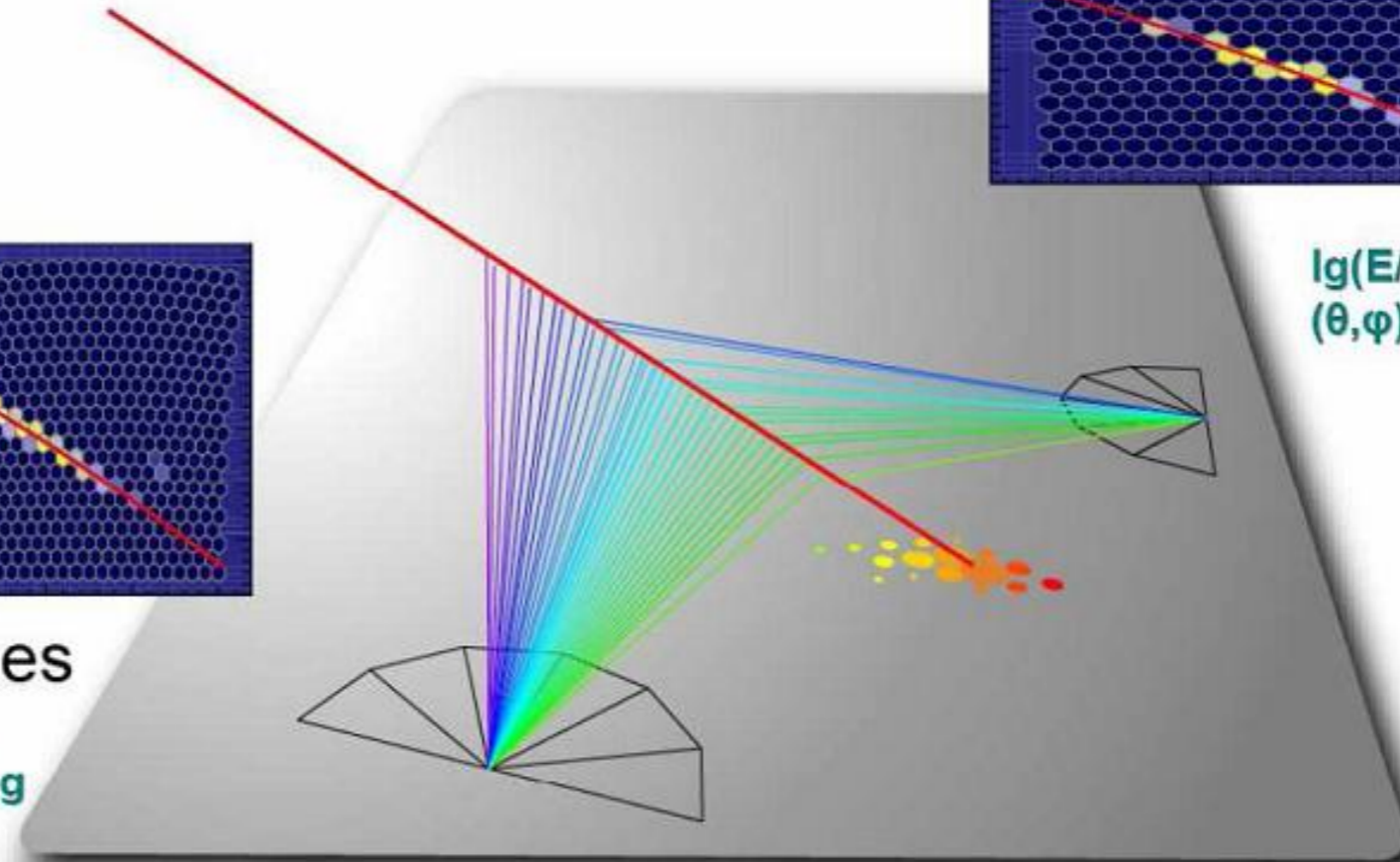
Event: 1364365

Los Morados



Los Leones

$\lg(E/eV) \sim 19.3$   
 $(\theta, \varphi) = (63.7, 148.3)$  deg



$\lg(E/eV) \sim 19.2$   
 $(\theta, \varphi) = (63.7, 148.4)$  deg

SD array:  $\lg(E/eV) \sim 19.1$   
 $(\theta, \varphi) = (63.3, 148.9)$  deg

# Nagy energiájú $\gamma$ -fotonok

## Tipikus nagy energiás EM detektorok

	Wavelength	Energy	Detector
ultra-high energy gamma-rays		$>10^8$ MeV	cloud chamber
very high energy gamma-rays		$10^4$ - $10^8$ MeV	Cherenkov counter
high energy gamma-rays		$30$ - $10^4$ MeV	spark chamber
medium energy gamma-rays		$10$ - $30$ MeV	
low energy gamma-rays		$1$ - $10$ MeV	scintillator
soft gamma-rays		$0.1$ - $10$ MeV	
hard X-rays	$0.01$ - $0.1$ nm	$10$ - $100$ keV	
soft X-rays	$0.1$ - $10$ nm	$0.1$ - $10$ keV	proportional counter
UV	$10$ - $380$ nm		photoplate, PM-tube, CCD

# Nagyon nagy energiájú gamma fotonok

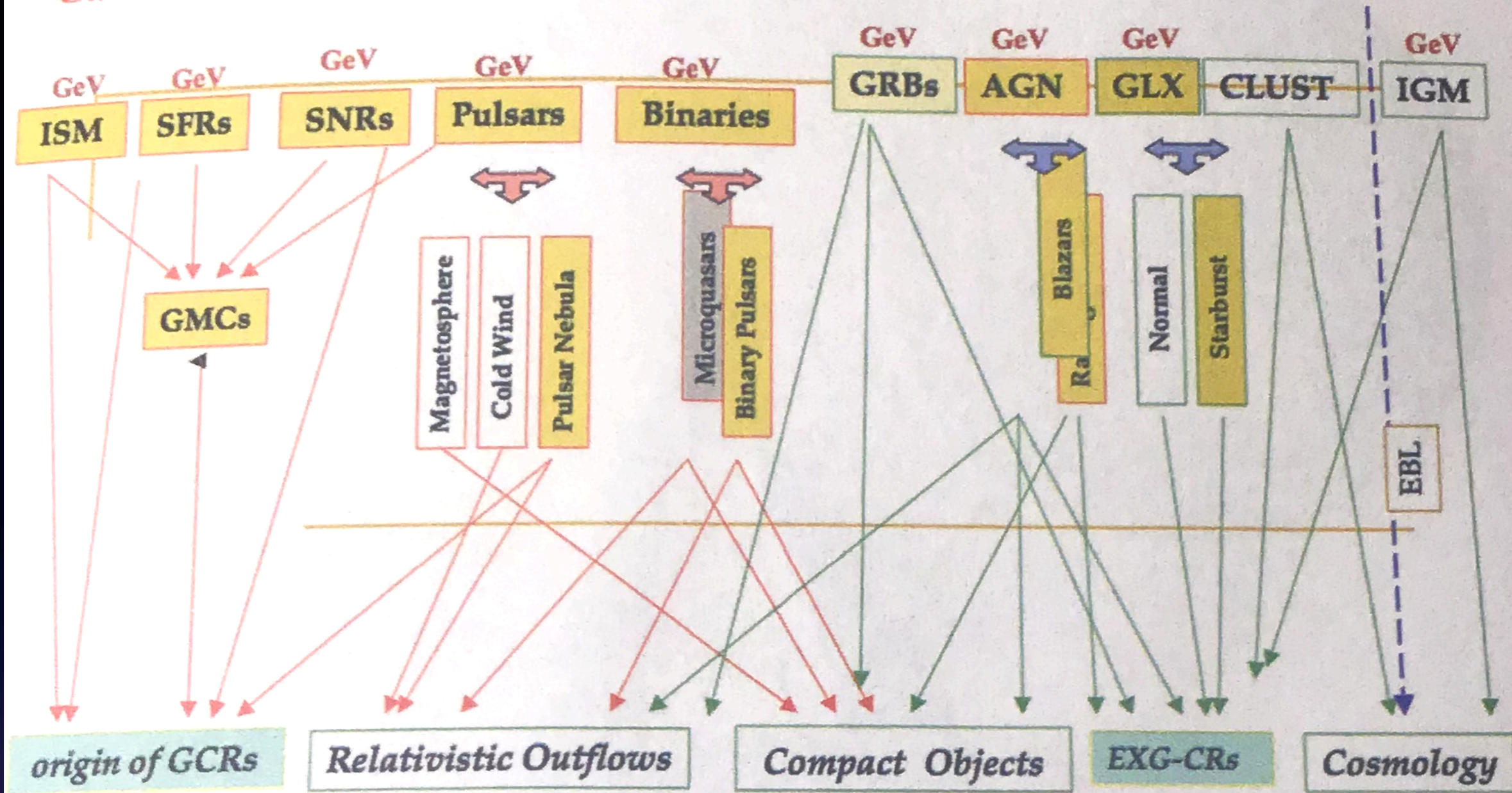
- Energia 100 GeV felett
- Bremsstrahlung vagy fékezési sugárzás. Töltéssel rendelkező részecske lassulása közben megfelelő, amikor azt másik, szintén töltéssel rendelkező részecske letéríti pályájáról.
- $\pi^0$  bomlása.  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
- Inverz Compton szórás. Nagy energiájú, ultrarelativisztikus elektronok ütköznek alacsonyabb energiájú fotonokkal, amelyek energiája megnő, tipikusan a röntgen vagy gamma tartományba szóródik fel.
- Extrém gyorsítóknál szinkrotron sugárzás ( $e^-$  és  $p^+$  is)
- Extrém mágnesezettségű közegekben magnetobremstrahlung



# Potential Gamma Ray Sources

*Galactic*

*Extragalactic*

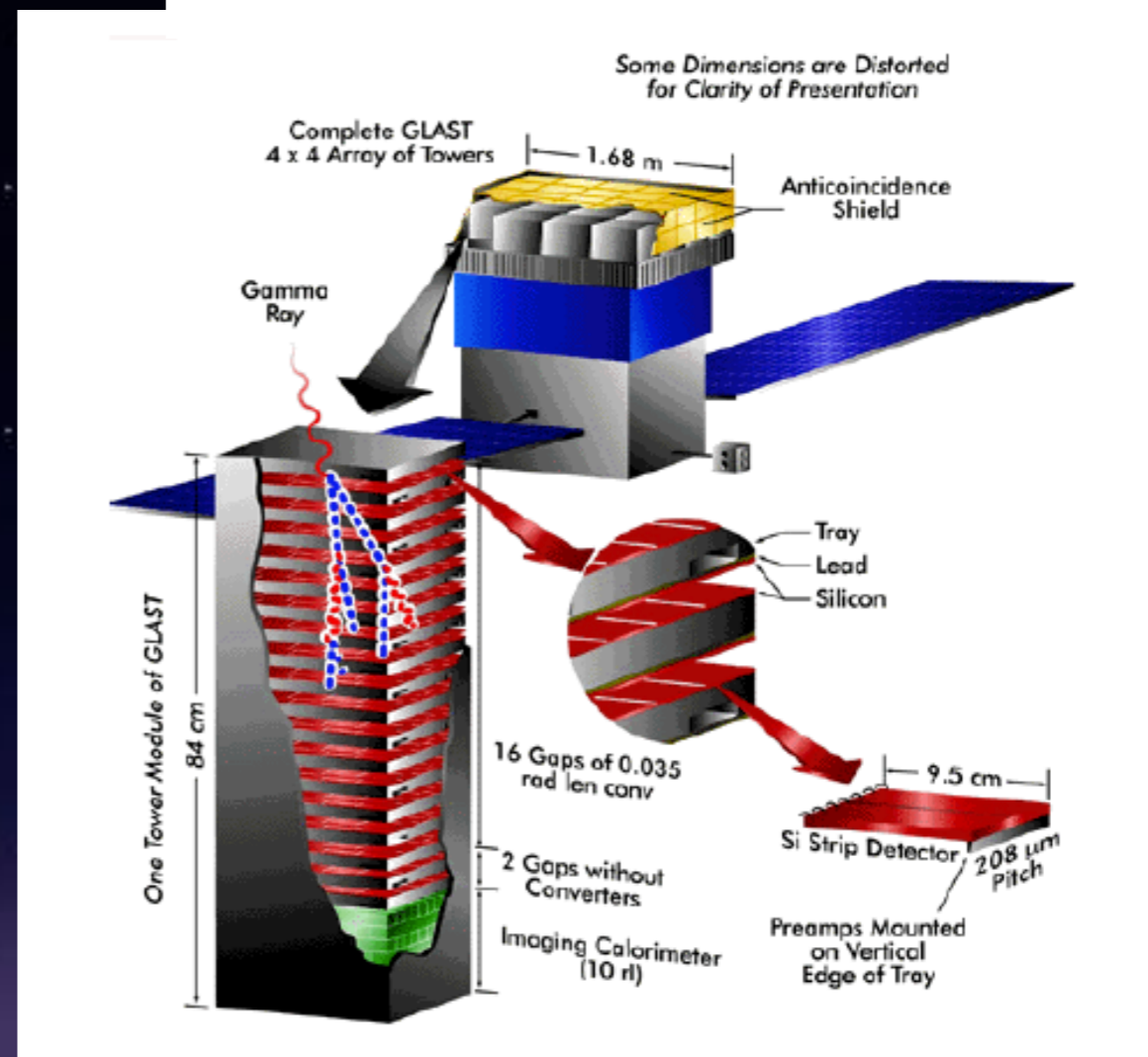
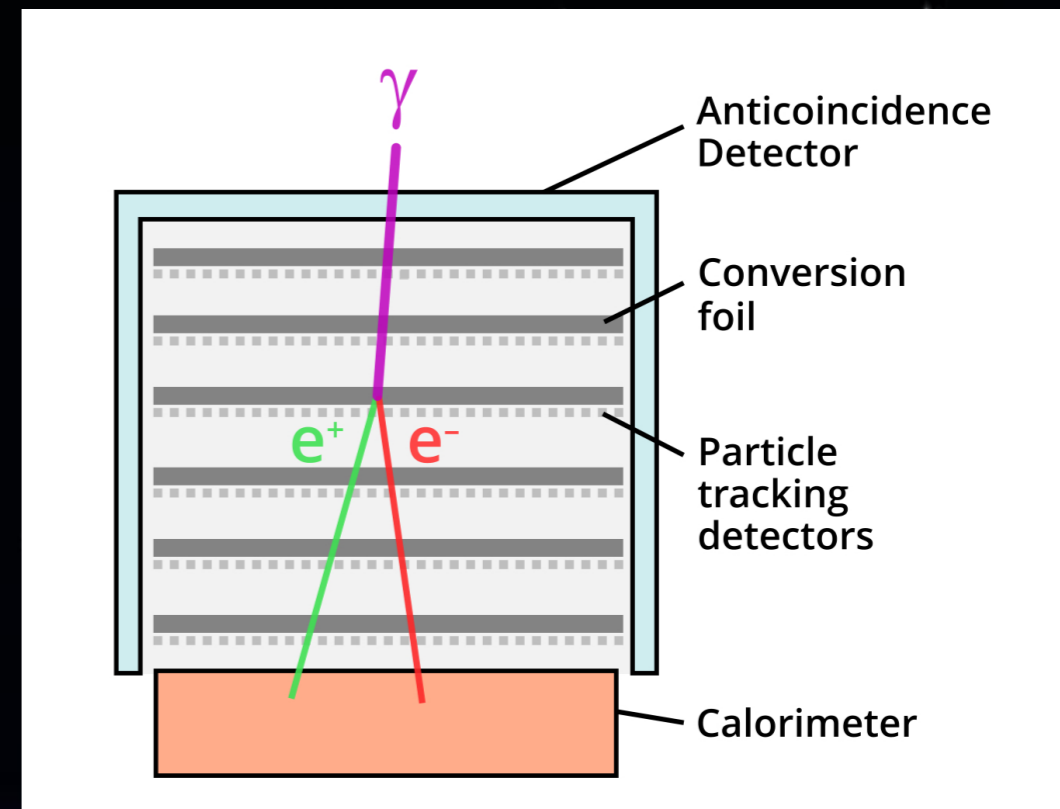


# Fermi Gamma-sugár Űrteleszkóp

- Korábban GLAST. 2008 július 11-én állították pályára, aminek Földfelszín feletti magassága átlagosan 530 km
- Párkonverziós detektor
- Műszerei: **Large Area Telescope** (LAT, 20MeV-300GeV), Gamma-ray Burst Monitor (GBM, 10keV-20MeV)
- Survey üzemmódban működik, 2 szteradián a látómezeje
- Kb 3 óra alatt nézi végig a teljes égboltot, fényesebb gamma források esetén 1 szögperc a pozíció azonosítás pontossága

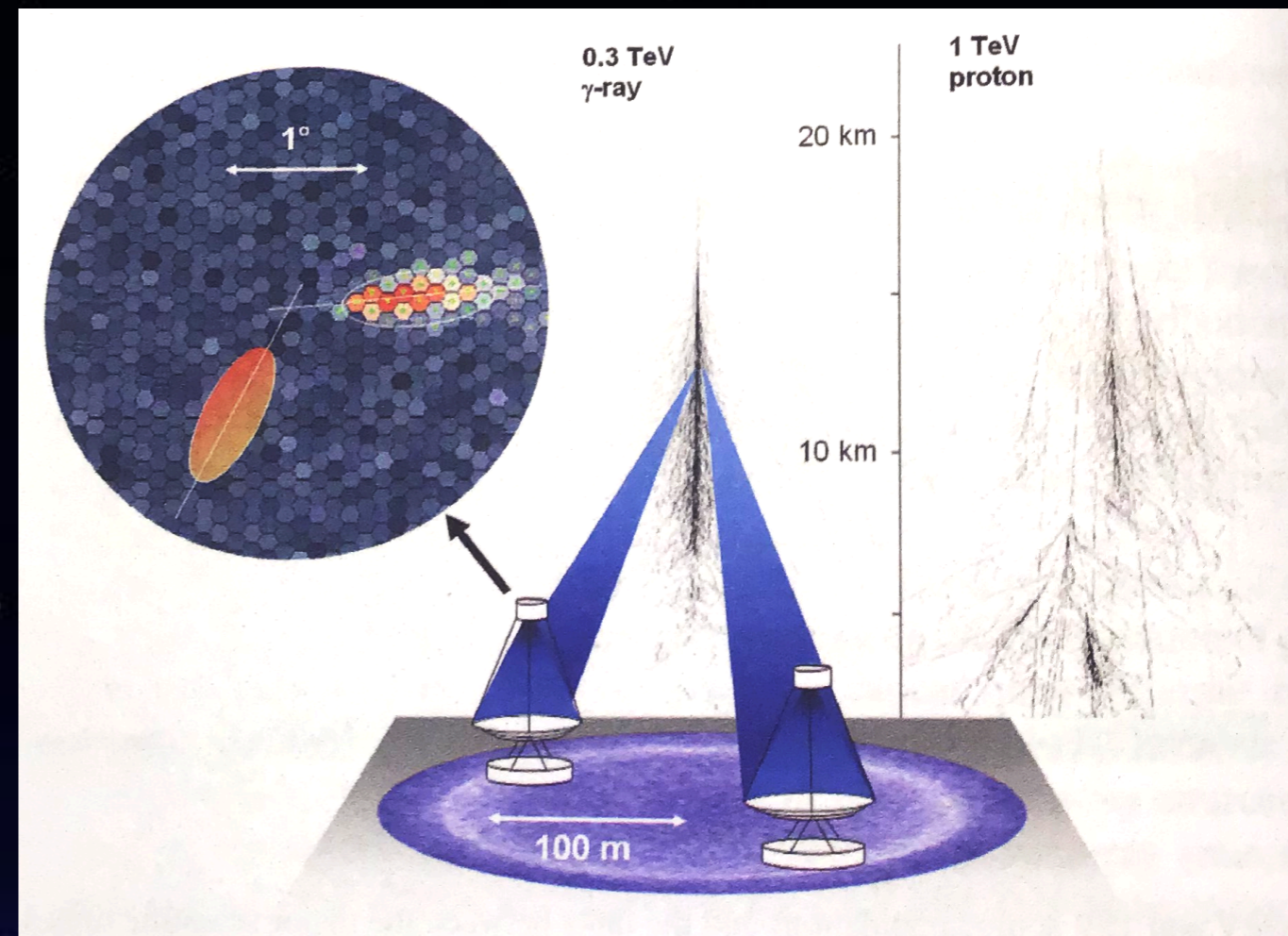


- A gamma fotonok 4x4 **tracker egység**be csapódnak, ami volfrám konverziós fóliák és szilícium félvezető lemezek sorozata.
- A gamma fotonok energiája pozitron elektron párokká alakul a konverziós fóliákban, és a félvezetőkben nyomot hagynak (érkezési irány meghatározása).
- Az elektron és pozitron párok a **kaloriméter egység**ben levő cézium-jodid szcintillátor kristályokba csapódva fékeződnek le, energiájuk tárolódik, majd fotonok formájában kisugárzódik (energia/idő meghatározása).
- A plastik szcintillátor **anti-koincidencia detektor** a kozmikus sugarakból és a Föld albedójából származó, igen erős háttér töltött részecskéit szűri ki.
- **Adatgyűjtő rendszer**, a Fermi “agya”



# A Leképező Léggöri Cserenkov Technika

- A beérkező nagy energiájú gamma foton kölcsönhat a felső légkörrel, másodlagos részecskék záporához vezetve
- A zápor részecskéi az légkör alsóbb rétegeiben veszítik energiájukat, miközben (kékes) Cserenkov fényt bocsátanak ki
- A Cserenkov fény az elsődleges részecske beérkezési iránya körül beamelt (ún. Cherenkov pool)
- Egy 1 TeV gamma foton keltette eseményből 100 foton/m<sup>2</sup> számú másodlagos foton ér Földet, elegendően nagy effektív felületű teleszkópot kell építeni
- Iránymeghatározás miatt (is) több teleszkóp rendszere
- A távcsövek leképezik a beérkező Cserenkov “pool”-t



# A Leképező Légköri Cserenkov Technika

- A k...
- kö...
- rés...
- A z...
- rétt...
- (ké...
- A C...
- be...
- Ch...
- Eg...
- es...
- má...

Az **IAC** (Imaging Atmospheric Cherenkov Technique) hálózatok **pontszerű**, vagy kevésbé kiterjedt, **ismert égi koordinátájú források** megfigyelését teszik lehetővé gamma tartományban.

Az **EAS** (Extensive Shower Technique) rendszerek a másodlagos részecskezápörök **direkt regisztrálásán** alapulnak, szcintillátorok, vagy víz Cserenkov detektorok által (pl HAWK, vagy LHAASO), ez alkalmas **kiterjedtebb források** gamma tartománybeli megfigyelésére (pl Tejútrendszer központja).

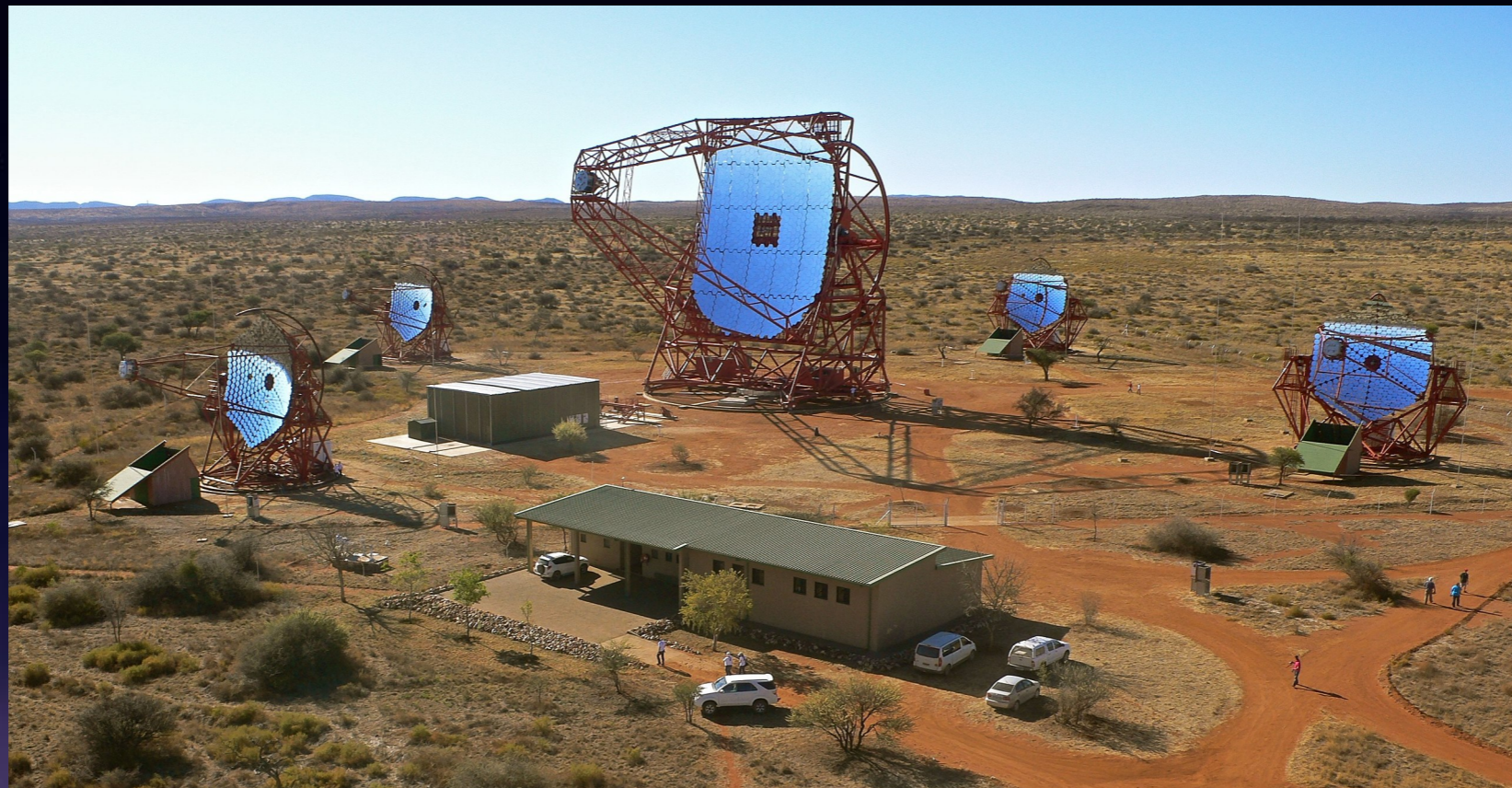
nagy effektív területű teleszkópot kell építeni

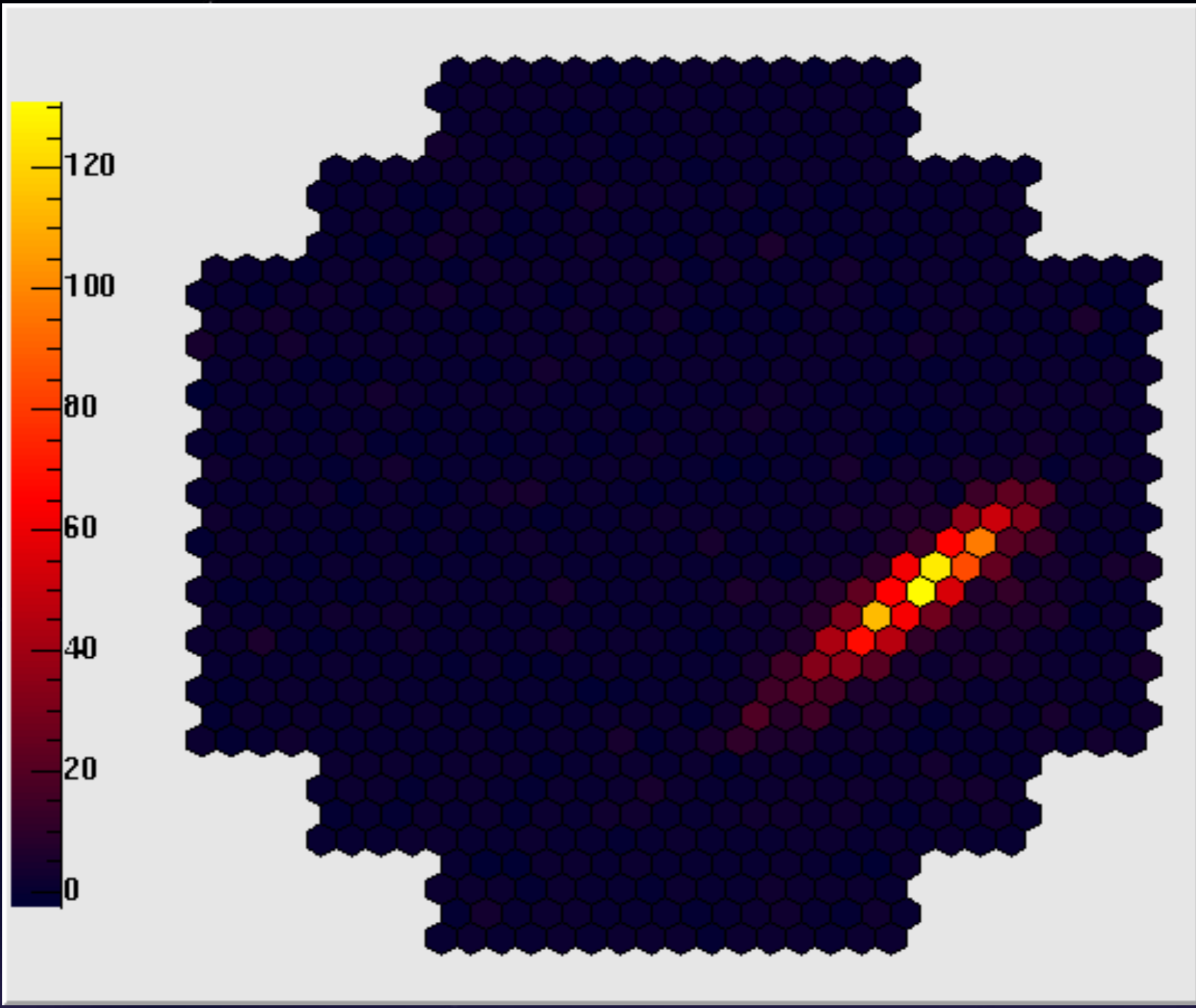
- Iránymeghatározás miatt (is) több teleszkóp rendszere
- A távcsövek leképezik a beérkező Cserenkov “pool”-t

# H.E.S.S.

## High Energy Stereoscopic System

- Leképező atmoszferikus Cserenkov Teleszkópok rendszere
- ~0.1 TeV és 100 TeV energiák között működik
- 4 teleszkóp 12m átmérő, 120m-re egy négyzetben, középen +1 28 m-es teleszkóp (Namíbiában)
- Több teleszkóp: légköri záporokat észlel szimultán különböző látószögekből, növeli az effektív észlelési felületet.





# MAGIC

Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov telescopes

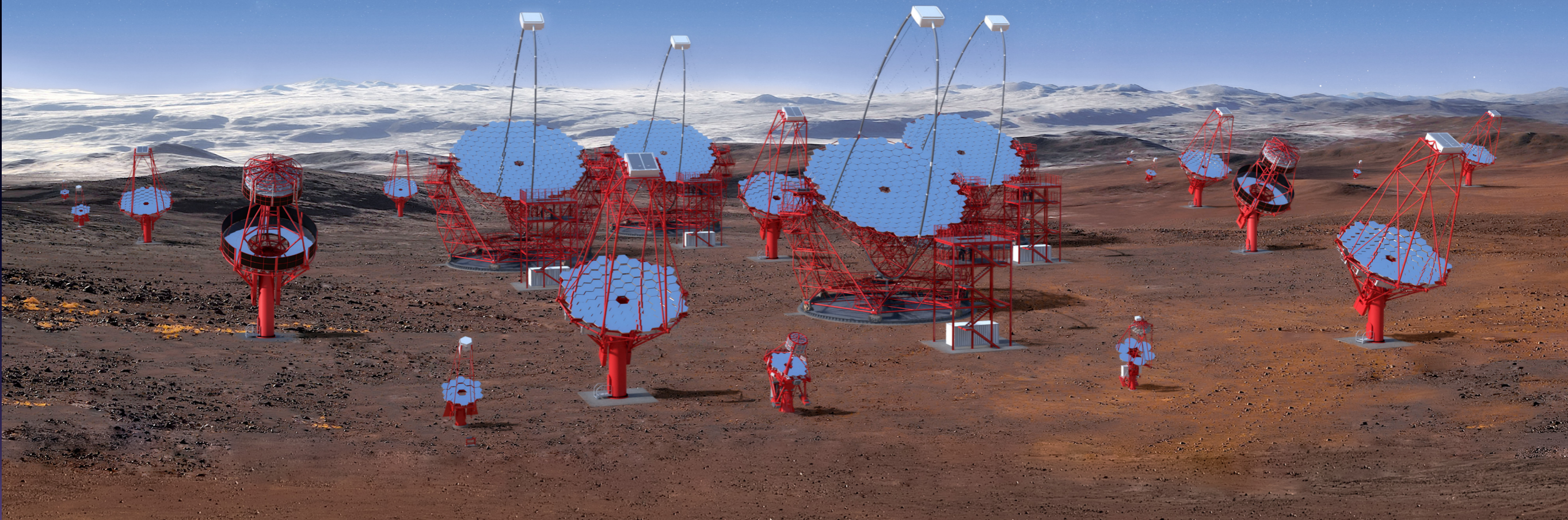
- Kettő leképező, 17m átmérőjű atmoszferikus Cserenkov teleszkóp rendszere (La Palma)
- 30 GeV és 100 TeV között érzékeny (200 GeV alatt a legérzékenyebb Cserenkov teleszkóp)





# Cherenkov Telescope Array

- 2022 körül kezd el működni, 20 GeV és 300 TeV között
- Két hálózata a leképező légköri Cserenkov teleszkópoknak (egy az északi és egy a déli féltekén)
- Több mint 100 teleszkóp, 3 osztályban
- Soha nem látott érzékenység és precizitás



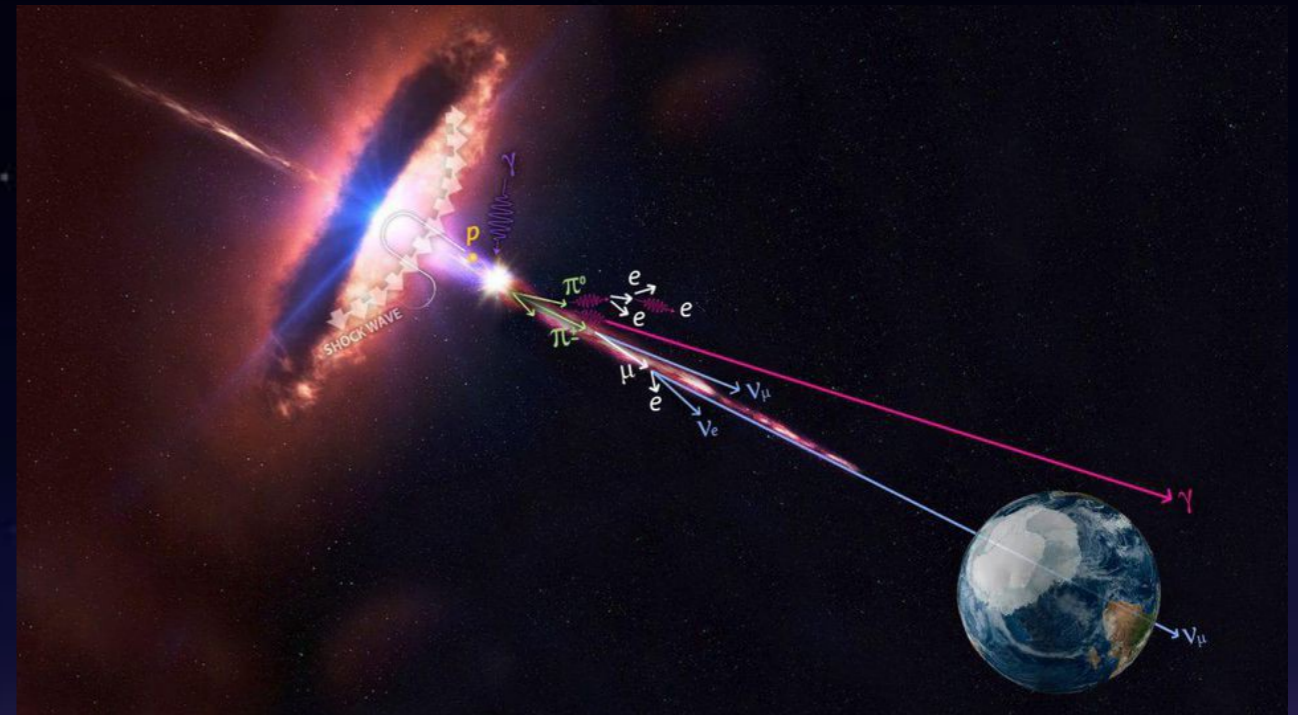
# Galaktikus és extragalaktikus neutrínóforrások

## Galaktikus

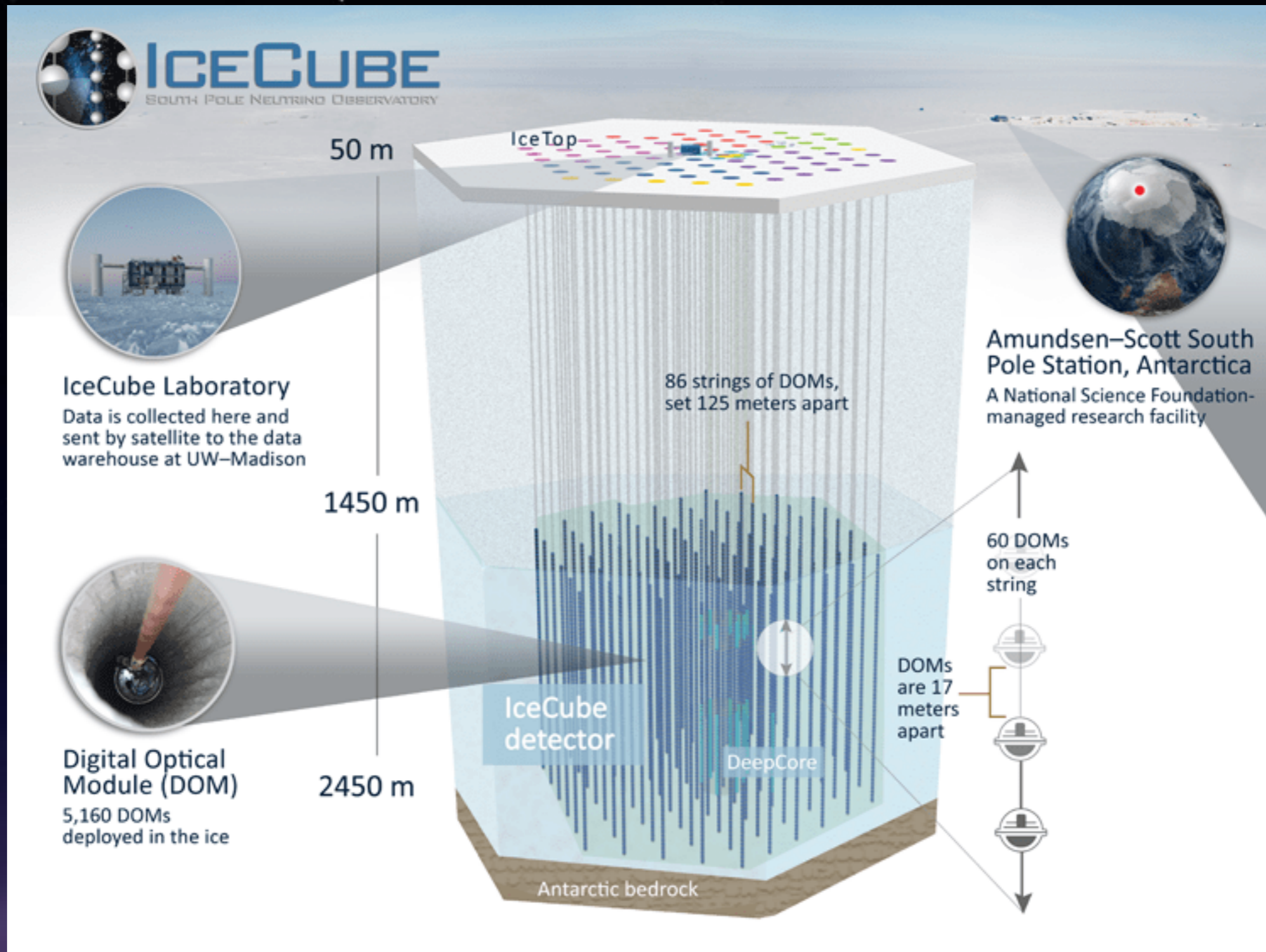
- SNII lökéshullámok csillagközi anyagot gyorsítanak
- Millimásodperces pulzárak szelei
- GRB-k
- Mikrokvazárok
- Magnetárok
- Anomális röntgen pulzárak
- Molekuláris ködök

## Extragalaktikus

- Aktív galaxismagok (blazárok)
- GRB-k
- Csillagontó galaxisok



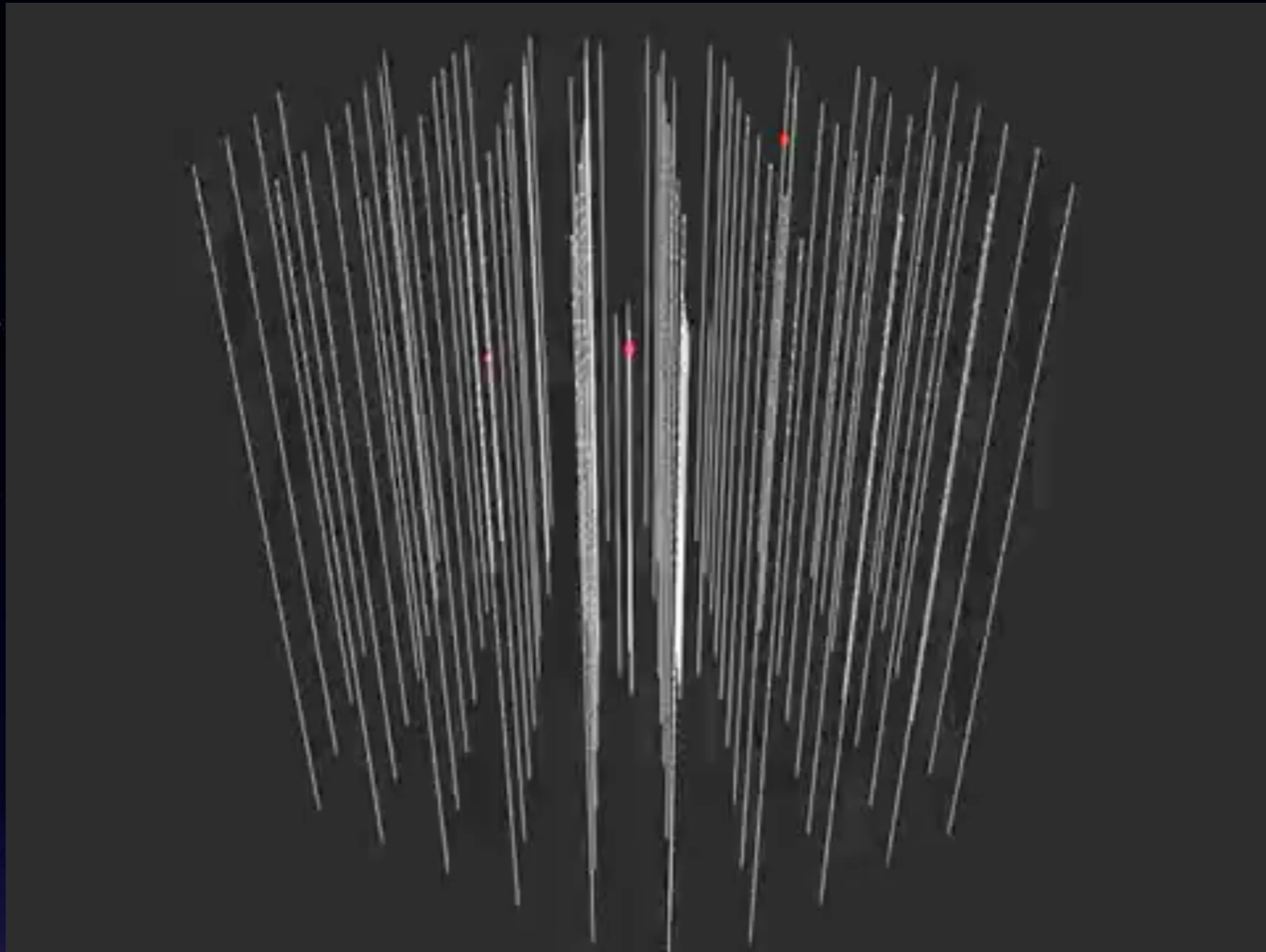
# Az IceCube Déli Sarki Neutrínó Obszervatórium





**IceCube Lab**

Elektronneutrínó elektront hoz létre  
Müonneutrínó müont hoz létre



A másodlagos leptonok (müon v. elektron) kékes színű Cserenkov fényt bocsátanak ki, és ezt mérik az IceCube mátrixszerűen elhelyezett szenzorai.

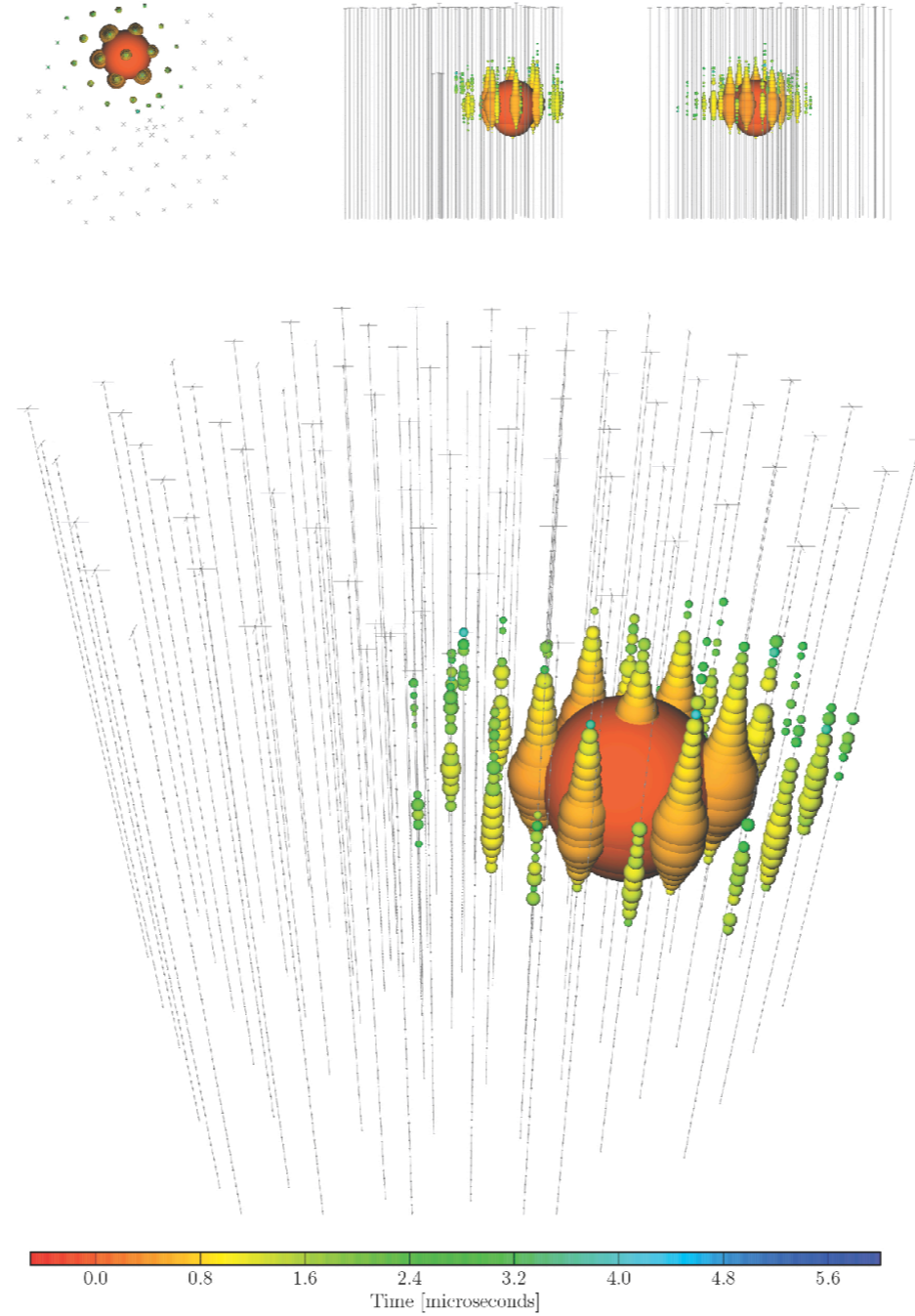


## Event 20

Date: 3-Jan-12

Energy: 1140.8 TeV

Topology: Shower



### Zápor típusú esemény

Több 10 fok is lehet a neutrínó beérkezési irányának pontatlansága  
Elektron (elektron-neutrínó) váltja ki

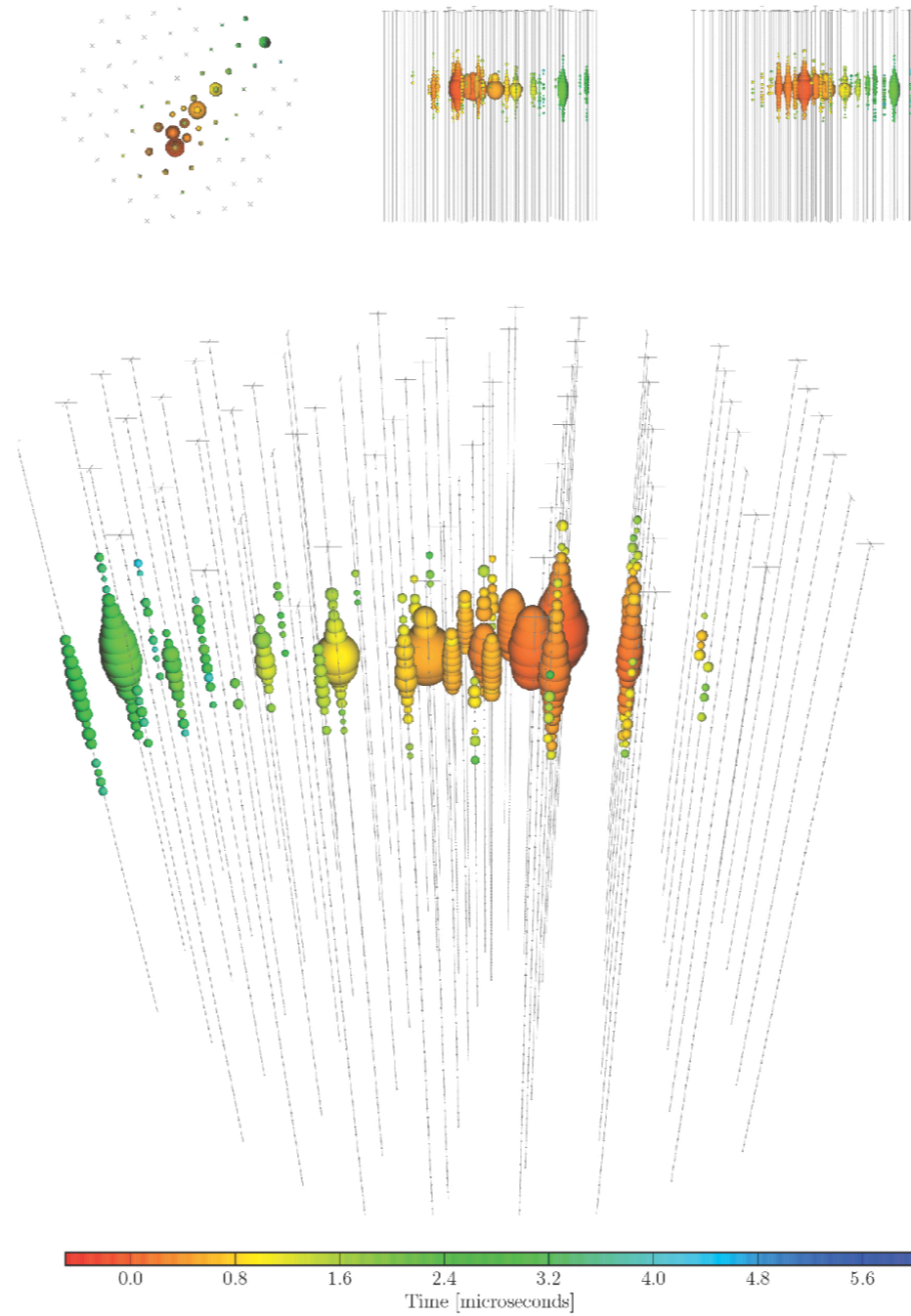


## Event 5

Date: 12-Nov-10

Energy: 71.4 TeV

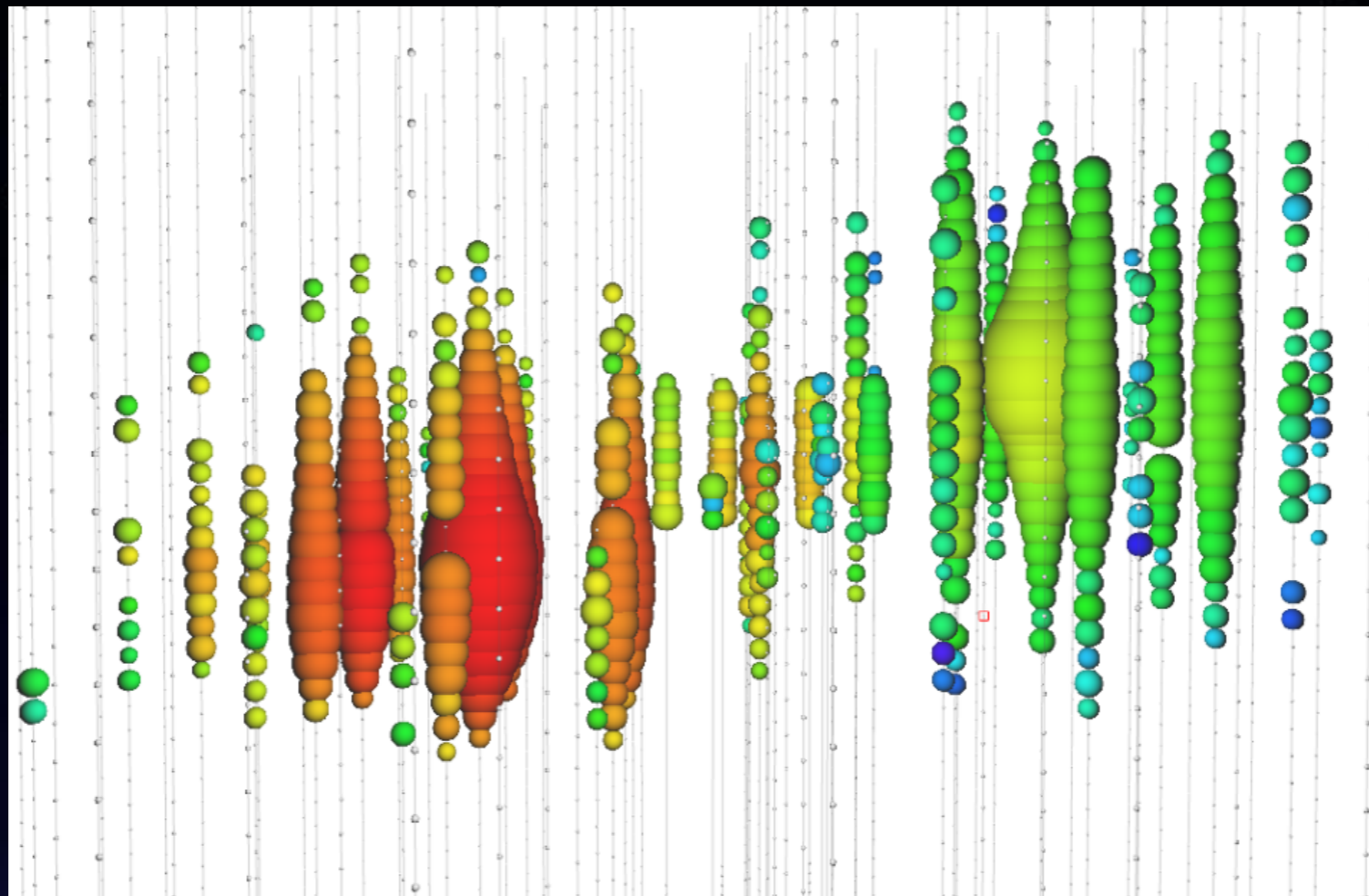
Topology: Track



### Sáv típusú esemény

~< 1 fok a neutrínó beérkezési irányának pontatlansága  
Müon (müon-neutrínó) váltja ki

# >PeV tauon által előidézett kettős robbanás szimulációja



Tauon keletkezik



Tauon bomlik



A tauonok igen rövid élettartama miatt a kettős robbanás észlelését a PeV energiatartományban várják. Kozmikus tau-neutrínókat eddig még nem sikerült egyértelműen detektálni.

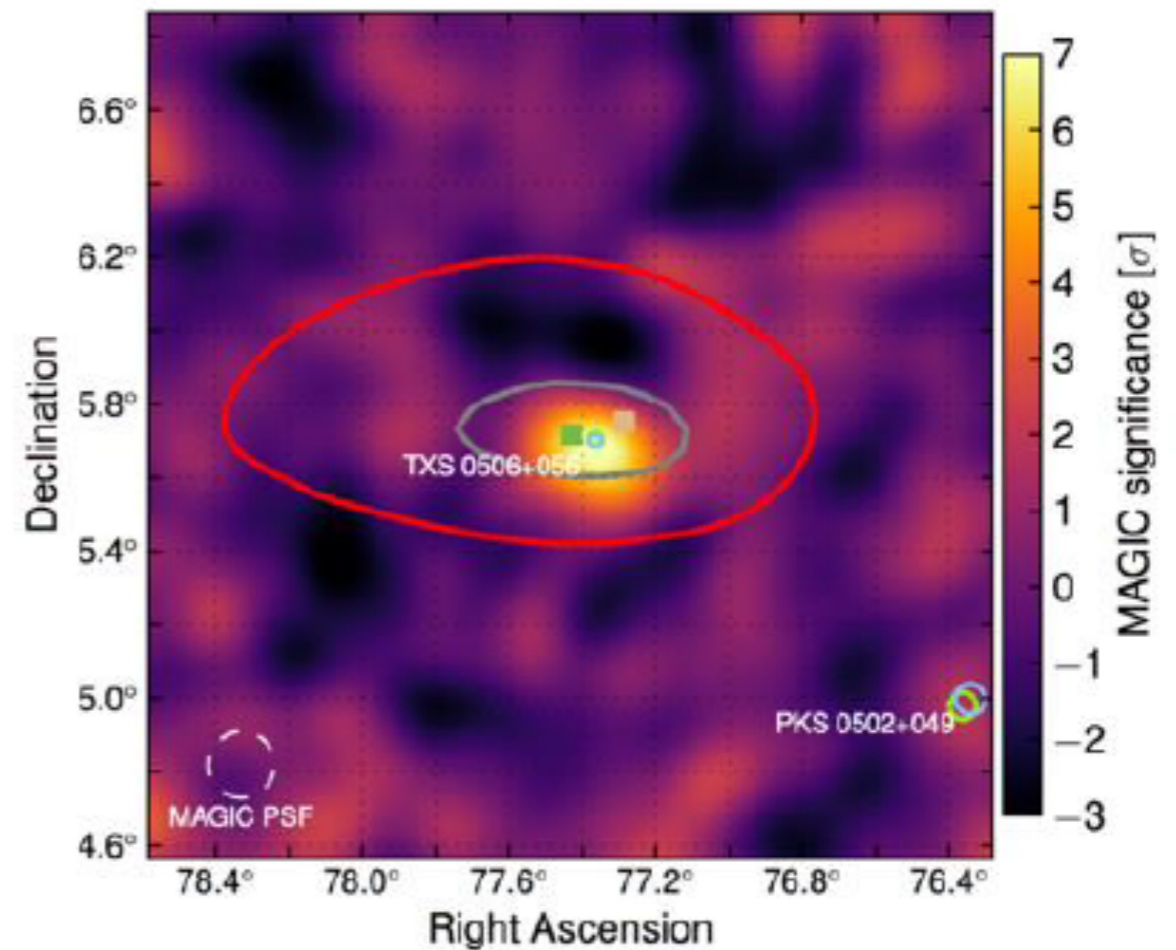
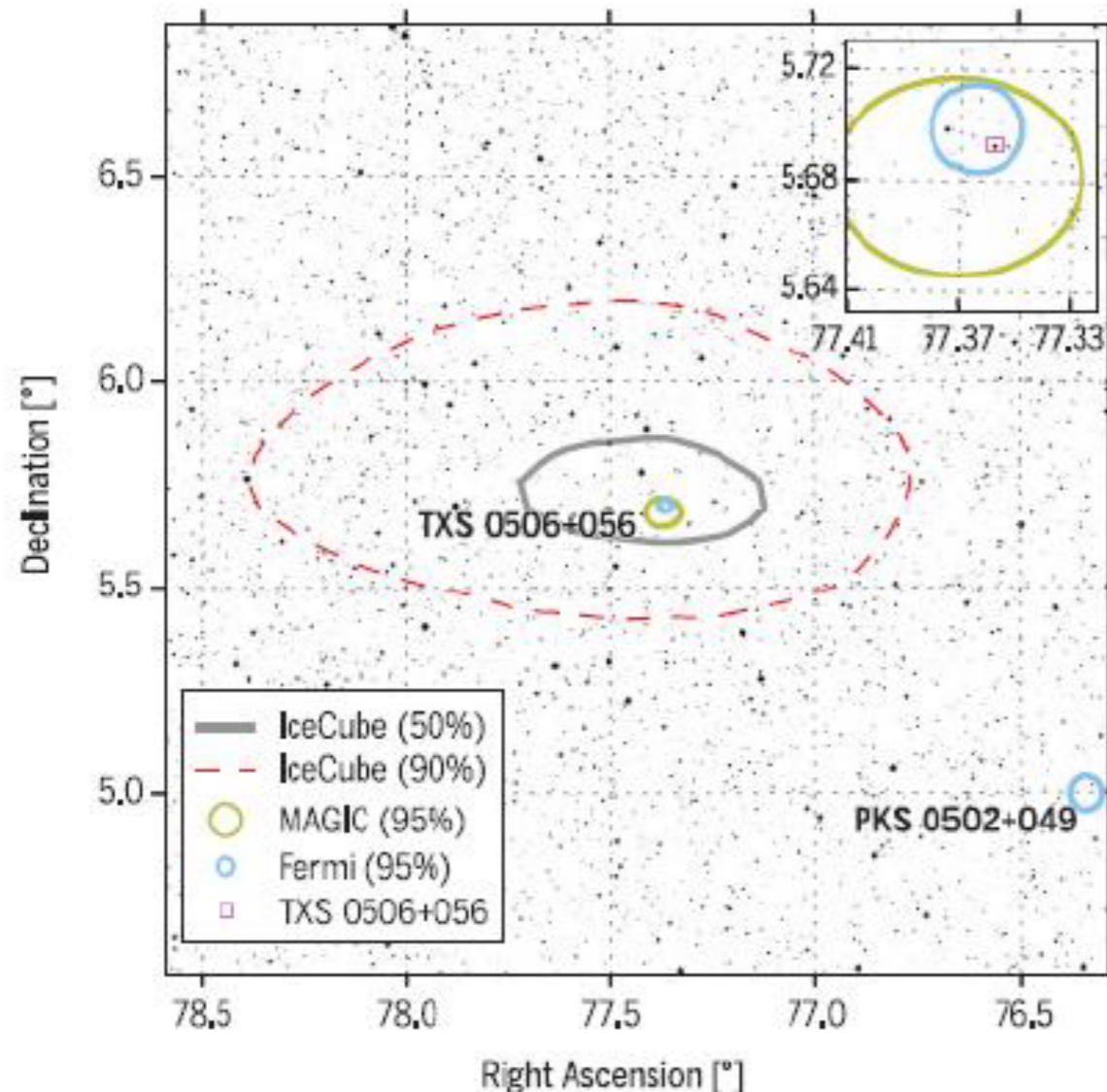


# A háttér leválasztása

- Több millió légmentes neutrínó és több száz milliárd kozmikus sugár eredetű müönt is detektál az IceCube. Ezt nevezzük háttérnek.
- IceTop: 300TeV és 1EeV között működő, 324 DOM-ból álló felszíni egység, a déli égbolt felől érkező kozmikus sugarak záporait detektálja.
- Kozmikus neutrínók rekonstruált spektruma  $dN/DE \sim E^{-2}$  alakú, az atmoszferikus háttér neutrínói  $dN/DE \sim E^{-3.7}$  szerint skálázódnak.
- Az észak felől érkező atmoszferikus müonokat a Föld tömege kiszűri, ezek energiája kisebb mint a kozmikus neutrínók keltette müonoké.
- Vétó régió: déli égbolt felől 90 m, az északi égbolt felől 10 m, körbe pedig 50 m vastagságú, és szintén az atmoszferikus müonokat szűri.
- Tiltott régió: 2085m és 2165m között túl poros a jég
- A háttér leválasztása és a források azonosítása komoly statisztikai feladat.

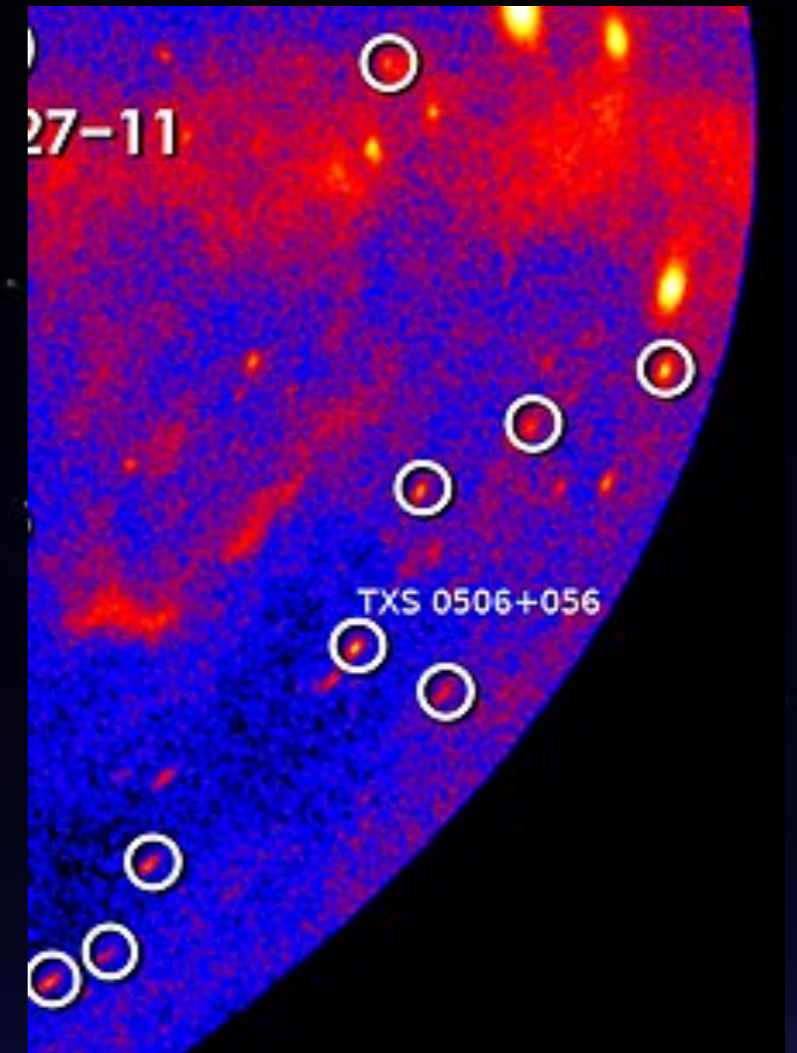
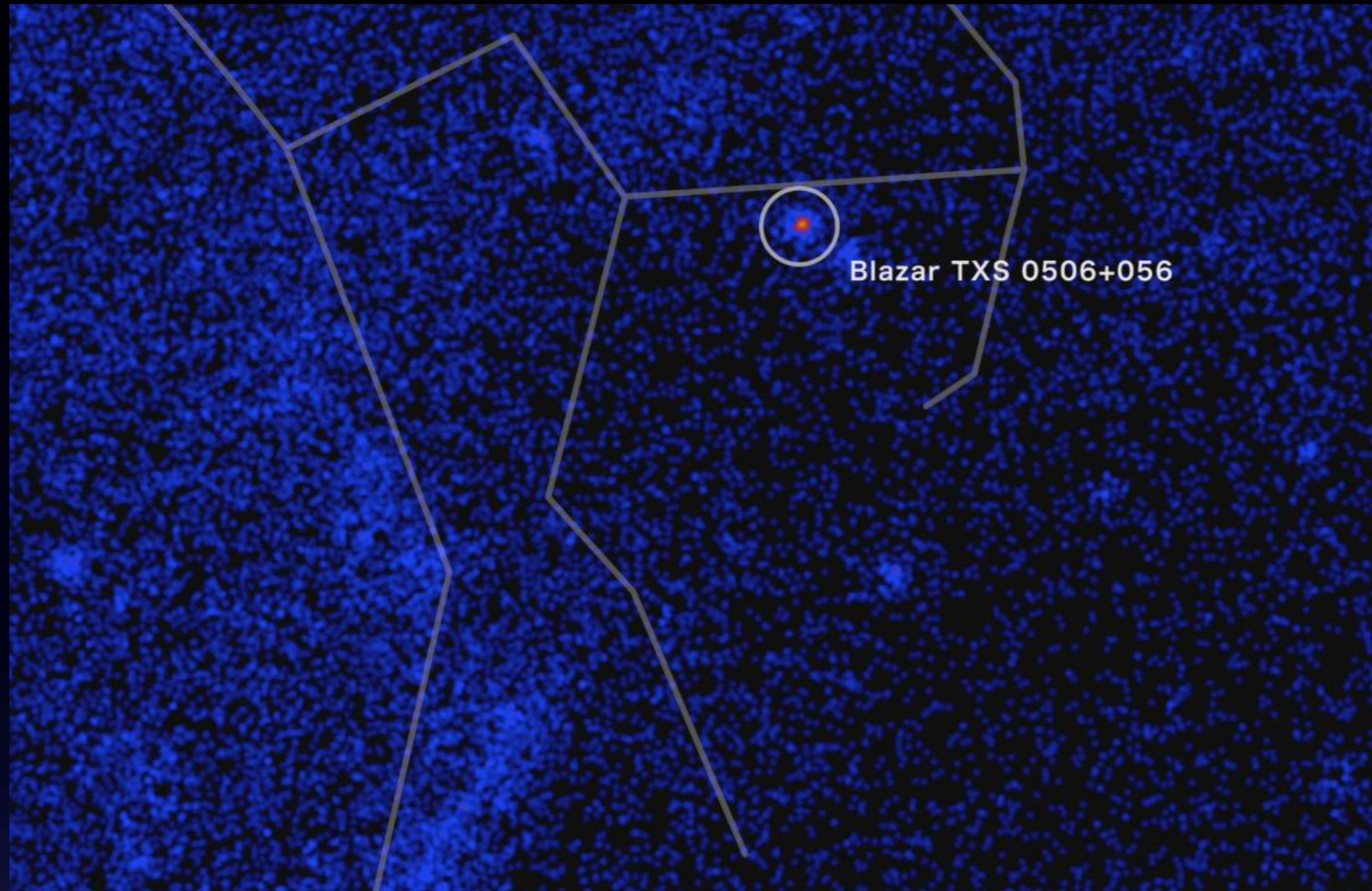
# TXS 0506+056 — $3.5 \sigma$ szinten azonosított neutrínó forrás IceCube-170922A

The IceCube Collaboration, Fermi-LAT, MAGIC, AGILE, ASAS-SN, HAWC, H.E.S.S., INTEGRAL, Kanata, Kiso, Kapteyn, Liverpool Telescope, Subaru, Swift/NuSTAR, VERITAS, and VLA/17B-403 teams, 2018, Science, 361, 6398

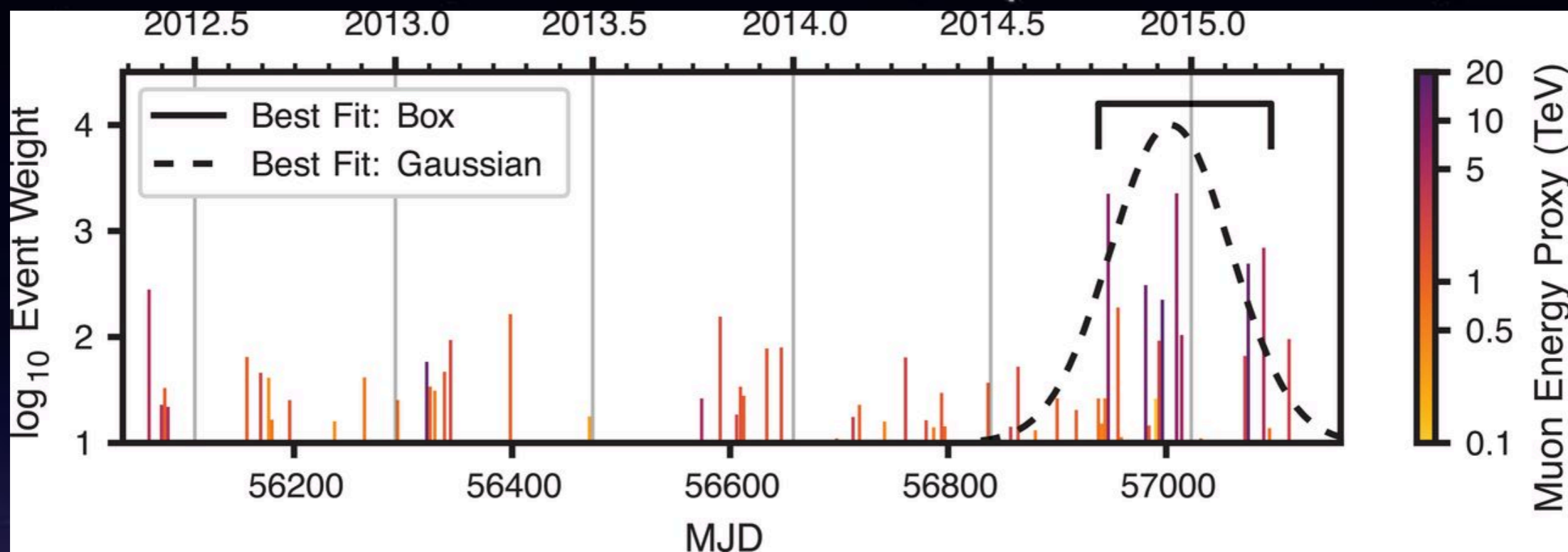
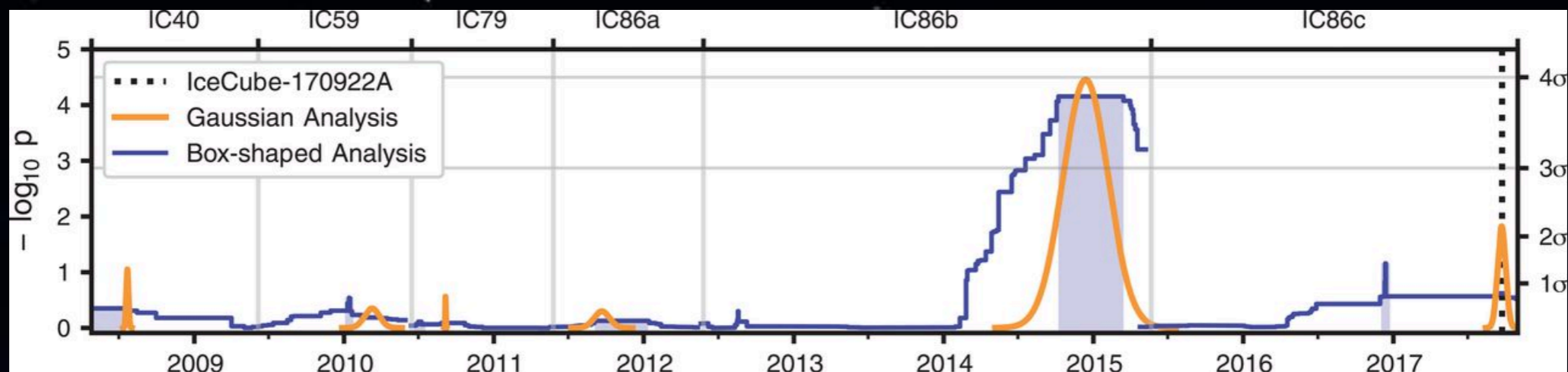


Többcsatornás észlelések

~300 TeV neutrínó idő és pozíció  
koincidencia egy 400 GeV gamma flerrel



# 2014/2015-ös nagy neutrínó fler (13±5 db) a TXS 0506+056 irányából



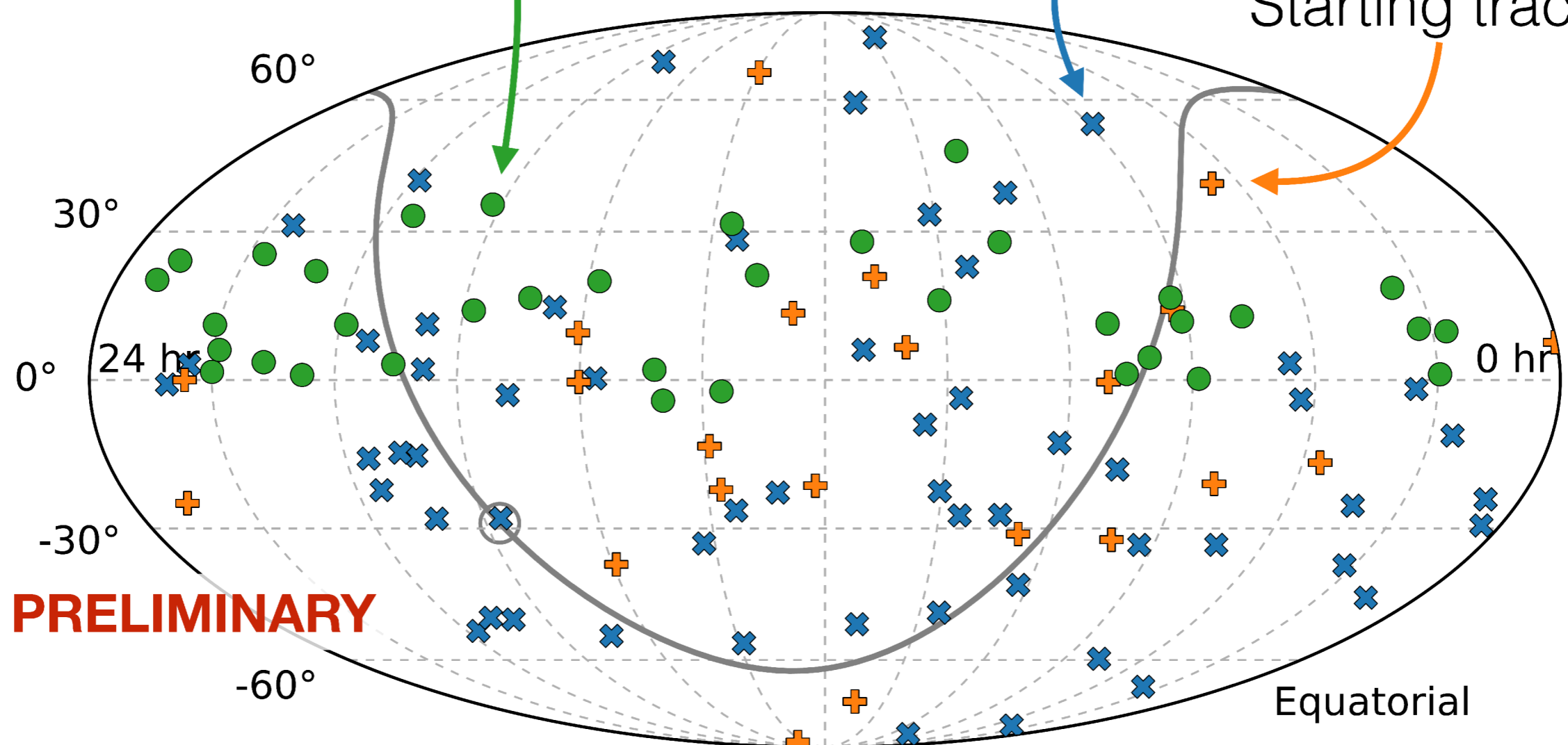
A TXS 0506+056 ismert égi koordinátája priorként  
“kihozta” ezeket a neutrínókat a statisztikai analízisből

# IceCube neutrino térkép

Through-going tracks ( $>200$  TeV)

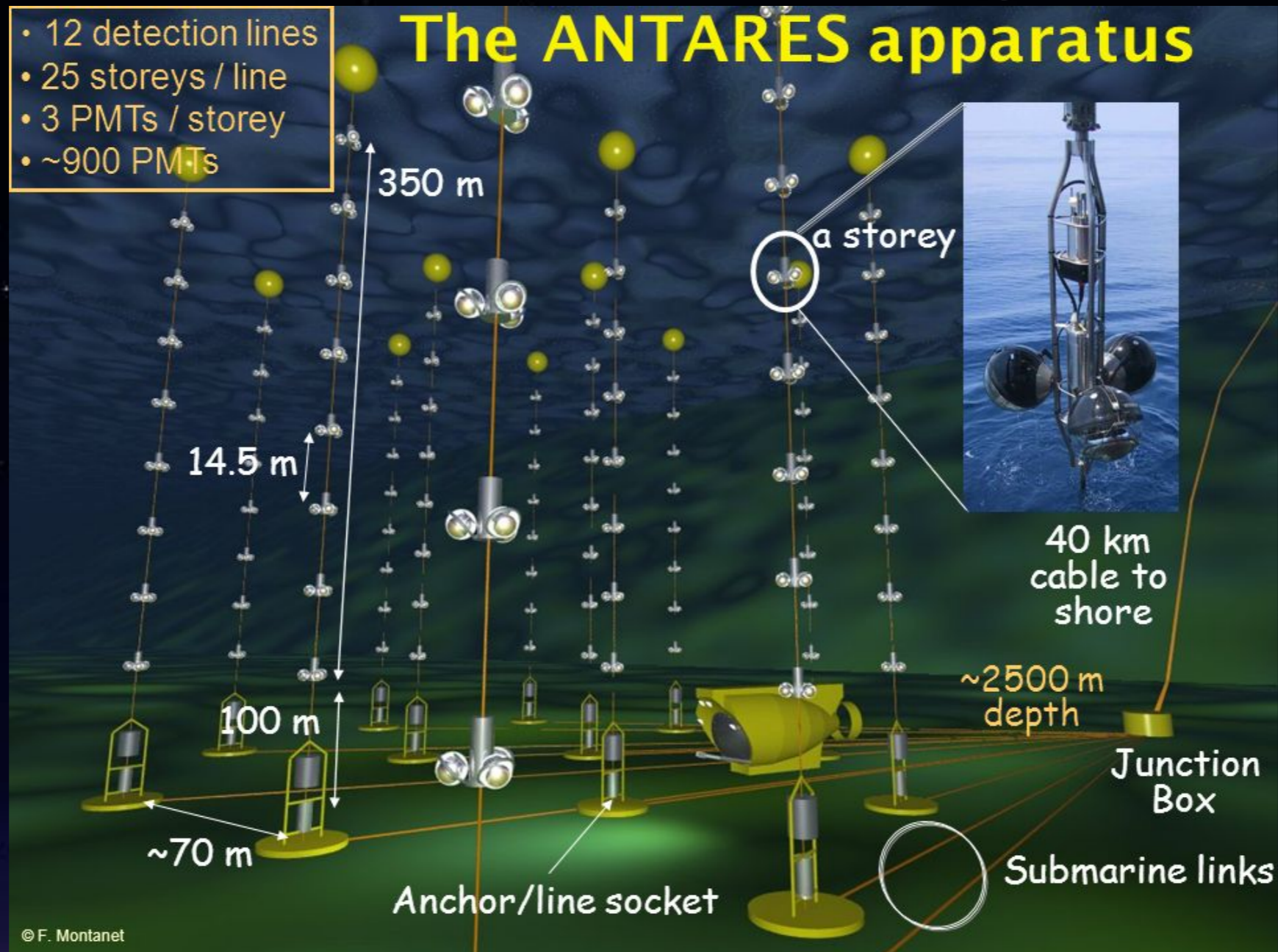
Cascades

Starting tracks



**PRELIMINARY**

# ANTARES

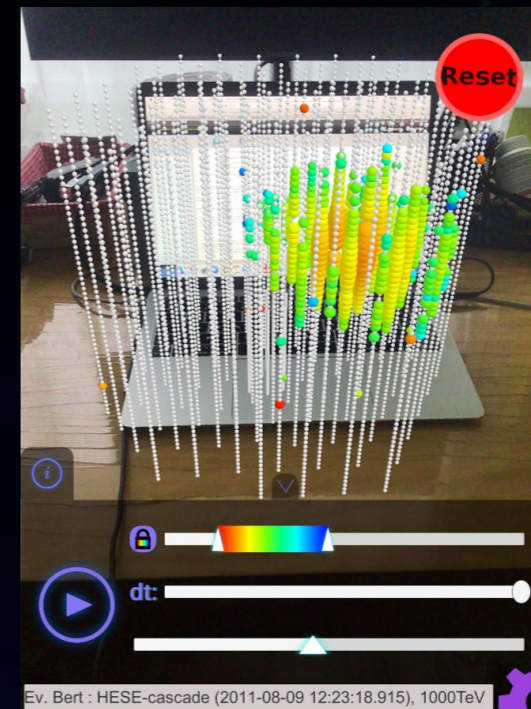
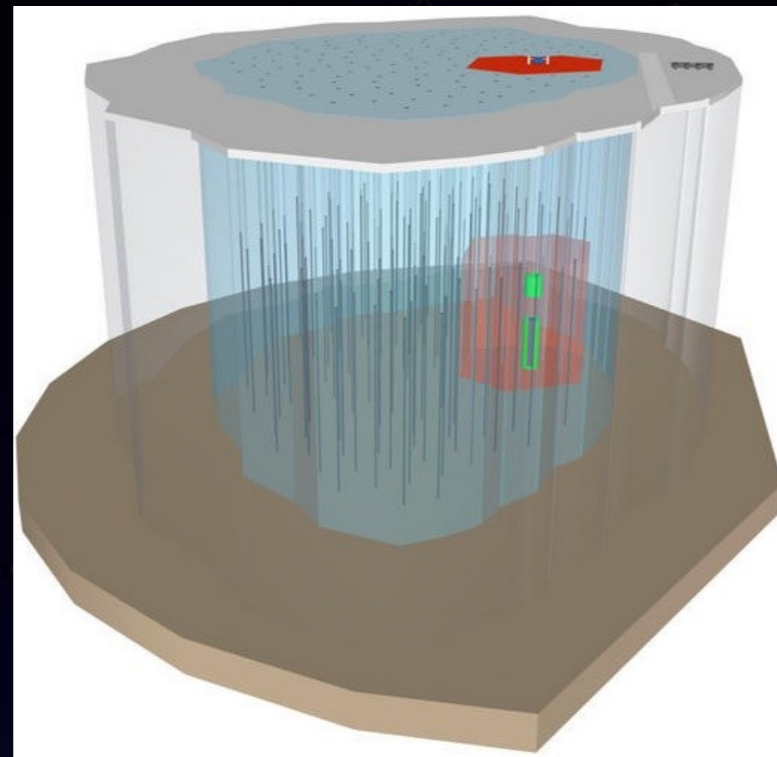


A (Cserenkov) fény kevésbé szóródik, viszont a háttér sokkal erősebb (potassium-40 izotóp, biolumineszcens lények)  
A Földközi tengerben, Toulon (Franciaország) partjainál

# Jövőbeli kitekintés

- Sokkal több detektálás, Individuális források neutrínóspektruma

- IceCube Gen-2



- KM3NET

- CTA

- IceBeAR. Demo: <https://www.youtube.com/watch?v=e22OISjkhZc>

<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.wisc.icecube.icebear>

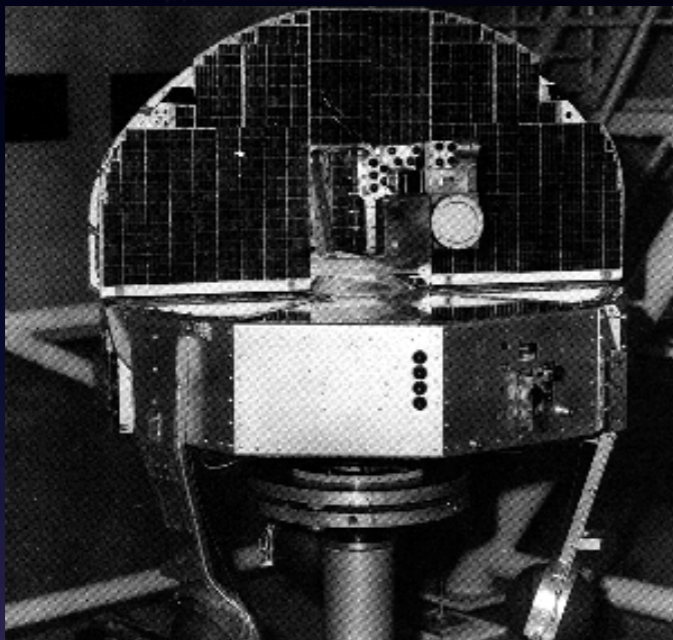
<https://itunes.apple.com/WebObjects/MZStore.woa/wa/viewSoftware?id=1533578432>

# Tartalék diák



## A GeV csillagászat (rövid) története

- 1967-1968 OSO-3: Cserenkov számláló,  $>50$  MeV. 621 detektálás, felfedte a Tejútrendszer  $\gamma$ -sugárzását.
- 1972-1973 SAS-2: szikrakamra, 30-200 MeV között érzékeny. 8000 detektálás, elsőként mutatta meg a Crab és Vela pulzárokat, a Geminga és Cygnus régiókat. Felfedte a Galaktikus sík gamma sugárzásának észak-dél aszimmetriáját.
- 1975-1982 Cos-B: mágneses magú, wire-matrix szikrakamra, 30 MeV-5GeV. Kb 200 000 detektálás, 25 új forrás (legtöbb a Galaktikus síkban). Az első extragalaktikus  $>100$  MeV  $\gamma$ -sugár forrás, a 3C 273 azonosítása.



OSO-3



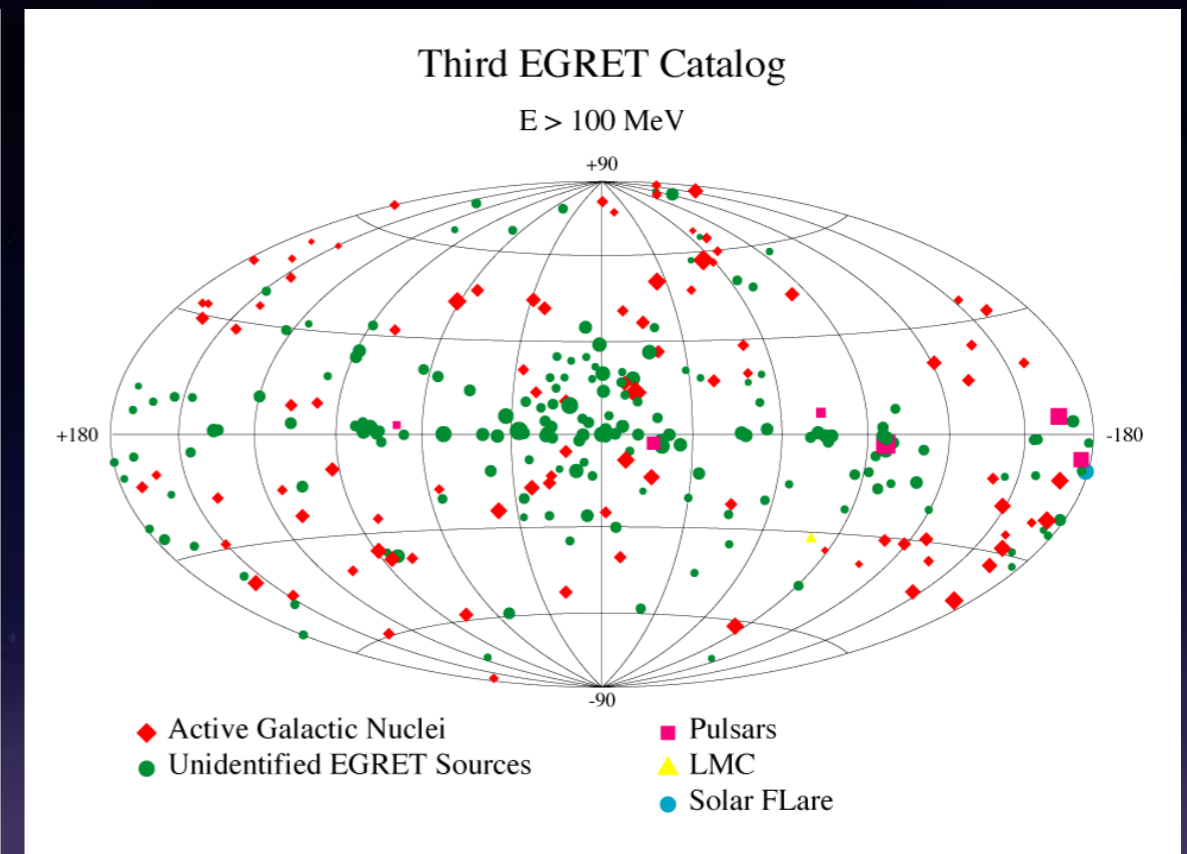
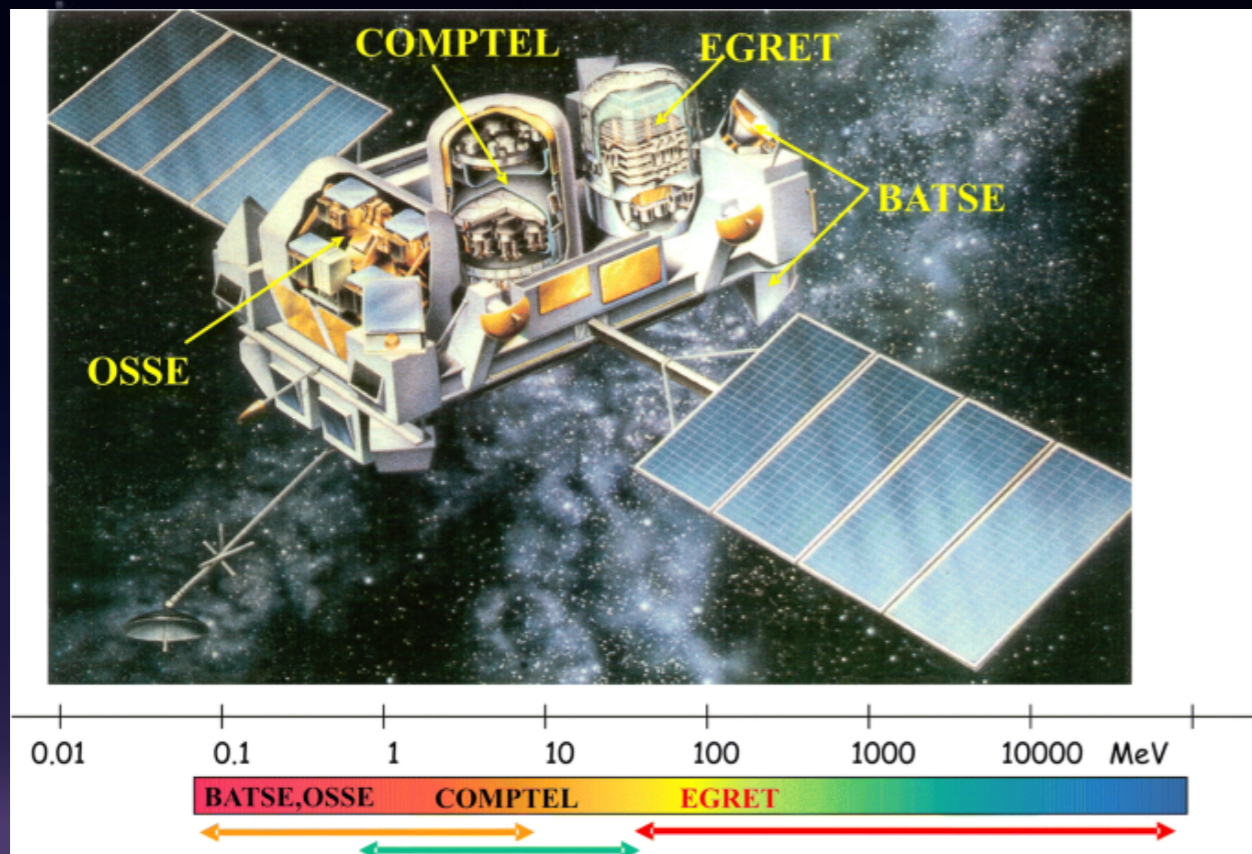
SAS-2



Cos-B

# CGRO/EGRET

- 1991-2000: spark chamber experiment, 20 MeV-30 GeV, nagy effektív terület, megbízható háttér-levonás, 2 milliónál több detektálás.
- Megmutatta hogy a blazárok és a GRB-k luminózus  $\gamma$ -sugár források
- Mérések a diffúz extragalaktikus és Galaktikus háttéren
- Galaktikus források, fiatal rádió pluzárok, erősen változó  $\gamma$ -sugár források
- [A Harmadik EGRET Katalógus \(3EG\)](#): 271 forrás 100 MeV felett



# AGILE/GRID

- 2007- AGILE (ASI), RTG és  $\gamma$ -sugár csillagászati műhold
- Műszerek: GRID 30 MeV-50 GeV, SuperAGILE 18-60 keV, Mini-Calorimeter 350 keV-100 MeV (nem leképező)
- Változó  $\gamma$ -emisszió a Rák ködben
- $\gamma$ -emisszió pionkeltéssel 200 MeV alatt
- Cygnus-X3 mikrokvazár  $\gamma$ -emissziója, a rendszer jetének extrém gyorsítása
- A galaktikus mikrokvazárok első kiterjedt tanulmánya
- 3c 454.3 SMBH, nagyon aktív és változó blazár
- Lágy  $\gamma$ -sugár pulzárak
- Relativisztikus részecskeeszelek (Vela pulzár)

