

Előadás a Naprendszer fizikájához:

Kozmikus sugárzás

és a külső helioszféra

Király Péter

2017. október 20.

Az előadás vázлата

1. Néhány nemtriviális alapfogalom a kozmikus sugárzás, a naprendszer és a heliosféra tárgyköréből. A heliosféra várt szerkezete
2. A kozmikus sugárzás (eredetileg Höhenstrahlung, azaz magassági sugárzás)
Felfedezése és korai története, szerepe a nagyenergiájú fizika kialakulásában
Primer és szekunder sugárzás, geofizikai és biológiai vonatkozások
3. Mit értünk ma kozmikus sugárzáson?
A kutatás főbb területei és más tudományágakkal való kapcsolatai
Energikus asztro-részecskék szerepe Galaxisunkban és az Univerzumban
4. A külső heliosféra jellemzői, a helyi csillagközi közeggel való kapcsolatai
A Voyager és IBEX (Interstellar Boundary Explorer) küldetések, eredményeik
Mi várható még a 40 éves Voyager küldetéstől?
5. Nagyberendezések a kozmikus sugárzási kutatások szolgálatában

Néhány nemtriviális alapfogalom



Kozmikus sugárzás (KS): elsősorban a Tejútrendszerből vagy azon kívülről érkező, nagyenergiájú részecskék (főleg atommagok) összefoglaló neve. Tágabb értelemben más részecskék (elektronok, pozitronok, neutrínók) és a nagyenergiájú gamma-fotonok is ide értendők, sőt a légkörbe érkező részecskék által keltett **szekunder részecskék és fotonok** is. Van, aki a Napból és a helioszférából származó nagyenergiájú részecskéket **szoláris ill. helioszferikus KS-nak** nevezi. A Földtől távoli nagyenergiájú részecskék vizsgálatával a **részecske-asztrófizika** foglalkozik.

Naprendszer: 1) Nap és a bolygórendszer; 2) az a tartomány, ahol a **Nap gravitációs tere** dominál, és az itt lévő kisebb testek. Térbeli kiterjedése több tízezer AU. A Nap létrejötte óta végbement belső dinamikai folyamatok, valamint külső hatások (pl. időnként rajta áthaladó csillagok, lökéshullámok) hatására a külső részek tartalma és dinamikája erősen megváltozhatott.

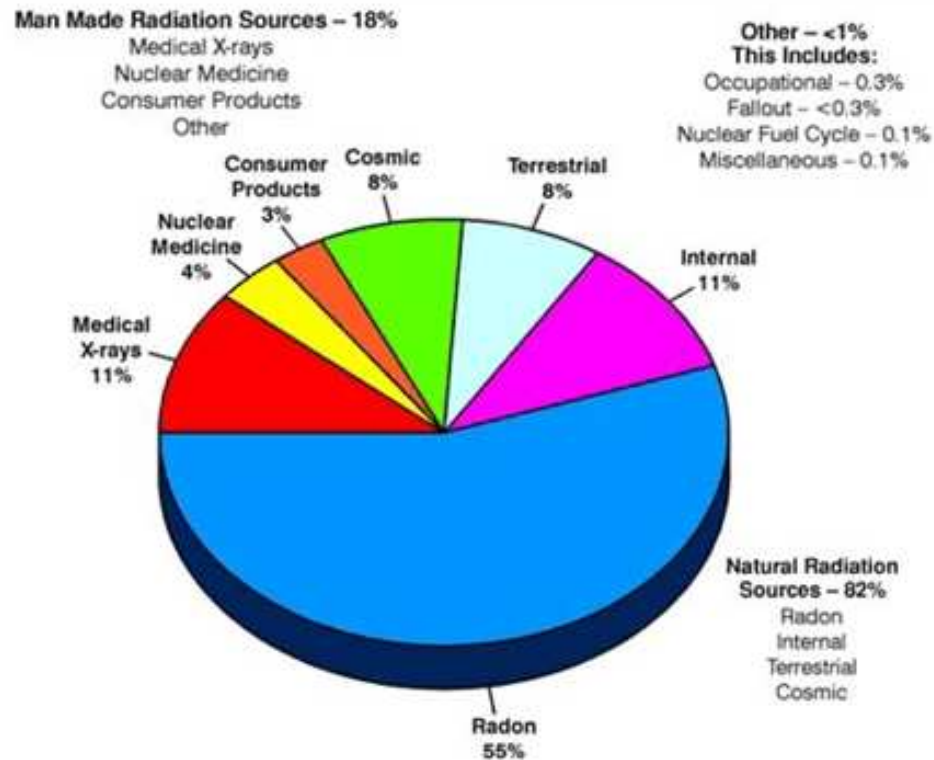
Helioszféra (eredetileg): az a tartomány, ahol a plazmafolyamatokat és energikus részecskéket a **napszél és az abba befagyott mágneses tér** dominálja. Új fejlemény, hogy **a határon a mágneses tér nem változik meg hirtelen, bár a plazma és a MeV-es részecskék is éles változást mutatnak.**

Lökéshullámok: a lokális plazmához képest az akusztikus és magnetohidrodinamikai hullámoknál gyorsabban mozgó felületek, ahol a magnetohidrodinamikai tárgyalás csak közelítően, bizonyos megmaradási tételek erejéig érvényes. Gyakran részecskegyorsítás, valamint nem-termikus sebességeloszlású plazma létrejöttének színhelyei.

Mennyire veszélyes a kozmikus sugárzás?



Ionizing Radiation Exposure to the Public



The above chart is taken from the National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) Report No. 93, "Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States," 1987.

This chart shows that natural sources of radiation account for about 82% of all public exposure while man-made sources account for the remaining 18%.

A földfelszínen, mintegy 10 m vízekvivalens vastagságú **légmű, a magnetoszféra és a helioszféra védőpajzsa** alatt a galaktikus kozmikus sugárzás mai szintje más sugárforrásokhoz képest általában elhanyagolható.

A távoli múltban lehettek nagy pusztítást okozó megnövekedések, pl. közeli szupernóvák hatására. Az űrkorszakban (pl. Mars-utazásnál) a veszély reális, és vetekszik a napkitörésekével.

A törzsfejlődés során jótékony hatásai is lehettek, a genetikus változások gyorsításával segítette az alkalmazkodást.



Biztonságos-e az űrutazás?

Ha űrhajók számára a légkörhöz hasonló árnyékolást akarnánk biztosítani (10 m vízekvivalens), több ezer tonnás űrhajókra lenne szükség. Egyelőre a Földéhez hasonló mágneses védelem is nehezen megvalósíthatónak látszik.

Szerencsére az ember a Föld felszínén szokásos dózisos sokszorosát is kibírja, de azért a veszély reális.

Hasonló-e a Föld magnetoszférája és a Nap helioszférája?



A magnetosféra akadályt képez a szuperszonikus, ionizált napszél számára. Hasonló akadály lehet a heliosféra is az áramló csillagközi közegben, de van néhány fontos eltérés:

A csillagközi szél lassúbb, és csak részlegesen ionizált. Mágneses terének erőssége kérdéses.

A magnetoszférában csak igen kevés anyag áramlik kifelé, a mágneses tér viszont erős. Nincs belső lökéshullám.

A heliosféra orrtávolsága kb. 10^5 -ször nagyobb, de a csóva mérete és szerkezete még kérdéses.

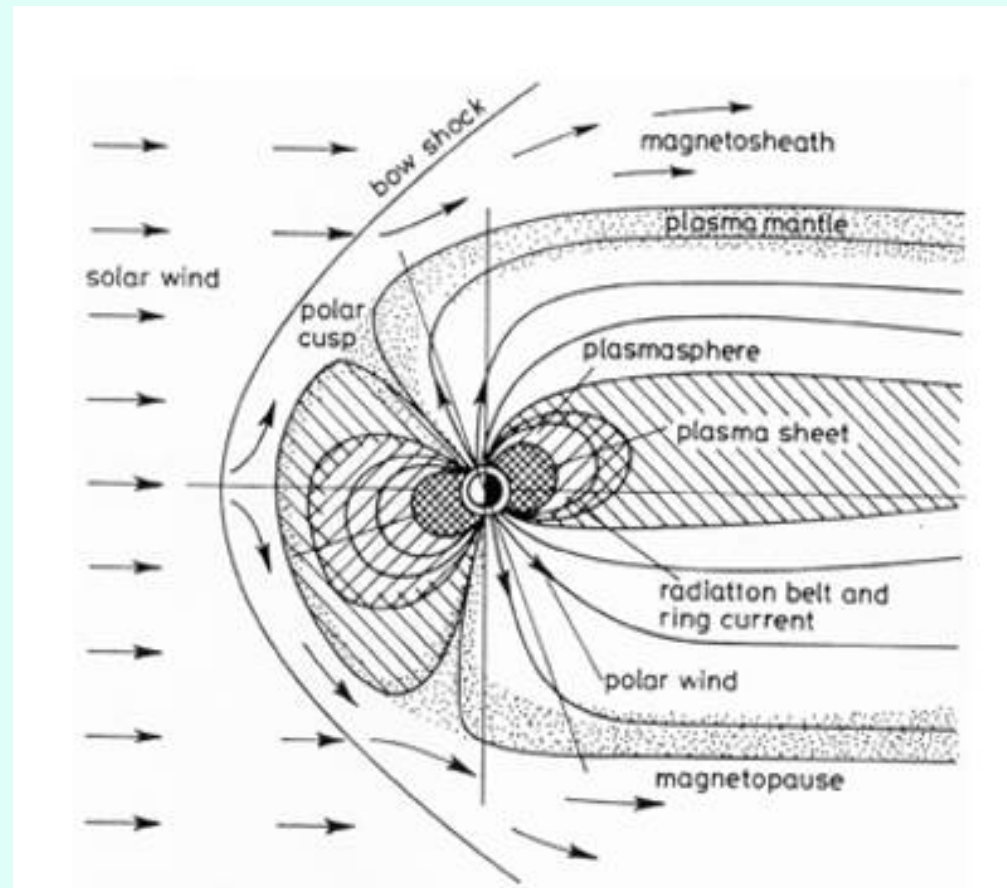
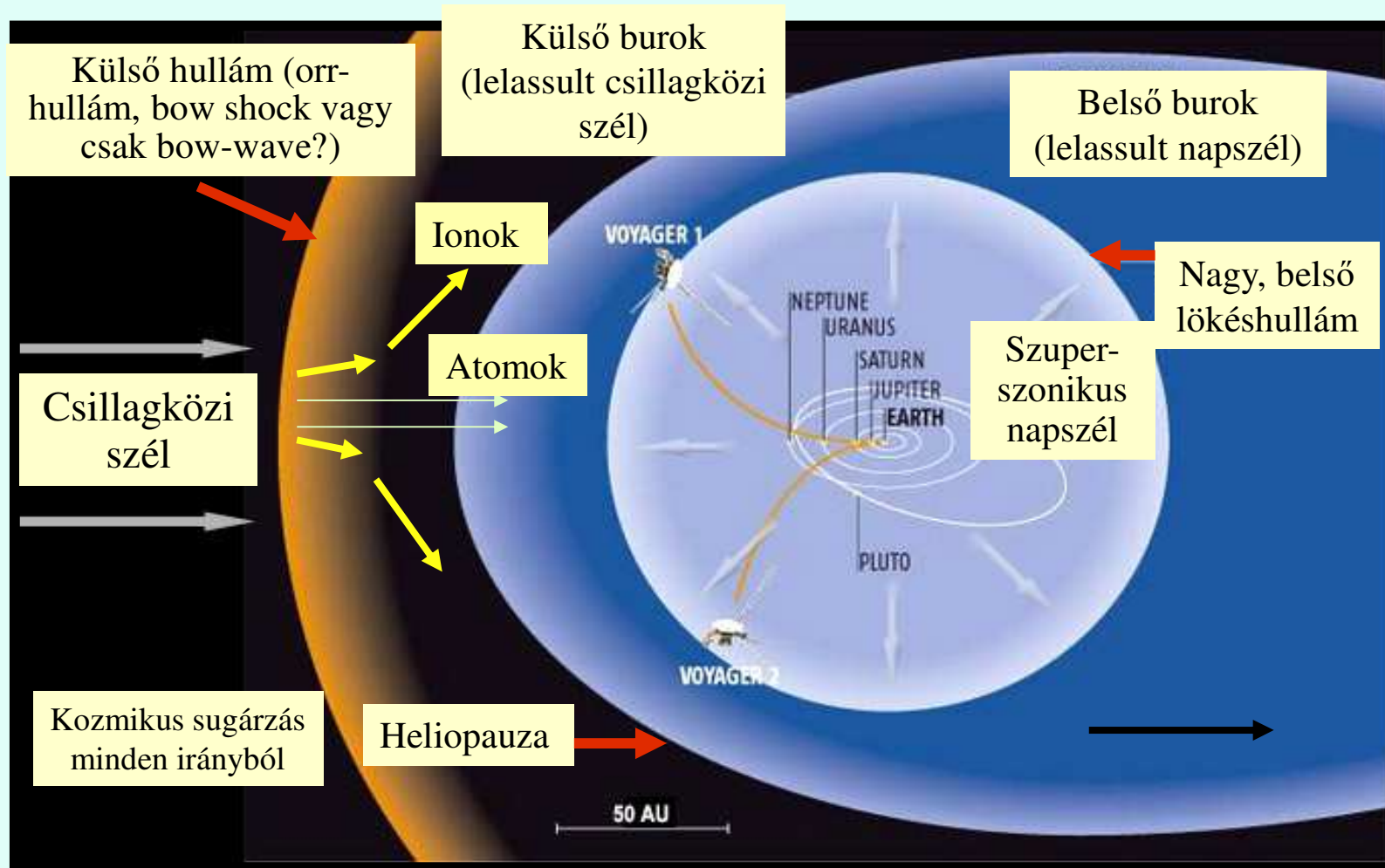


Figure 1 – Earth magnetic field. Source: Davies (1990).

Hagyományos elképzelés a Helioszféra szerkezetéről és hatáiról



Magyarázat a helioszféra ábrájához



Nagy helioszférikus lökéshullám (termination shock): a szuperszonikus napszelet kívülről határoló felület, ahol a hagyományos elképzelések szerint a napszél-plazma mozgási energiája nagyrészt hőenergiává alakul, a napszél pedig szubszonikussá lassul.

Heliopauza: a lassú napszél és a csillagközi plazma határfelülete, amely mentén belül a napszél, kívül a csillagközi plazma áramlik.

Pick-up ionok (vagy felszedett ionok): a semleges csillagközi atomok áthatolnak a heliopauzán, és a Naphoz közeledve részben ionizálódnak, majd az ionok a napszélbe fagyott mágneses tér körül keringve kifelé sodródnak. Bár a turbulens mágneses terek hatására irányeloszlásuk „szétkenődik”, sokáig a napszél-től eltérő, gyorsulásra hajlamosabb populációt alkotnak.

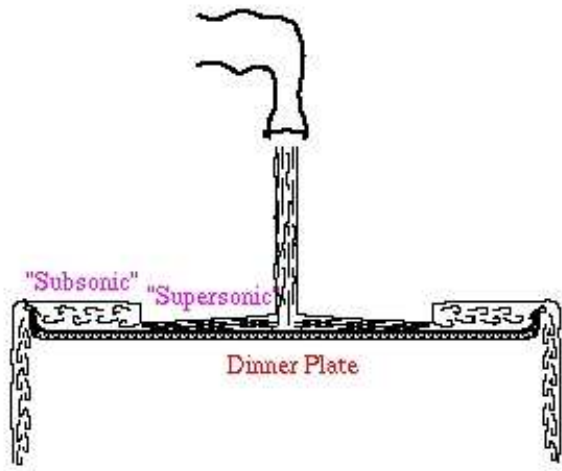
Helioszférikus energikus ionok: Főleg a pick-up ionokból gyorsulnak fel sok keV-es, sőt akár sok MeV-es energiára is.

Energikus semleges atomok: plazma-ionnal töltést cserélve jönnek létre, és a belső helioszférába is könnyen bejuthatnak.

Lökéshullám létrejötte kvázi-kétdimenziós vízáramlásban



Ian Axford szemléltetése a nagy helioszférikus lökéshullámhoz



Kép a Voyagerek 40 éves jubileumát köszöntő előadásból

Majdnem ugyanez konyhai lefolyóban,
ahol a víz a falról visszaáramlik

Néhány az előadáshoz kapcsolódó magyar nyelvű dolgozat

Sir Arnold W. Wolfendale és Király Péter: Veszélyforrások és védőrendszerek kozmikus környezetünkben. Fizikai Szemle 1999/8, 294. o., URL:
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz9908/wolfen.html>

Király Péter: A manchesteri kozmikus sugárzási iskola és a ritka részecskék felfedezése. Fizikai Szemle 2002/6. 186. o., URL:
<http://www.fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0206/kiraly0206.html>

Király Péter: Antianyag a Föld környezetében. Előadás, 23. Ionoszféra-magnetoszféra szeminárium, Tihany, 2002. URL: <http://www.kfki.hu/~pkiraly/KPTihany.pdf>

Király Péter: A Voyager-1 űrszonda kilépett a szuperszonikus napszél-buborékból. Fizikai Szemle 2006/3. 87. o., <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0603/KiralyP.pdf>

Király Péter: Jánossy Lajos és a 100 éve felfedezett kozmikus sugárzás. Fizikai Szemle 2012/12. 400. o., URL: <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1212/KiralyP.pdf>

Király Péter: Kvantumjelenségek kozmikus méretekben. A 2015. évi fizikai Nobel-díj és háttere. Fizikai Szemle 2015/12. 420. o., URL:
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1512/KiralyP.pdf>

**A helioszférán kívülről érkező
(galaktikus és extragalaktikus)**

kozmosz sugárzás

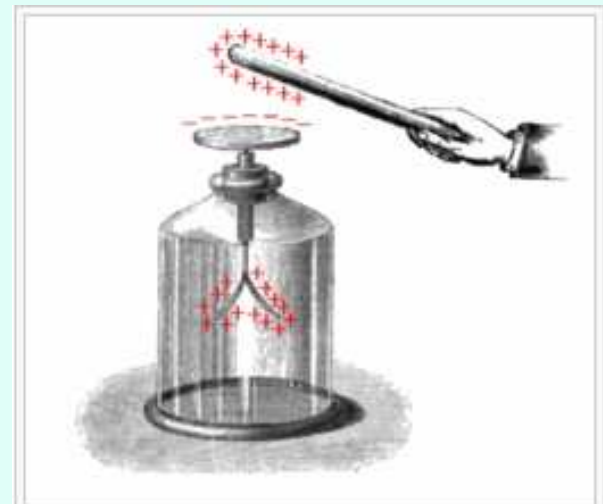
A kozmikus sugárzás felfedezése



A 20. század elején a radioaktív sugárzások már ismertek voltak, de nem sikerült megmagyarázni, miért veszi el töltését egy ismert sugárzásokkal szemben ólommal jól leárnyékolat elektroszkóp.

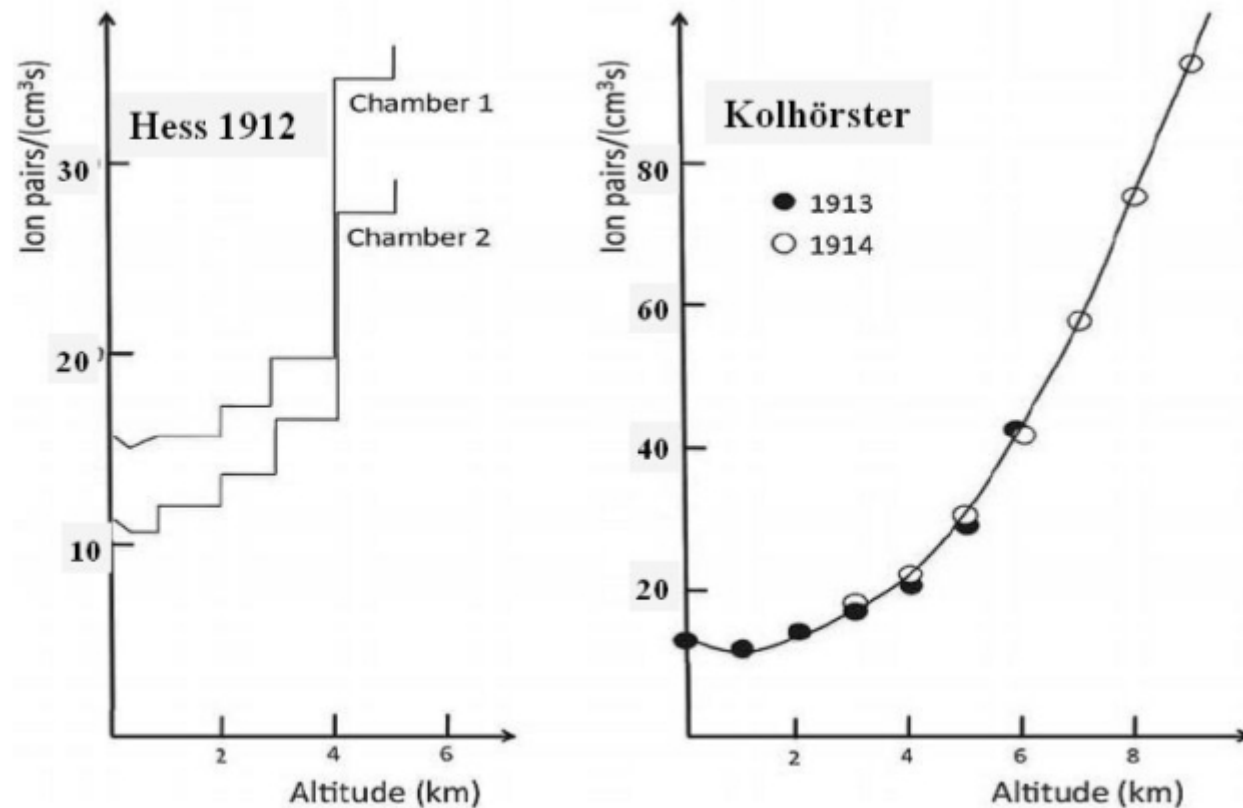
A talaj fölötti magassággal kissé csökkent a töltésvesztés (Eiffel-torony), de a gamma-sugárzás elnyelődéséhez képest nem eléggé. Ballon-felszállásokba kezdtek, de a detektor hőmérsékletre és légnyomásra való érzékenysége nehézségeket okozott.

Victor Hess (1912 nyara) és **Werner Kolhörster (1913-14)** végül 5300 ill. 9000 m-es ballonos felszállásokkal bizonyította, hogy a töltésvesztést okozó sugárzás a magassággal nő – ezért magassági sugárzásnak nevezték. A kozmikus sugárzás név csak az 1920-as években terjedt el, de ekkor is gamma-sugárzást feltételeztek. Csak 1928-ban sikerült bizonyítani, hogy az ionizációt a légkörbe érkező töltött részecskék, illetve az azok által keltett másodlagos részecskék okozzák. A Föld mágneses terében való elhajlásból kiderült, hogy az elsődleges részecskék pozitív töltésűek (kelet-nyugat aszimmetria).



Gold leaf electroscope showing electrostatic induction

Hess és Kolhörster hajdani mérési eredményei

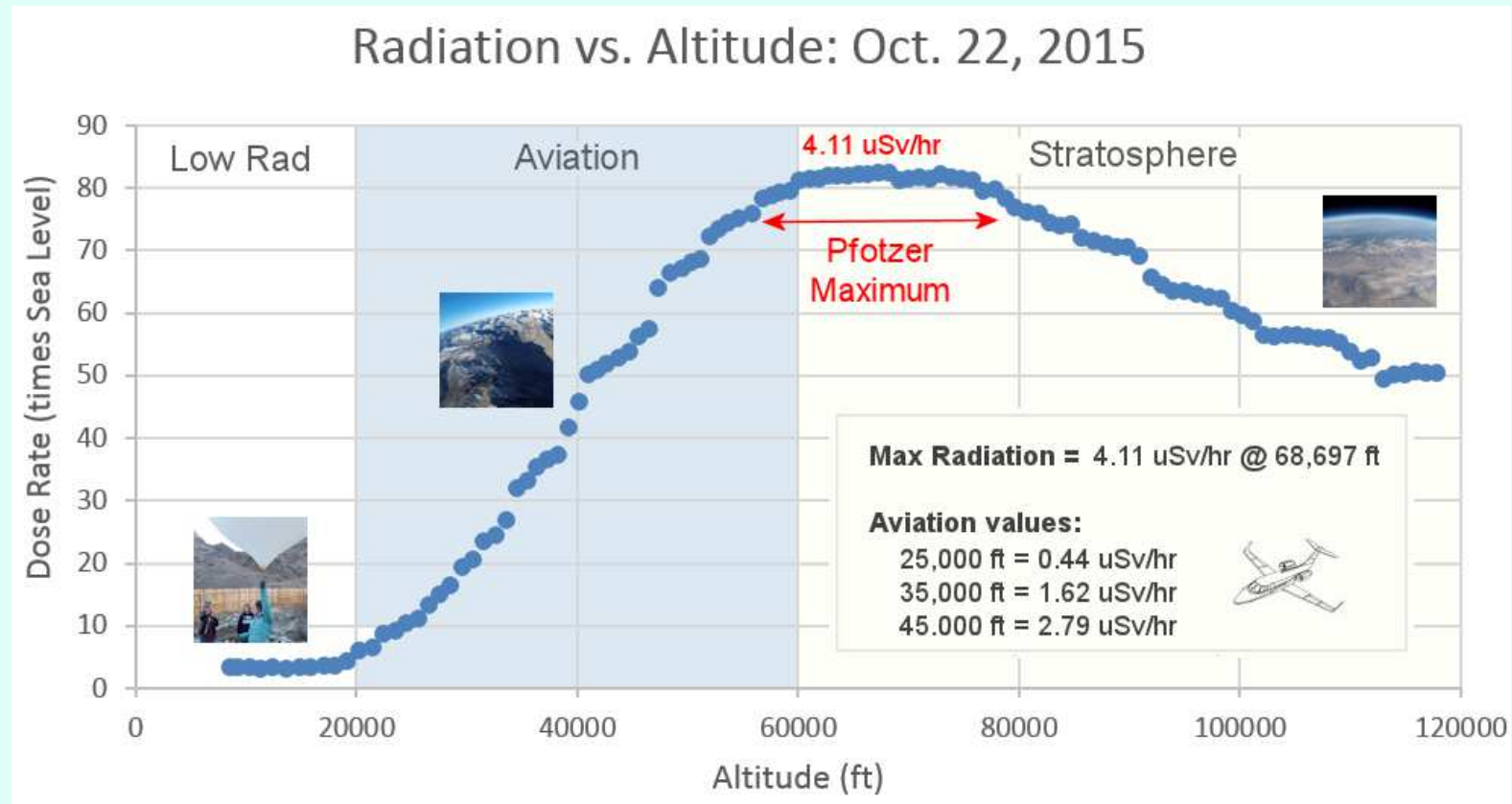


About 2 I, i.e. 2 ion pairs/(cm³s) only are caused by secondary cosmic rays at sea level

Később kiderült: a „sugárzásnak” 18-20 km-es magasságban maximuma van, mivel az elsődleges részecskék általában több másodlagos részecskét keltenek (Pfozter-maximum)



Mai diák-kísérletek rakétákkal, és a Pfozter-maximum



A kozmikus sugárzás légköri és földi hatásai

Az elsődleges kozmikus sugárzás nagyrészt protonokból áll. Az első ütközés után létrejövő részecskék kb. 3 és 80 km magasság között fő felelősök a légkör ionizációjáért.

A légköri atommagokkal ütközve olyan radioaktív (pl. C14, H3, Be10) és stabil, de ritka izotópok jönnek létre, amelyek régészeti és geológiai kormeghatározásra, biológiai vizsgálatokra is jól felhasználhatók.

Az energikus részecskék a talajba is behatolnak bizonyos mélységig, így radioaktív izotópok létrehozásával pl. a folyókban lévő hordalék vizsgálatával a talajerózió ütemének mérésére is lehetőséget adnak.

Kozmikus sugárzási müonok segítségével akár vulkánok is átvilágíthatók (magyar-japán közös projekt). A pion- és müon-bomlásokban keletkező neutrínó-komponens az egész Föld átvilágítását is lehetővé teszi.

Akik a kozmikus sugárzás születése körül bábáskodtak

Hall of
Fame for
early CR
Research



CTR Wilson



Victor Hess



Werner Kolhörster



Rossi, Millikan, Compton



Carl Anderson

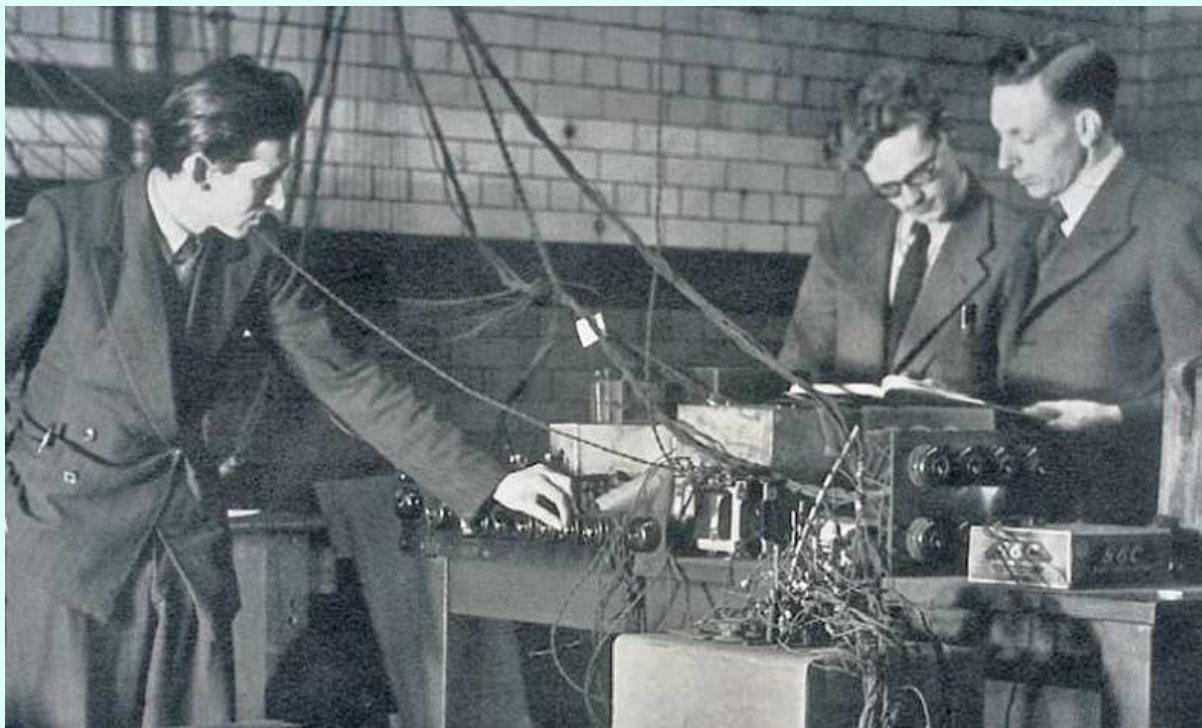


PMS Blackett

A nagyenergiájú kölcsönhatások fizikájának születése



Az 1930-as évek elejétől az 1950-es évek közepéig a nagyenergiájú fizika fő részecskeforrása a kozmikus sugárzás másodlagos (légköri) komponense volt. Így fedezték fel a **pozitront**, a **müont**, a **piont**, a **kaont** és a **hiperonokat**, ami több Nobel-díjjal is járt. Ilyen vizsgálatokat végzett Manchesterben Jánossy Lajos is, aki később a KFKI egyik megalapítója volt.

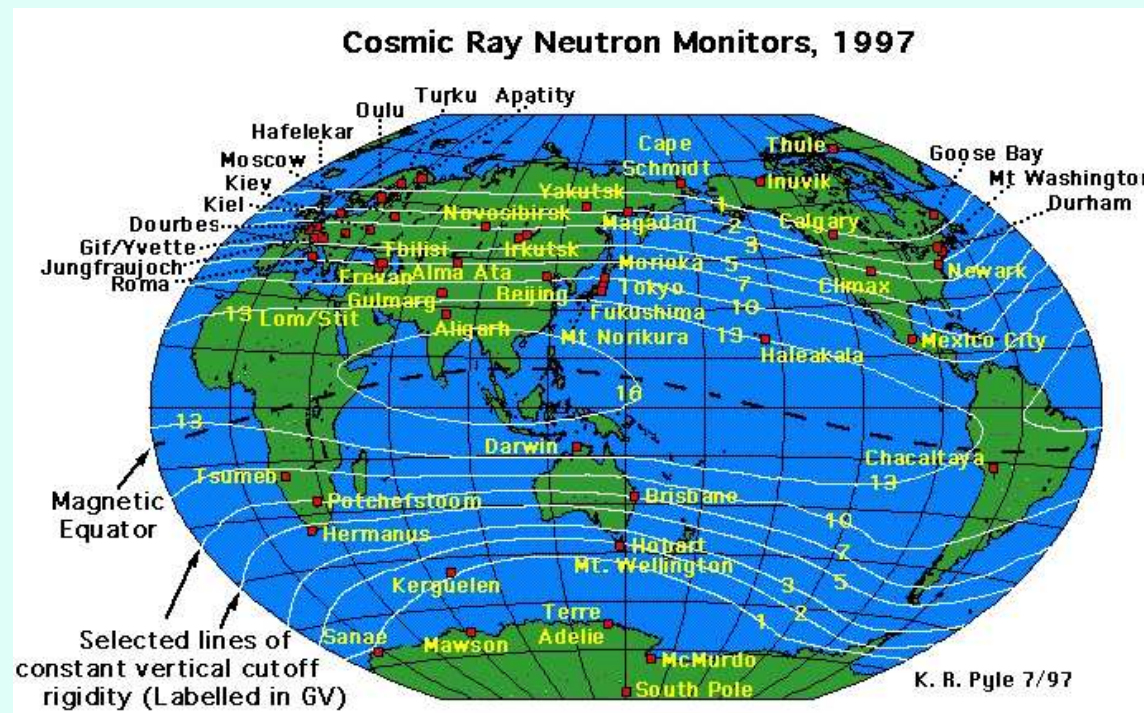


Jánossy Lajos (balról) 1944-ben, manchesteri laboratóriumukban egy GM-csöves mérés mellett, melyet 15 t ólom felhasználásával maguk állítottak össze. Később Dublinban, majd Budapesten folytatta kutatásait.

A magnetoszféra és helioszféra szondázása kozmikus sugárzással

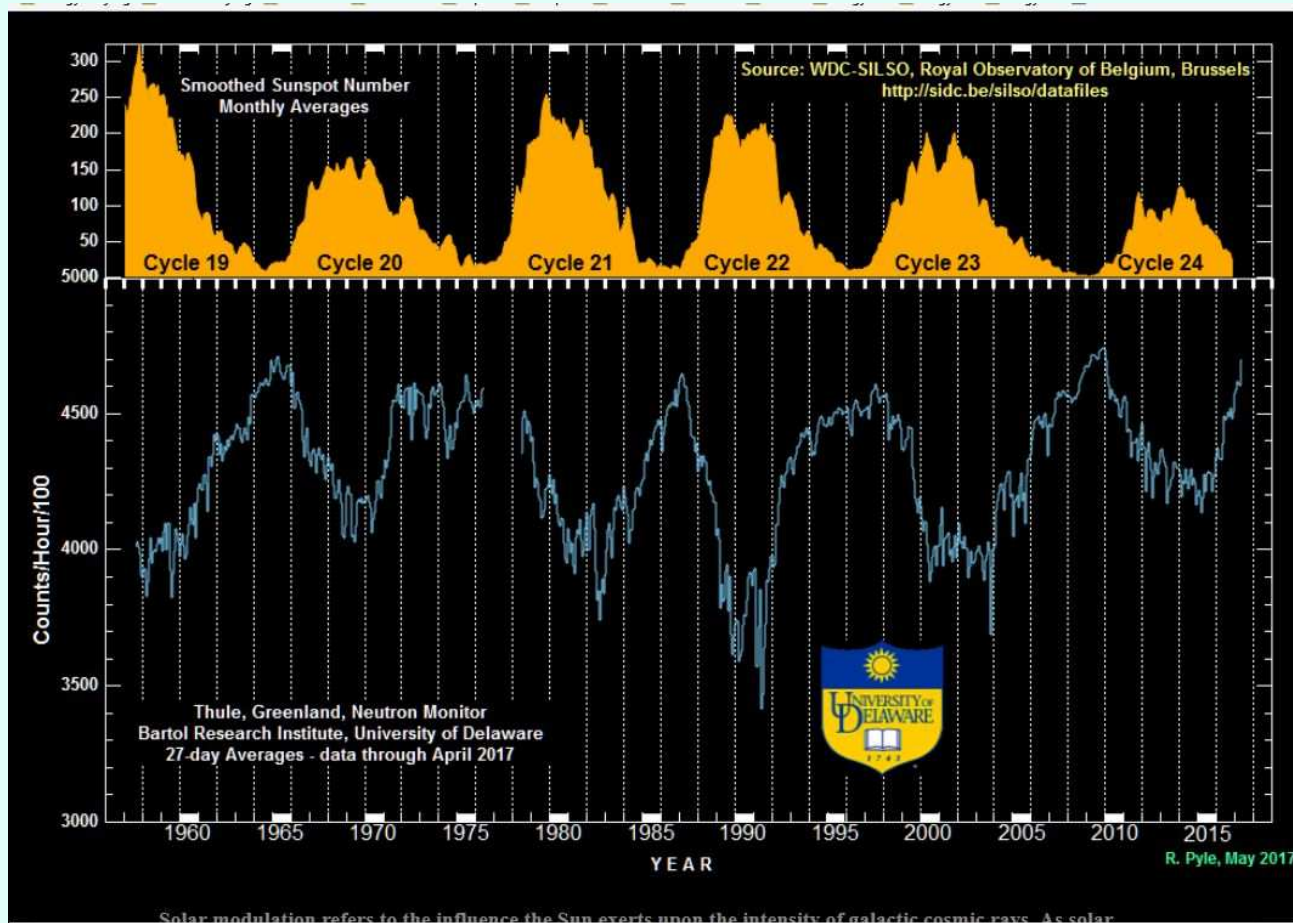


Már az 1930-as években felismerték, hogy a kozmikus sugárzás erőssége a geomágneses szélességtől függ, és a napciklus fázisával is változik. Így lehetőség nyílt a Föld mágneses terének és a helioszféra mágneses szerkezetének távérzékelésére is. A 2. világháború után az ún. **neutronmonitorok** és müonmonitorok hálózatával végezték a szondázást.



Az űrkorszak előtt a kozmikus sugárzásnak fontos szerepe volt a magnetoszféra felmérésében. Adott helyen bizonyos értéknél kisebb impulzusú protonok nem tudták elérni a légkör határát a függőleges irányban. A térkép e határokat mutatja Gigavolt egységekben. Kis energiájú részecskék a sarkok közelében tudnak leginkább behatolni (pl. Grönland, Antarktisz). A mágneses tér szerkezetét a Nap-eredetű CME-k is befolyásolják.

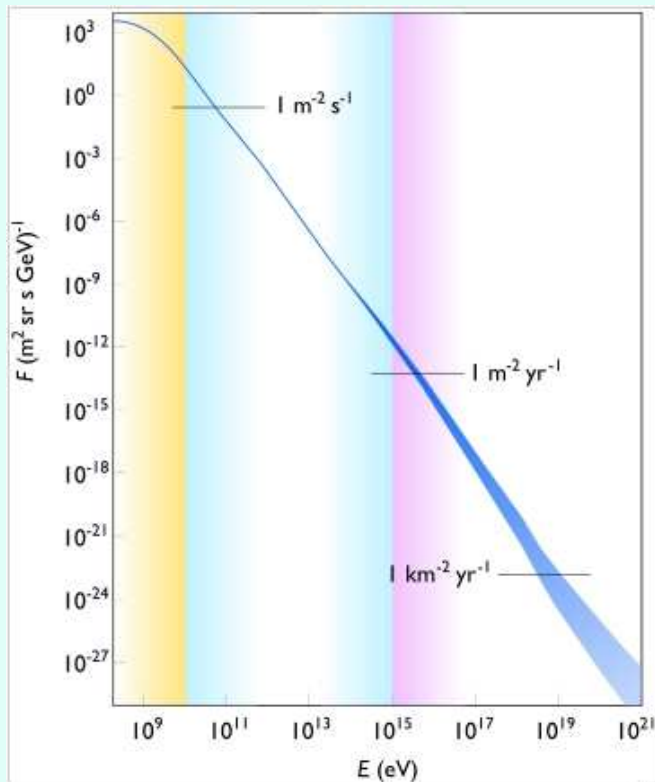
A relatív napfoltszám és a kozmikus sugárzás ellenfázisú változásai



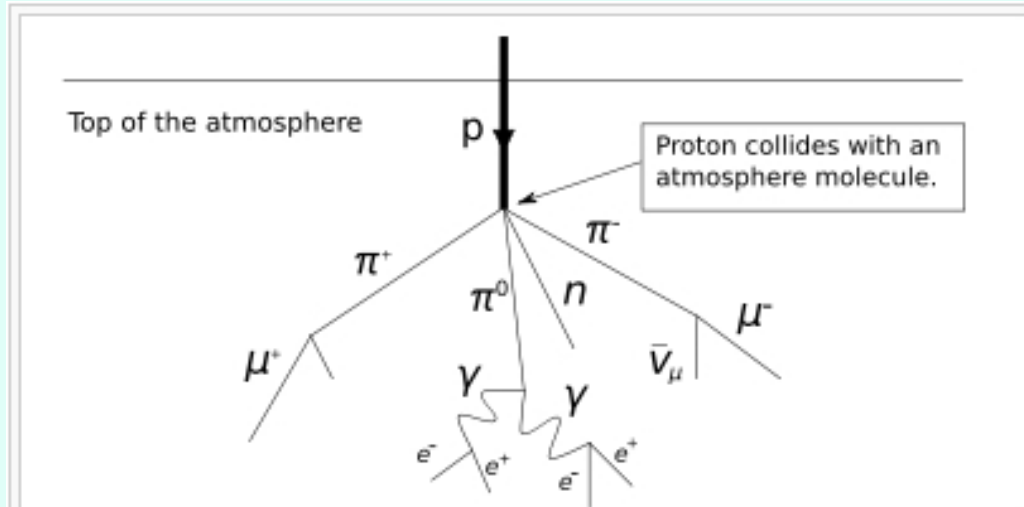
A földfelszíni KS intenzitását a napciklus fázisa is befolyásolja, mivel kis napaktivitás idején a KS könnyebben hatol be a helioszférába.

Mivel a Nap tere kb. 11 évenként irányt is vált, a kis energiájú protonok más-más irányból tudnak könnyebben belépni, és így a KS intenzitása felváltva más-más alakú (a maximumnál hegyes ill. tompa) görbét követ.

Kozmikus sugárzás energiaspektruma és „kiterjedt légizáporai”

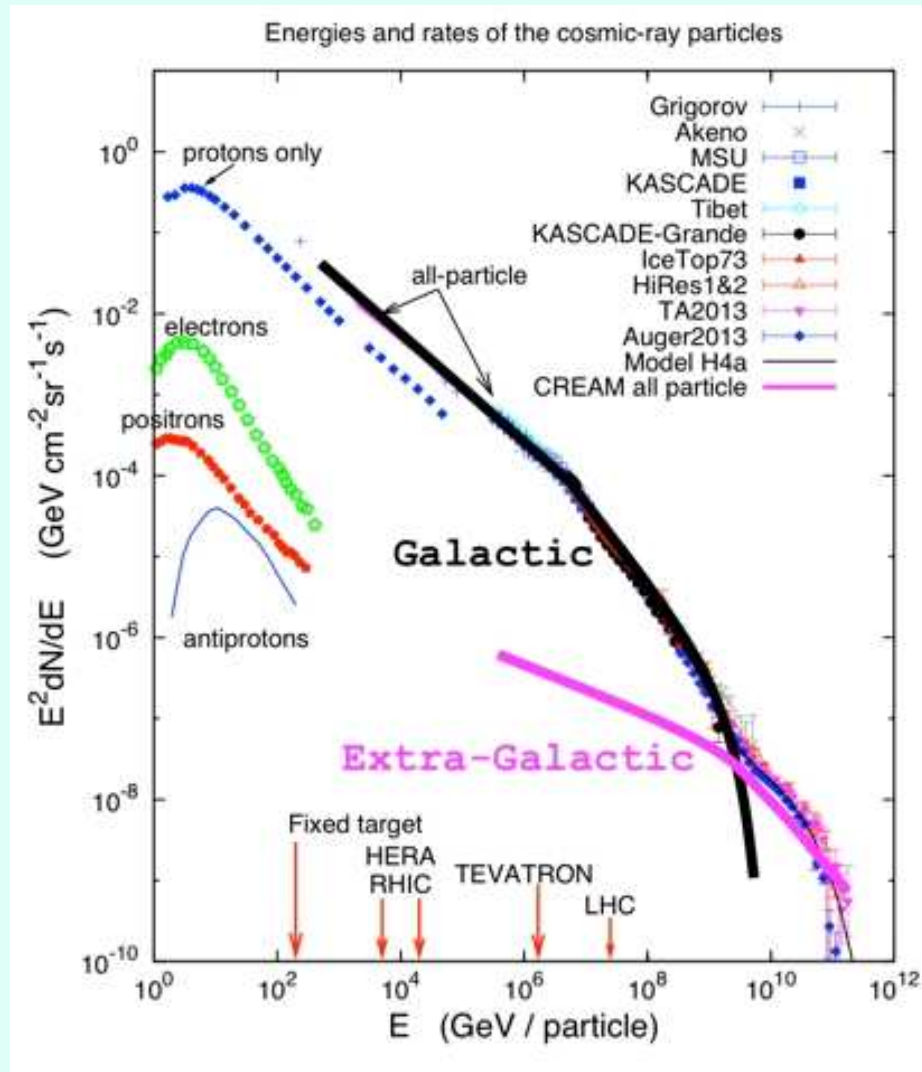


Cosmic ray flux versus particle energy



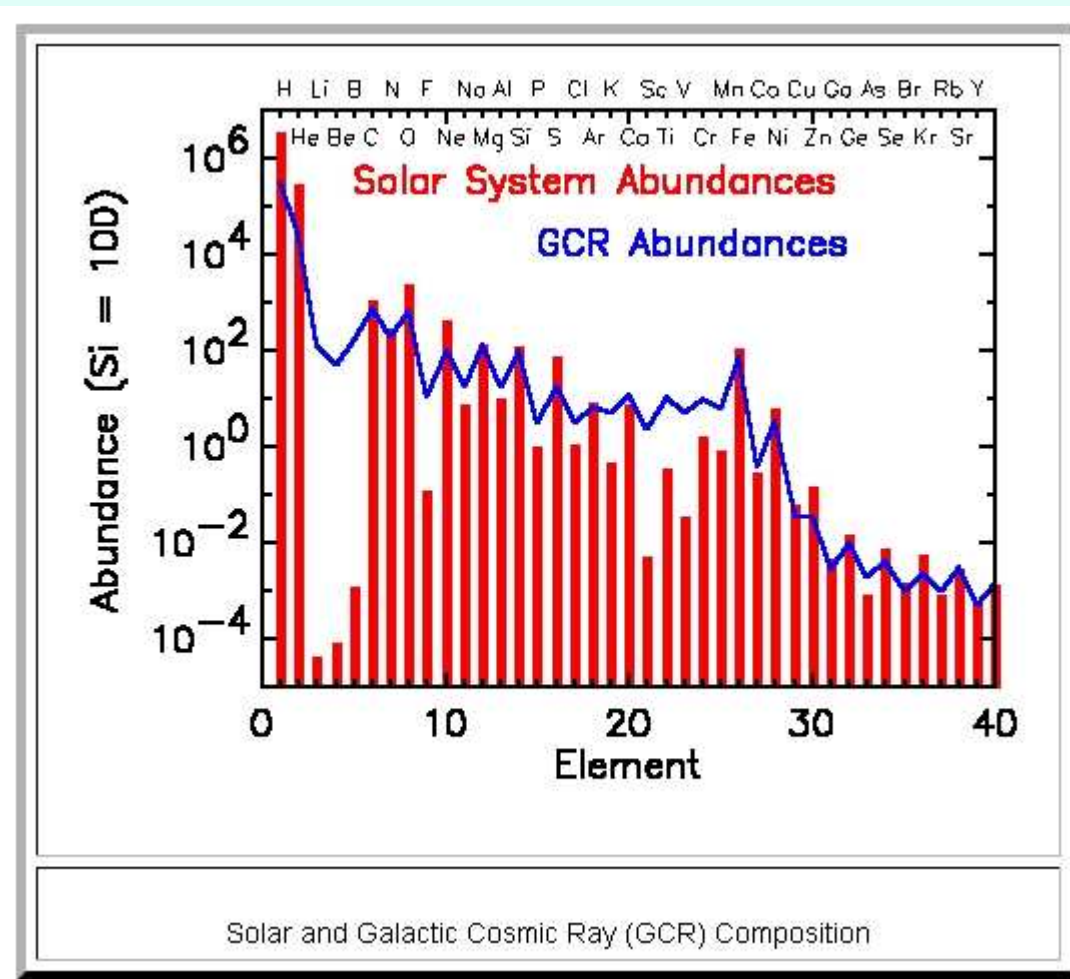
Primary cosmic particle collides with a molecule of atmosphere.

A legnagyobb energiájú ($\sim 10^{20}$ eV) primer részecskék sok négyzetkilométerre kiterjedő záport és sok milliárd részecskét keltenek.



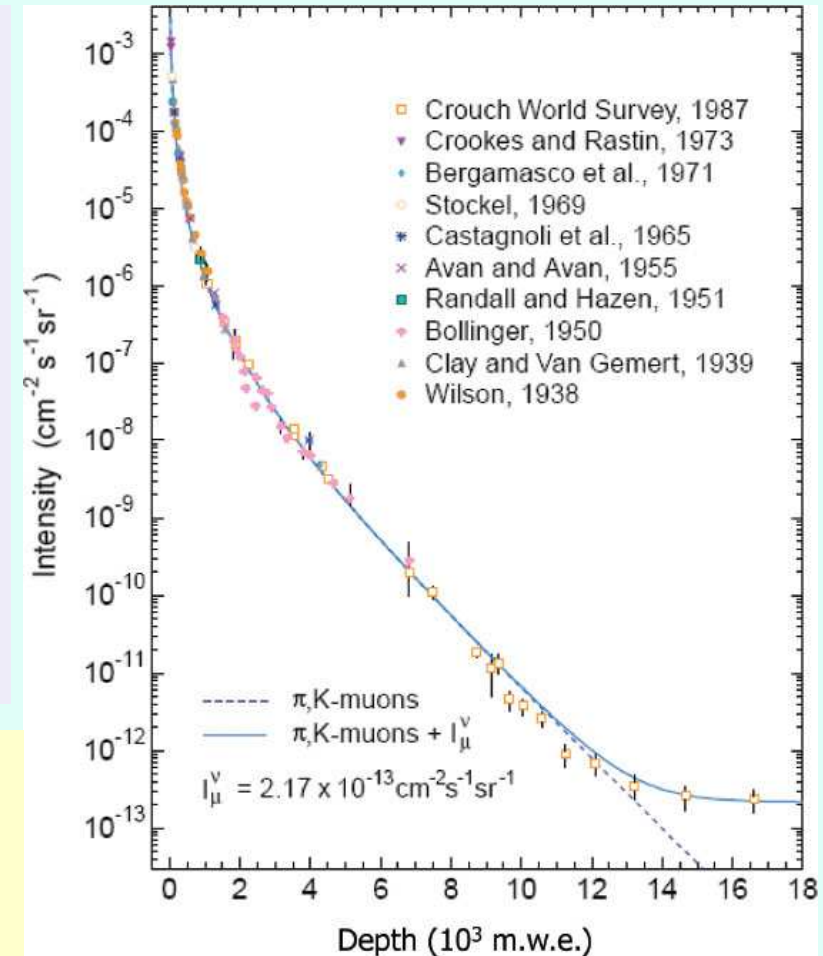
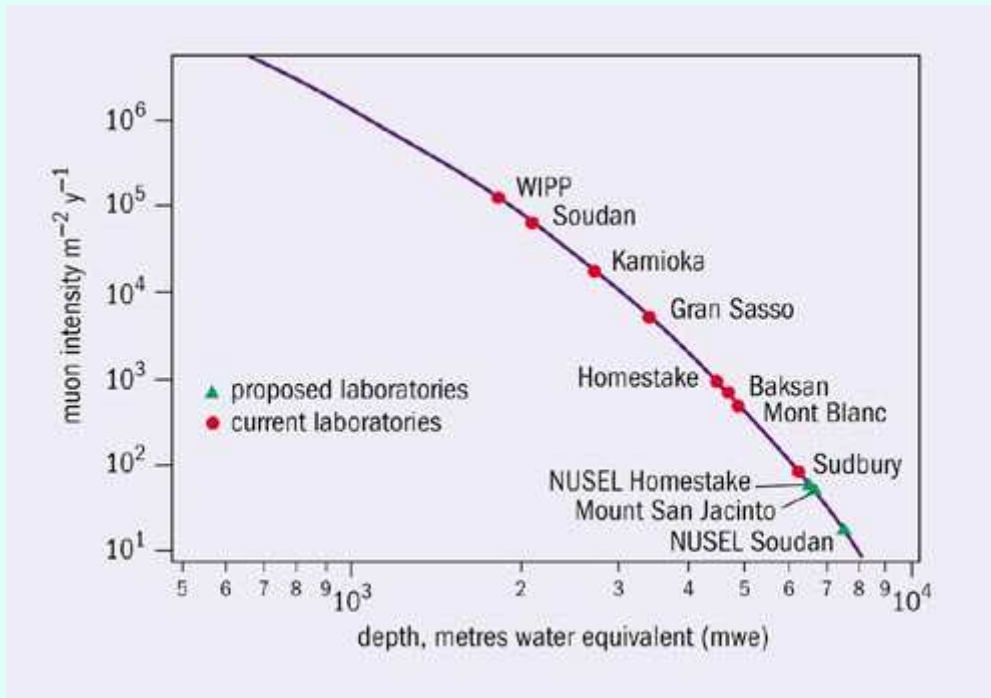
Az energia négyzetével beszorzott differenciális fluxus jobban mutatja a hatványfüggvénytől való eltéréseket. A protonok és más atommagok mellett elektronok, pozitronok és antiprotonok is érkeznek. Alul a gyorsítókkal elért ütközési energiák láthatók.

A KS-ban érkező és a naprendszerbeli elemek gyakorisága



A helioszféra határára érkező KS már több gramm/cm² csillagközi gázon ment át, és az ütközések során olyan törmelékek is keletkeztek, amik a csillagokban csak nagyon ritkán található meg (pl. Li, Be, B).

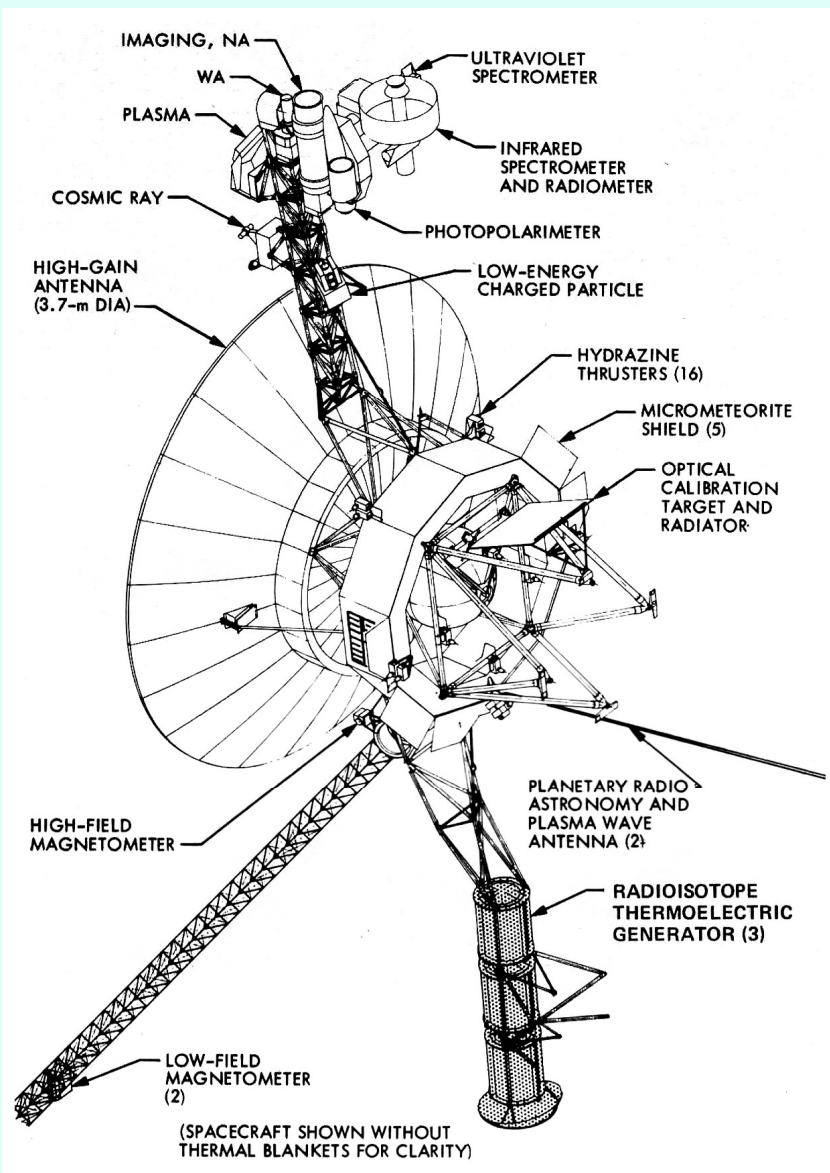
Kozmikus sugárzási müonok intenzitása nagy mélységekben



Mintegy 14 km vízekvivalens mélységtől már a minden irányból érkező légköri neutrínók által keltett müonok dominálnak. Maguk a neutrínók a Föld túlsó oldaláról is érkeznek.

**A 40 éves Voyager-küldetés
az óriásbolygók
meglátogatása után:**

**a külső helioszféra és a helyi
csillagközi szél
köölcsönhatásának vizsgálata**



Az 1977-ben indított Voyager szondák szerkezete

**V2 és V1 40 éves születésnapja:
2017. aug. 20. ill. szept. 5.**

**Jelenlegi távolságuk a Naptól:
115,6 ill. 140 AU.**

**Fontos kiszolgáló egységek:
Radioaktív hőgenerátor (RTG),
Pu²³⁸ oxid, 87,7 éves felezési idő.**

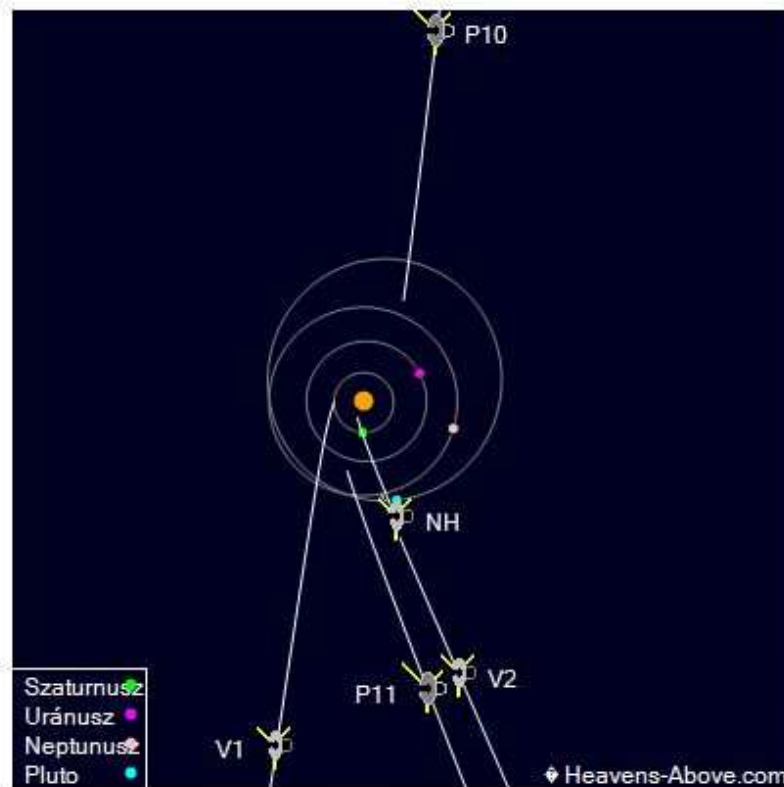
Nagynyereségű antenna (23 W)

Programozható számítógépek

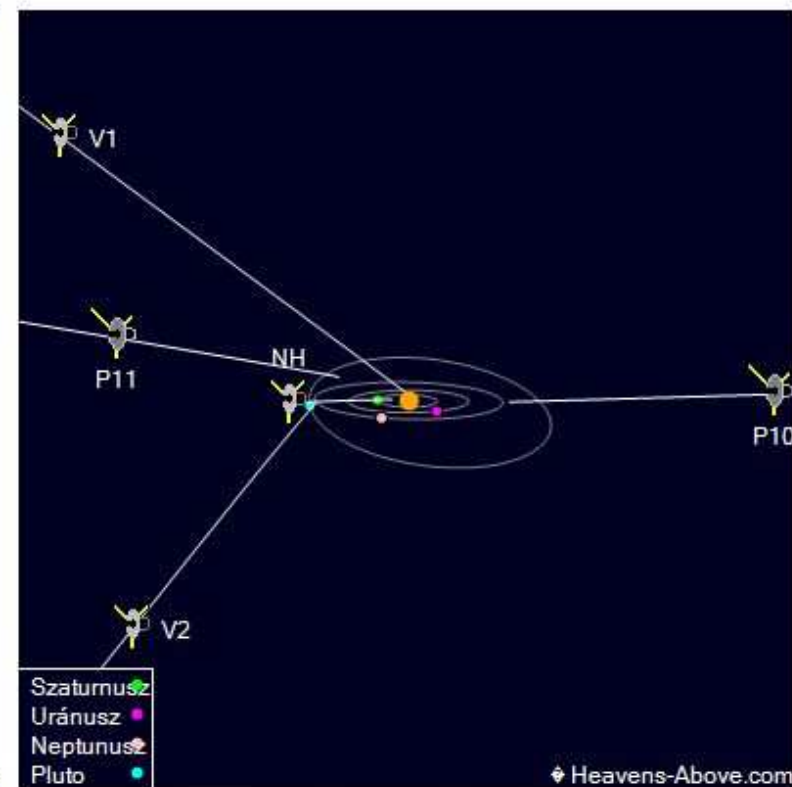
Magnó 62,5 MB kapacitással

A Naprendszert elhagyni készülő űrszondák helyzete

Ez az oldal a naprendszert szökési pályán elhagyó öt űrhajó - első csillagközi hírvivőink- pályáját és más érdekes adatát mutatja. Ezen a skálán a legközelebbi csillag kb. 100 méterre lenne a Naptól és a Voyager 1 -nek közelítőleg 70000 évre lenne szüksége az eléréséhez.



Az ekliptikus sík 90°-os felülnézete

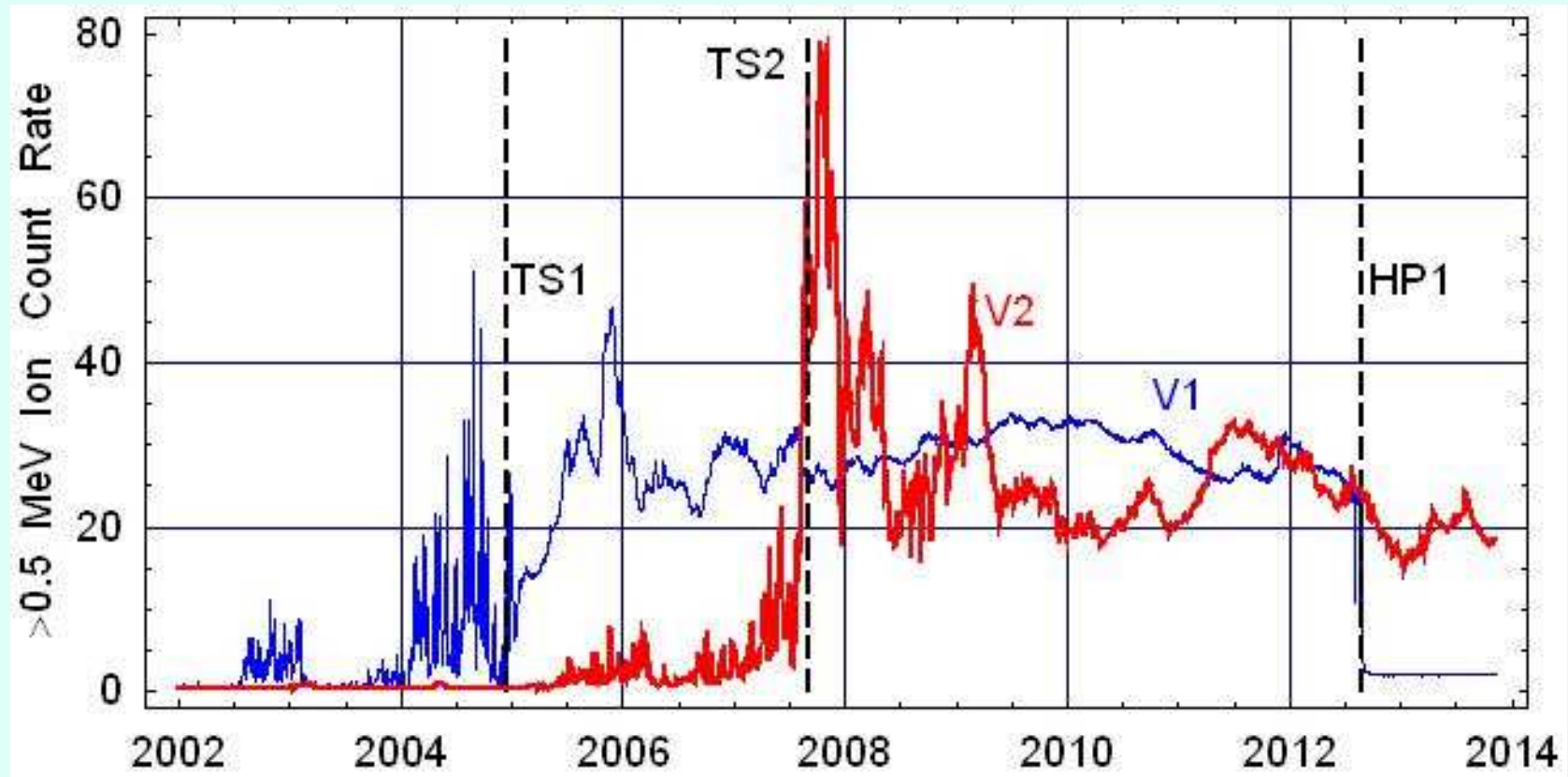


Ekliptika feletti 10°-os látószög

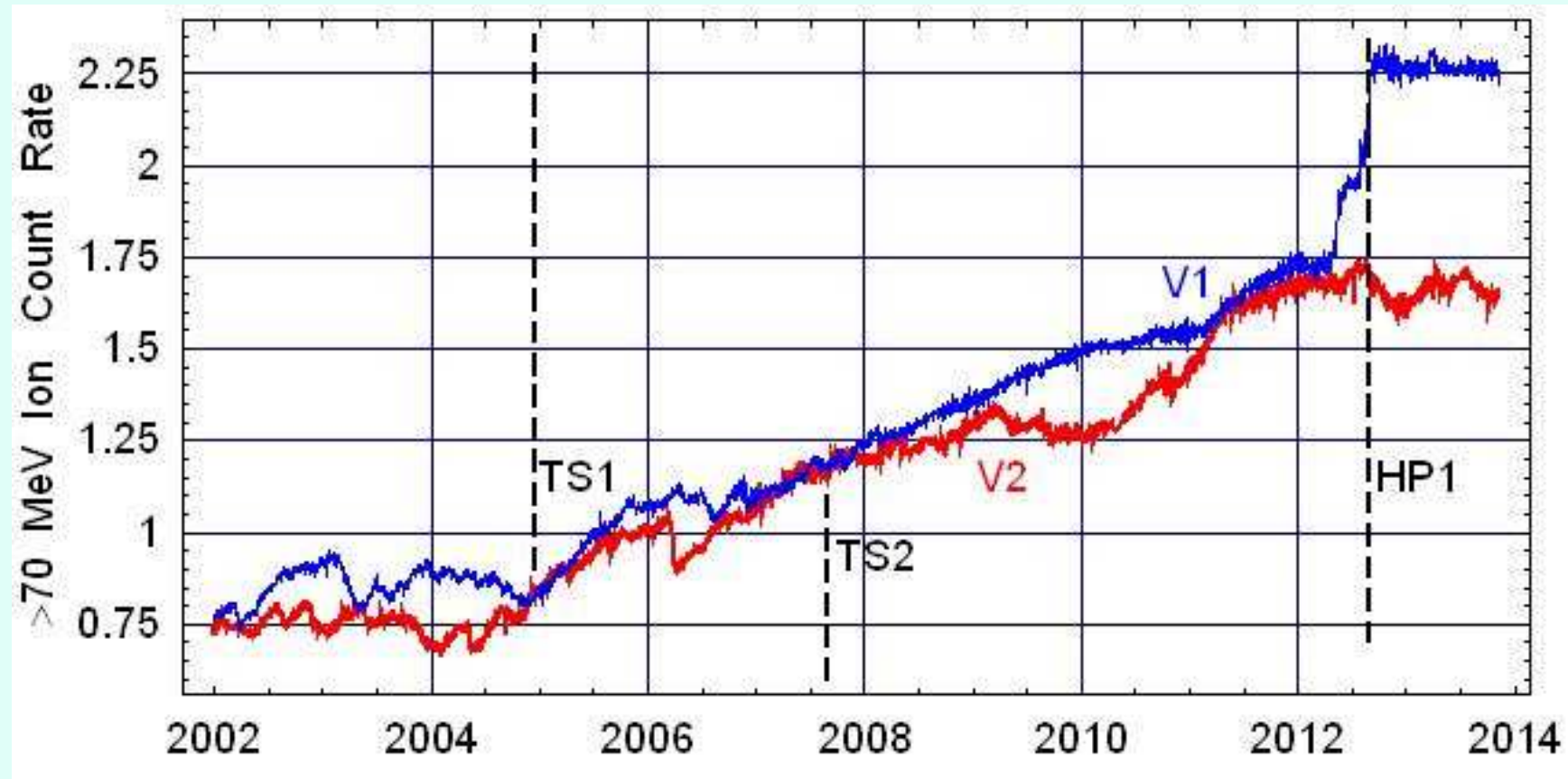
A kifelé tartó szondák jelenlegi paramétereit

	Pioneer 10	Pioneer 11	Voyager 2	Voyager 1	New Horizons
Távolsága a Naptól (CsE)	119,554	98,439	115,659	140,053	39,703
Naphoz viszonyított relatív sebesség (km/s)	11,962	11,265	15,355	16,987	14,203
Naphoz viszonyított relatív sebesség (CsE/év)	2,523	2,376	3,239	3,583	2,996
Ekliptikus szélesség	3°	14°	-36°	35°	2°
Deklináció	25° 59'	-8° 54'	-57° 43'	12° 6'	-20° 46'
Rektaszcenzió	5 ^h 12 ^m	18 ^h 47 ^m	19 ^h 56 ^m	17 ^h 12 ^m	19 ^h 0 ^m
Csillagkép	Bika	Pajzs	Páva	Kígyótartó	Nyilas
Távolsága a Földtől (CsE)	118,968	98,652	115,745	140,571	39,880
Egyirányú fényidő (óra)	16,49	13,67	16,04	19,48	5,53
A nap fényessége az űrhajóból (Magnitudo)	-16,3	-16,7	-16,4	-16,0	-18,7
Az űrhajó még működik?	nem	nem	igen	igen	igen
Fellövési dátum	1972-márc.-03	1973-ápr.-06	1977-aug.-20	1977-szept.-05	2006-jan.-19

A V1 és V2 szonda MeV körüli beütésszámának változásai.
Jól látható a lökéshullám (TS1, 2) ill. a heliopauza hatása.

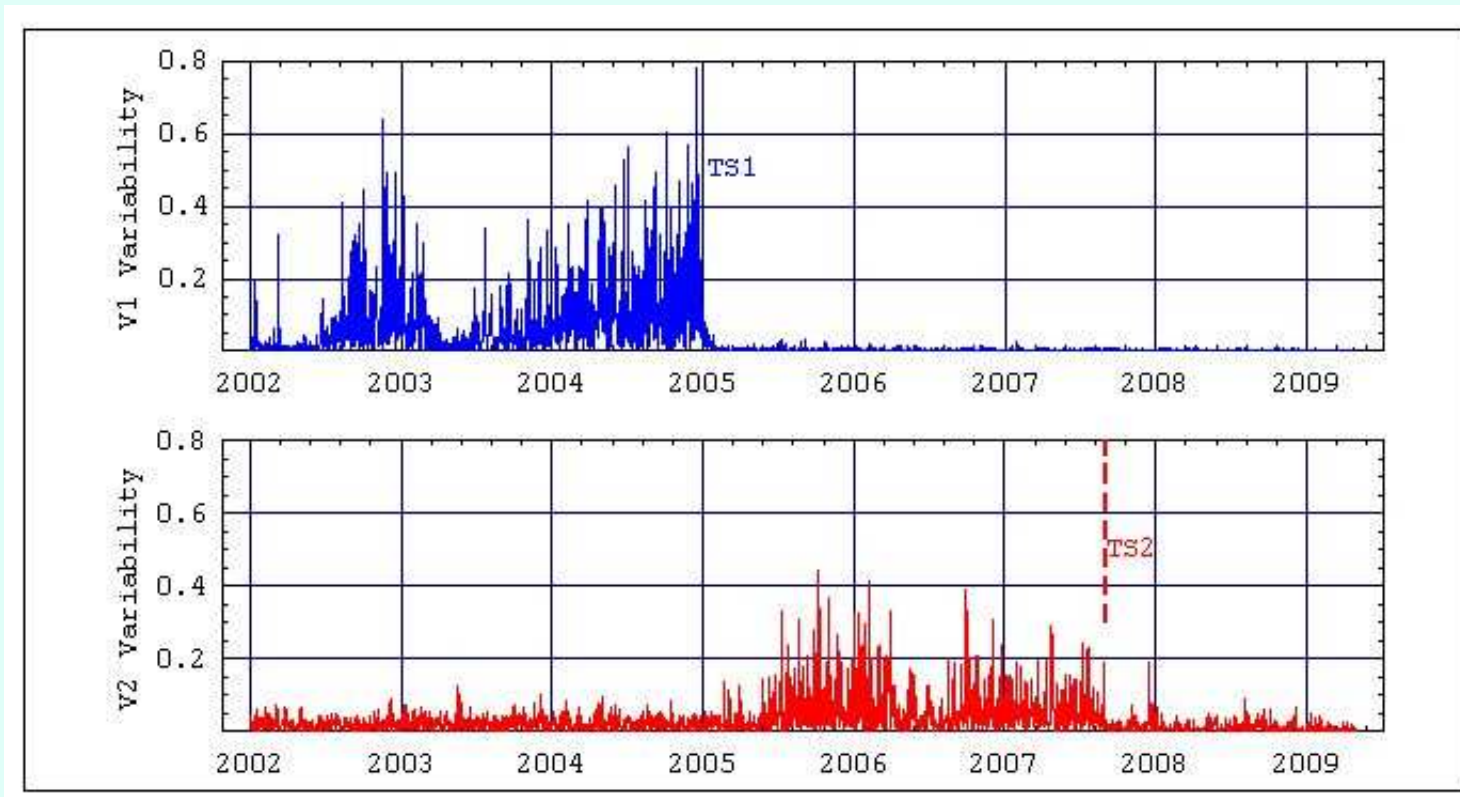


A 70 MeV feletti, főleg KS-eredetű beütésszámok a V1 és V2 szondánál. V1-nél HP1 után talán már a csillagközi fluxus látszik.



A V1 és V2 által mért beütésszámok logaritmikus változékonysága (az egymás utáni napok beütésszámai logaritmusának különbségei, abszolút értékben)

(Látszik, hogy a nagy lökéshullám előtt az intenzitás igen gyorsan változik, utána nem.)



A gyors változást részecskenyalábok keltette instabilitások okozhatták.

2005-ös kozmikus sugárzási konferencia (Pune, India), a V1 lökéshullámon való áthaladása (2004. dec. 16.) után. Fontos észrevétel volt, hogy a V2 áthaladása is 2-3 éven belül várható. Kb. 2,7 év múlva (2007. augusztus 30.) be is következett.

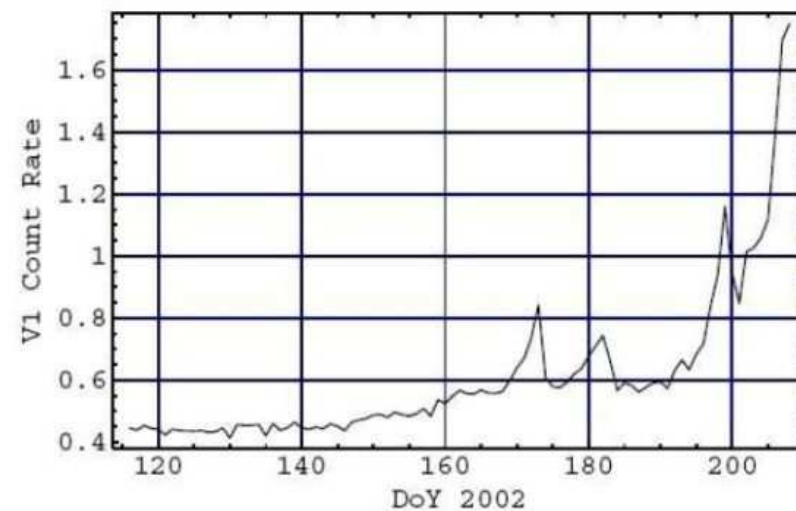
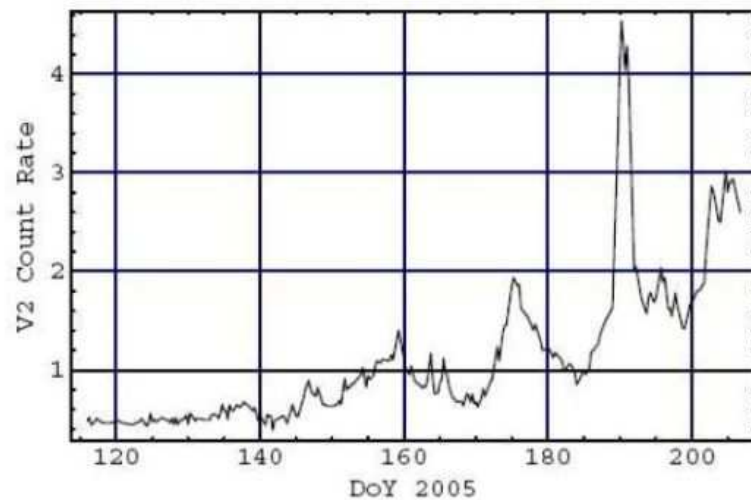
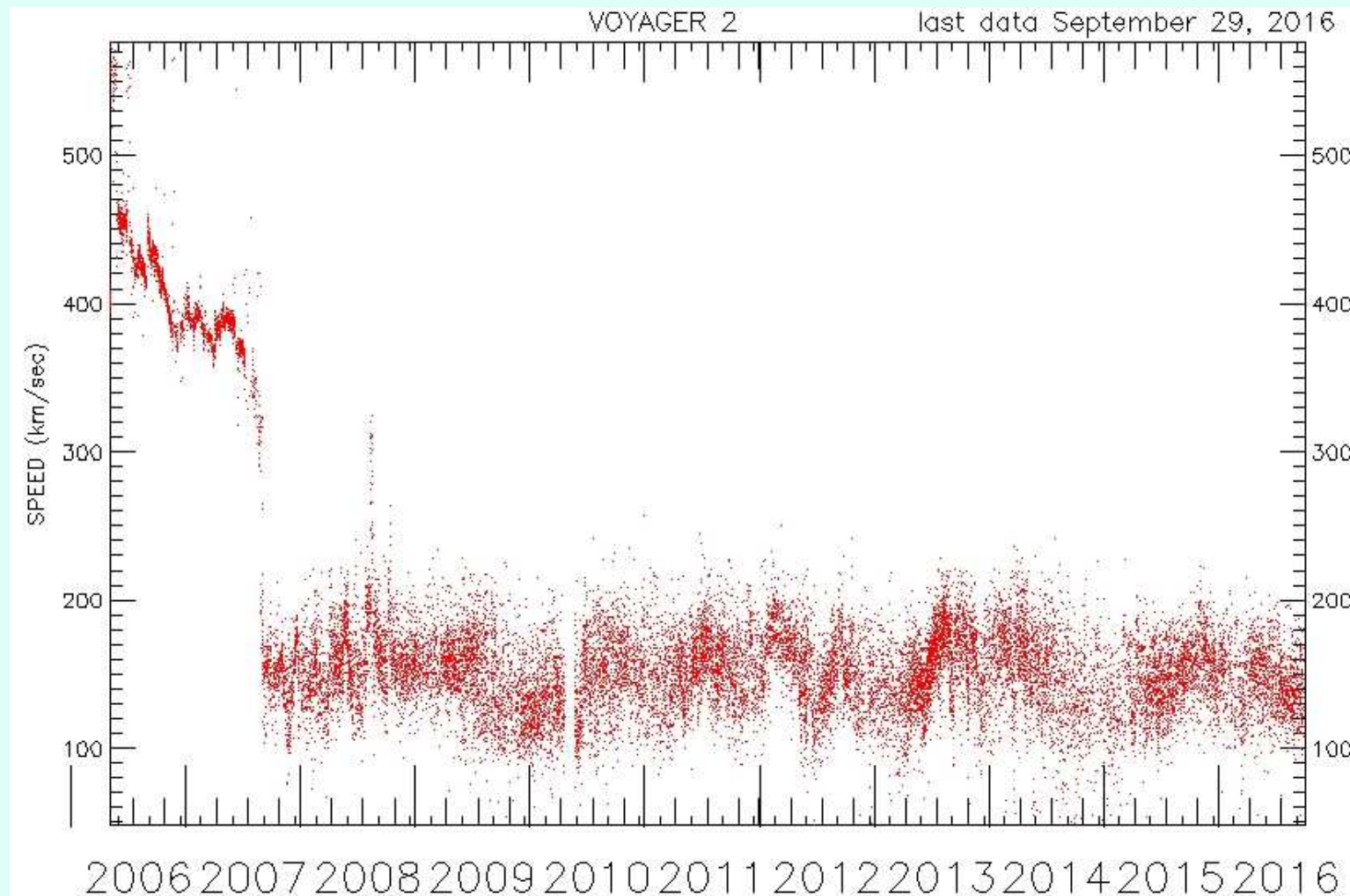
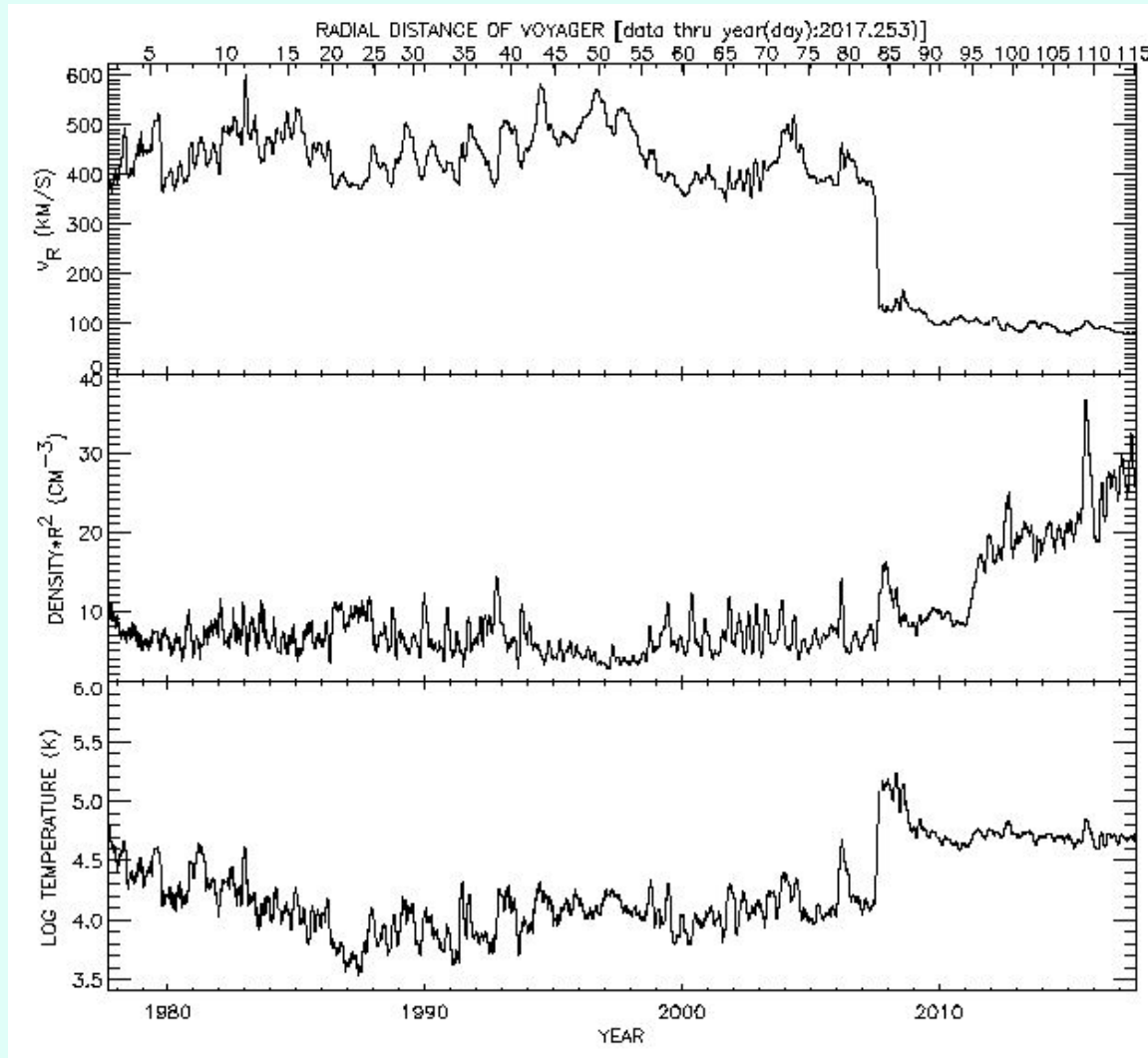


Figure 18. The > 0.5 MeV/nucleon ion flux recently measured by Voyager 2 (left) compared with those recorded by Voyager 1 three years ago (right) (Király [52]).

A V-2 napszélesség-mérései a nagy lökéshullám előtt és után



A V-2 által mért napszéladatok a 40 év során



Látszik, hogy a nagy lökéshullámon való átmenet után a radiális sebesség lecsökkent, a sűrűség és hőmérséklet pedig megnőtt (de kevésbé, mint azt eredetileg várták).

Mindkét Voyager szonda áthaladt már a napszélplazma szuperszonikus és szubszonikus tartományát elválasztó nagy lökéshullámon, 2004 decemberében ill. 2007 augusztusában, és az áthaladások sok meglepetést okoztak.

Azóta a Voyager szondák a Helioszféra belső, lassú napszelet tartalmazó burkában haladtak kifelé, más-más környezetben. Emellett a **2008-ban fellőtt IBEX szonda** is váratlan szerkezetet talált a külső helioszférából beáramló semleges atomoknál.

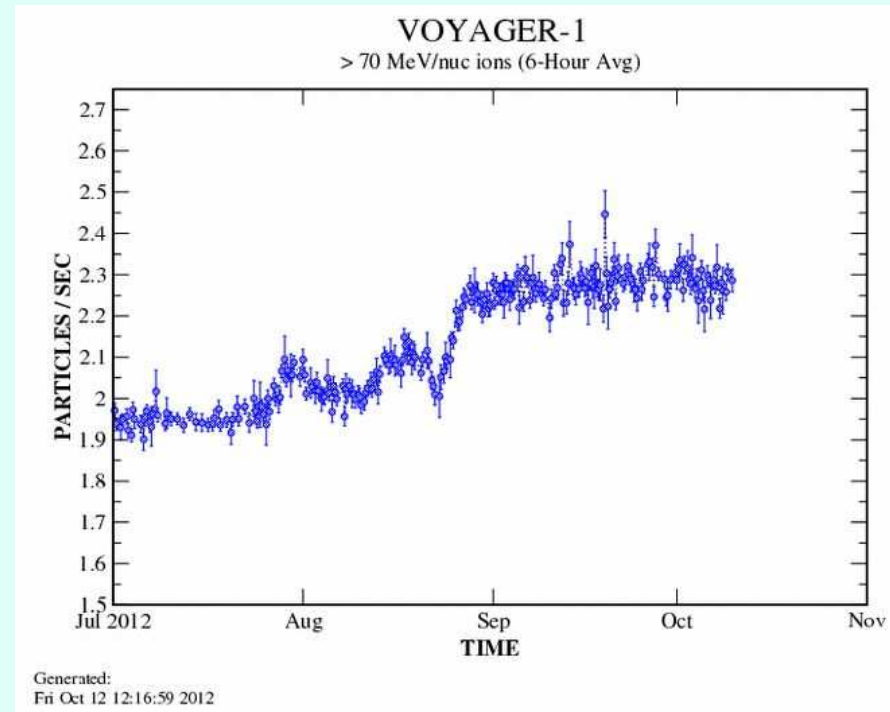
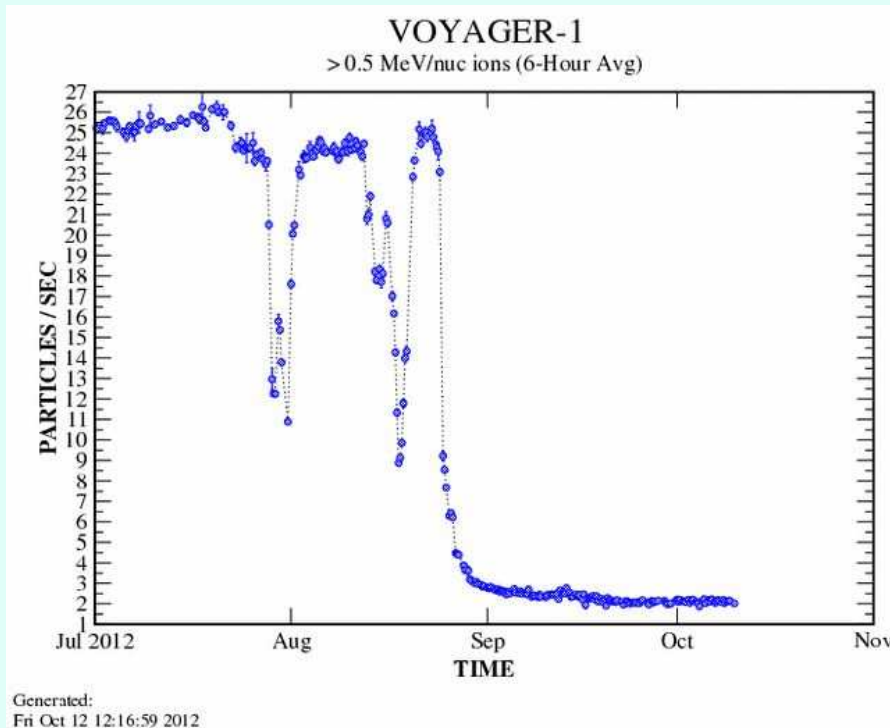
2012. augusztus 25-én a V1 áthaladt egy éles határon, ahol a 30 keV-től 30 MeV-ig terjedő energiájú ionok fluxusa eltűnt, vagyis **V1 kilépett a csillagközi szélbe. (Plazma-mérés itt nem volt!)**

Váratlan volt, hogy a mágneses tér iránya alig változott. Végül kb. 1 évvel később fogadták el, hogy a kilépés megtörtént, mert a plazma-hullámok a csillagközi gázra jellemző sűrűséget mutattak.

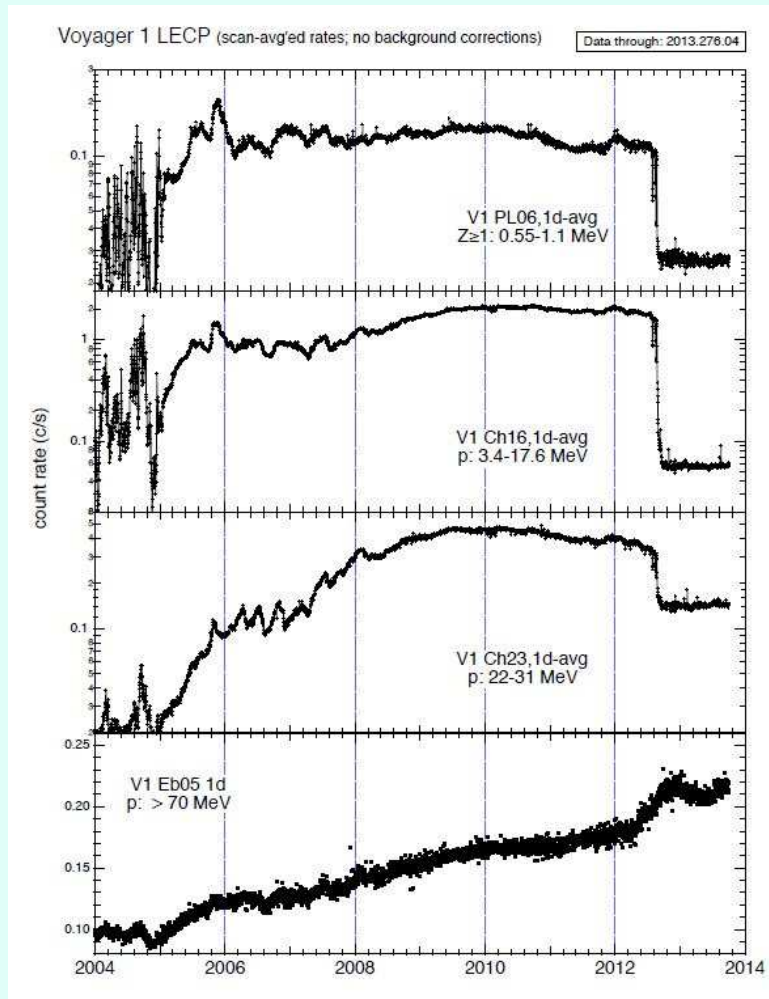
Egyesek szerint a V1 szonda talán még csak egy „szirtfalon” jutott át, ahol a MeV-es ionok elvesztek, de a heliopauza, ahol már a csillagközi mágneses tér válik uralkodóvá, még odébb van.



**2012. aug. 25.-től a MeV-es fluxus stabilan lecsökkent,
a 70 MeV fölötti (kozmikus sugárzás) megnövekedett.
Azóta is lényegében változatlan mindkét fluxus, bár a 70
MeV fölöttiben kisebb csökkenések voltak (CME hatás?)**



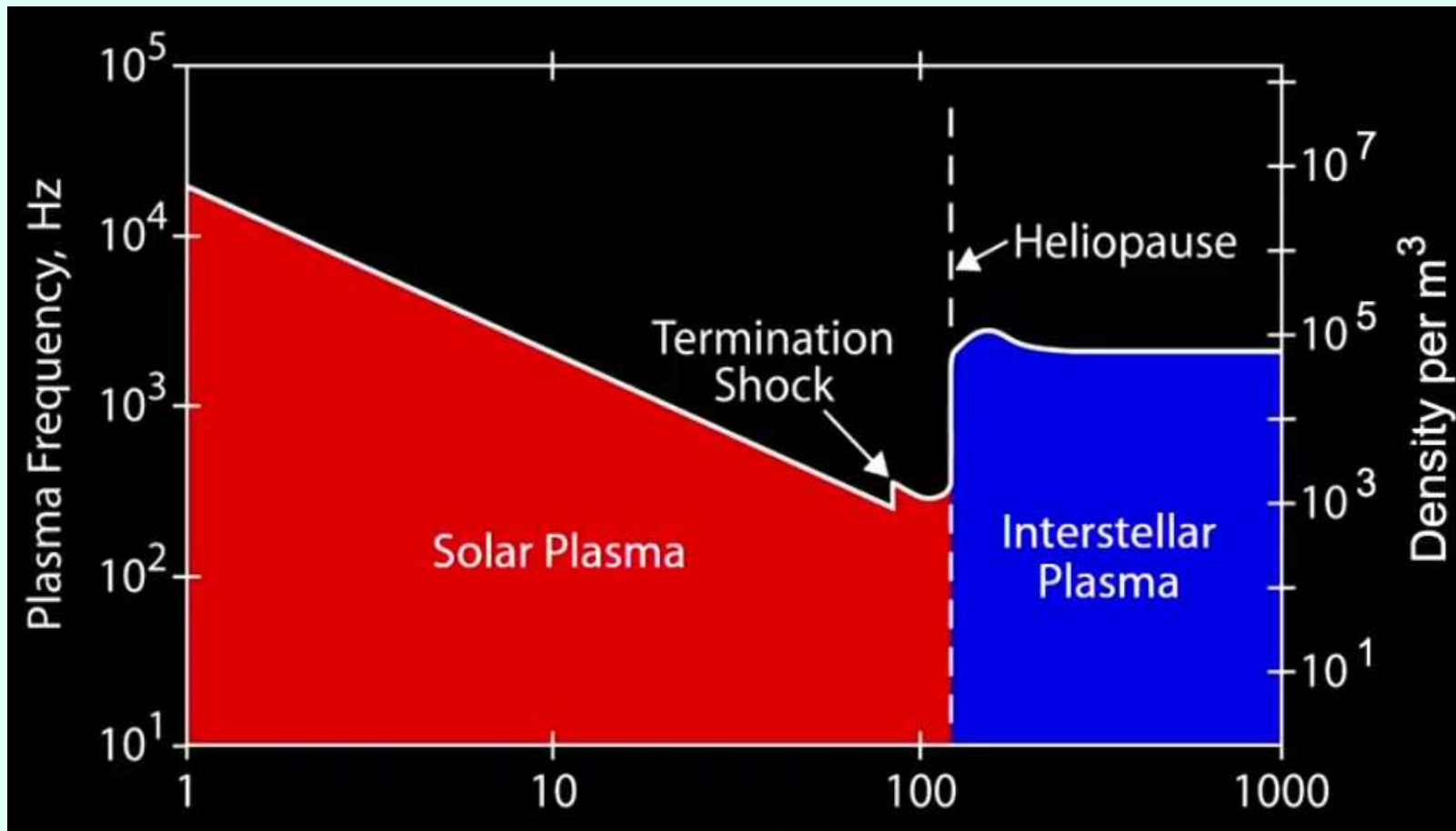
Más energiákon is hasonlóak voltak a változások:



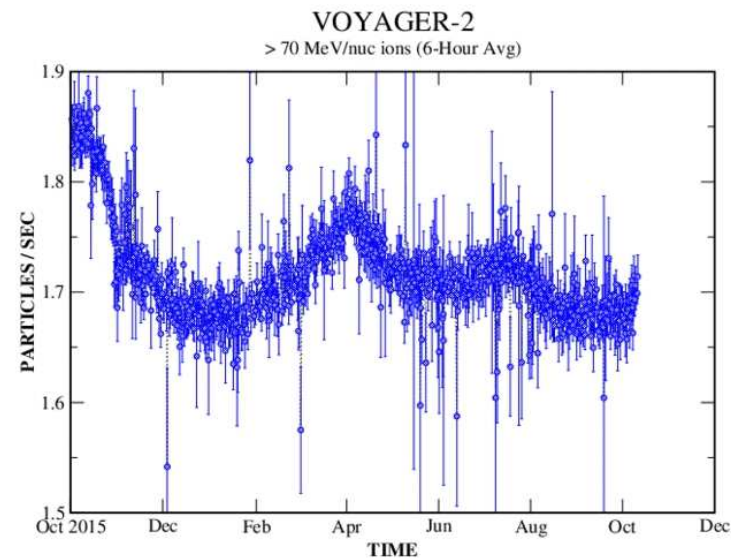
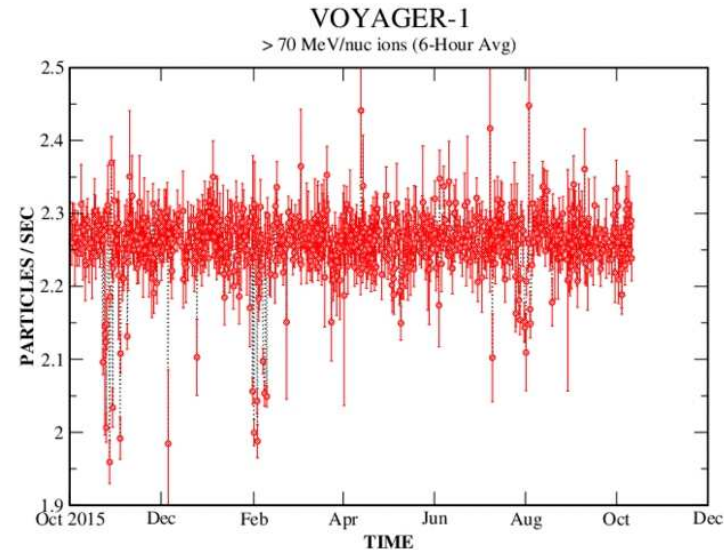
Energikus részecskék fluxusának változásai különböző energiákon 2004-től 2014-ig.

A kozmikus sugárzás már a határfelület előtt fokozatosan megnő.

Modell-számítás a plazmasűrűség és plazmafrekvencia változásaira.
Nagy CME-k után 1-2 évvel a csillagközi plazmában is fellépnek zavarok.



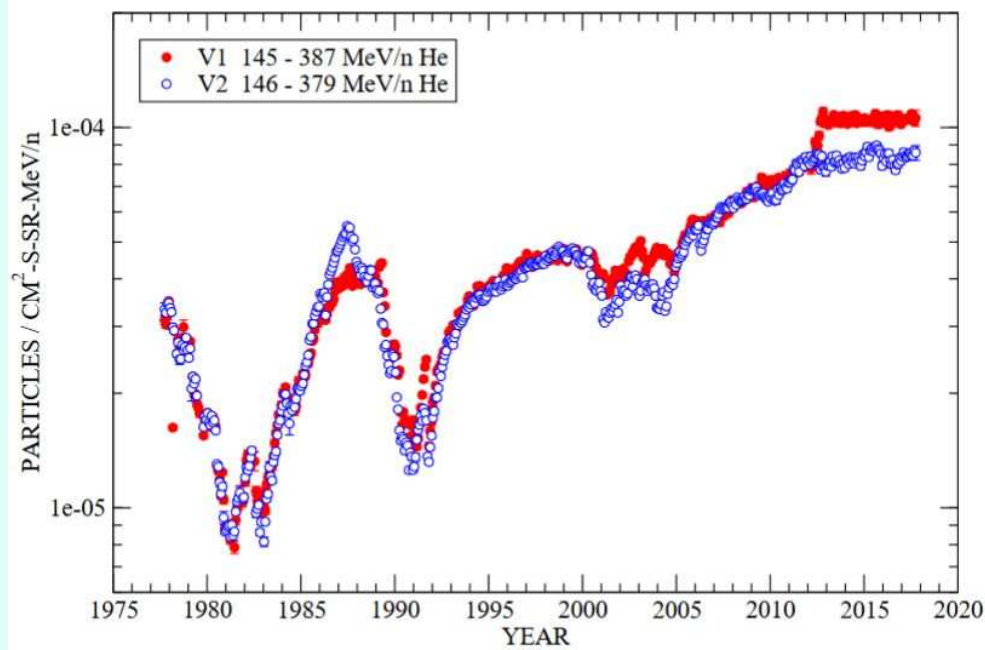
A V-1 és V-2 szonda 70 MeV fölötti részecskefluxusai 2005-2016-ban



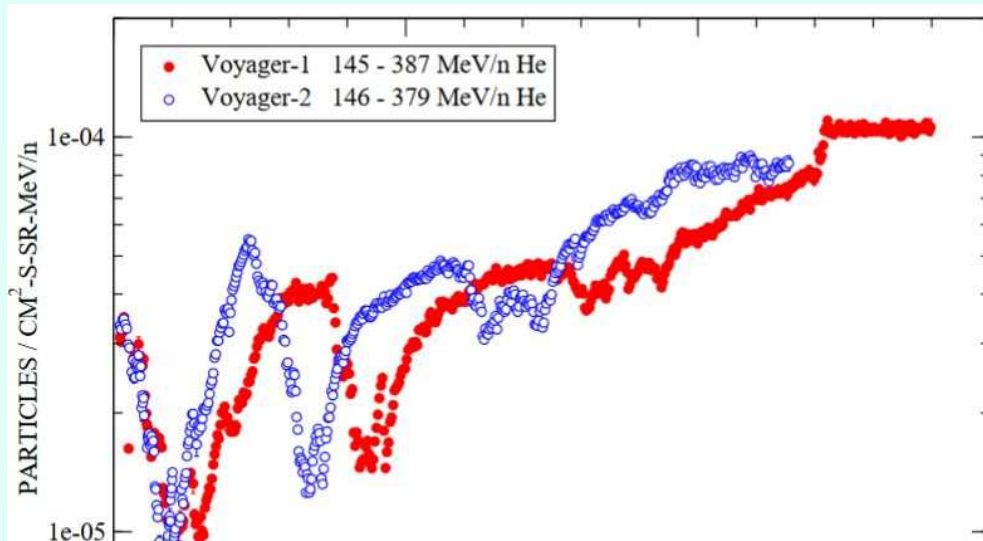
Míg a V-2-nél mért beütésszámok kisebbek, és a helioszférikus mágneses tér változó árnyékoló hatását jól mutatják, a V-1 nél mért beütésszámok sem teljesen egyenletesek. 2015. októberében, majd 2016. februárjában és augusztusában is szignifikánsnak látszó csökkenések voltak.

Nem világos, hogy a csökkenések a naptevékenység távoli hatását (pl. korona-kilökődések, a mágneses tér átkötődései), vagy inkább a csillagközi közeg fluktuációit, esetleg a heliopauza instabilitásainak hatását mutatják.

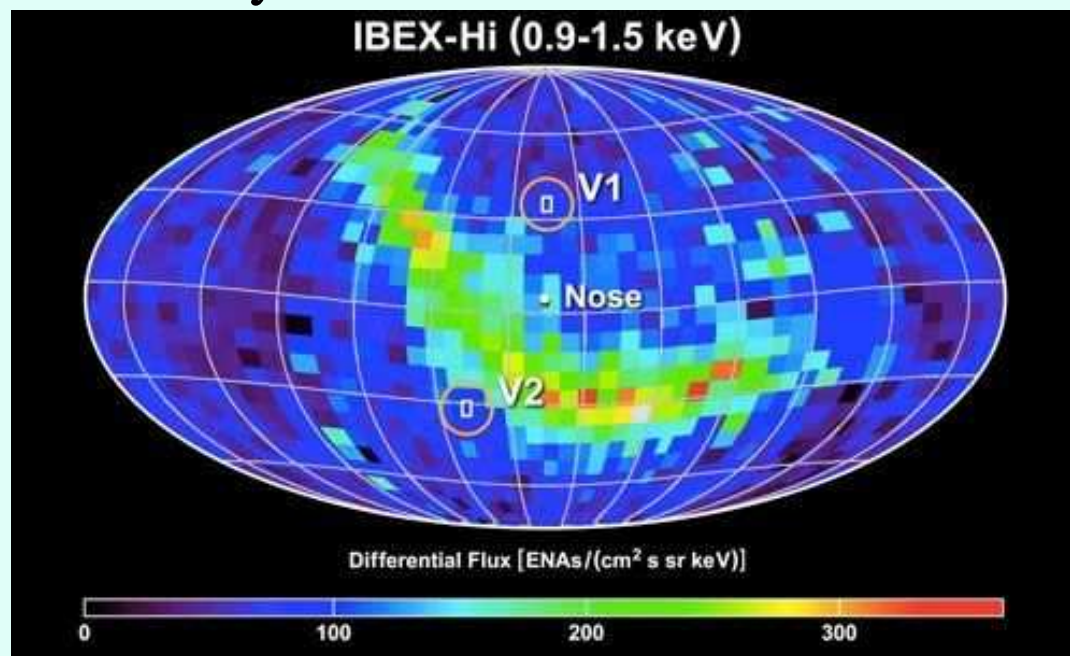
A V-1 mágneses tér-mérései arra utalnak, hogy a mért mágneses tér iránya közelíti, de még nem érte el a más megfigyelések alapján sejtett lokális csillagközi mágneses tér irányát.



A nagyenergiájú hélium fluxus változásai a V1 és V2 szondánál egyrészt az idő, másrészt a Naptól mért távolság függvényében



A 2008-ban fellőtt IBEX műhold energikus semleges atomok segítségével tanulmányozza a külső Helioszféra szerkezetét.



Azt találták, hogy egy **keskeny, gyűrű-alakú sávból** jön a legtöbb 1 keV körüli energiájú semleges atom. Feltételezik, hogy ennek a gyűrűnek a síkja merőleges a közeli csillagközi mágneses térre, aminek irányát más mérések is igazolják. A Voyager-1 szonda mágneses mérései viszont azt mutatják, hogy **V1 még mindig a helioszférához kapcsolódó mágneses térben van**, bár környezetéből a keV-es és MeV-es helioszférikus részecskék már 2012-ben eltűntek. A **zavartalan csillagközi mágneses tér így még kijebb lehet (egyes számítások szerint a V1 2025-ben éri el)**.

Hol tart ma a Voyager-küldetés?

A szondák Nap-távolsága 140 AU (V1), 116 AU (V2), az egyirányú fényidő 19,5 ill. 16 h.

A V2 kilépési ideje a helioszférából bizonytalan, jó esetben 1-2 év múlva lehet. Fontos a plazma-detektor jó működése

Az energiaellátás évente kb. 4 wattal csökken, a V1 2021, a V2 2020 után egyes műszereit időnként le kell kapcsolja. 2025 után tudományos adatok nem nagyon várhatók.

A giroszkópok lekapcsolása után a mágneses tér mérése bizonytalanabbá válik.

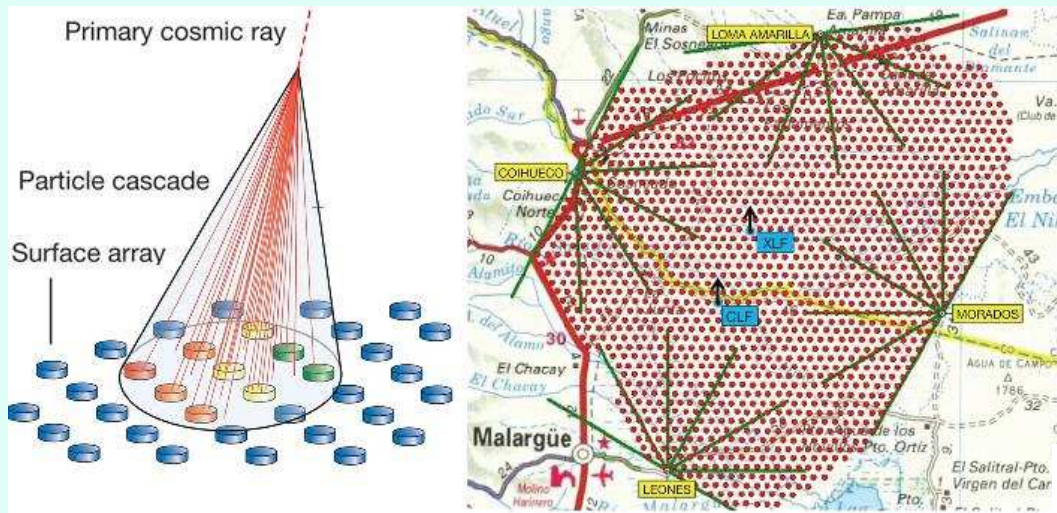
A csillagközi térben a mágneses tér iránya lassan változik, és várhatóan közeledik a más mérésekből (kozmikus sugárzás anizotrópiája, IBEX semleges atomok) várthoz.

Közeledünk a Nap-aktivitási minimumhoz, ekkor talán a helioszféra összehúzódik, és a V2 átlépi majd a határt.

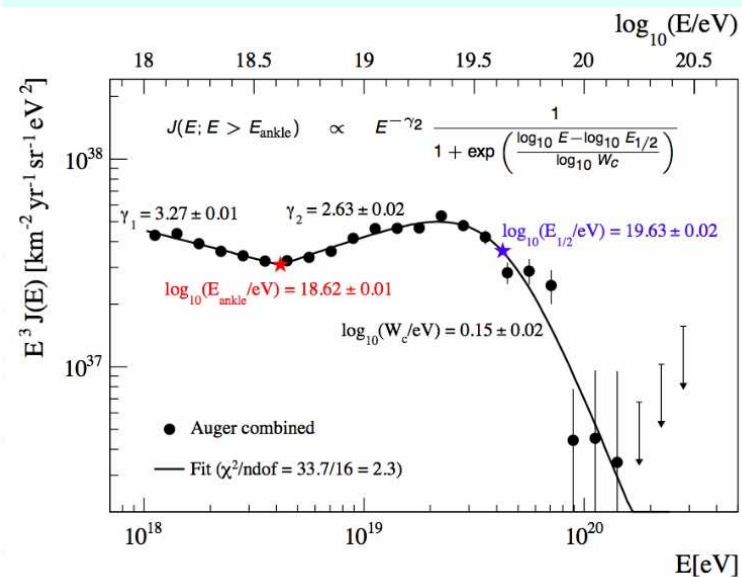
Nagy a bizonytalanság a helioszféra alakjára nézve, ezt főleg a csillagközi mágneses tér erőssége befolyásolhatja (0,2 vagy akár 0,4 nT?)

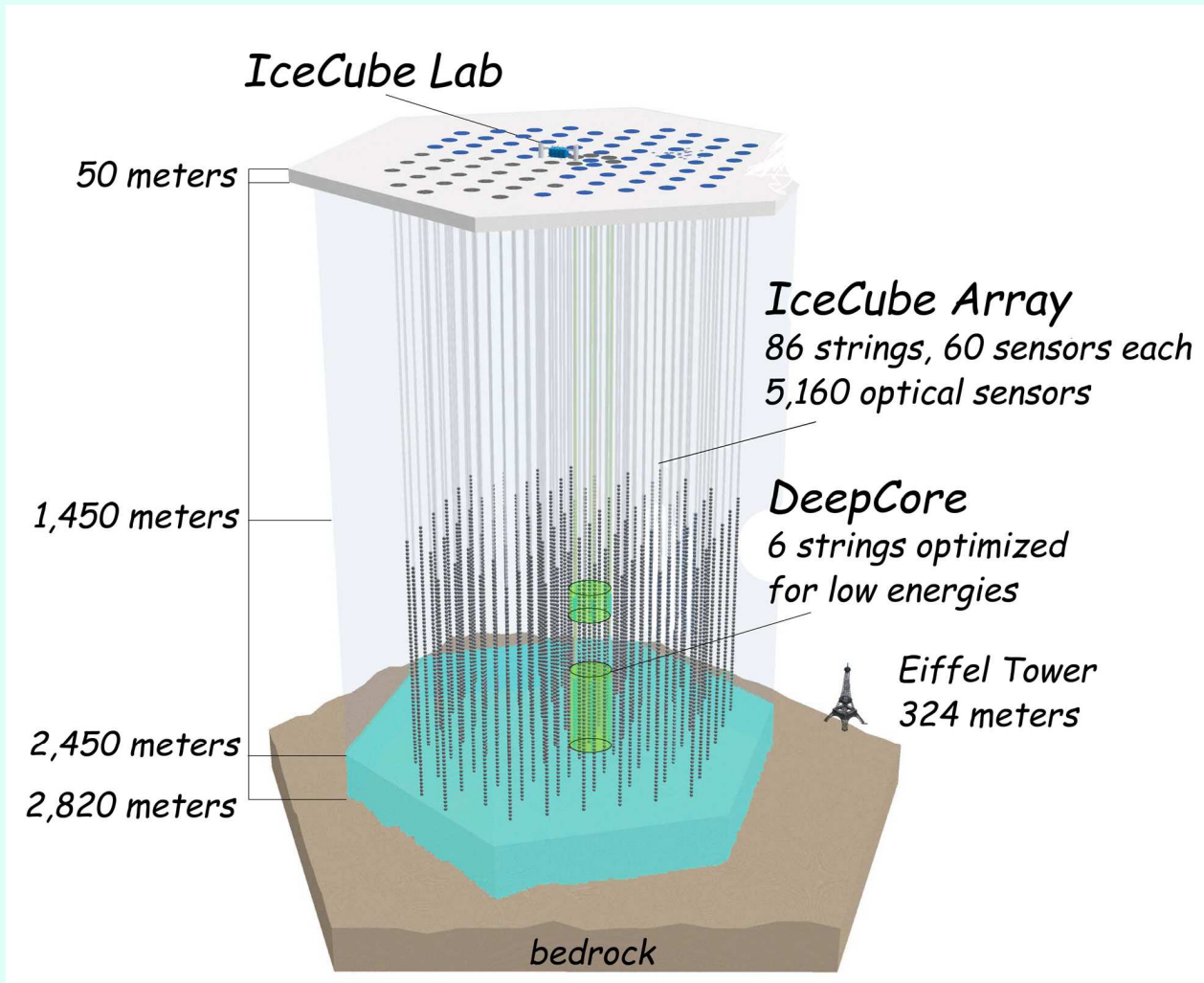
**Példák néhány korszerű, kozmikus
részecskéket és hullámokat vizsgáló
nagyberendezésre**

A 3000 négyzetkilométeres Auger detektor Argentínában



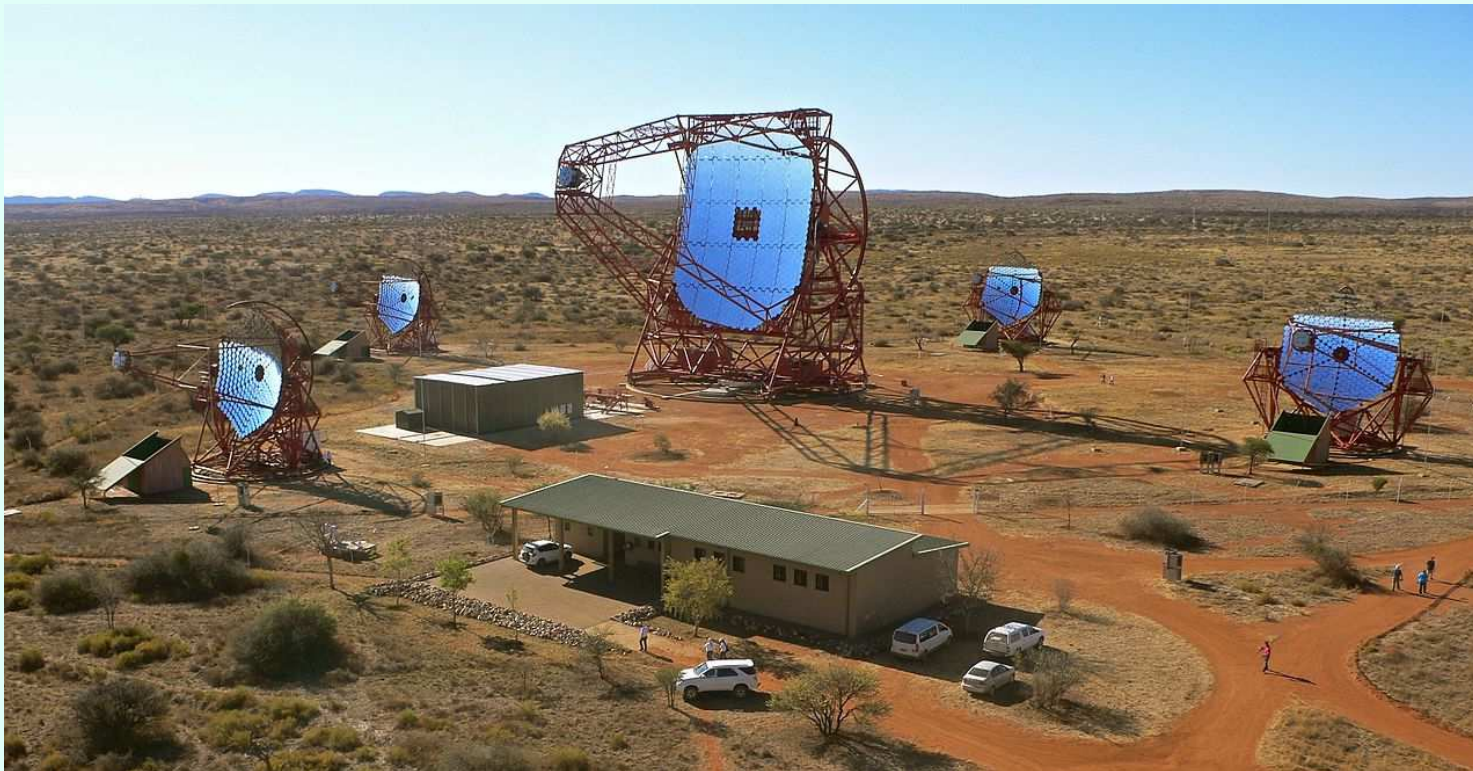
Alul a kozmikus sugárzási spektrum „vége”, amit az Auger mért ki, és ami a mikrohullámú háttéren való pionkeltésre utal.





A köbkilométeres jégkocka-detektor a déli sarkon, ami már nem légköri eredetű, hanem távolról érkező kozmikus neutrínókat is mért. Mellette méretarányosan az Eiffel-torony.

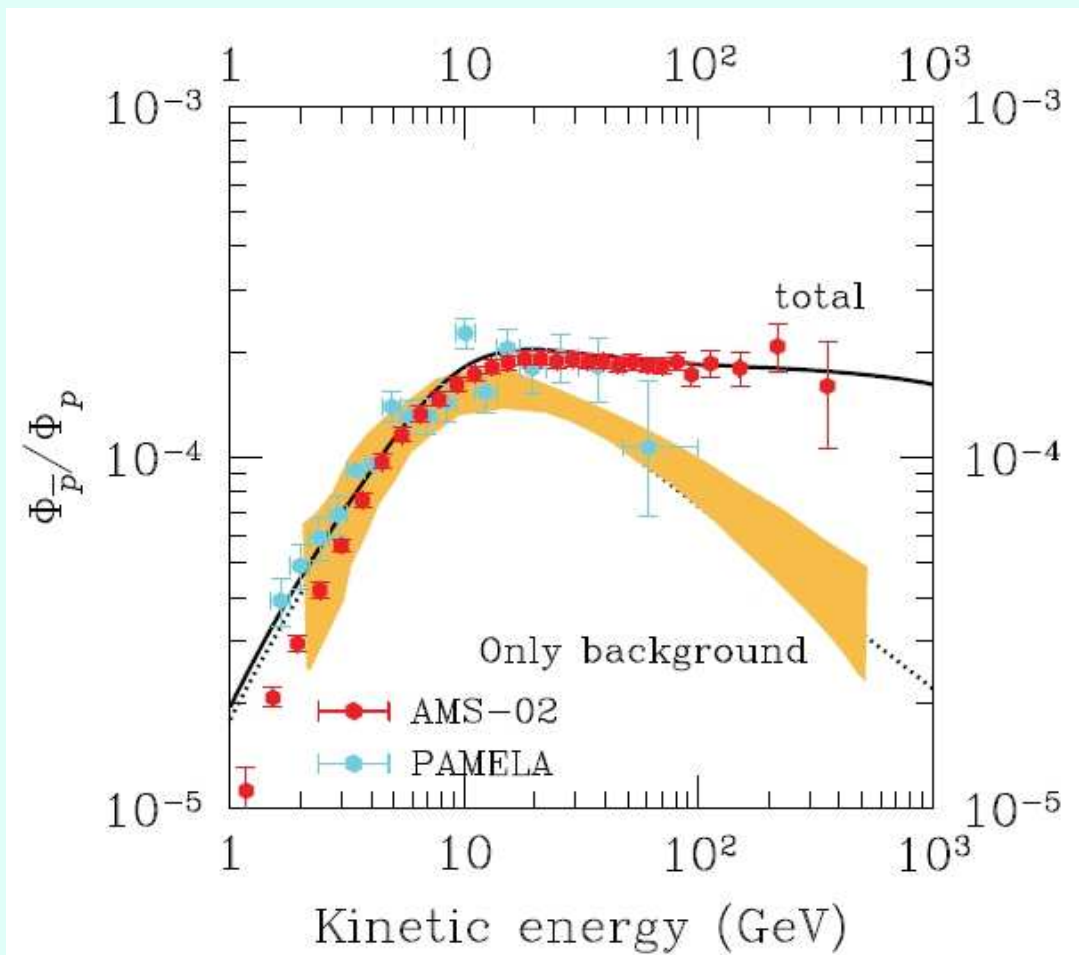
A H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) légköri Cserenkov-detektor Namibiában, a kozmikus sugárzási és gamma-eredetű légköri záporok észlelésére és irányuk pontos meghatározására (mozaik-tükrök átmérői: 12 és 28 m)



8 tonnás „Alfa Mágneses Spektrométer” (AMS-02) részecske-
és antirészecske-detektor a Nemzetközi Űrállomáson

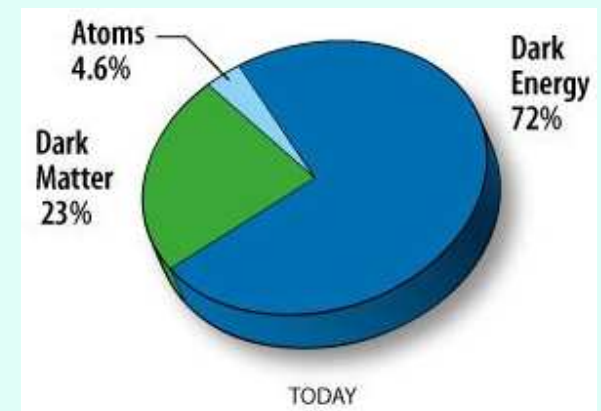


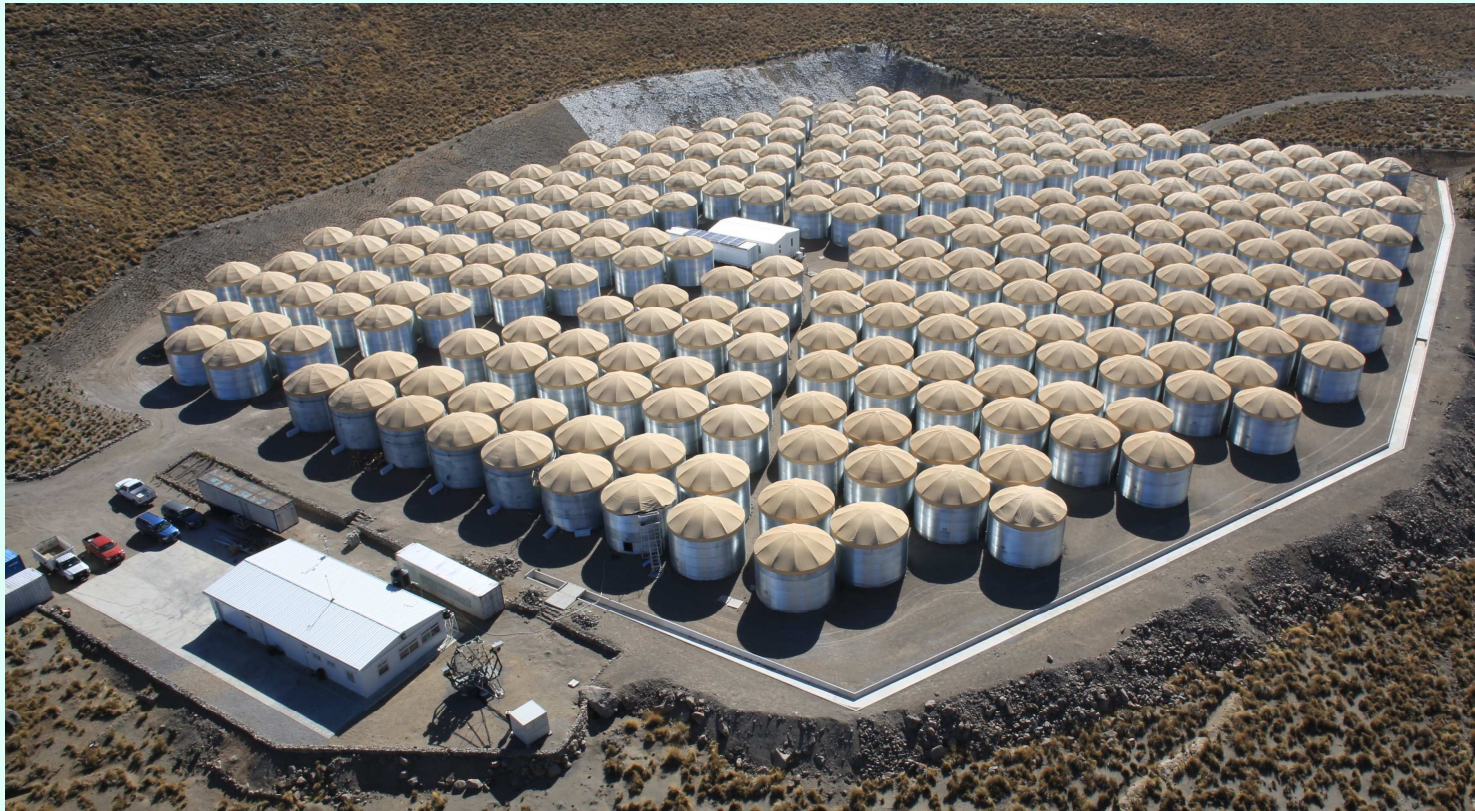
Antiproton- és protonfluxus hányadosának energiafüggése



Az AMS-02 nagy energián több antiprotont és pozitront észlelt, mint az a közönséges KS csillagközi anyaggal való ütközéseiből várható volt.

A több antirészecskét egyes cikkek a **sötét anyag** bomlásából származtatják, mások közeli szupernóvákból vagy pulzárokból.

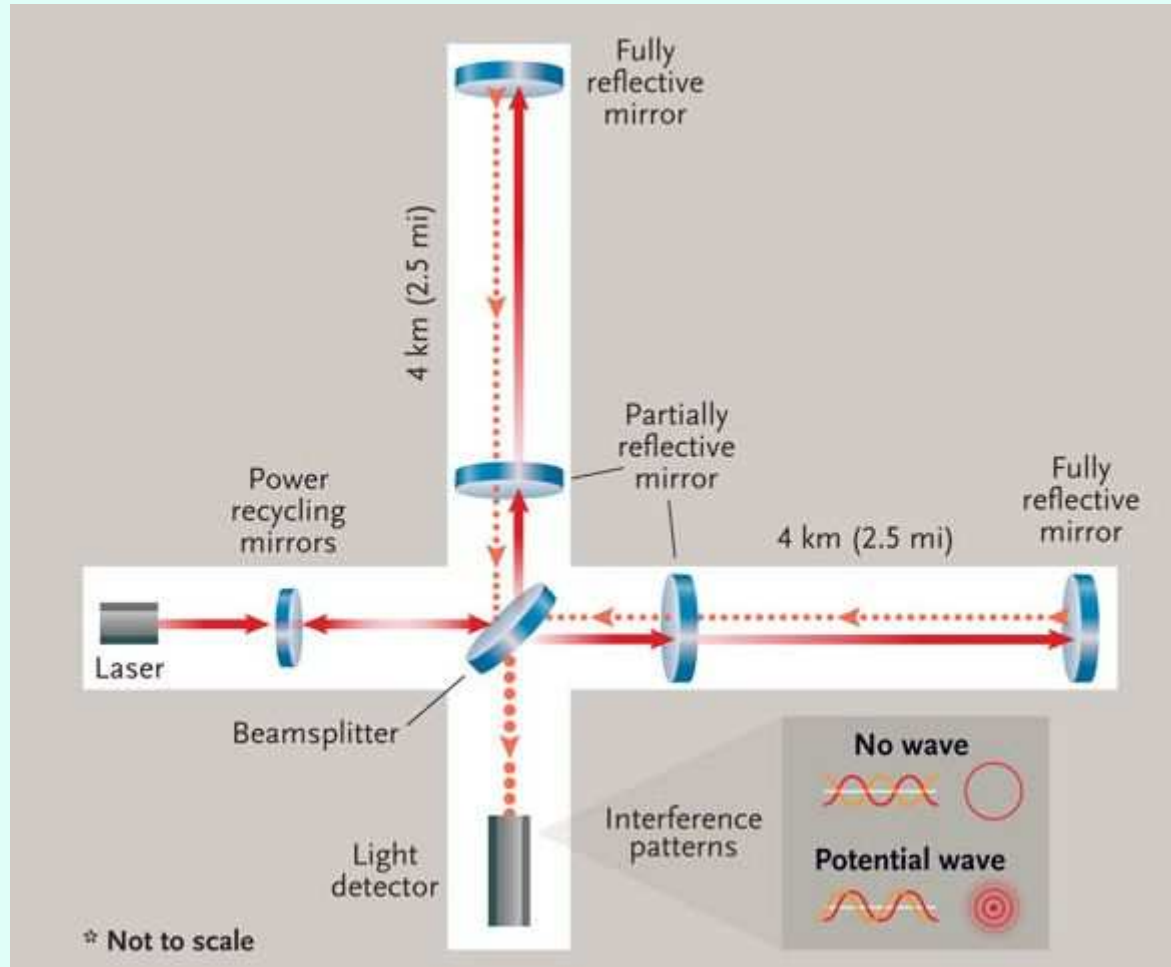




Az új HAWC (High Altitude Water Cerenkov Detector) 4100 m magasságban, egy mexikói vulkán oldalában. Egy-egy detektor 188 köbméter tisztított vizet és 4 fotomultipliert tartalmaz, és a nagyenergiájú gamma-sugárzást és kozmikus sugárzást vizsgálja



Az amerikai LIGO gravitációs hullám detektor elvi vázlatja



Két ilyen, valamint a hasonló európai VIRGO detektor fedezte fel két neutroncsillag összeolvadását. Elektromágneses jelet ezután sok égi és földi detektor is észlelt. Ez volt az első ilyen esemény, ahol a forrás ismert

Javasolt ellenőrző kérdések

Mennyiben tér el a Naprendszer és a helioszféra fogalma?

Hogyan változik a kozmikus sugárzás intenzitása a napfoltciklus során?

Milyen új részecskéket fedeztek fel a másodlagos kozmikus sugárzásban?

Miért más a Naprendszer és a primér kozmikus sugárzás elemösszetétele?

Mit nevezünk kozmikus sugárzási kiterjedt légizápornak?

Mi biztosítja a Voyager-szondák energiaellátását?

Milyen fontos határfelületeken jutott már túl a két Voyager szonda?

Hogyan keletkeznek a pick-up ionok és az energikus semleges atomok?

Milyen típusú részecskéket detektál az IBEX műhold?

Miért érkeznek antirészecskék is a primér kozmikus sugárzásban?

Vége