

Kozmikus sugárzás

~Magfizika szeminárium~

2019.10.24.

FEHÉRKÖTI ANNA



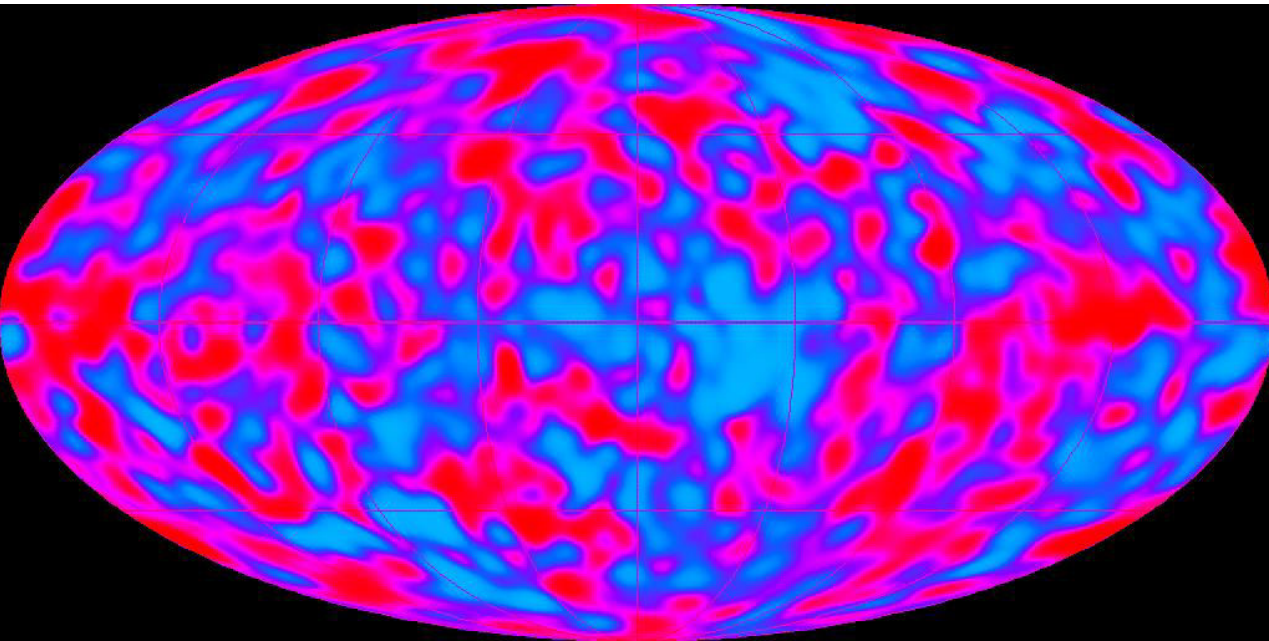
Tartalom

- ▶ Koszmos sugárzás
 - ▶ Nem háttér~
 - ▶ Felfedezése
 - ▶ Életút
 - ▶ Hatásai
- ▶ Detektálás (+det plk)
- ▶ Pierre Auger Observatórium
 - ▶ Névadó
 - ▶ Felépítés
 - ▶ Eredmények
 - ▶ Rejtélyek



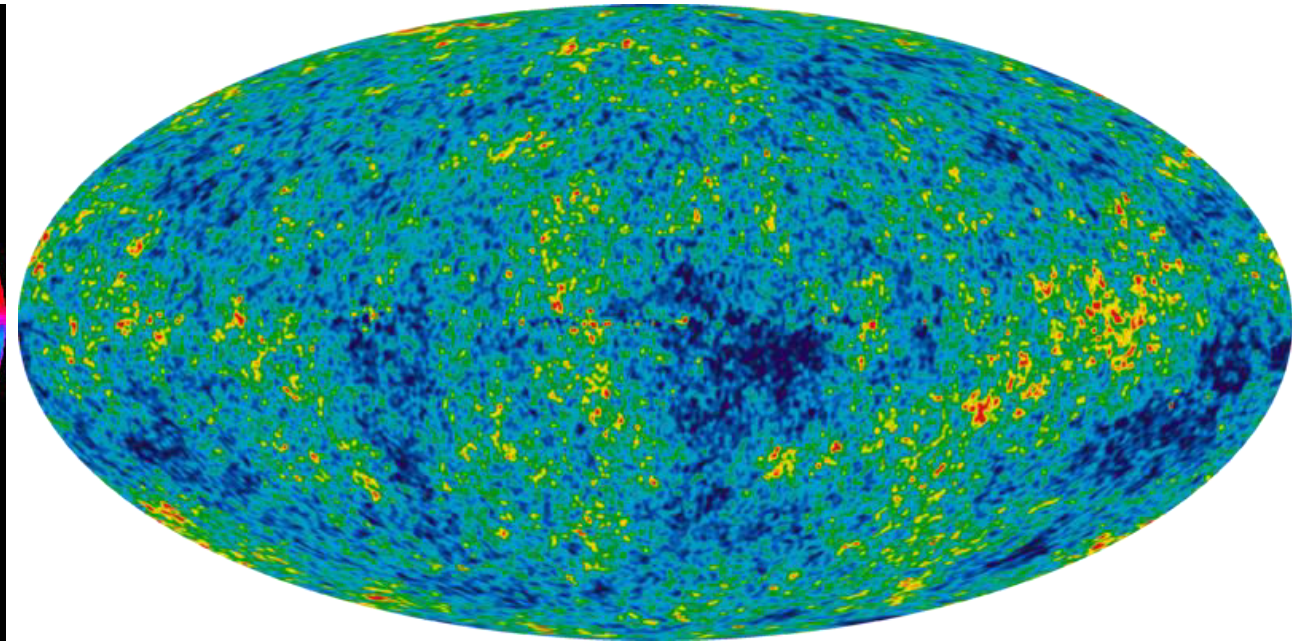
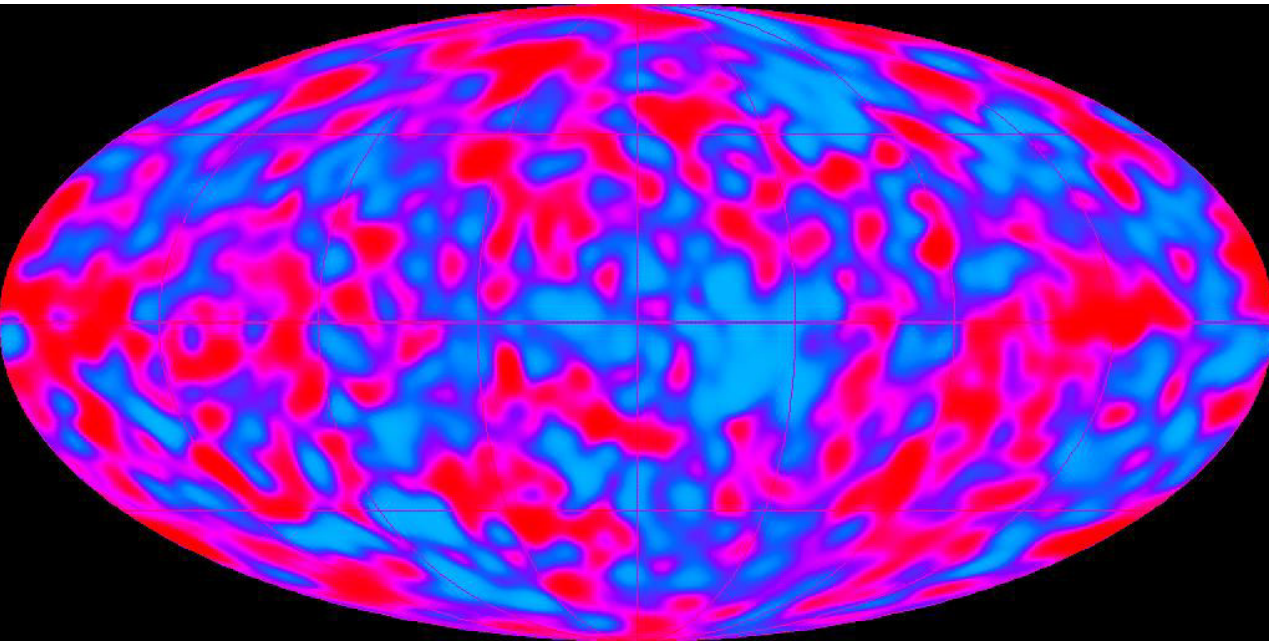
Kozmikus sugárzás -nem mikrohullámú háttér

- ▶ ~2.7 K feketetest sugárzás /Penzias & Wilson & Peebles/ (COBE)



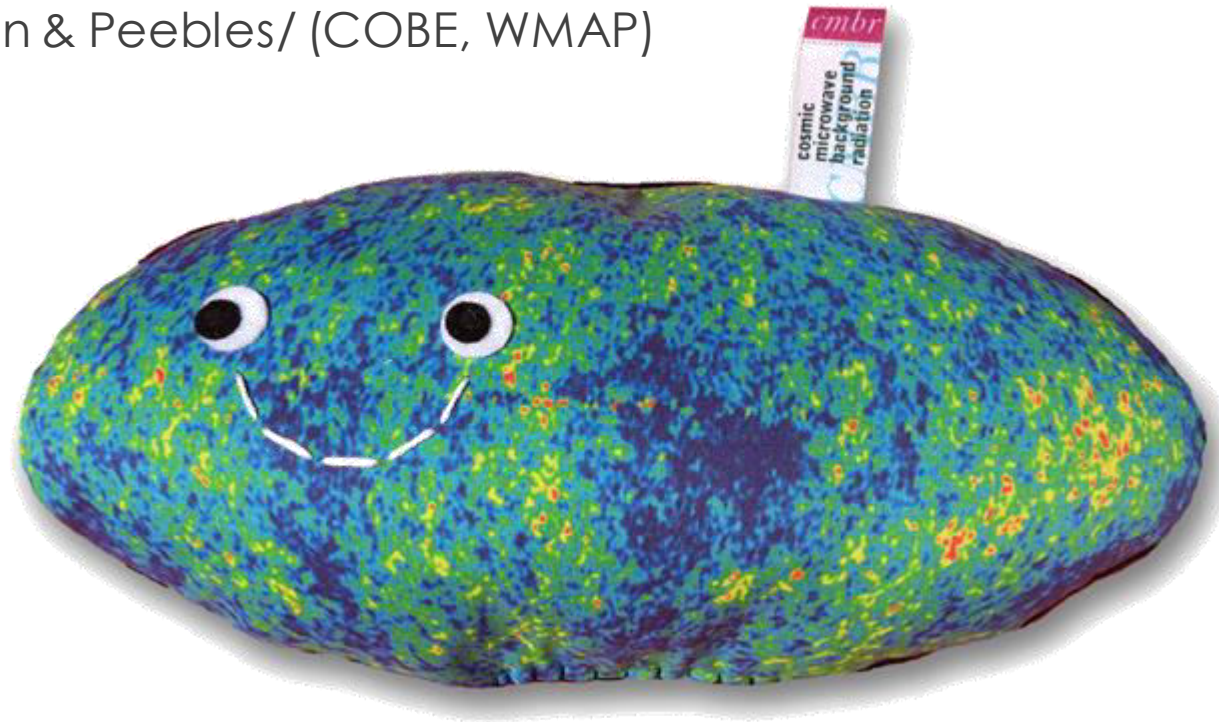
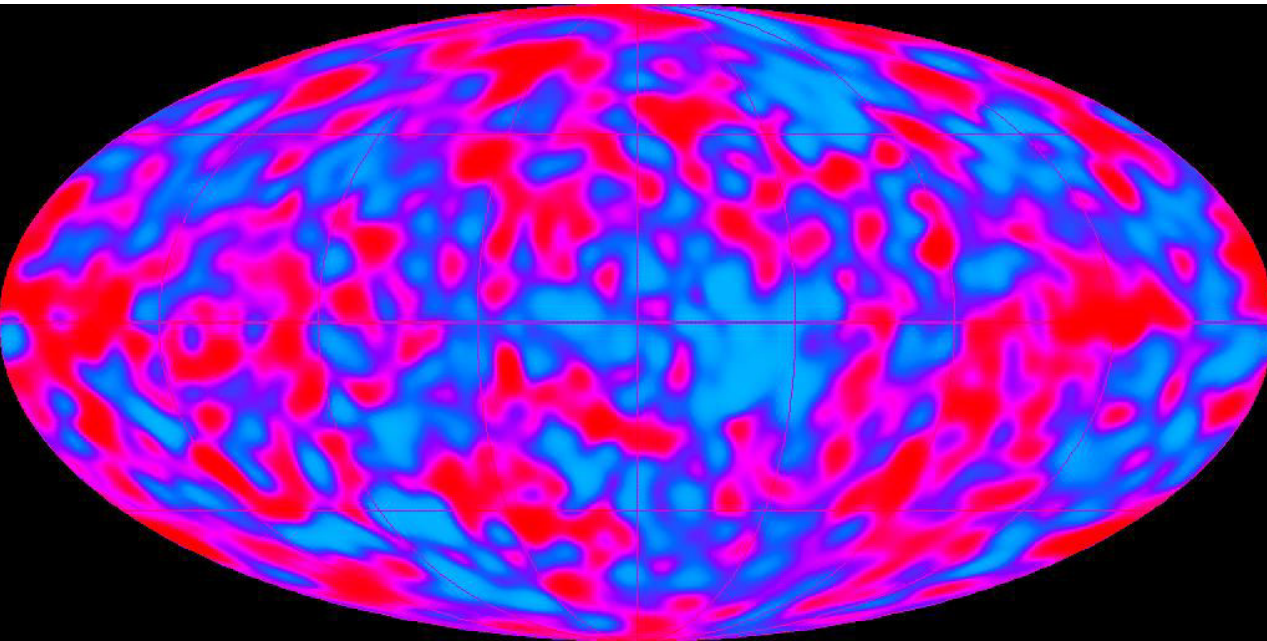
Kozmikus sugárzás -nem mikrohullámú háttér

- ▶ ~2.7 K feketetest sugárzás /Penzias & Wilson & Peebles/ (COBE, WMAP)



Kozmikus sugárzás -nem mikrohullámú háttér

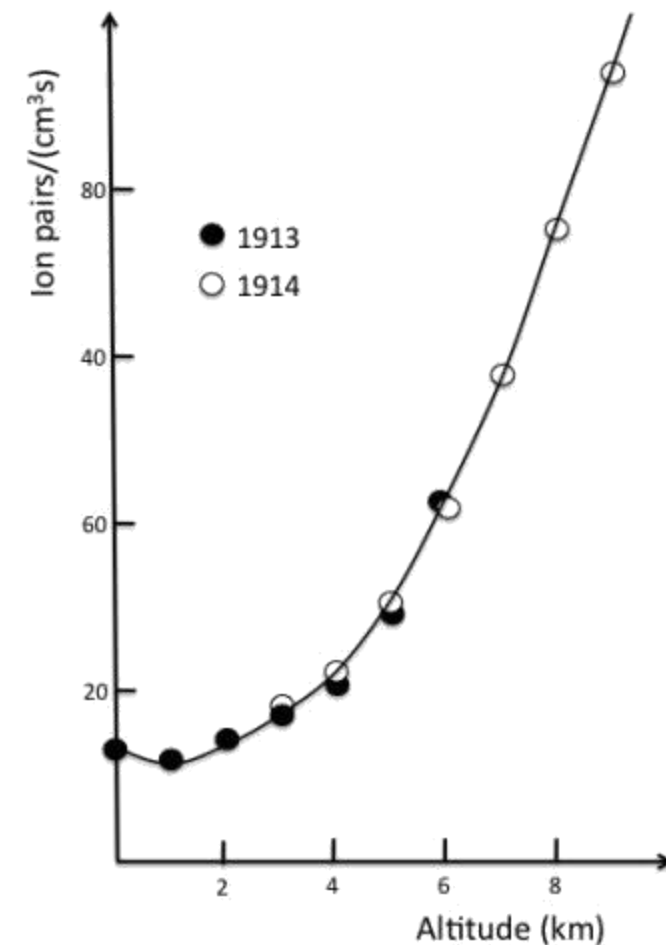
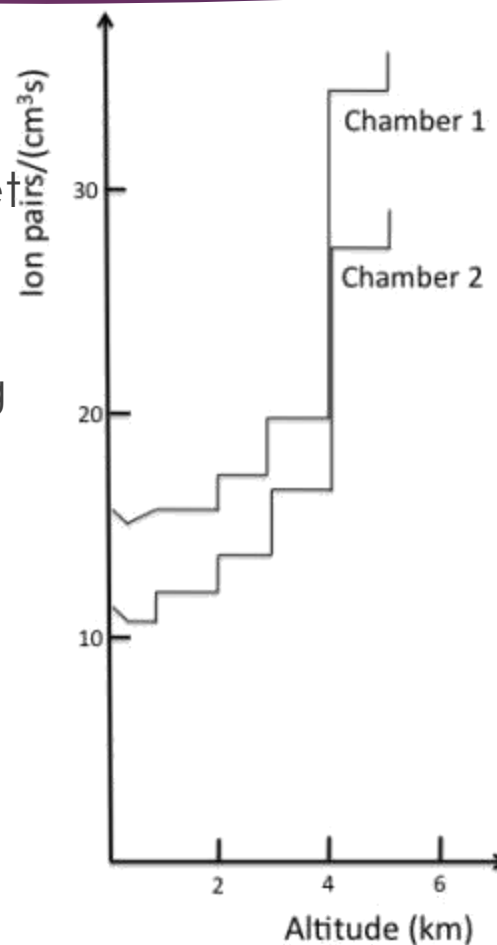
- ▶ ~2.7 K feketetest sugárzás /Penzias & Wilson & Peebles/ (COBE, WMAP)



- ▶ BB után 300 000 évvel: atomok -> átlátszó Uni(verzum) fotonoknak
- ▶ Uni tágul -> vöröseltolódás -> sugárzás energiája csökken

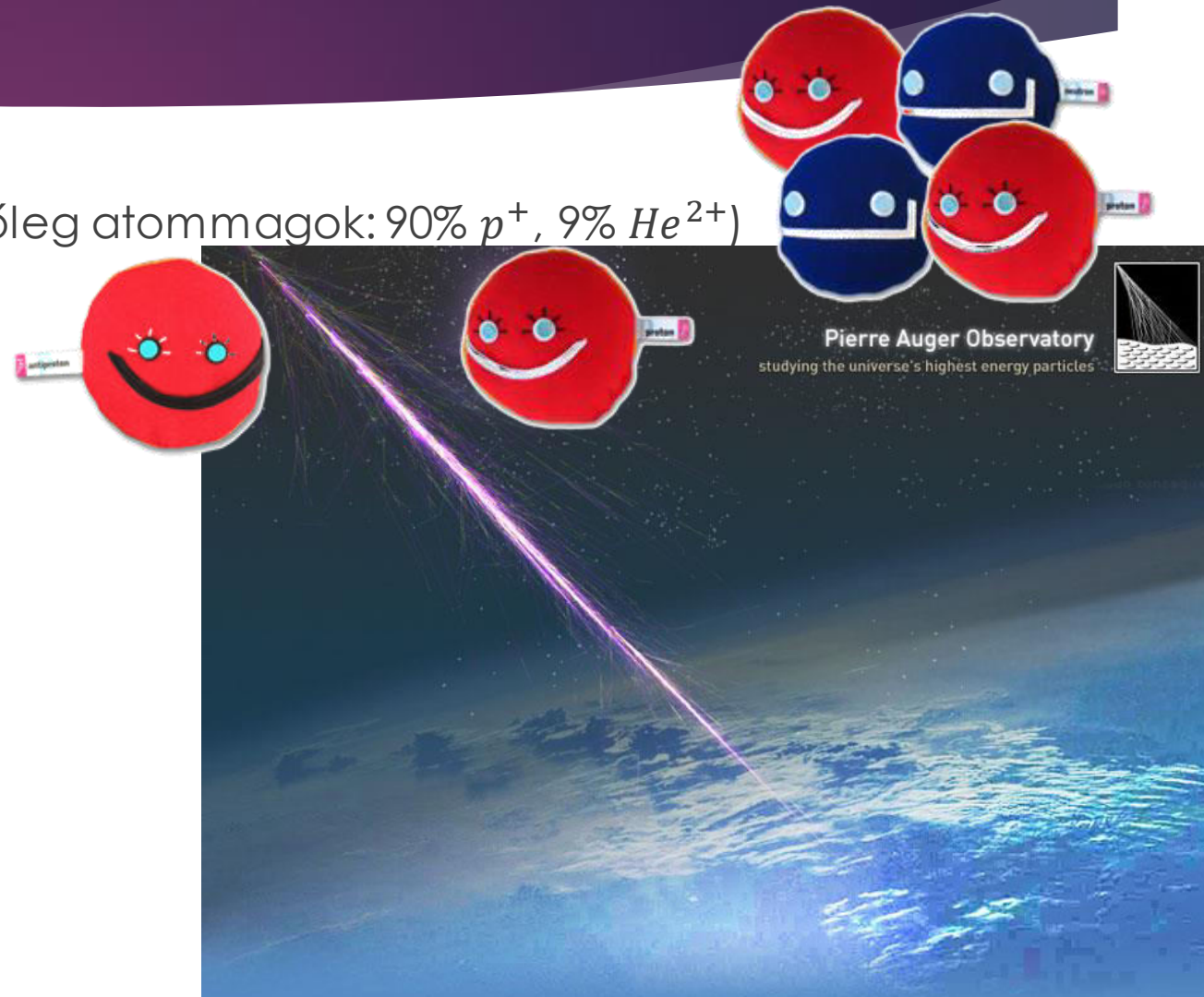
Kozmikus sugárzás -történeti háttér

- ▶ 20. század elején a radioaktív sugárzások ismertek
- ▶ Pb-mal leárnyékoló elektroszkóp is elveszti töltését (korábbi Coulomb: hirtelen elveszti töltését)
- ▶ Victor Hess & Kolhörster: 5300 ill. 9000 m-es ballonos felszállás (akár napfogyatkozáskor): sugár a magassággal nő -> magassági sugárzás /Nobel-díj 1936./
- ▶ „kozmos sugárzás” 20's években terjedt el, de ~ γ -sugárzás
- ▶ 1928.: töltött részecskék, nem EM-spektrum
 - ▶ + főleg: K-Ny aszimmetria



Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})



Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ Más részecskék (e^-)



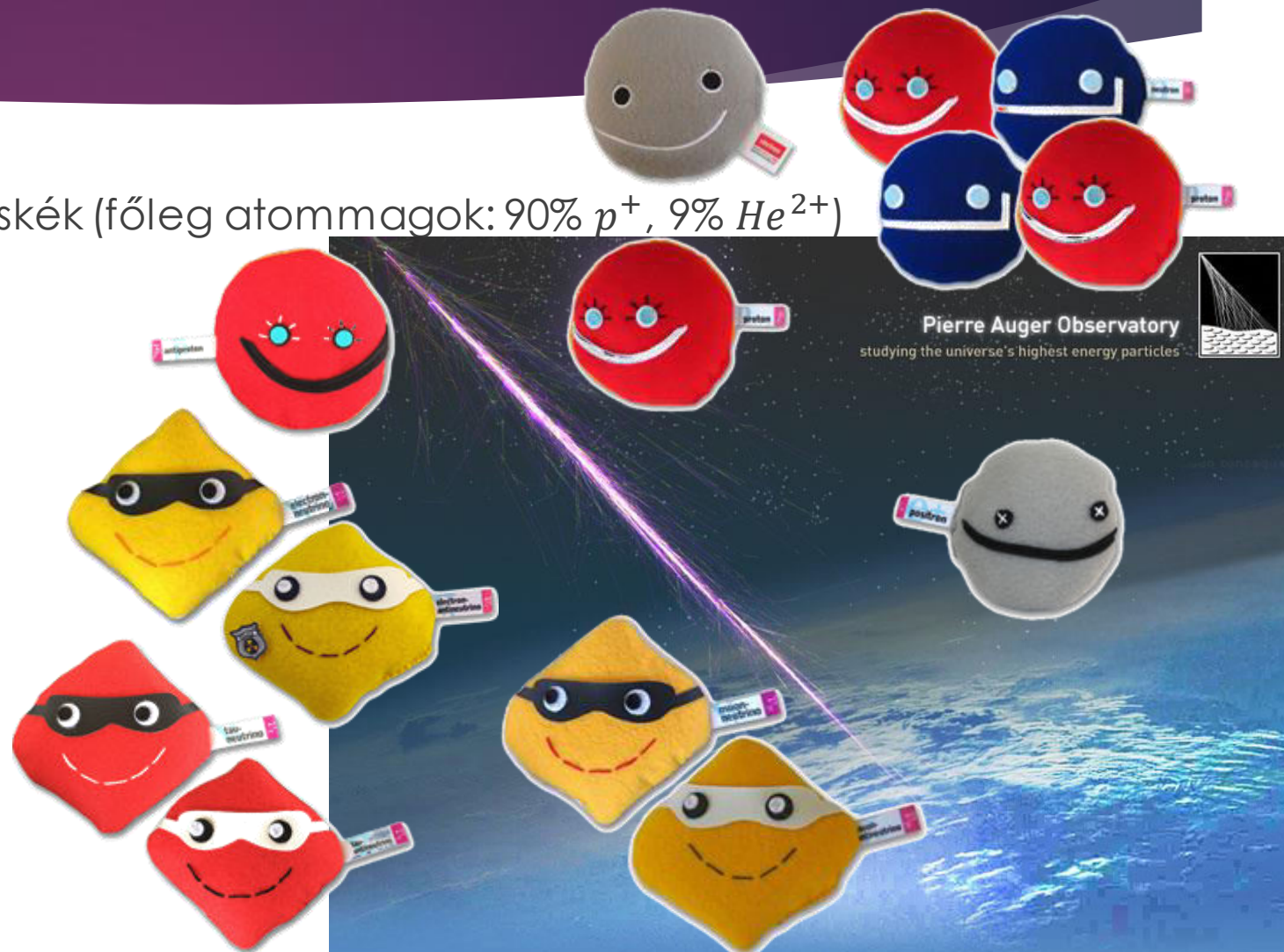
Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ Más részecskék (e^- , e^+)



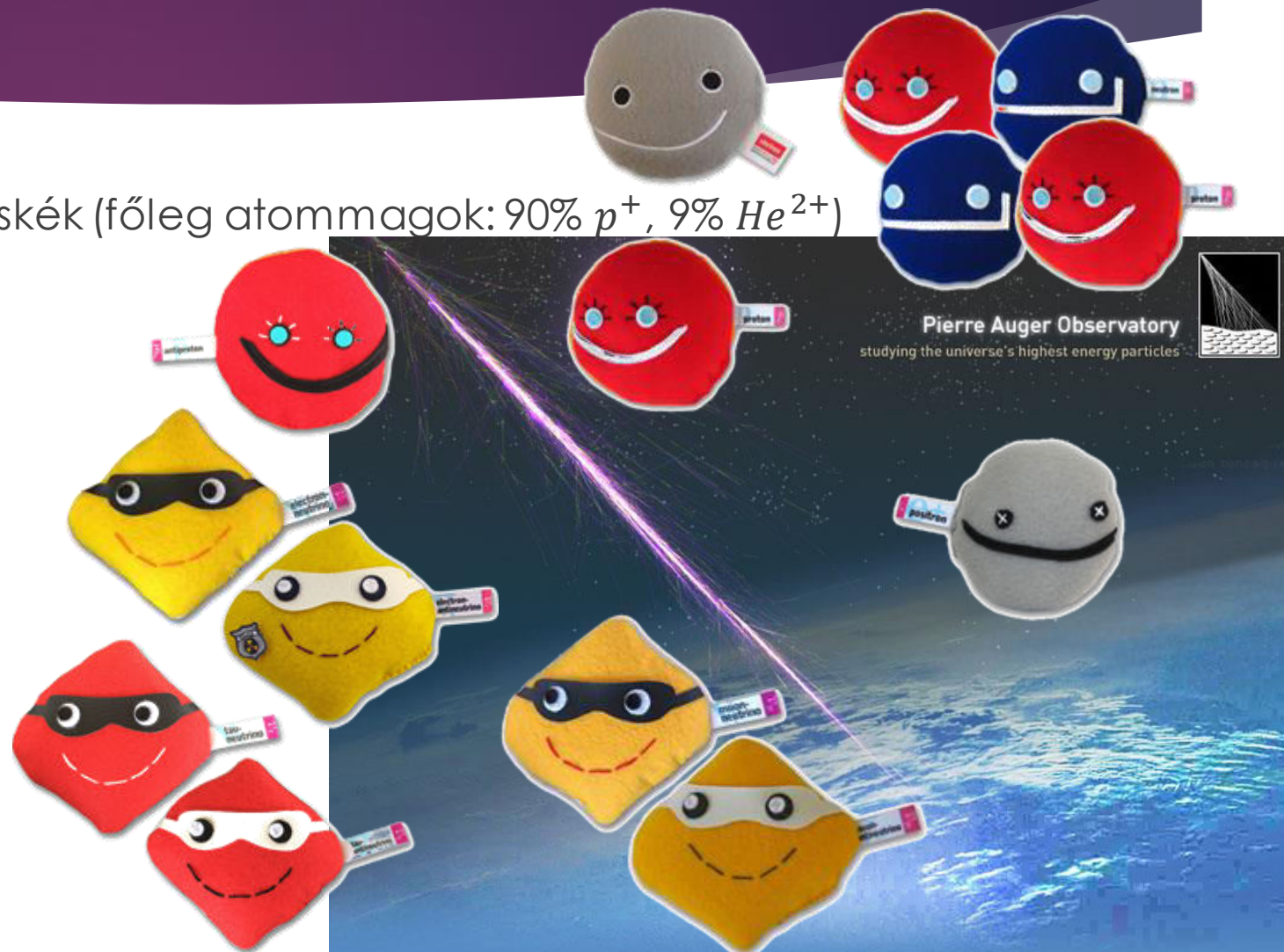
Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ Más részecskék (e^- , e^+ , neutrínók)



Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ Más részecskék (e^- , e^+ , neutrínók)
 - ▶ Szoláris / sztelláris: kisebb E



Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ Más részecskék (e^- , e^+ , neutrínók)
 - ▶ Szoláris / sztelláris: kisebb E
 - ▶ szekunder részecskék (pl. γ)



Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ Más részecskék (e^- , e^+ , neutrínók)
 - ▶ Szoláris / sztelláris: kisebb E
 - ▶ szekunder részecskék (pl. γ , μ^\pm)



Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ más részecskék (e^- , e^+ , neutrínók)
 - ▶ Szoláris / sztelláris: kisebb E
 - ▶ szekunder részecskék (pl. γ , μ^\pm , π^\pm)



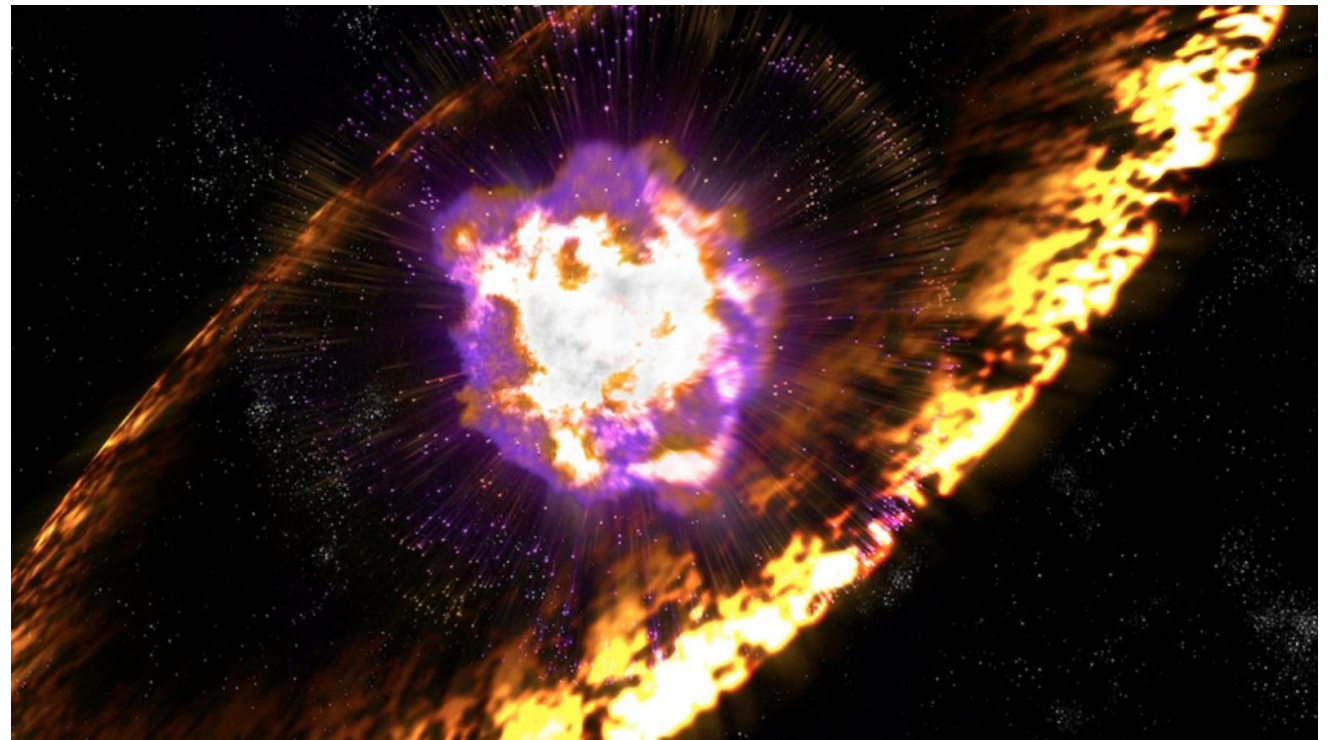
Kozmikus sugárzásról általában

- ▶ Tejútrendszerből / azon kívülről
- ▶ Nagyenergiájú (MeV – 10^{20} eV) részecskék (főleg atommagok: 90% p^+ , 9% He^{2+})
- ▶ Tágabb értelemben:
 - ▶ más részecskék (e^- , e^+ , neutrínók)
 - ▶ Szoláris / sztelláris: kisebb E
 - ▶ szekunder részecskék (pl. γ , μ^\pm , π^\pm , n^0)



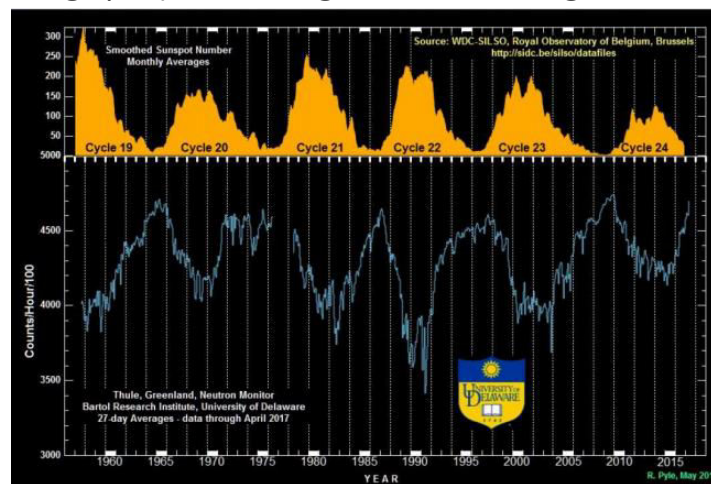
Kozmikus sugárzás -eredet

- ▶ $<Fe: *$
- ▶ $>Fe$ (akár U is): szupernóva /Zwicky/
 - ▶ robbanás-maradvány (táguló gázfelhő +mágn mező) /évezredekig fentmaradó strukt/ ~CR-gyorsító
 - ▶ $E_{max}(|\vec{B}|, \text{gyorsítórégió nagysága})$
 - ▶ Randommozg -> lökéshullámon át +1% E
- ▶ UHECR: galaxison kívülől?
 - ▶ Aktív galmag
 - ▶ Kvazár
 - ▶ γ -burst
 - ▶ Új fizika? /később/

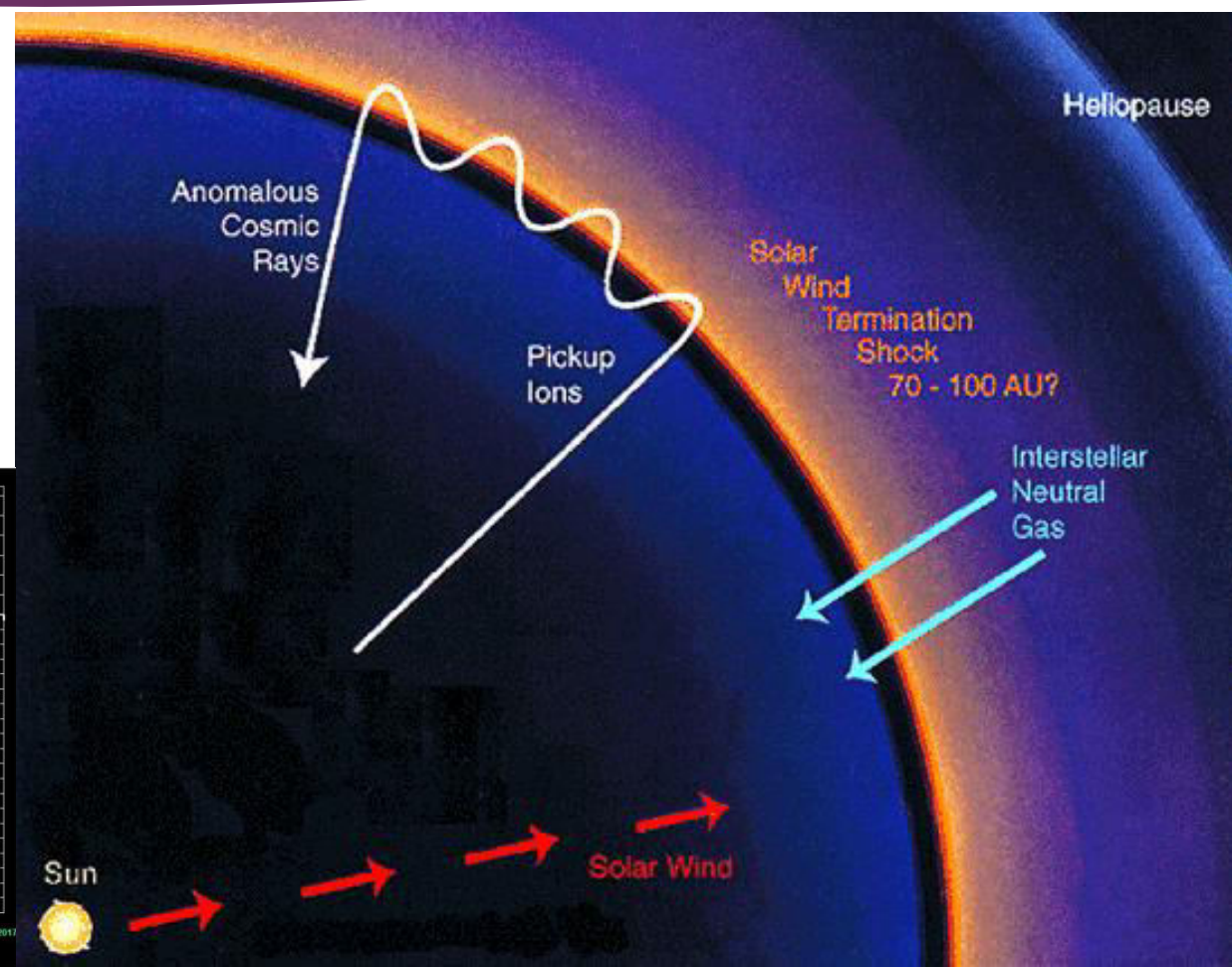


Kozmikus sugárzás -elemi összetétel

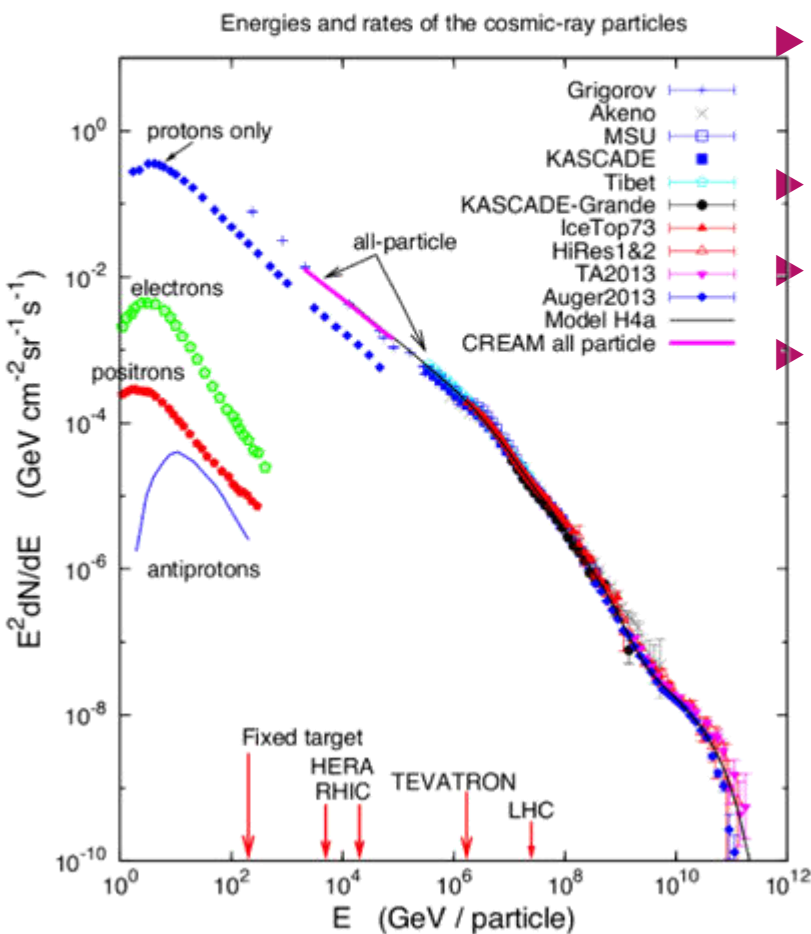
- ▶ Helioszféra: részecskék koronán át, fler-ek -> Δ intenzitás $10^2 \rightarrow 10^6$ (h-napok)
 - ▶ Főleg aktív Napfázisbanf (11 éves ciklus)
 - ▶ E_{max} : 10-100 MeV (-GeV ~évtizedenként)
- ▶ Anomális CR: nehezen ionizálhatóak (pl. He, N, Ne, Ar)
 - ▶ Elektromosan semleges helioszférában ionizálódik /by UV/ (addig napszél, mágn mez „hatástalan”)
 - ▶ Napszél viszi lökéshullámig (napszél, mágn mez + csillagközi anyag)



1 CSE $\sim 150 \times 10^6$ km



Kozmikus sugárzás -másodlagos részecskék

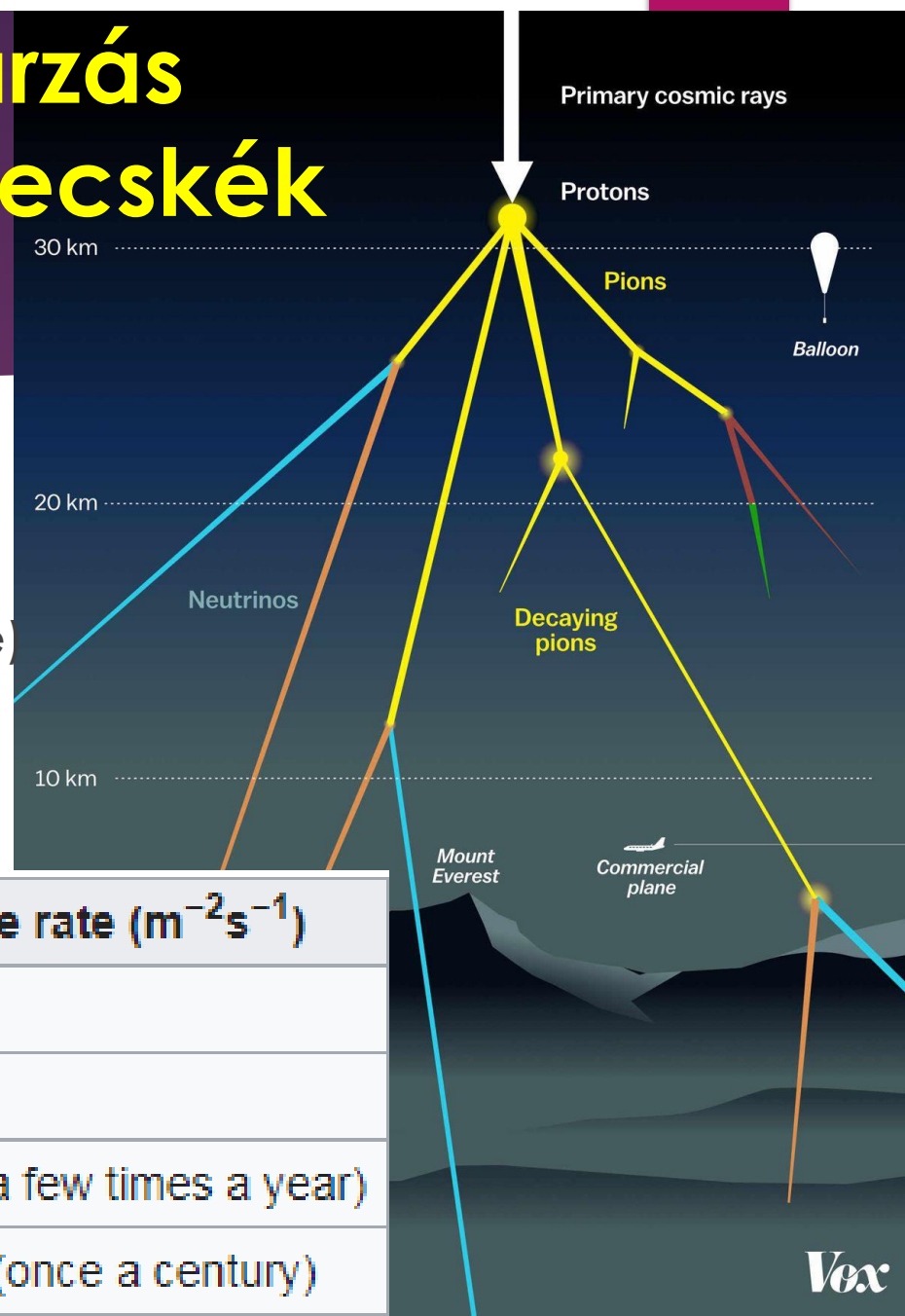


E növekedésével gyakoriság meredeken csökken

VHECR: térd, 1/év (m^2 -re)

UHECR: boka, 1/100év (km^2 -re)

Fluxus(E): $dN(E)/dE \sim E^{-\alpha}$; $\alpha \sim 2,7-3,0$

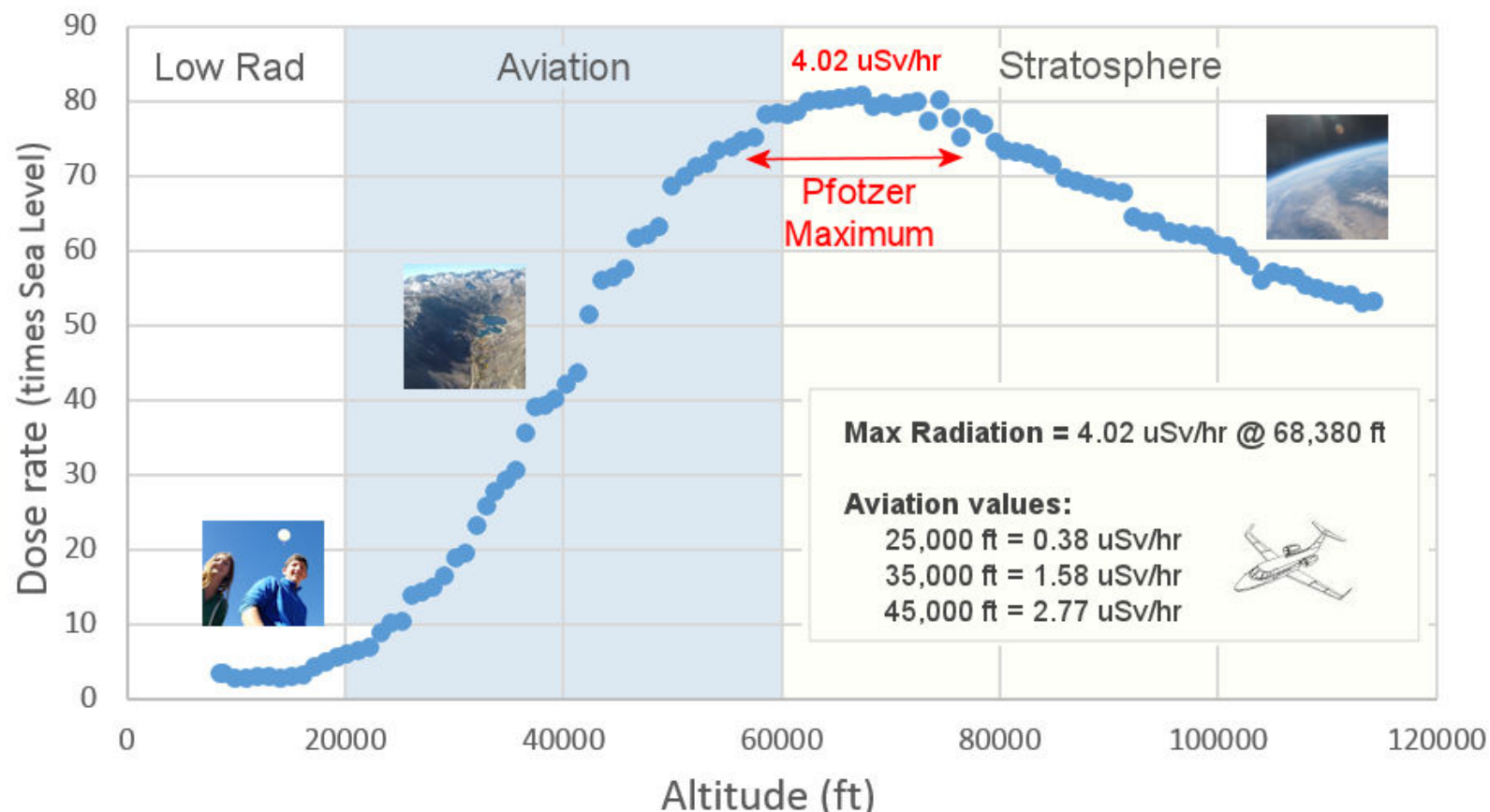


Particle energy (eV)	Particle rate ($\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
1×10^9 (GeV)	1×10^4
1×10^{12} (TeV)	1
1×10^{16} (10 PeV)	1×10^{-7} (a few times a year)
1×10^{20} (100 EeV)	1×10^{-15} (once a century)

Kozmikus sugárzás -Pfozter-maximum

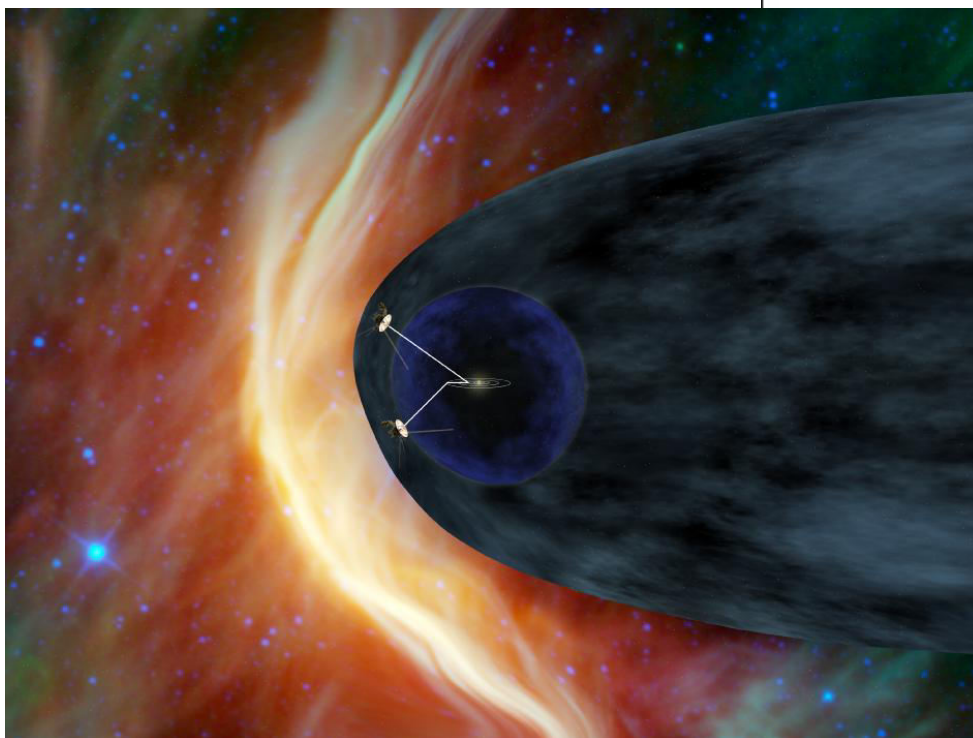
- ▶ Sugmax 18-20 km magasan: több másodlagos részecske
- ▶ Diák rakéta-kísérletek (spaceweather.com)

Radiation vs. Altitude: Oct. 11, 2015



Kozmikus sugárzás -sugárvédelem

- ▶ Földfelszínen elenyésző /10 m vízekvivalens légkör/
 - ▶ Heliosféra = Nap mágneses mezeje + napszél (~keV)



Ionizing Radiation Exposure to the Public

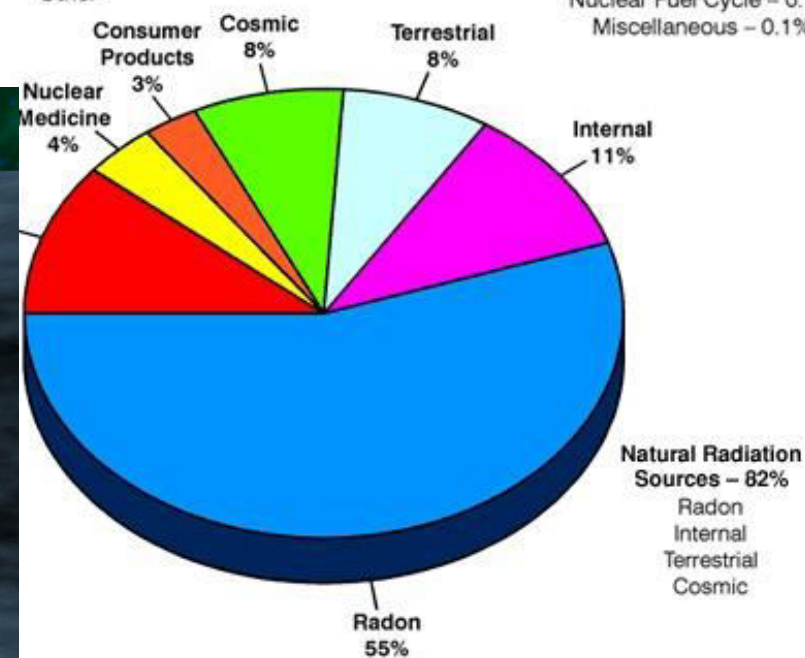
Man Made Radiation Sources – 18%

Medical X-rays
Nuclear Medicine
Consumer Products
Other

Other – <1%

This Includes:

Occupational – 0.3%
Fallout – <0.3%
Nuclear Fuel Cycle – 0.1%
Miscellaneous – 0.1%

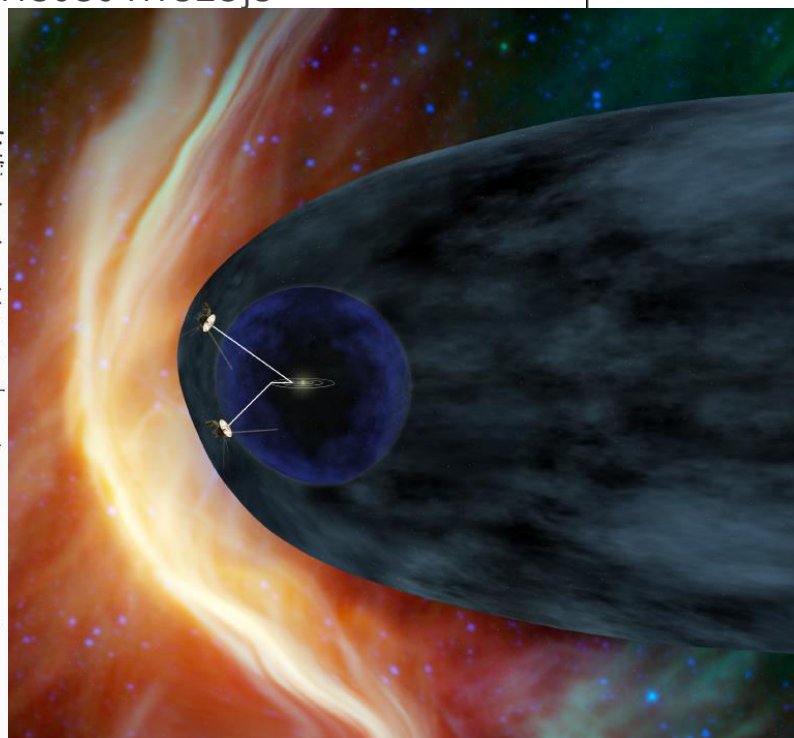
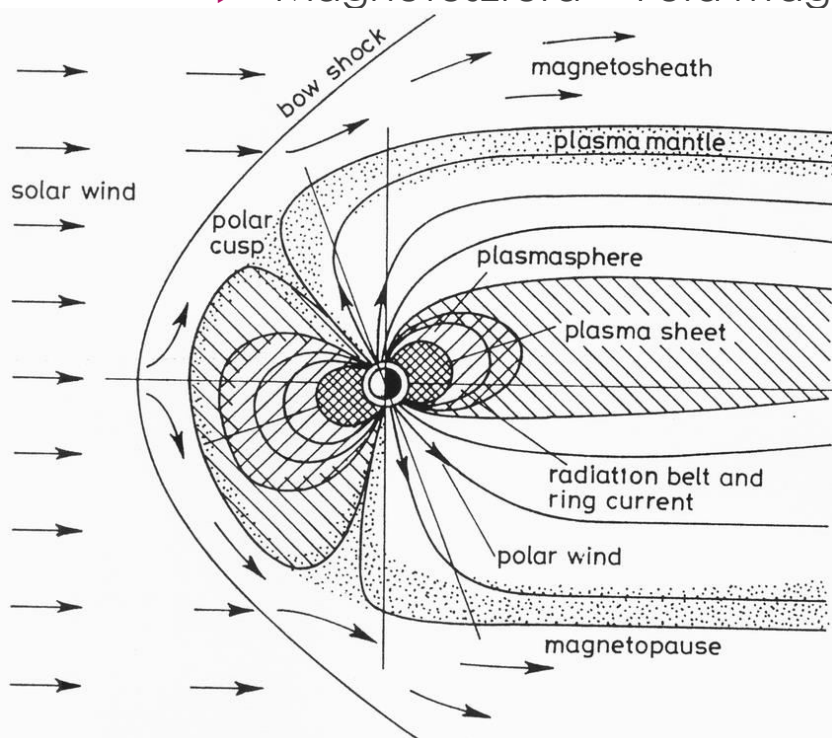


taken from the National Council on Radiation Protection and Measurements
93, "Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States," 1987.

that natural sources of radiation account for about 82% of all public exposure
sources account for the remaining 18%.

Kozmikus sugárzás -sugárvédelem

- ▶ Földfelszínen elenyésző /10 m vízekvivalens légkör/
 - ▶ Helioszféra = Nap mágneses mezeje + napszél (~keV)
 - ▶ Magnetoszféra = Föld mágneses mezeje



Ionizing Radiation Exposure to the Public

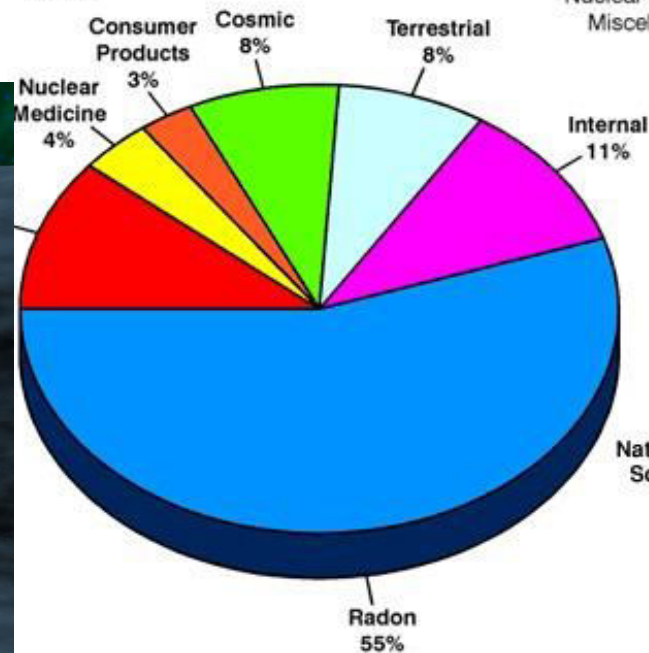
Man Made Radiation Sources – 18%

Medical X-rays
Nuclear Medicine
Consumer Products
Other

Other – <1%

This Includes:

Occupational – 0.3%
Fallout – <0.3%
Nuclear Fuel Cycle – 0.1%
Miscellaneous – 0.1%



taken from the National Council on Radiation Protection and Measurements
1993, "Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States," 1987.
That natural sources of radiation account for about 82% of all public exposure
sources account for the remaining 18%.

Kozmikus sugárzás -sugárvédelem

- ▶ Űrhajósok > földi bgsug: ~100x
- ▶ ~mekkora az a teljes sugárzásmennyiség, ami a hátralévő életük során még elfogadható kockázattal jár, ha ezt a földi egyéb munkahelyi kockázatokhoz viszonyítjuk
- ▶ Védelem:
 - ▶ Magas H-tartalmú anyagok (pl. víz) jó árnyékolók -> törülközők falra
 - ▶ Űrállomás-forgatás -> kevésbé érzékeny részeket érje közvetlenül az esetleges napkitörés
 - ▶ 2 Szojuz-űrhajó mindig fent van -> 6fős személyzet bármikori evakuálására
 - ▶ Sugálló képesség növelő szer - kísérletek (rövid idejű hatás): keletkezett szabadgyökök hatástalanítása (?)
 - ▶ Spec. Űrruha -> Űrséta ☺



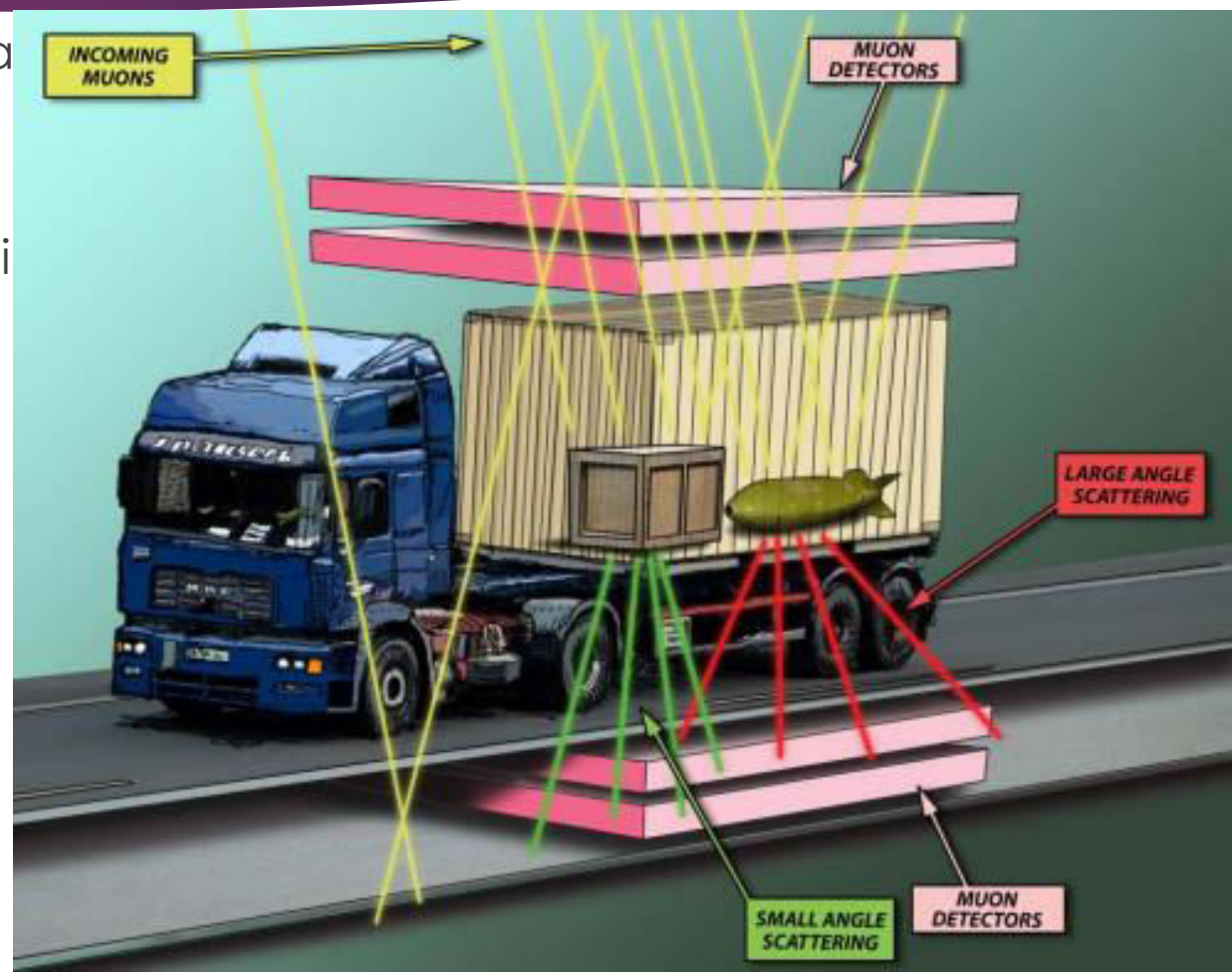
Kozmikus sugárzás -földi hatások

- ▶ Sarkoknál a légkörbe behatoló töltött részecskék (p^+ , e^-) keltette ideileges fényjelenség
- ▶ Magnetoszféra felkavarása /by napszél/ -> töltött részecskék felső légkörbe -> ionizáció + gerjesztés -> vissza: fény
- ▶ p^+ : e^- -befogás -> H /kék/
- ▶ N: kék-ibolya
- ▶ O: zöld / vörös



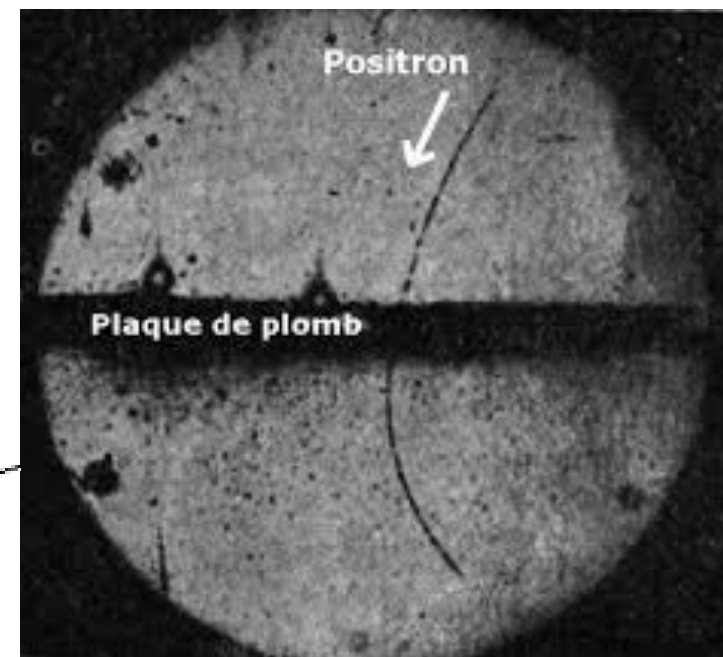
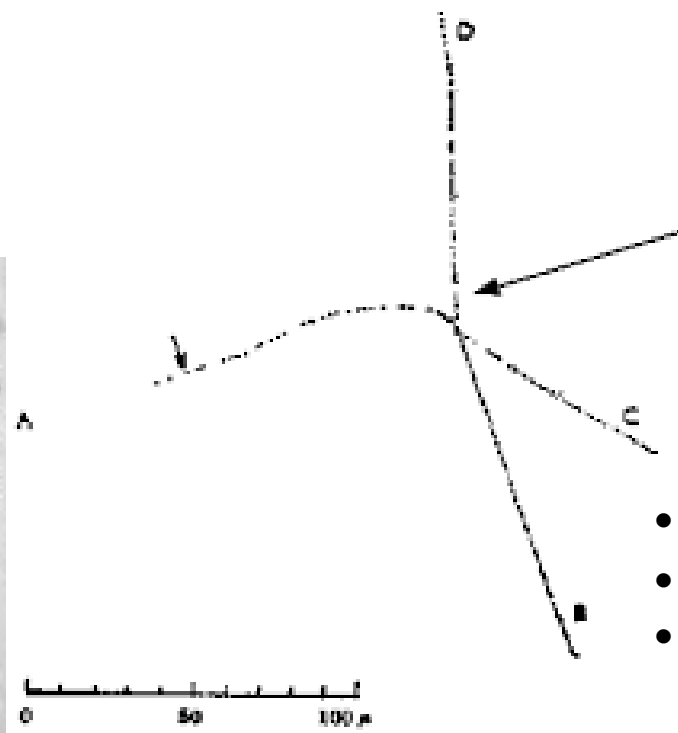
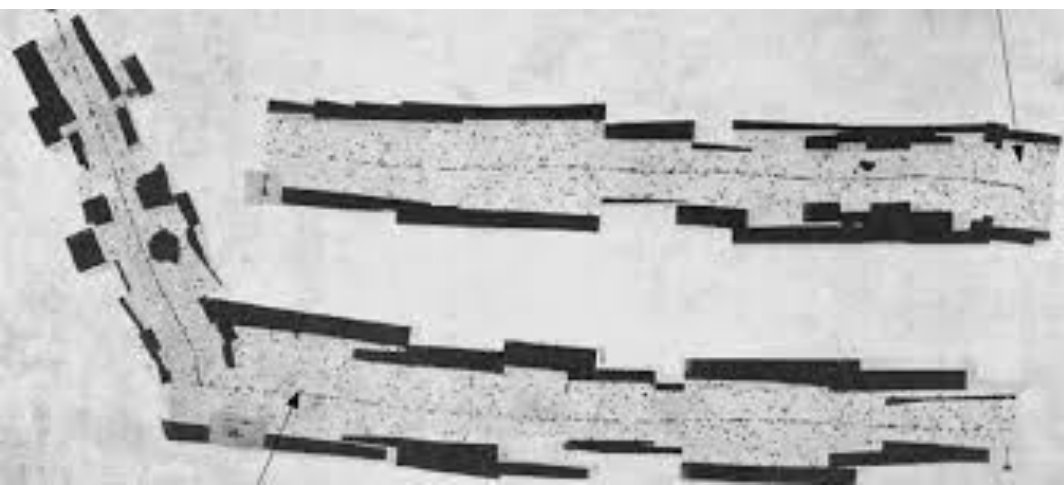
Kozmikus sugárzás -földi hatások

- ▶ 1. ütk után ~3-80 km magasban légkör ionizációja
- ▶ Léggöri atommagokkal ütközve radioaktív (pl. ^{14}C , ^3H , ^{10}Be) + stabil, de ritka izotópok -> régészeti + geológiai kormeghatározás / biológiai vizsgálatok
- ▶ Talajba is behatolnak biz mélységig /radioaktív izotópok létrehozása/ -> pl. következtetések talajerózió ütemére /folyókban lévő hordalék vizsg/
- ▶ Elektronikus eszközök tranziens hibái (memória)
- ▶ Müontomográfia (gízai nagy piramis)
- ▶ Neutrínók...



Kozmikus sugárzás -földi hatások

- ▶ Mesterséges gyorsítók előtti (~1930-50) részecskefizika /Nobel-díjak/
 - ▶ 1932. Anderson, ködkamra: e^+
 - ▶ 1936. Anderson & Neddermeyer, ködkamra: μ^\pm
 - ▶ 1946. Rochester & Butler, ködkamra: K^0
 - ▶ 1947. Powell, fotoemulzió: π^+
 - ▶ -> hiperonok bomlások útján



- vs e^- : túl messzire eljutott
- vs μ^\pm : túl sok nukleáris kh
- vs p^+ : túl sokszor szóródik

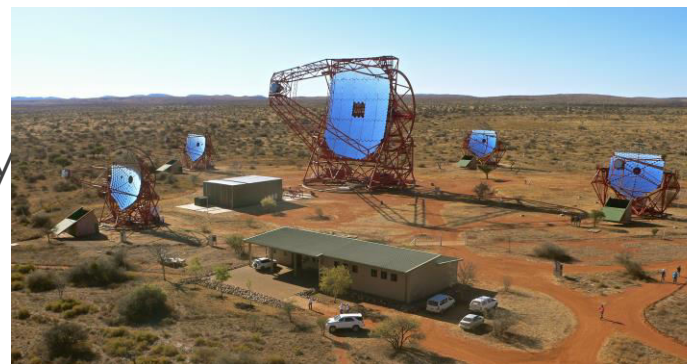
Kozmikus sugárzás detektálása

- ▶ Fotoemulzió, ködkamra, buborékkamra
- ▶ Termolumineszcens dózismérő: Pille
- ▶ AMS (Alpha Magnetic Spectrometer): antianyag kozmsugban
- ▶ CALET (CALorimetric Electron Telescope): nagyEjú CR e^- -spektrum
- ▶ Voyager: részecskeeloszlás
- ▶ ISS-CREAM (Cosmic Ray Energetics and Mass): szupernóva ~ CR-forrás?
- ▶ SuperTIGER (Super Trans-Iron Galactic Element Recorder): léggömb-> >Fe CR forrás
 - ▶ Antarktisz, 55 nap rekordrepülés

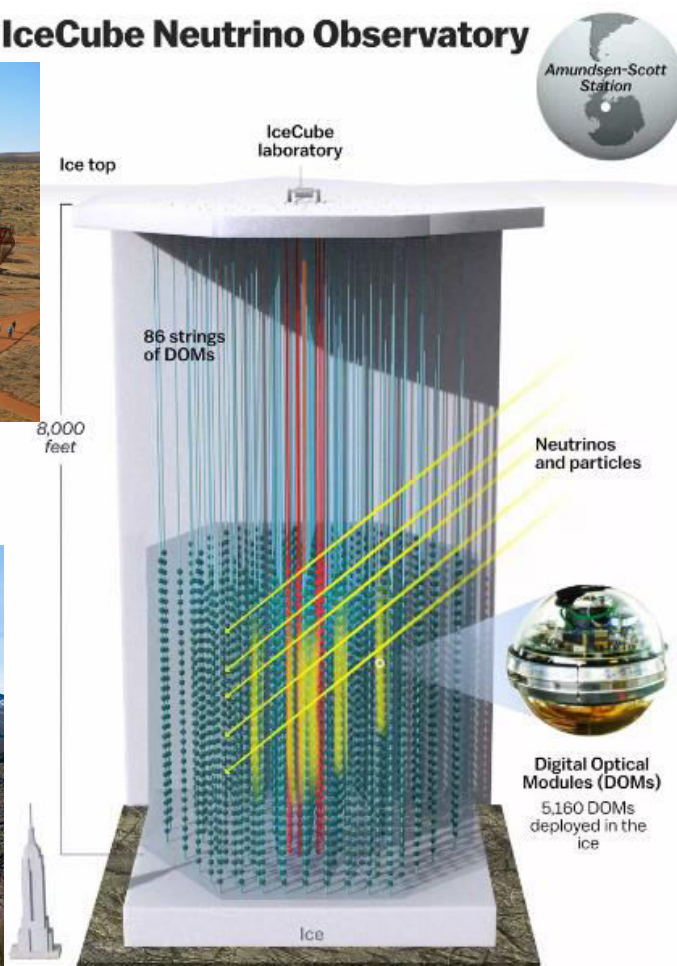


Kozmikus sugárzás detektálása

- ▶ crayfis.io: UHECR-tanulmányozás okostelefonnal app -> CRAYFIS kísérlet a LAMBDA-nál (Laboratory of Methods for Big Data Analysis) /National Research University Higher School of Economics in Russia/
- ▶ Cserenkov
 - ▶ IceCube: neutrínók...
 - ▶ H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System): γ
 - ▶ Milagro -> HAWC (High Altitude Water Cerenkov Detector): nagyEjú γ
 - ▶ Pierre Auger Obszervatórium

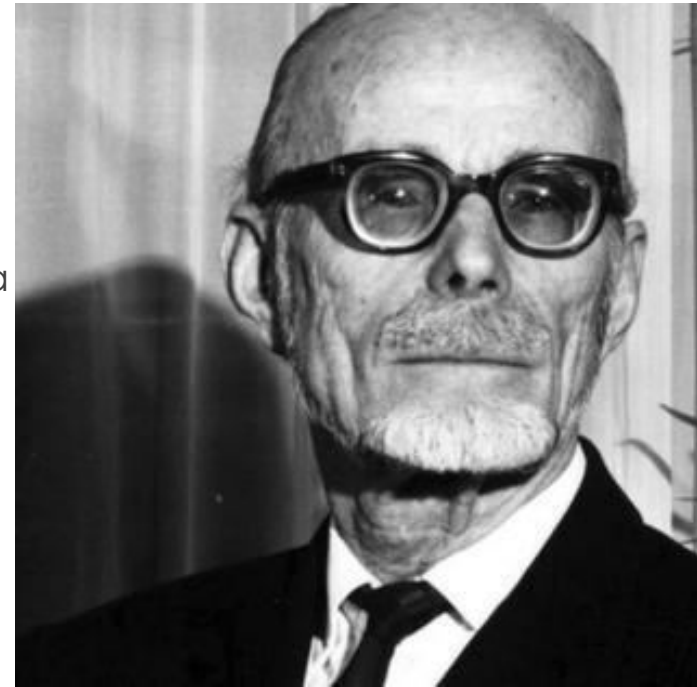


IceCube Neutrino Observatory



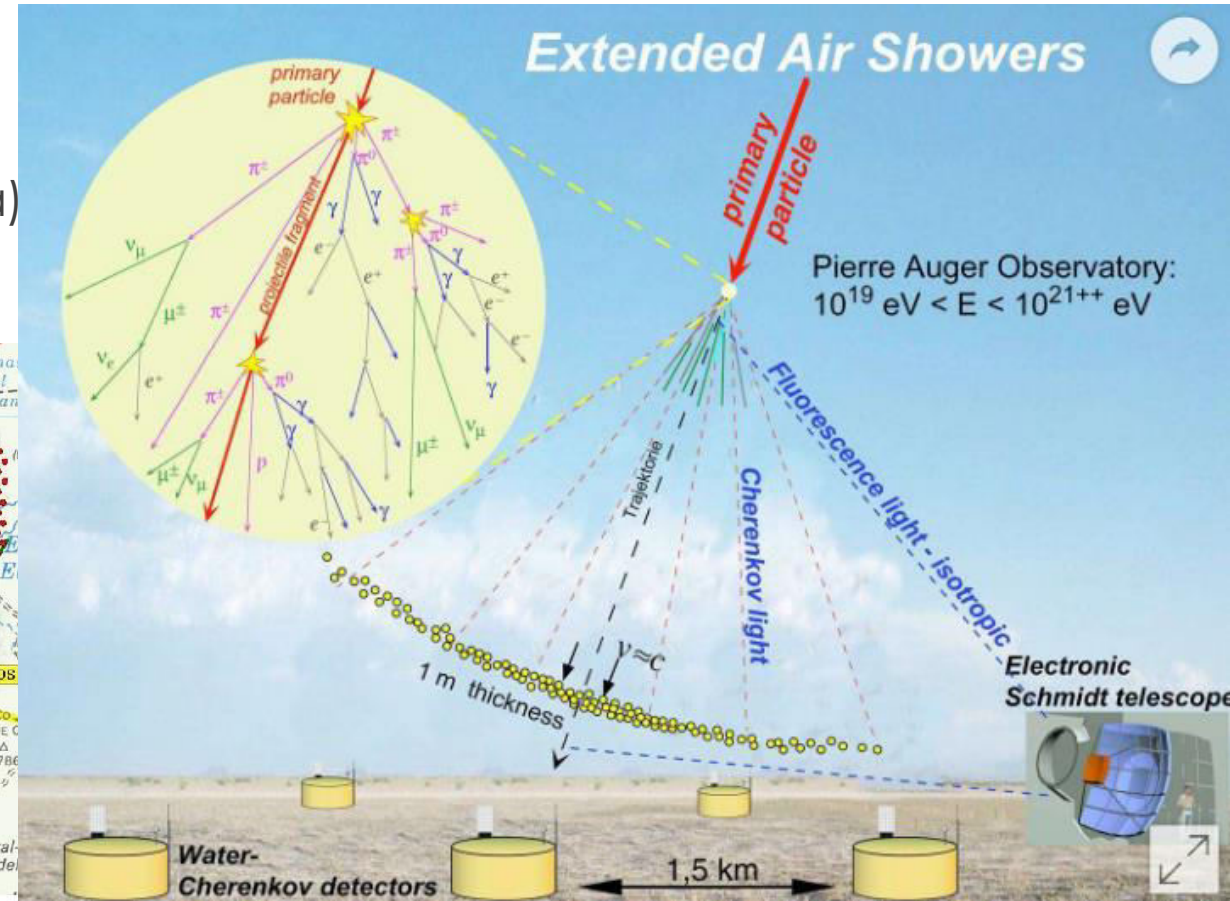
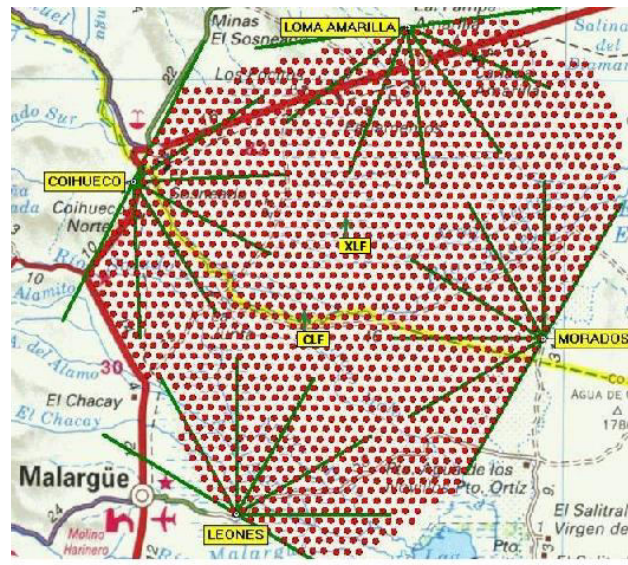
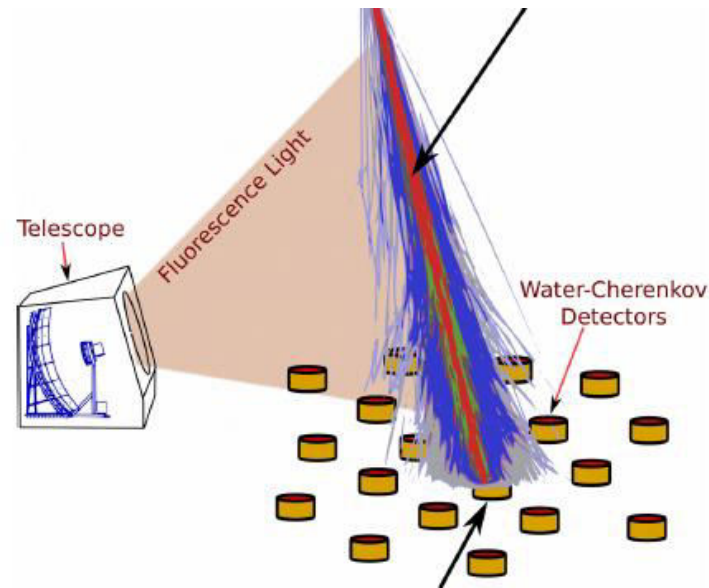
Pierre Auger Obszervatórium -a névadó

- ▶ 1930's: egymástól 300 m-re eltávolított detektorokban egyazon záporhoz tartozó részecskék /koincidenciamérés/
- ▶ ->1930-40's: Jánossy Lajos: két összetevő
 - ▶ Könnyebb részecskék (leptonok, fotonok) elektromágneses kaszkádja
 - ▶ Kimerülnek felszín elérése előtt, de légköri fluoreszcencia + lányok Cserenkov-sugja
 - ▶ Erősen kölcsönható részecskék (hadronok)
 - ▶ Magütközések maradványdarabjai
 - ▶ Pionok
 - ▶ Nehezebb elemi hadronok
 - ▶ Bomlástermékeik (főleg müonok) Föld felszínig
- ▶ Auger-effektus: Atomban kötött állapotban lévő elektron ->magasabb Ejú állapotba / ionizáció: távozik: helyére magasabb Eszinten levő. Efelszab: foton ki / másik elektron; távozik: Auger-elektron.



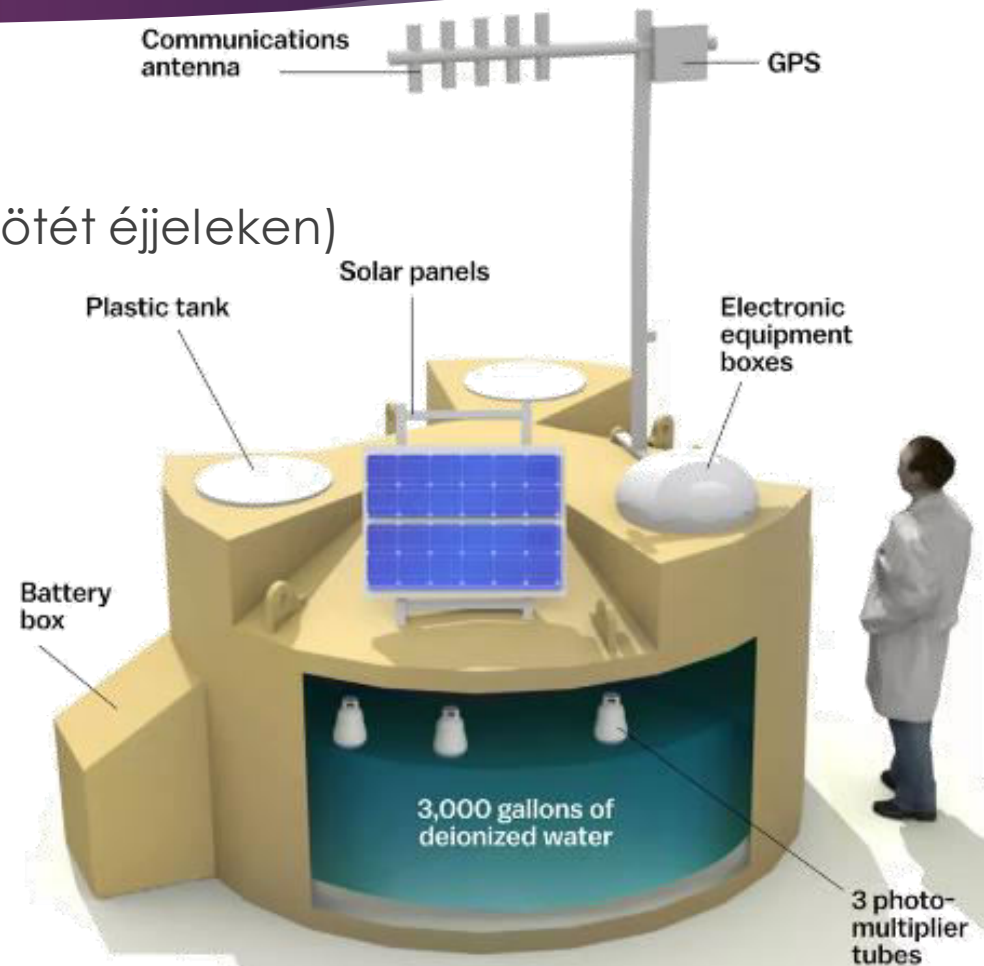
Pierre Auger Observatórium -detektorrendszer

- ▶ Argentína, 18 ország
- ▶ Cél: eredet + karakterisztika + khk ($>10^{17}$ eV CR)
- ▶ 1660 felszíni víz-Cserenkov det 3000 km^2 -en
- ▶ Körülvéve 32 teleszkóppal (levegő fluoreszcencia)
- ▶ Háromszöges elrendezés



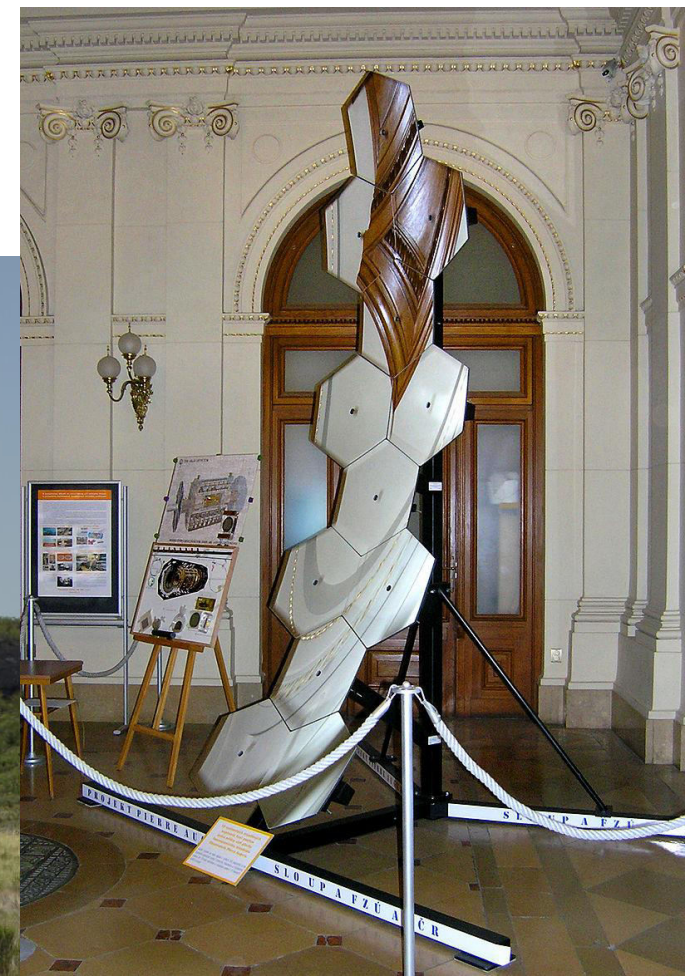
Pierre Auger Observatórium -detektorrendszer

- ▶ Részecskék (EM & μ^\pm): Cserenkov-sug, felszíni detk
 - ▶ Idő + részecskefluxus
- ▶ Ütközéskori fotonok: fluoreszcens teleszkópok /UV/ (sötét éjjeleken)
 - ▶ Idő + dE/dX



Pierre Auger Observatórium -detektorrendszer, fejlesztések

- ▶ +3 magassági fluoreszcens teleszkóp /HEAT (High Elevation Auger Telescope)/
- ▶ +2 beépített sor SD földalatti müon-számlálóval kombinálva /AMIGA (Auger Muons and Infill for the Ground Array)/
- ▶ +rádióteleszkóp-sor (prototípus) /AERA (Auger Engineering Radio Array)/
 - ▶ Zápor közbeni rádiósug kibocsátás detektálására: 30–80 MHz
- ▶ K+F: zápor e^- mikrohullámú kibocsátása (~4 GHz)
- ▶ 124 antenna



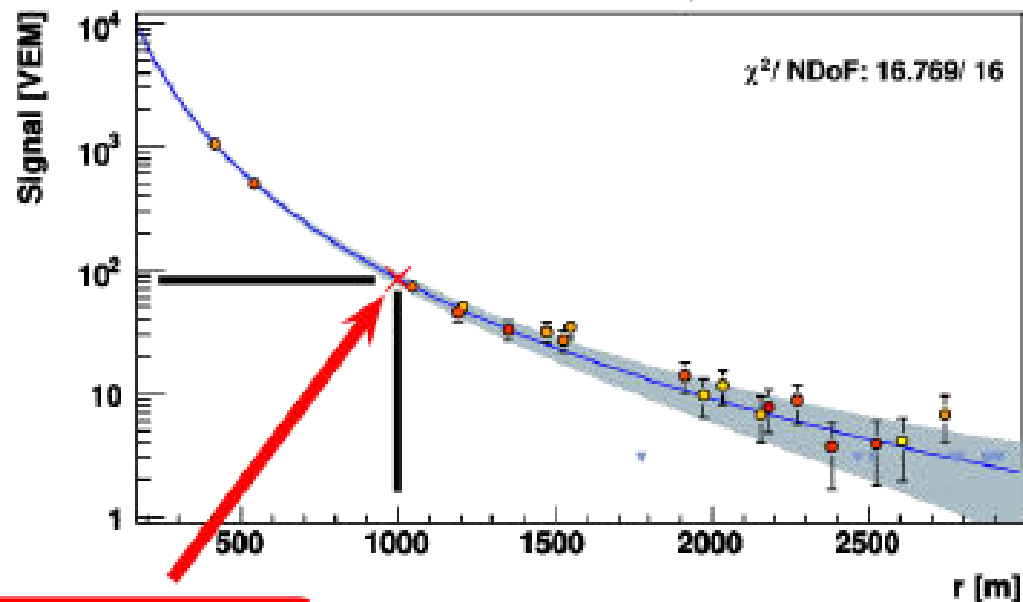
Pierre Auger Observatórium -adattfeldolgozás

▶ Zápor maximumának helye X_{max}

▶ $E_{cal} = \int dX \frac{dE}{dX}$

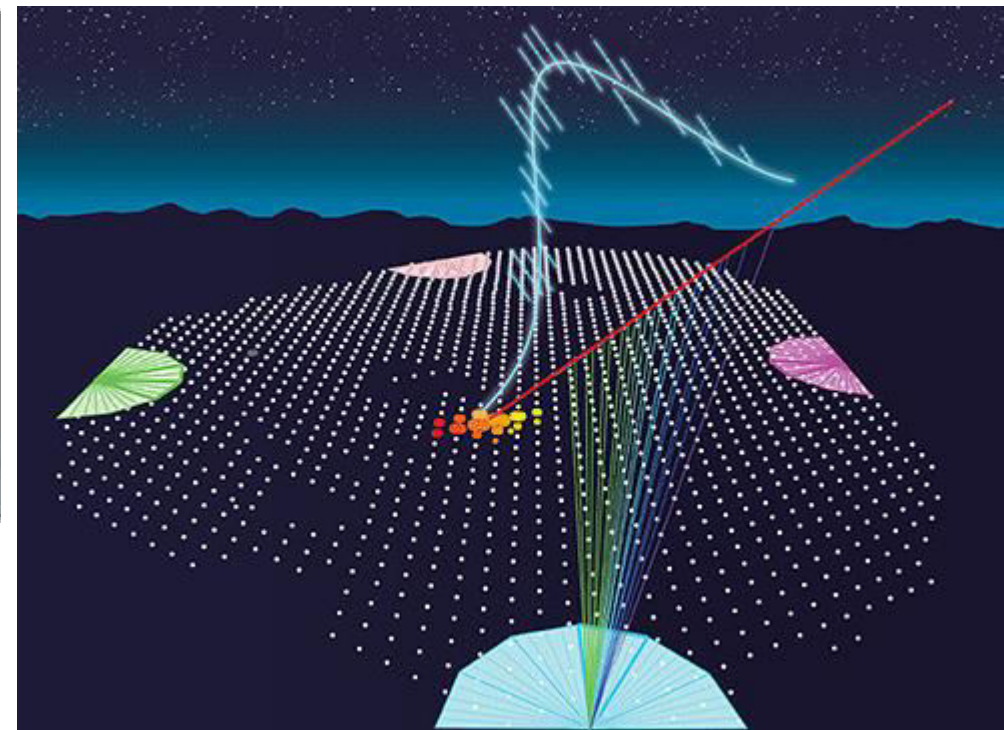
▶ $E_0 = E_{cal} + E_{inv}$

▶ $E_0 \propto S_{1000}$



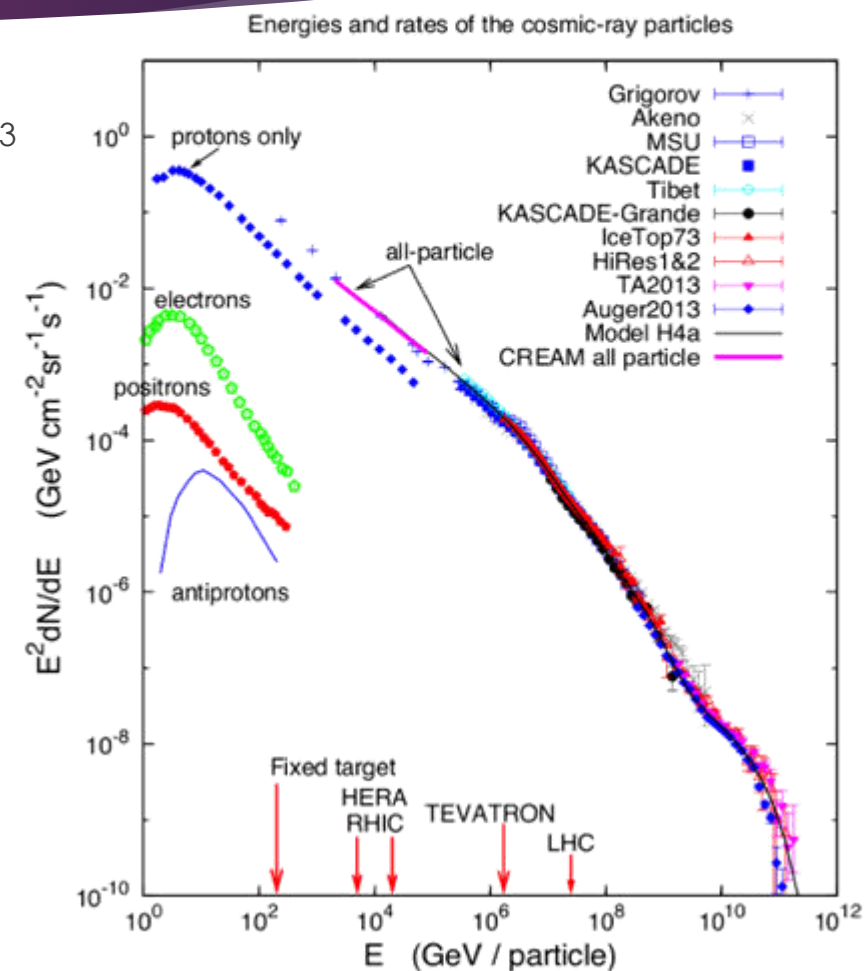
S_{1000}

$E_{\text{surface}} = f(S_{1000}, \theta)$



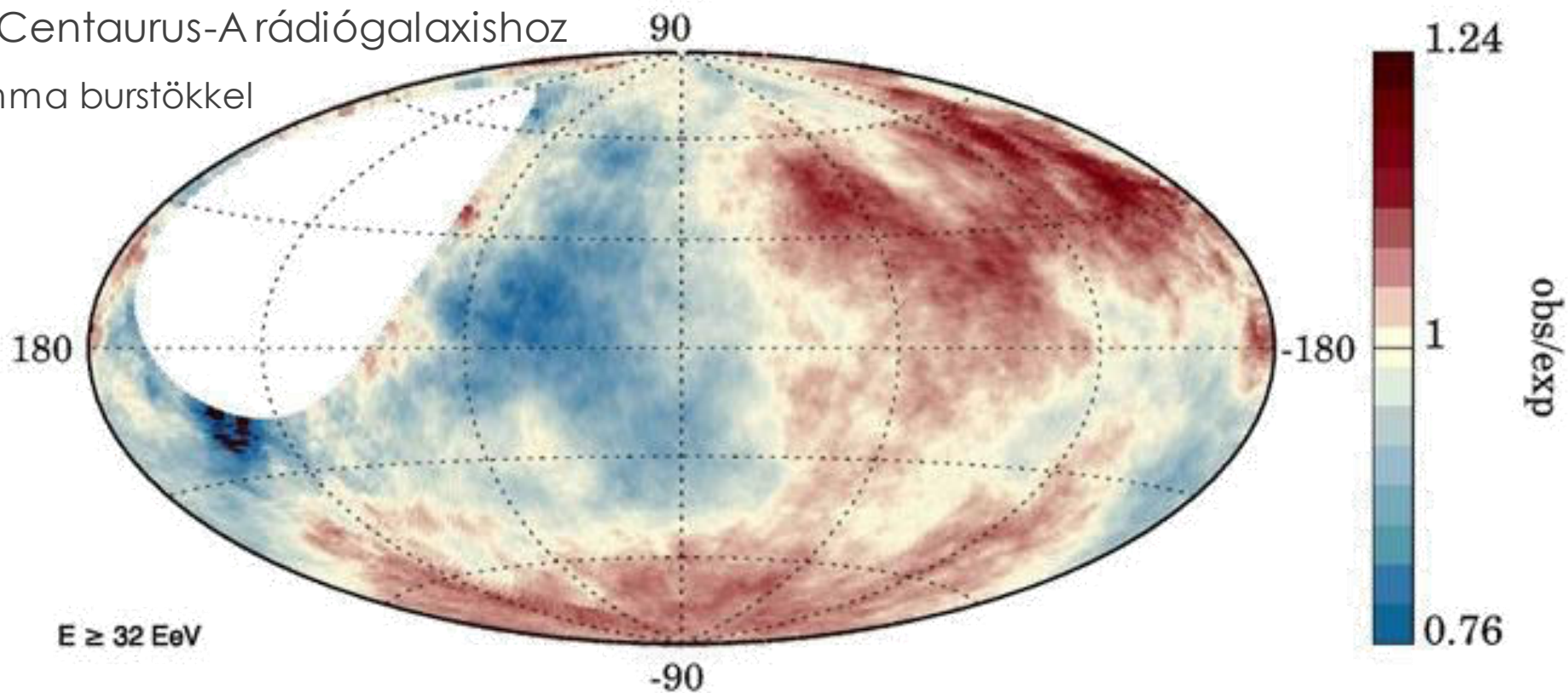
Pierre Auger Observatórium -eredmények

- ▶ Aktív galmag?
- ▶ kozmikus sugárzásból származó térbeli energiasűrűség $\sim 1 \text{ eV/cm}^3$
 - ▶ Ennél $<$ (min 100x) szupernóvák robbanásánál keletkező lökéshullámokkal galba kerülő E ☺
- ▶ Greisen-Zatsepin-Kuzmin limit: bg suggest ütk \rightarrow 50 Mpc-n belül max $\sim 1 \text{ J}$ (protonnak)
- ▶ GZK-határ valóban létezik az energiaspektrumban
 - ▶ Határ környékén: 120–130 km/h sebességű teniszlabda (OMG-részecskék)
- ▶ Legnagyobb energiával detektált záporokban a fotonok energijáruléka nem éri el a 10%-ot



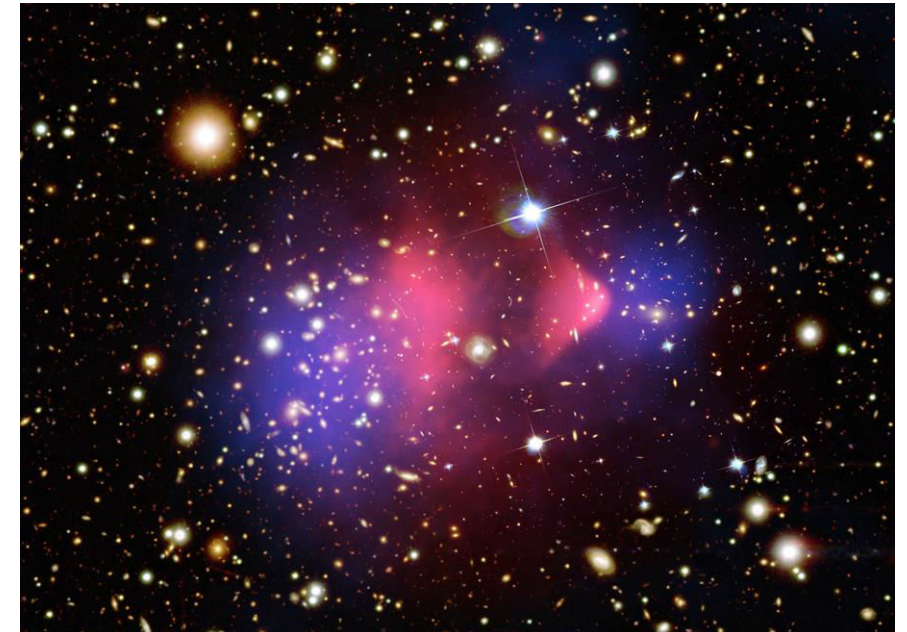
Pierre Auger Observatórium -eredmények

- ▶ Anizotrópia: trajektóriák valja irányfüggő /30000 részecske alapján/
- ▶ UHECR eredete közel Centaurus-A rádiógalaxishoz
 - ▶ Nincs korreláció gamma burstökkel



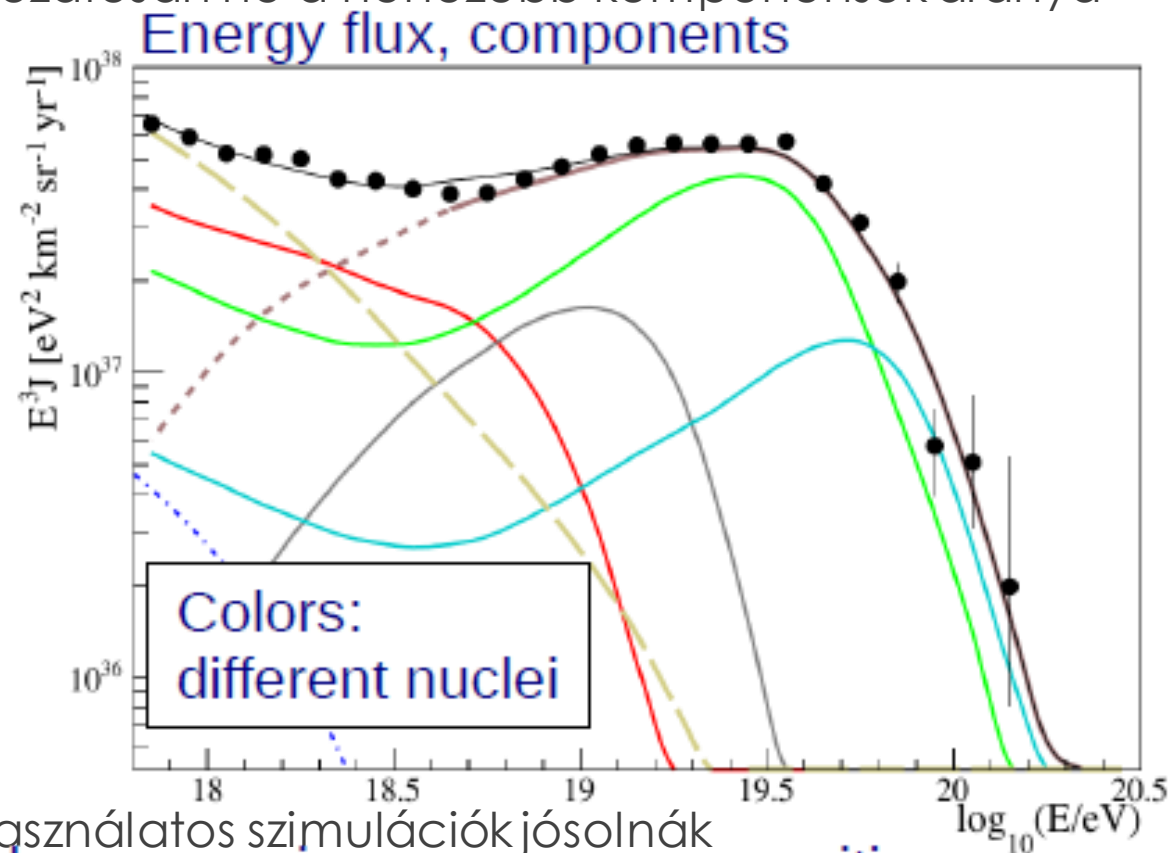
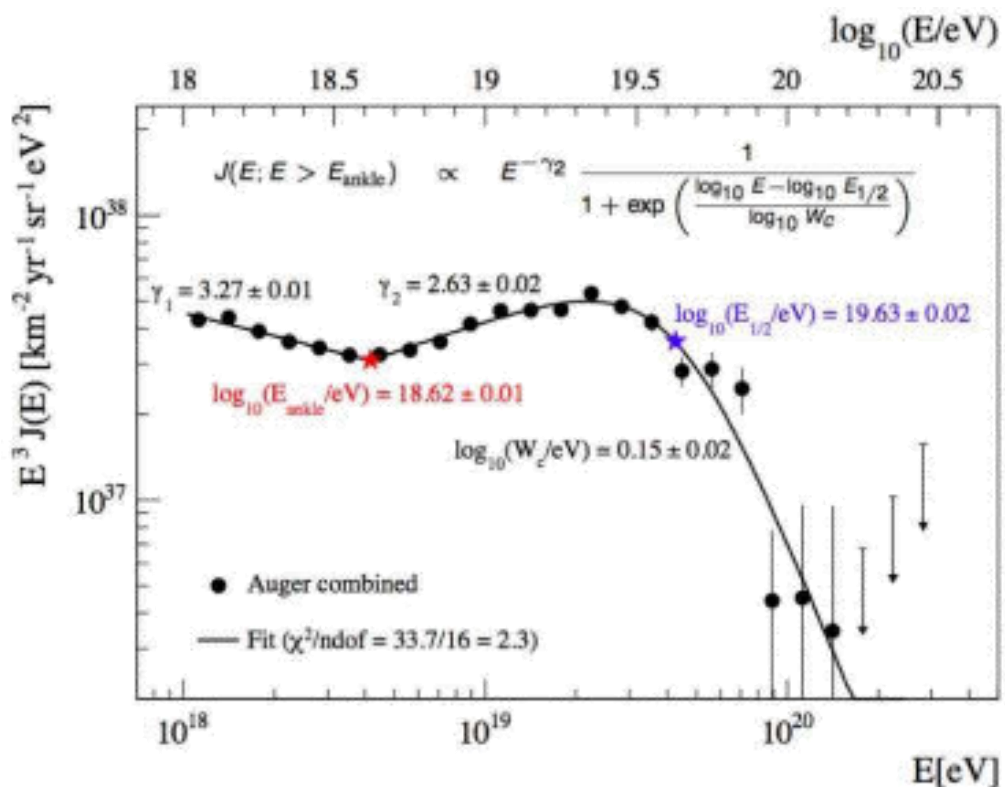
Pierre Auger Observatórium -rejtélyek

- ▶ Kiugróan nagy energiájú részecskék: szupernóva nem elég nagy UHECR-hez
 - ▶ Aktív galmag?
 - ▶ Kvazár?
 - ▶ γ -burst?
 - ▶ Ütköző galaxisok?
 - ▶ Egzotikus fizika: szuperhúrok, SA, erősen kölcsönható neutrínók, topológiai defektusok az Uni struktjában?
 - ▶ ->Telescope Array: UHECR lehetséges forrásai
- ▶ Antiprotonok magasabb átlagenergiájúak protonoknál
 - ▶ Földre karakterisztikus energiával (max 2 GeV) -> más részecskekeltés
- ▶ Nincsenek antiatommagok



Pierre Auger Observatórium -rejtélyek

- ▶ $\sim 10^{18.5}$ eV felett az UHECR összetételében fokozatosan nő a nehezebb komponensek aránya



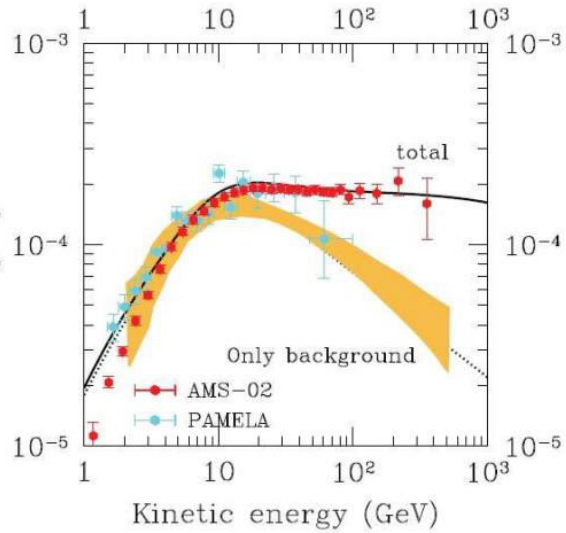
- ▶ Müonokból is sokkal több jön, mint LHC E-n használatos szimulációk jóslolnák

Köszönöm a figyelmet!



Főbb források

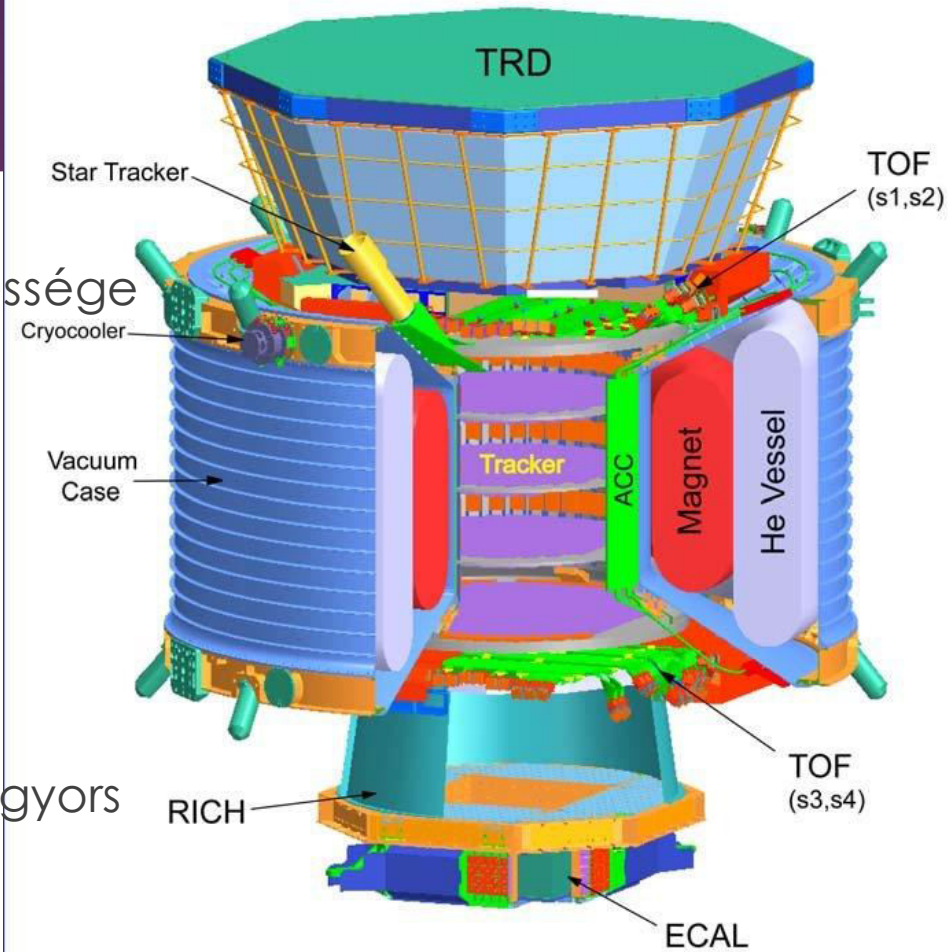
- ▶ http://www.rmki.kfki.hu/~opitz/NF2017/05_KP_kHS.pdf
- ▶ https://www.eletestudomany.hu/sugarvedelem_az_urban?fbclid=IwAR1g7R_o6PCopTuphizX_yvFXaFA3jhHXPO0RAv-d0MojYybfJXbJS3FA4
- ▶ https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/cosmic_rays1.html?fbclid=IwAR0c3JeYkwciiuCelExzZHxQf0-7WSPjKhfcps9xd1yfaUtXA-F_x3LndA
- ▶ <http://www.telescopearray.org/index.php/about/what-are-cosmic-rays?fbclid=IwAR25LORMnBo2BCBOhINTx6CfkUQvzocKX3lljO1uyGljydJW4uy0mfeTtNg>
- ▶ http://www.srl.caltech.edu/personnel/dick/cos_encyc.html?fbclid=IwAR0h2OGTO_C136h-e8822jZa9C-MdMaCZO6qNJQim92b1IVXVBk4-50NvLk
- ▶ https://www.space.com/32644-cosmic-rays.html?fbclid=IwAR0c3JeYkwciiuCelExzZHxQf0-7WSPjKhfcps9xd1yfaUtXA-F_x3LndA
- ▶ https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray?fbclid=IwAR3zMdJc6T488ADgRDQRTPpQJwork8SEXKFNMBjkm6dWau7IJZ47x_lwkUo
- ▶ <https://www.vox.com/the-highlight/2019/7/16/17690740/cosmic-rays-universe-theory-science?fbclid=IwAR3zdJOzuXcwEzOj68qFwvey-OfGDLFb4yupMPj51lciGX7e4PotZ2ITQIY>
- ▶ <http://www.termesztvilaga.hu/szamok/tv2012/tv1201/meszaros.html?fbclid=IwAR2lv1uM09kzBbbpuJjlfhaflw4o6WiuGKpxAw2j0R4QOSbmuCF4oxoLj2s>
- ▶ <https://www.auger.org/>



AMS

- ▶ TRD (transition radiation detector): nagyenergiás részecskék sebessége
- ▶ Felső TOF (time of flight számláló)
- ▶ Star tracker: modul térbeli orientációja
- ▶ Si tracker: töltött részecskék koordinátái mágneses mezőben
- ▶ Folytonos mágneses eltérítés: töltött részecskék beazonosítása
- ▶ Anti-koincidencia számláló: eldobja oldalról érkezőket
- ▶ Ring imaging Cherenkov detector Ring imaging Cserenkov dets: gyors részecskék sebességének pontos mérése
- ▶ ECAL (Electromagnetic calorimeter): részecskék teljes energiája
- ▶ több antiproton és pozitron, mint az a közönséges KS csillagközi anyaggal való ütközéseiből várható -> SA? / közeli szupernóvákból vagy pulzárokból

AMS 02 (Alpha Magnetic Spectrometer)



AMS on ISS for 3 years

Detektálás

