

The background of the slide is a cosmic scene. On the left, a large, bright blue arc, possibly representing a celestial body or a light source, curves across the frame. In the center, a brilliant, multi-colored light source (resembling a star or galaxy core) emits a powerful beam of light that spreads outwards, creating a rainbow-like spectrum of colors from purple and blue to yellow and red. The background is a deep, dark blue space filled with numerous small, distant stars.

Kozmikus sugárzás

Mészáros Marcell

Magfizika szeminárium

2020

Mi a kozmikus sugárzás?

- **Elsődleges kozmikus sugárzás:**
Az űrből a Föld légkörébe érkező nagy energiájú részecskék
- **Másodlagos kozmikus sugárzás:**
Elsődleges sugarak miatt atmoszférában keletkezett sugárzás
- NEM a kozmikus háttérsugárzás

Történeti áttekintés

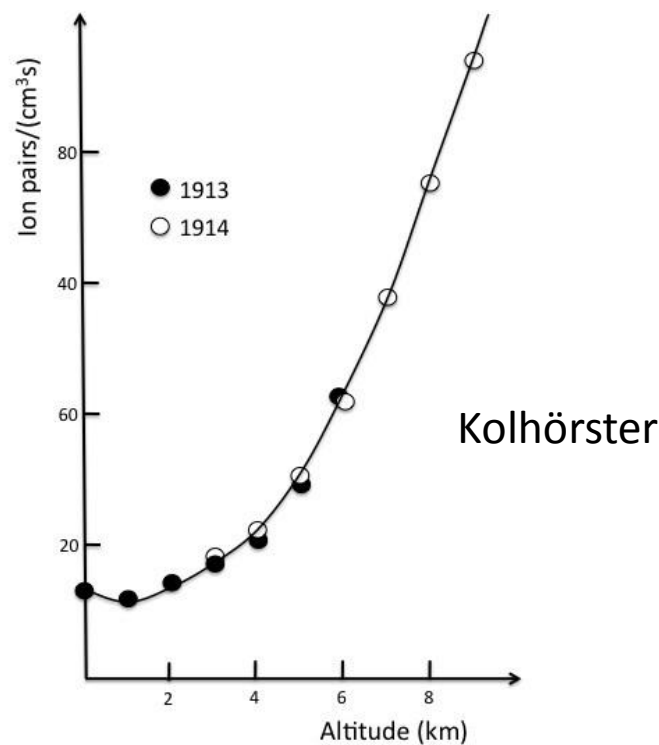
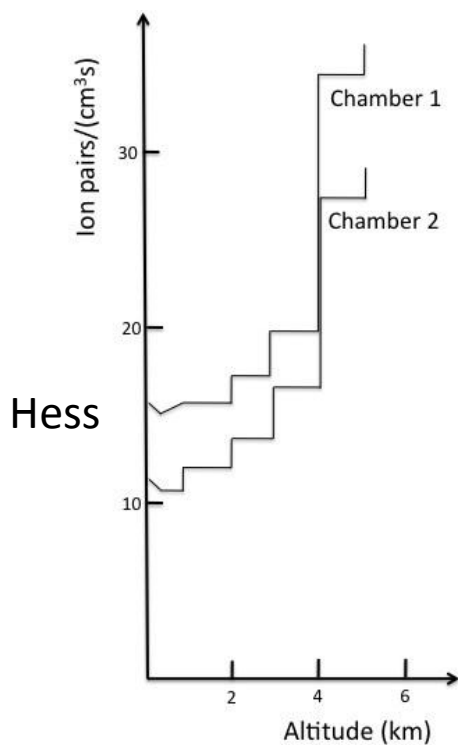
Előzmény:

- 1896, Henri Becquerel – radioaktivitás felfedezése
- Úgy tartják: levegő ionizációja földi radioaktív sugárzás miatt

Felfedezés:

- 1909, Theodor Wulf - spec. elektrométer, Eiffel-torony tetején magasabb ionizációs ráta
- 1911, Domenico Pacini – víz alatt csökken a sugárzás
=> Nem a csak Földből jövő sugárzás

- 1912, Victor Hess – hőléggelballon 5 300 m magasan négyszeres sugárzás, napfogyatkozásnál is
- 1913-1914, Werner Kolhörster megerősíti
- (1936, Hess Nobel-díjat kap)

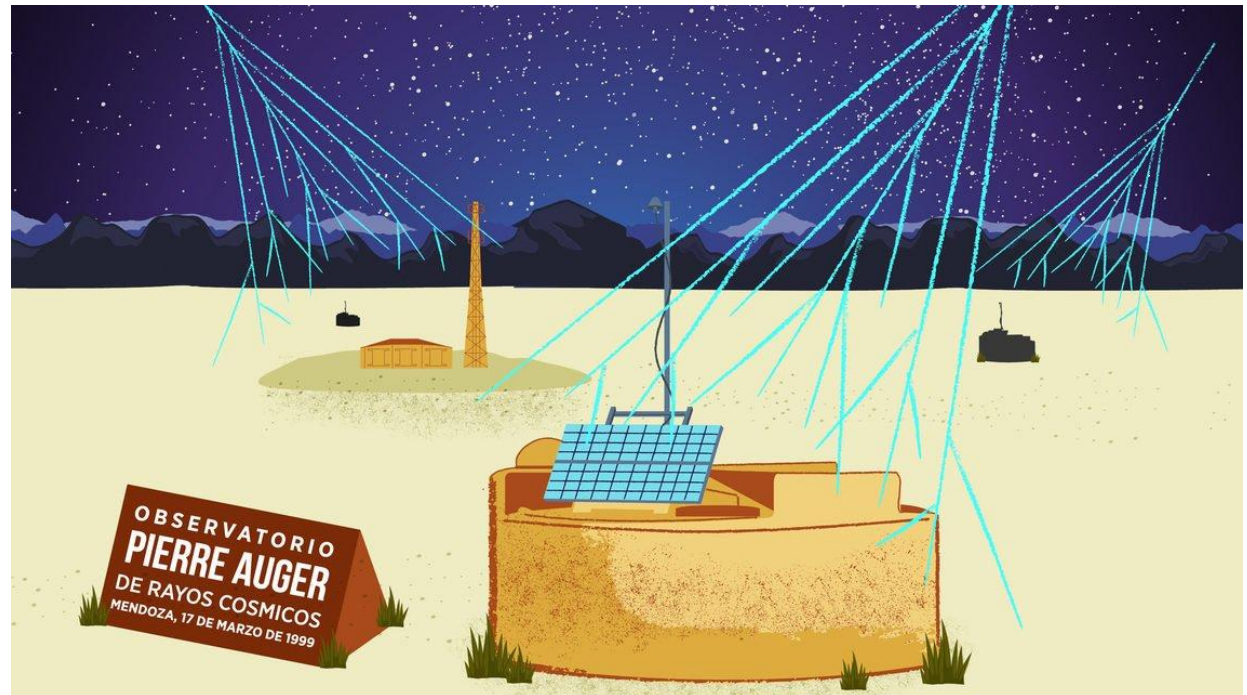


Elemzése:

- 1920-as évek, Robert Millikan: elnevezés, úgy tartja gamma-fotonok H fúzióból
- 1927, Jacob Clay: sugárzás sarkok felé nő
=> töltött részecskék, nem fotonok
- 1930, Bruno Rossi: kelet-nyugat aszimmetria jóslata
- 1933: jóslat igazolása, nyugatról erősebb
=> pozitív részecskék

- 1937, Rossi, Auger: koincidencia események (intenzitás ugrás távoli detektoroknál egyszerre)
=> részecskezápórok
- ~1937, Bhabha, Heitler, Compton: elsődleges sugarak szóródásának és másodlagos sugarak leírása
- 1948: elsődleges sugarak főleg protonok, szórt másodlagos sugarak főleg elektronok, fotonok és müonok
- 1948: elsődleges sugarak 10% alfa-részecske, 1% nehezebb atommag

- 1954, Rossi Cosmic Ray Group: Energia spektrum vizsgálata
- 1967: Kozmikus gamma-sugarak felfedezése
- 1999- : Auger-projekt, Pierre Auger Observatórium, ultranagy energiás sugarak vizsgálata



Elsődleges kozmikus sugarak

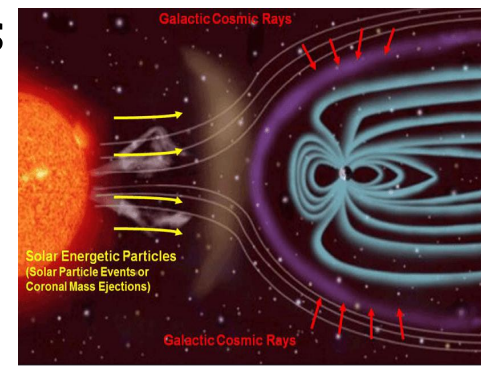
- Különböző asztrofizikai folyamatok során keletkeznek
- Közel fénysebességgel mozognak
- Csak nagyon kis részük ér el a földfelszínre

1) Szoláris

- Napból származik
- Intenzitása erősen változó
 - Napkitörések
 - > protonsugárzás megnő
- Alacsonyabb energiájú
- Jobban ismert

2) (Extra)Galaktikus

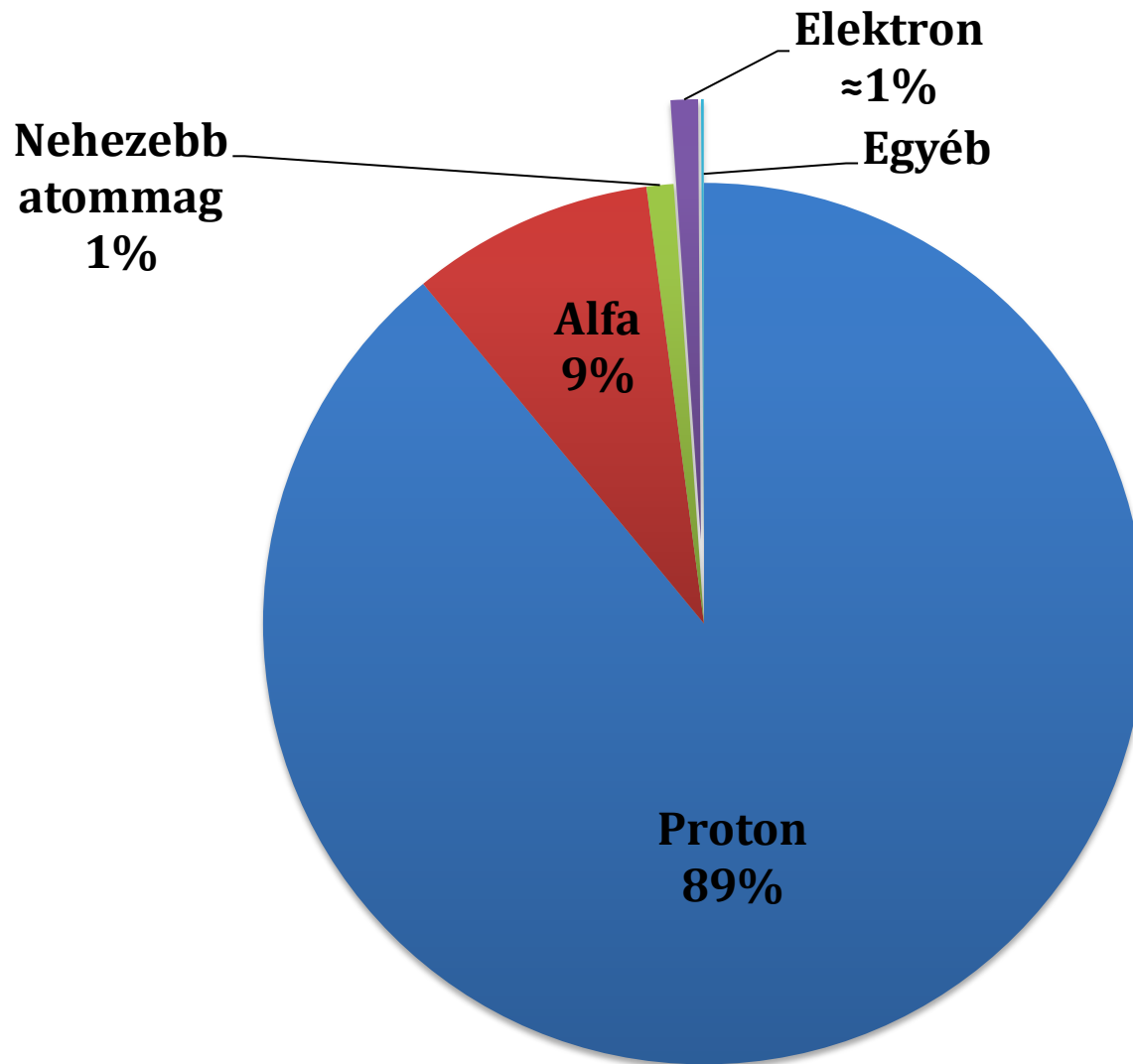
- Naprendszeren kívülről
- Intenzitása közel állandó
- Nagyobb rész
- Nagyobb energiájú részecskék
- Sok kérdés



Elsődleges sugarak részecske összetétele

- 99% atommagok (elektronhéj leszakadt)
 - 90% proton
 - 9% alfa-részecske
 - 1% nehezebb atommag (HZE ion)
- $\approx 1\%$ elektron (béta-részecskéhez hasonló)
- Stabil antianyag (pozitron, anti-proton)
- Röntgen- és gamma fotonok
- Egyéb (pl. müon)

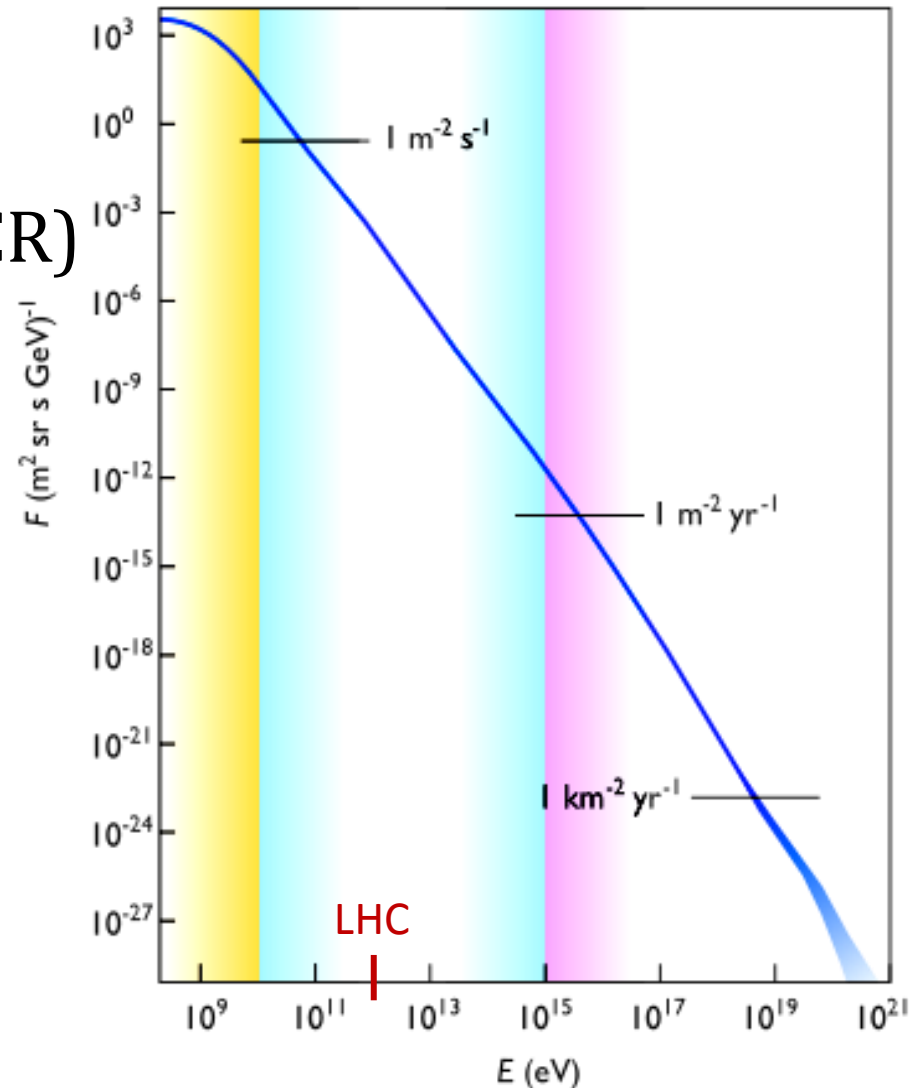
Elsődleges sugarak részecske összetétele



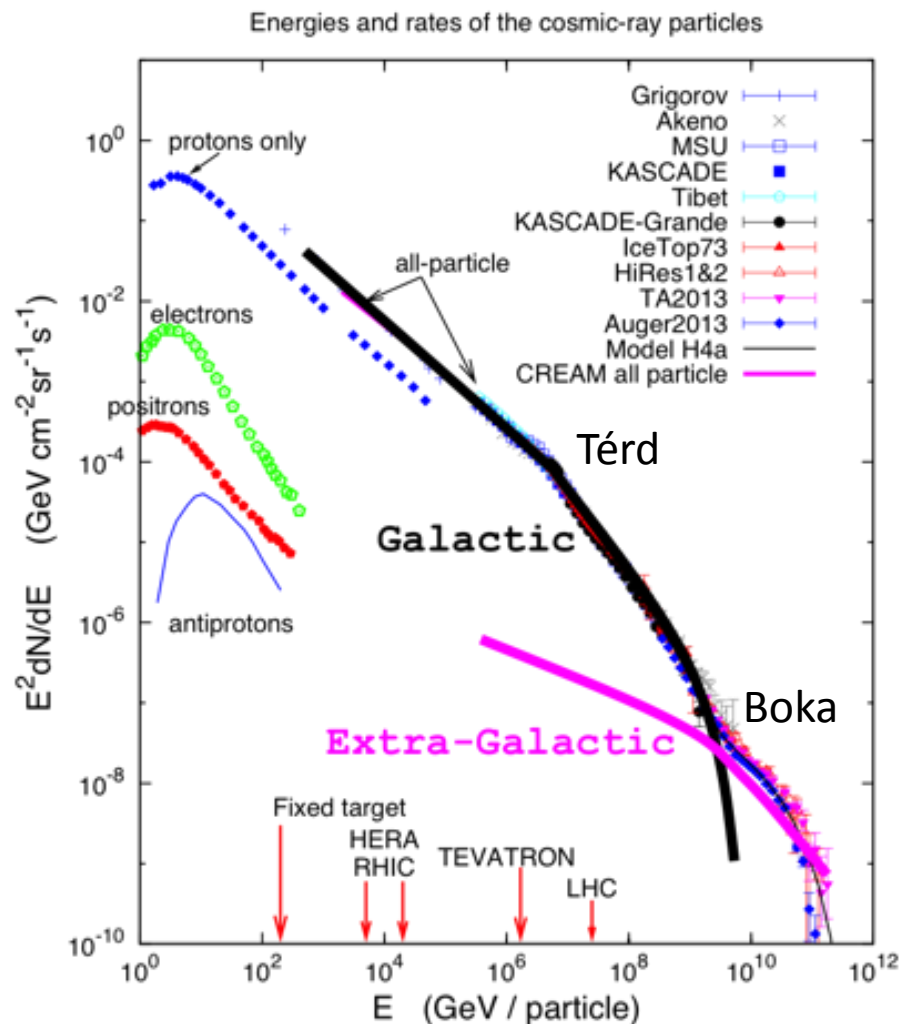
Energia eloszlás

- Leggyakoribb $3 \cdot 10^8$ eV
- Ultranagy energiás (UHECR)
 - Akár $3 \cdot 10^{20}$ eV
- Gyorsítók csak 10^{12} eV

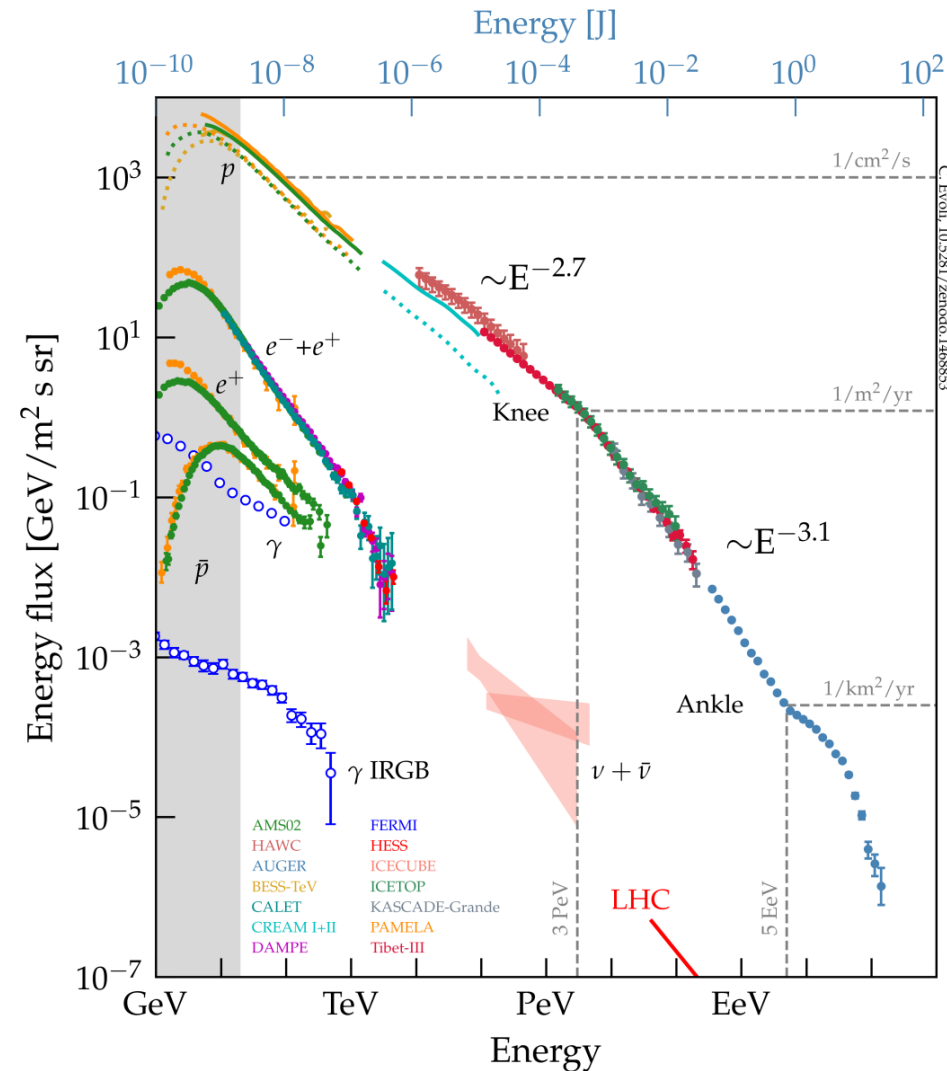
Energia (eV)	Gyakoriság
10^9	$10\,000 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
10^{12}	$1 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
10^{16}	Évente párszor
10^{20}	Évszázadonként párszor



- Alacsonyabb energiájúak a Napból
 - Tükrözi a hélioszféra összetételét
- Nagy energiás főleg galaktikus
- Ultranagy energiás főleg extragalaktikus valószínűleg
- Átmenet a kettő közt nem tisztázott

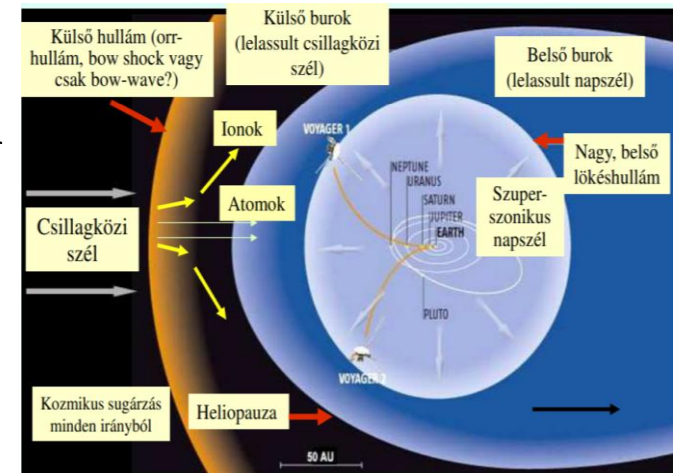
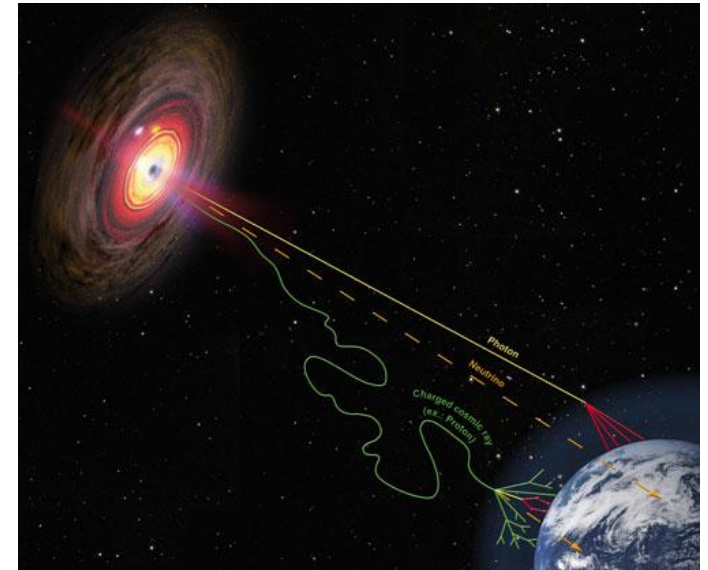


- Greisen–Zatsepin–Kuzmin (GZK) határ
 - Proton nem lehet 10^{20} eV-nál nagyobb energiájú CMB miatt
- Antiprotonoknak magasabb átlagenergia mint protonoknak
- Nagy energián több antirészecske vártnál
- Nincs összetett antianyag



(Elsődleges) Koszmikus sugarak eredete

- Csillagok
- Szupernóvák
- Kvazár, blazár
- Aktív galaxis magok
- Gamma-sugár burst
- Reakciók csillagközi anyaggal és helioszférával
- Gyorsító (és lassító) hatások
- Aktív kutatási terület



Másodlagos kozmikus sugarak

- Elsődleges sugarak (főleg protonok) ütköznek a levegő atomjaival/molekuláival (főleg nitrogén és oxigén)
- Reakció, részecske kaszkád, további szóródás => légi zápor (több km² kiterjedés, több milliárd részecske)
- Fenti ütközésből jöhet: proton, neutron, pionok, kaonok

- További reakciók (bomlás)

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

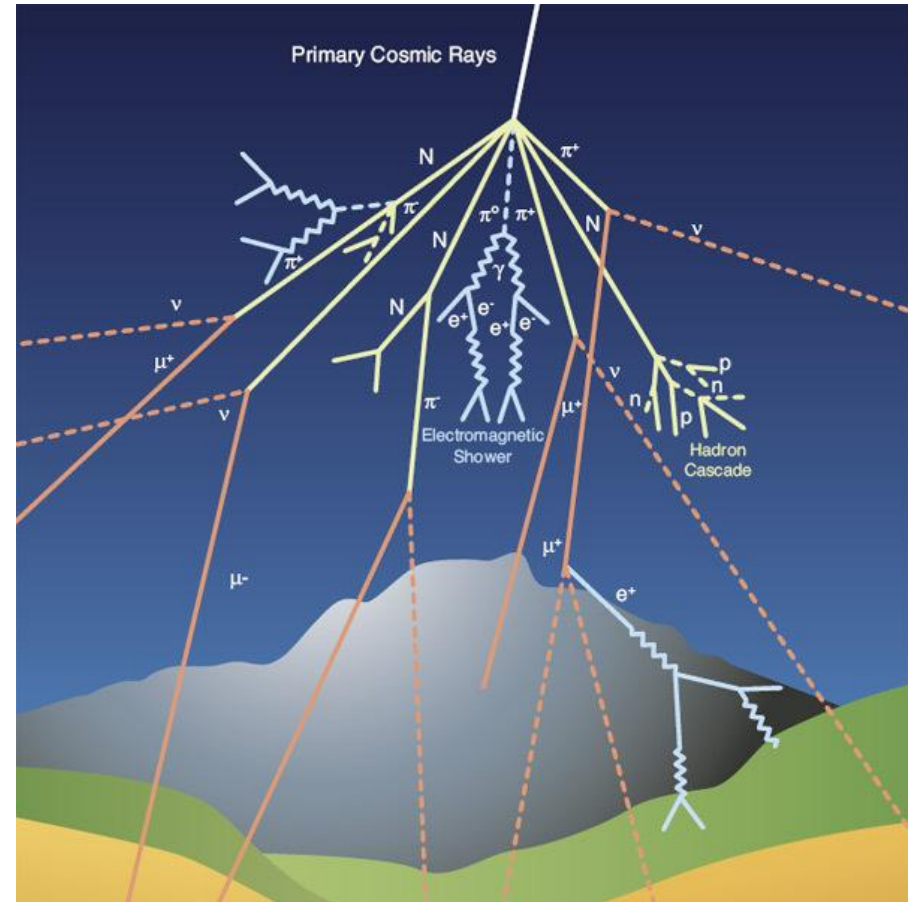
$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

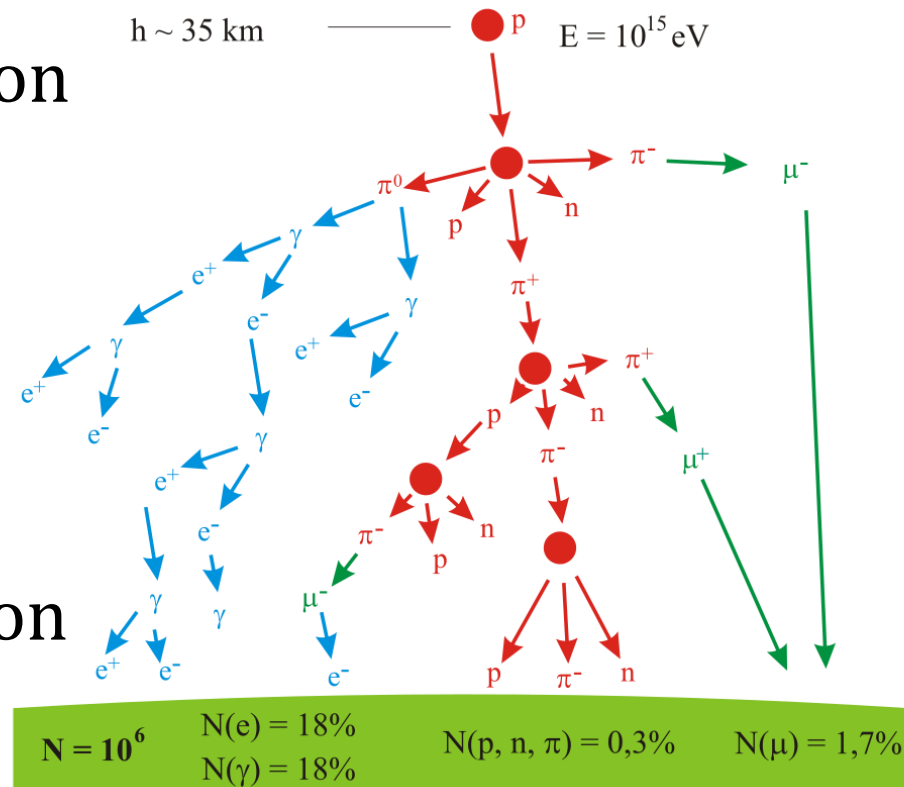
$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$$



- Hadronikus:
 - Nukleon: proton, neutron
 - Mezon: pionok, kaonok
- Müonikus:
 - müonok, neutrínók
- Elektromágneses:
 - elektron, pozitron, foton



- pozitront, müont, piont, kaont a CR-ben fedezték fel

Detektálás

1) Direkt

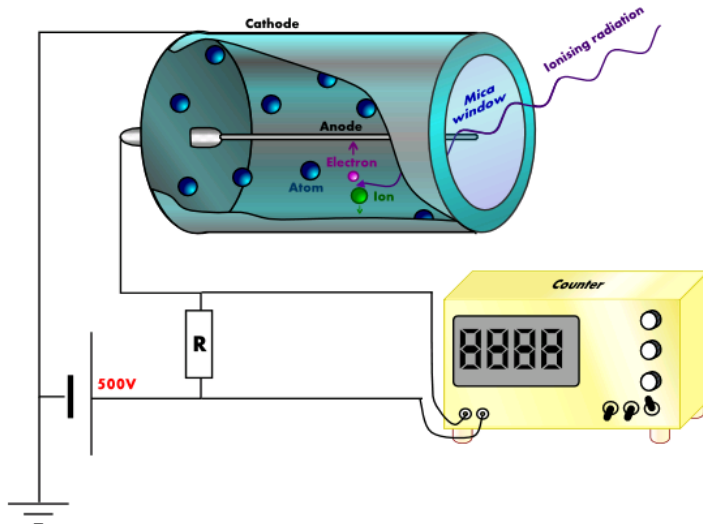
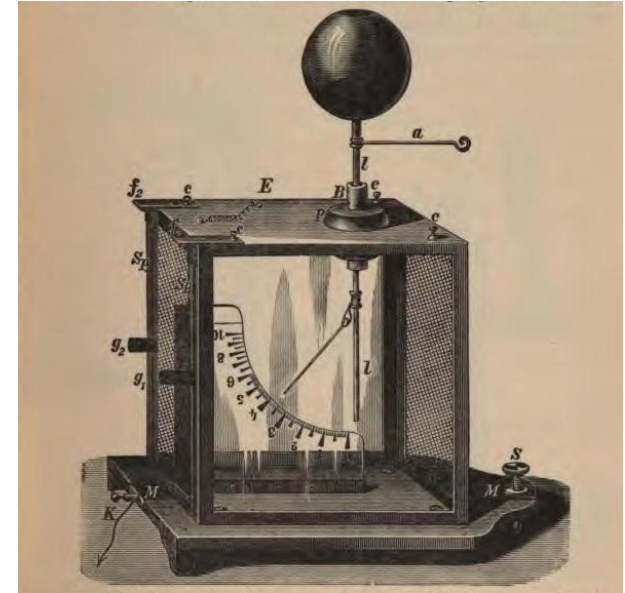
- Elsődleges részecskék detektálása
- Nagy magasságban
- Léggömb, műhold
- Pontosabb

2) Indirekt

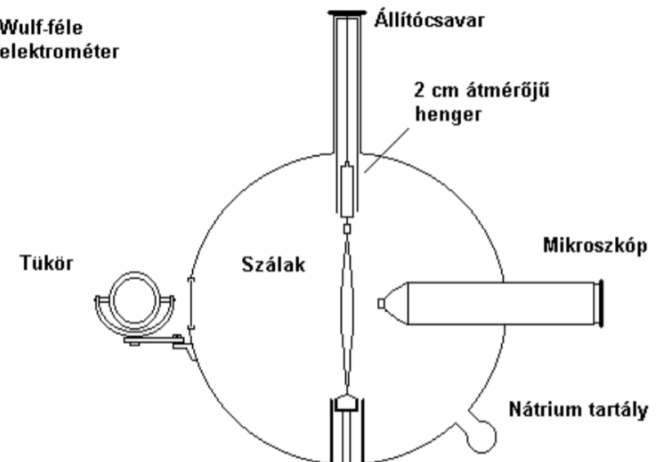
- Másodlagos sugarak detektálása
- Föld közelben
- Nagy energiás detektálásra alkalmasabb

Detektorok a múltban

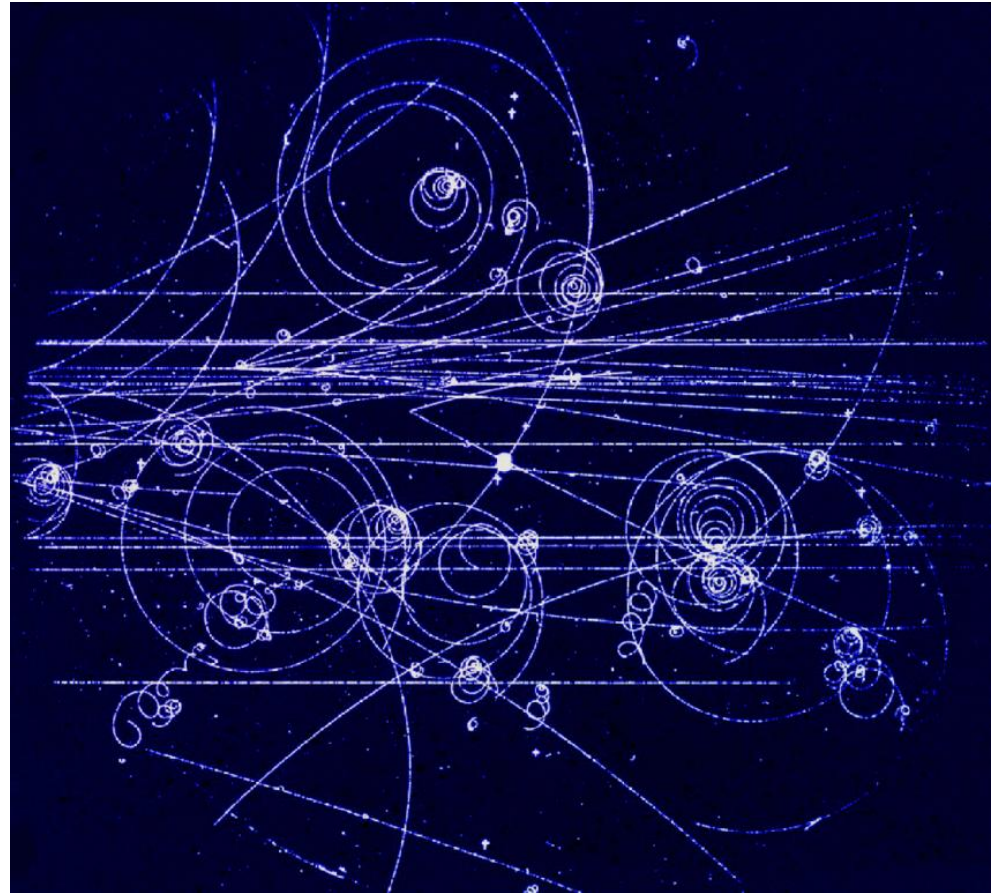
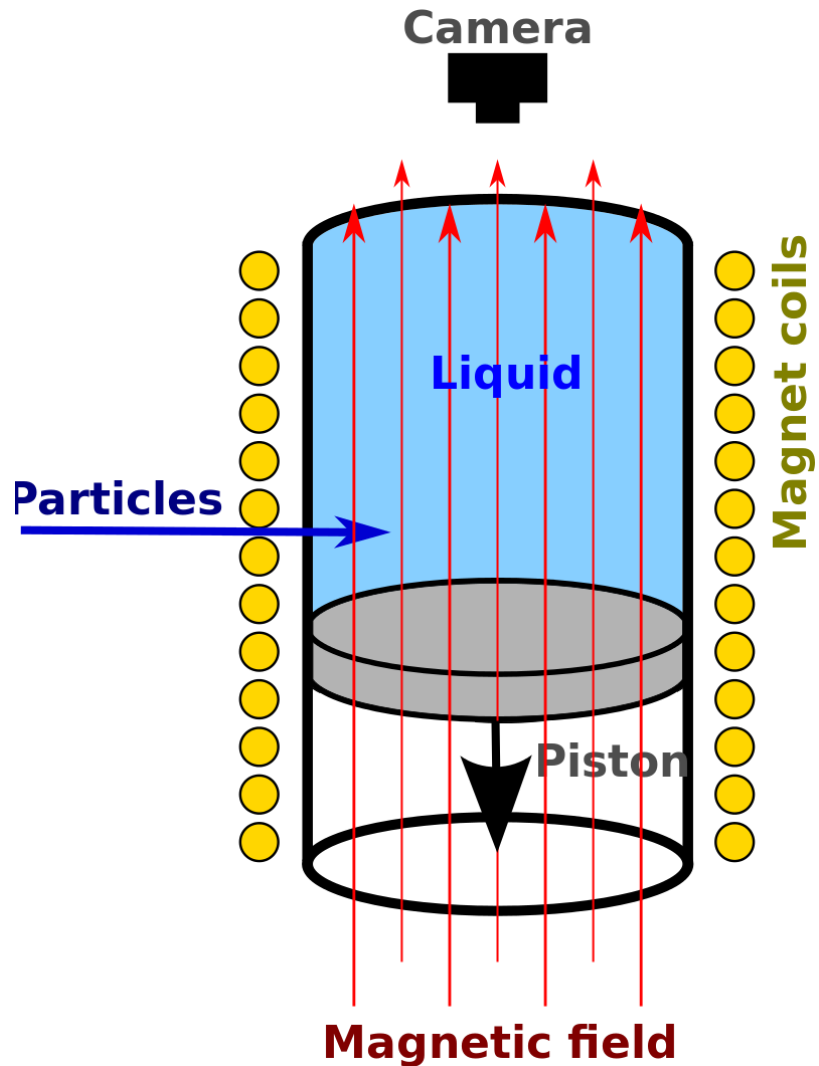
- Elektroszkóp
- Ionizációs kamra
 - Wulf-elektrométer
- Geiger-Müller-cső



Wulf-féle
elektrométer

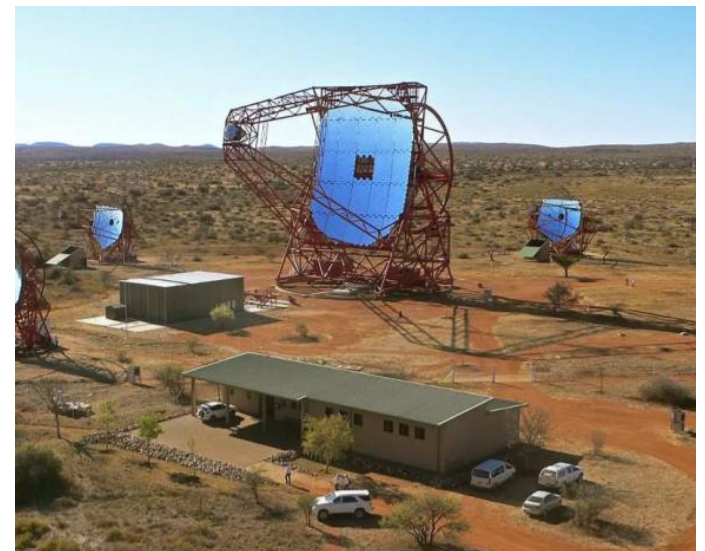
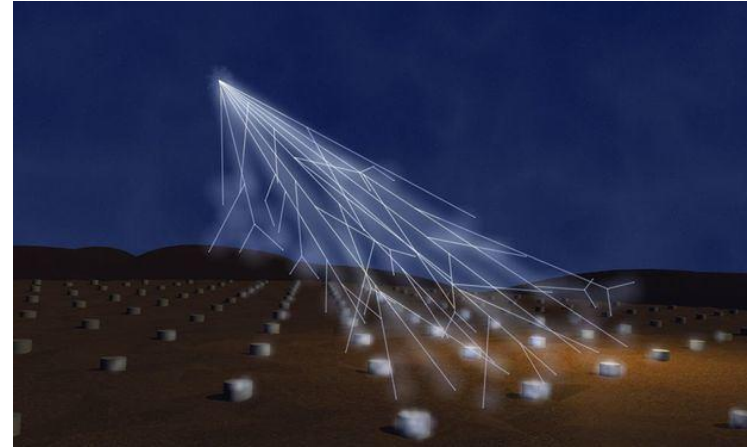


- Ködkamra
- Buborékkamra

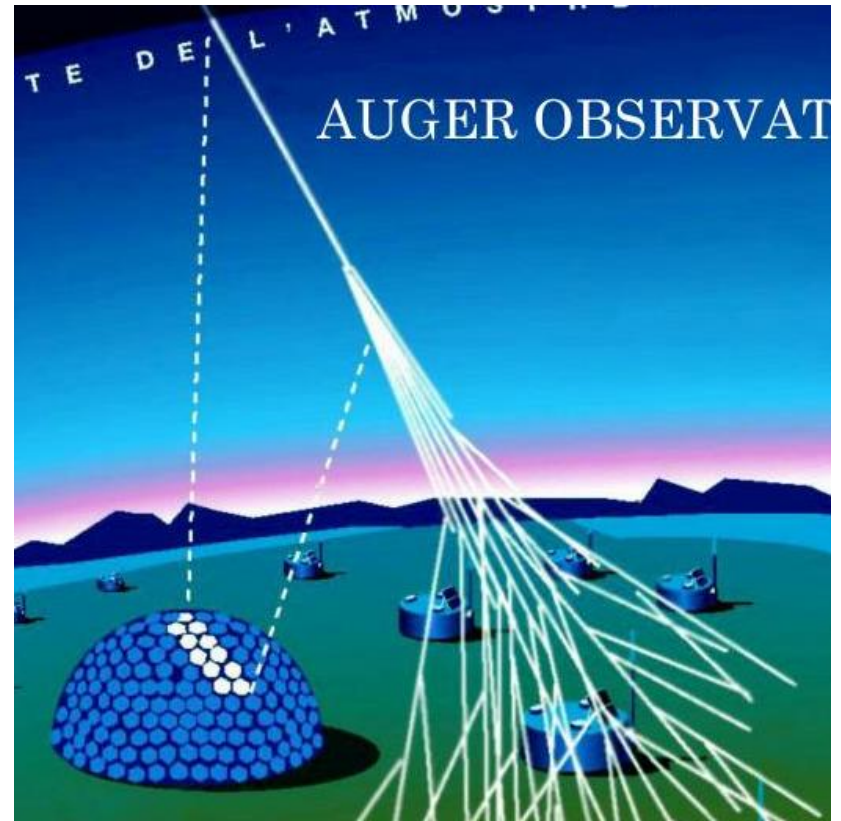


Detektorok ma

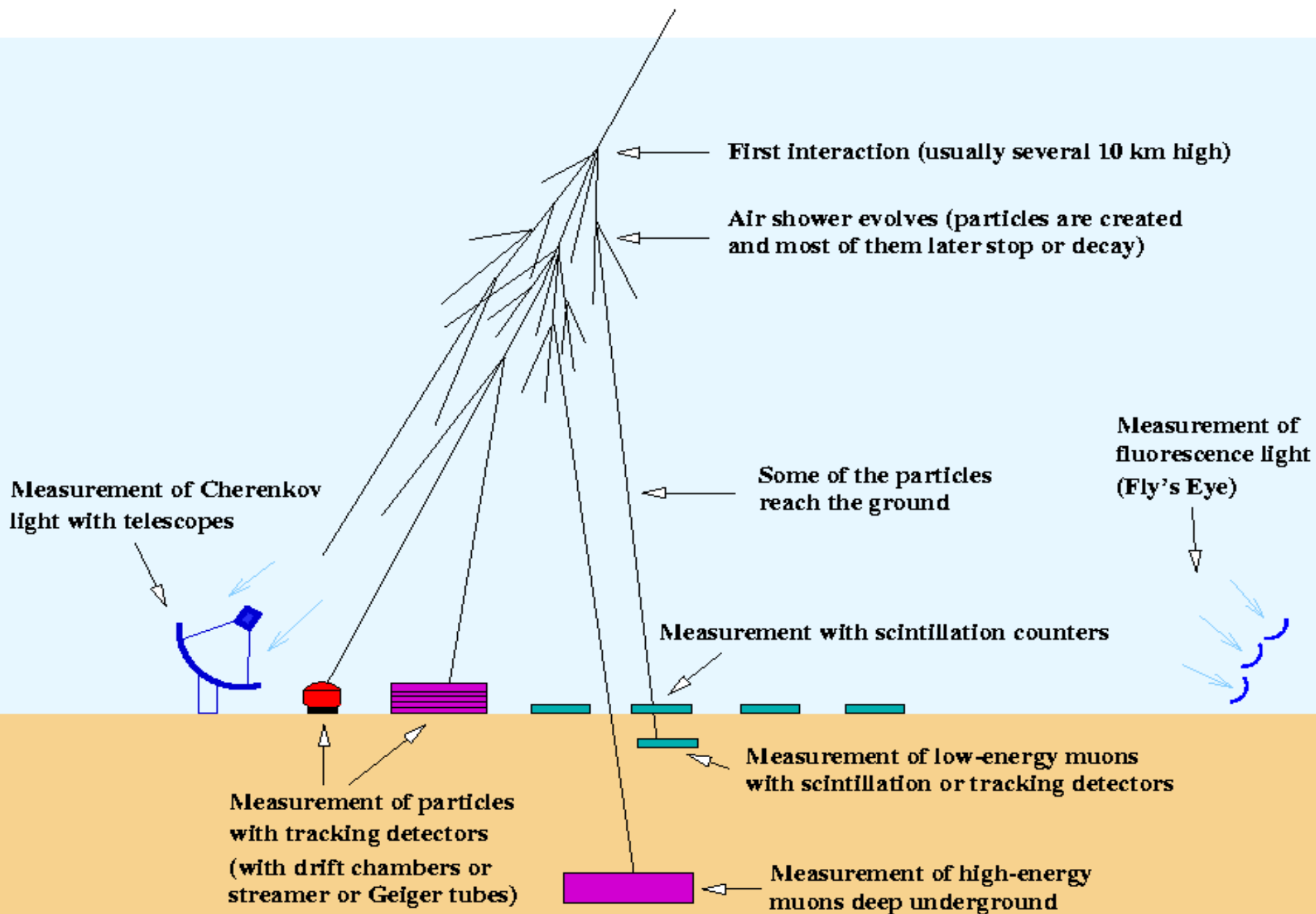
- Szcintillációs detektor
 - Ionizáló részecske energiája és impulzusa megállapítható
 - Nagy energiás sugarak
- Cserenkov-detektor
 - Alacsonyabb energiás sugarak



- Fluoreszcens-teleszkóp
 - Légyszem detektor
 - Térbeli leképezés
- Alfa mágneses spektrométer
 - ISS
 - antirészecskék

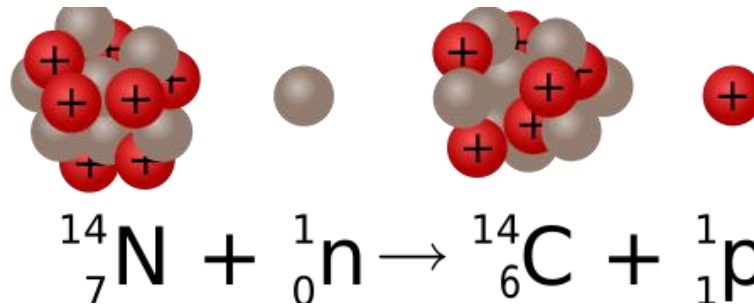


Measuring cosmic-ray and gamma-ray air showers



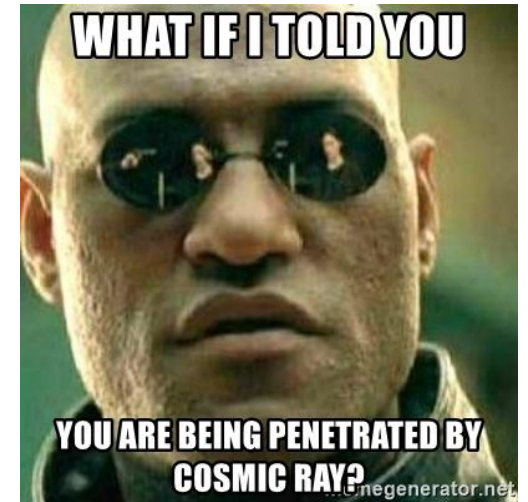
Hatások

- Ionizálja atmoszféra részecskéit => kémiai reakciók
- Radioaktív izotópok keletkezése
 - Pl. C-14

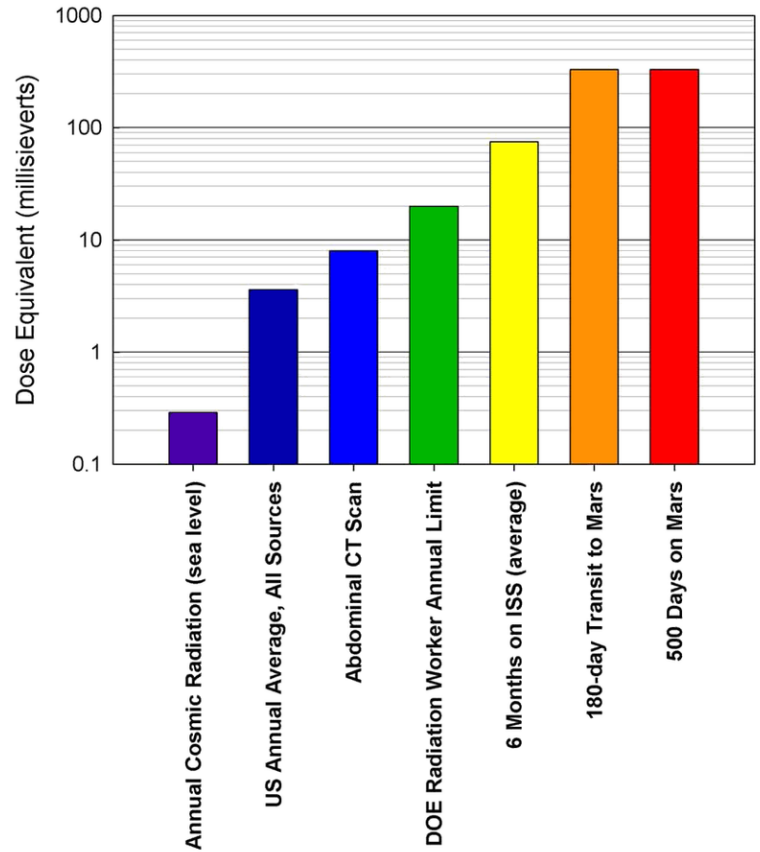


=> szénizotópos kormeghatározás

- Természetes sugárterhelés 13%-a (0,4 mSv)
 - Magassággal nő
 - Többnyire elhanyagolható
 - Evolúcióban lehetséges pozitív szerep
- Pliocén tengeri kihalás – szupernóvák-
veszélyes szintre nőtt sugárzás



- Űrutazókra veszélyes
- Elektronikai eszközök meghibásodás
- Sarki fény (főleg napszél)



- Villámok, felhők képződése?

Megoldatlan/kutatott kérdések

- Nagy energián több antirészecske vártnál
 - Sötét anyag bomlás?
- GZK-levágás probléma
- Hélioszféra hatásának pontos leírása
- Csillag- és galaxisközi mezők hatásai
- Származási helyek pontos leírása
- Összetétel pontosabb leírása (főleg nagyon nagy energiákon)
- Anizotrópia mélyebb vizsgálata

Források

- http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/barnabarnabas_szdBSc/BarnaBarnabas_szdBSc.pdf
- <http://atomfizika.elte.hu/akos/orak/sflab/koz.doc>
- <http://fizikaiszemle.hu/old/archivum/fsz9901/wolfenm.html>
- http://www.rmki.kfki.hu/~opitz/NF2017/05_KP_kHS.pdf
- <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/09/170921141257.htm>
- https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/cosmic_rays1.html