



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN-REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Űridőjárás és a kapcsolódó légköri folyamatok

NASA's Goddard
Space Flight Center
Mary Pat Hrybyk-
Keith képe

Bór József, PhD és a HUN-REN FI
Légkörfizikai és Űrkutatási munkaközössége

HUN-REN
Magyar Kutatási Hálózat

Kutatás.
Innováció.
Hatás.



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Az előadás létrejöttében segítséget nyújtottak:

Barta Veronika

Haszpra László

Heilig Balázs

Herein Mátyás

Lemperger István



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Az űridőjárás (space weather)

a bolygóközi térben és
a földközeli térségnek már a világűr
részének tekinthető tartományában

a fizikai tulajdonságok és az
anyagtartalom

viszonylag rövid, legfeljebb a földi
időjárásával összemérhető időskálán
bekövetkező

változékonysága.



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

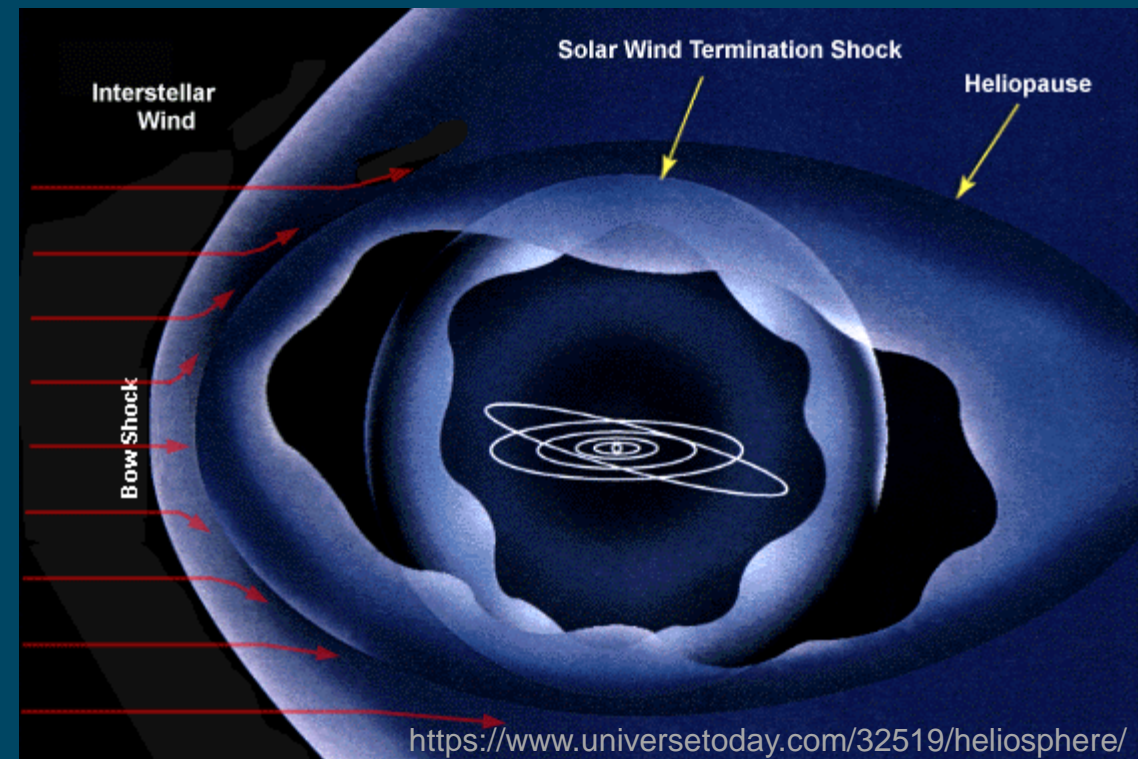
Az űridőjárás (space weather)

a bolygóközi térben és
a földközeli térségnek már a világűr
részének tekinthető tartományában

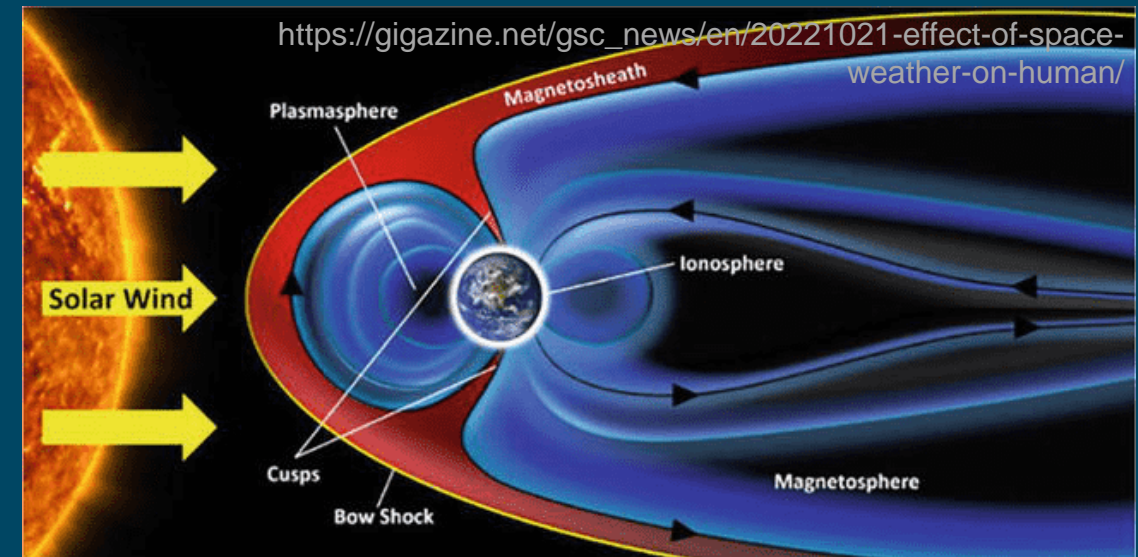
a fizikai tulajdonságok és az
anyagtartalom

viszonylag rövid, legfeljebb a földi
időjáráséval összemérhető időskálán
bekövetkező

változékonysága.



<https://www.universetoday.com/32519/heliosphere/>



https://gigazine.net/gsc_news/en/20221021-effect-of-space-weather-on-human/



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Az űridőjárás (space weather)

a bolygóközi térben és
a földközeli térségnek már a világűr
részének tekinthető tartományában

a fizikai tulajdonságok és az
anyagtartalom

viszonylag rövid, legfeljebb a földi
időjáráséval összemérhető időskálán
bekövetkező

változékonysága.



Világűr

85-100 km

Kármán vonal

Atmoszféra

NOAA & User:Mysid
(Fordítás: Módis Ágnes)



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Az űridőjárás (space weather)

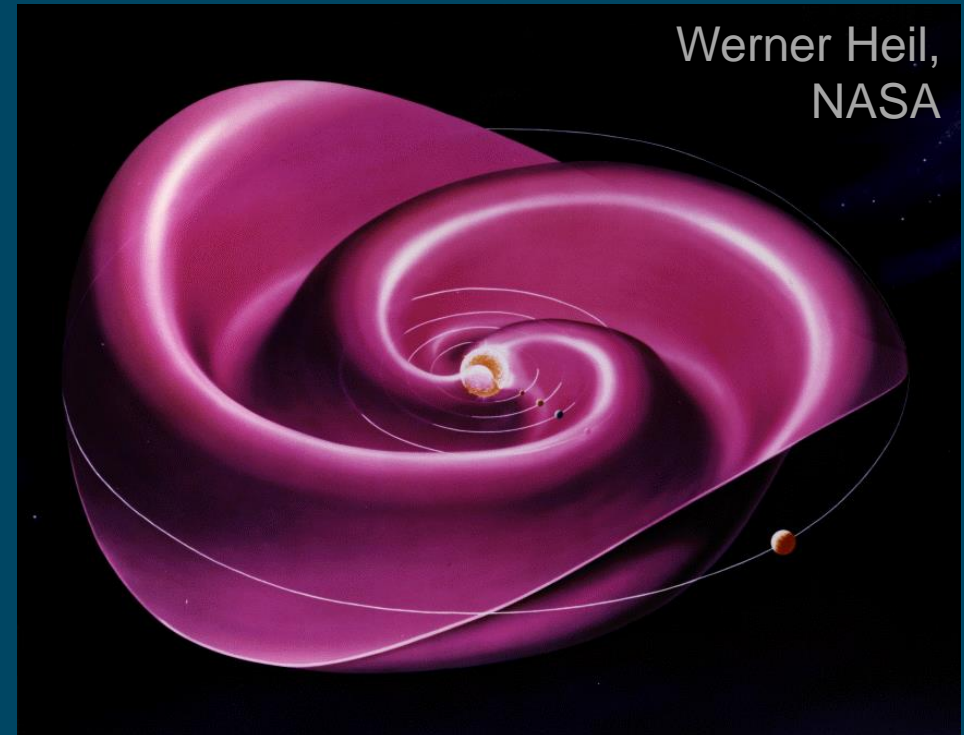
a bolygóközi térben és
a földközeli térségnek már a világűr
részének tekinthető tartományában

a fizikai tulajdonságok és az anyagtartalom

viszonylag rövid, legfeljebb a földi
időjáráséval összemérhető időskálán
bekövetkező

változékonysága.

- Az elektromos és mágneses tér iránya és nagysága
- Az elektromágneses sugárzás spektruma és intenzitása.
- Az űrplazma összetétele és az összetevők (pl. elektronok, protonok, neutronok, atomok és atommagok) sűrűsége, fluxusa, térbeli eloszlása.





A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



<https://sci.esa.int/web/cluster/-/36451-magnetopause-dynamics-on-8-june-2000>

Az űridőjárás (space weather)

a bolygóközi térben és a földközeli térségnek már a világűr részének tekinthető tartományában

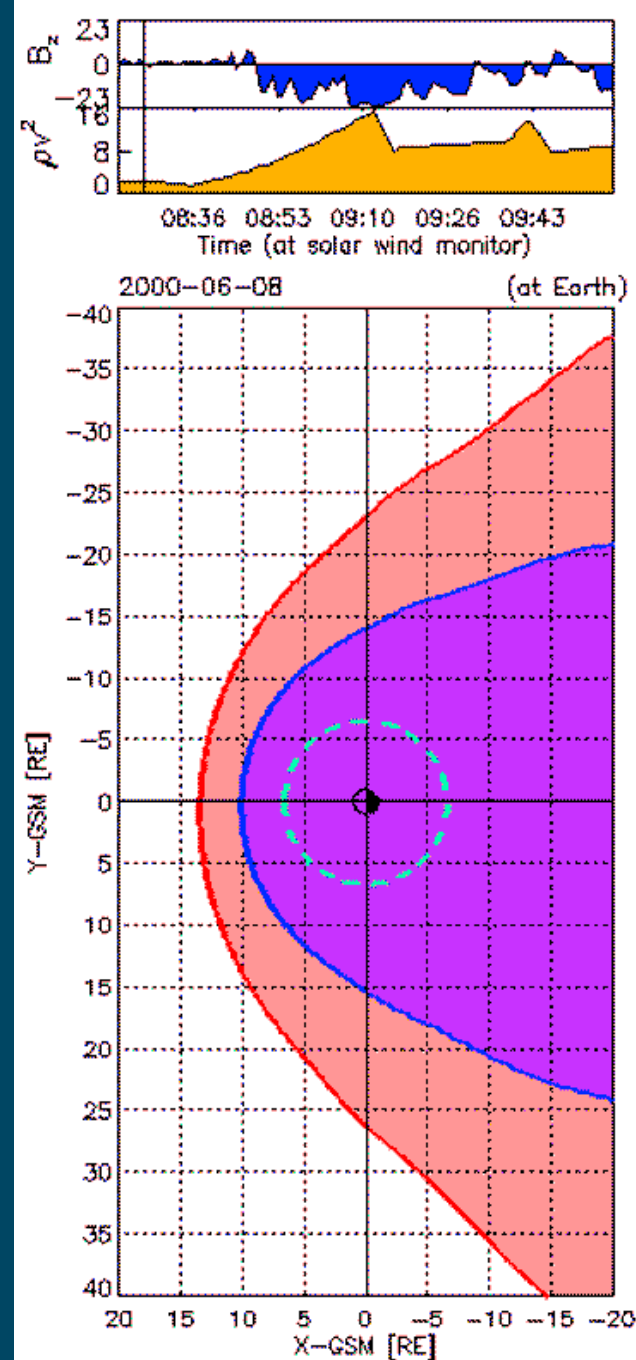
a fizikai tulajdonságok és az anyagtartalom

viszonylag rövid, legfeljebb a földi időjáráséval összemérhető időskálán bekövetkező

változékonysága.

Néhány perc - néhány óra

A közvetett, áttételes hatások lecsengése több óra vagy akár néhány hét is lehet.





A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Az űridőjárás változékonyságának a forrásai

A napszél, a Nap mágneses tere és a
Naptól független galaktikus kozmikus
sugárzás töltik ki a bolygóközi teret.

A Nap felszínén és a
koronájában zajló
dinamikus folyamatok
a bolygóközi tér
változásainak fő
forrásai:



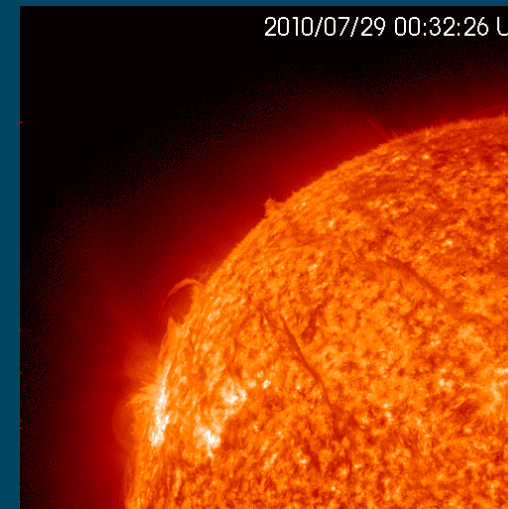
napfoltok

<https://www.stce.be/nl/news/672/welcome.html>



NASA's Goddard Space Flight Center
Scientific Visualization Studio/Greg Shirah

napkitörés (fler)



http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/6_Naprendszer/0102Nap/nap.html



koronakidobódás
(CME)

<https://www.spaceweatherlive.com/en/help/what-is-a-coronal-mass-ejection-cme.html>



A naptevékenység hatásai a földközeli térségben

Dinamikus kölcsönhatás

- a magnetoszférával
- az ionoszférával
- a légkörrel

A Napból a fény 8.5 perc alatt éri el a Földet.

A lassabb CME-knek ez több napba is telhet, de a gyorsított anyag 15-18 óra, illetve pl. protonok akár párszor 10 perc alatt is ideérhetnek.



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet

Geomágneses viharok, sarki fény

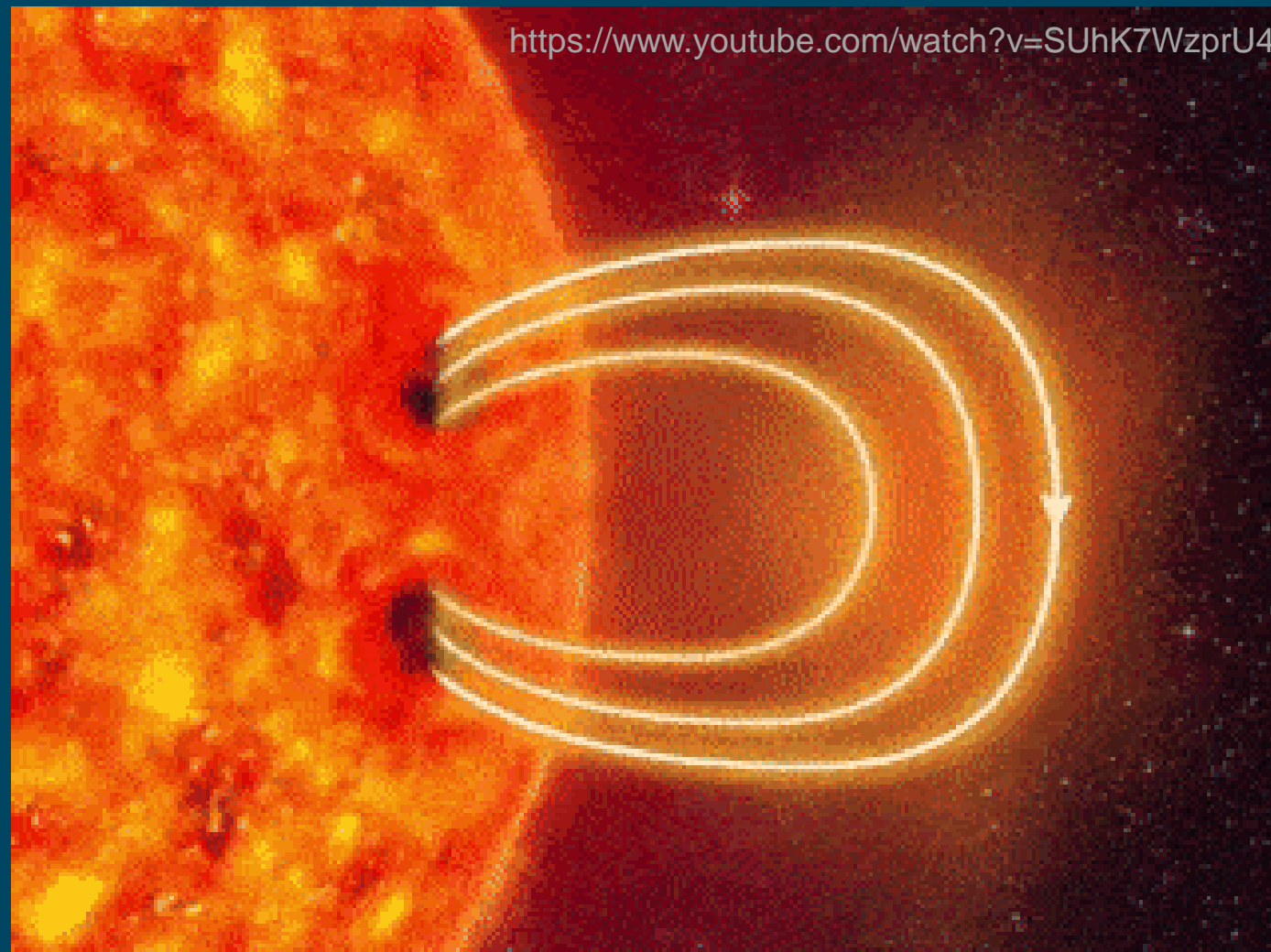
A naptevékenység hatásai a földközeli térségben

Dinamikus kölcsönhatás

- a magnetoszférával
- az ionoszférával
- a légkörrel

A Napból a fény 8.5 perc alatt éri el a Földet.

A lassabb CME-knek ez több napba is telhet, de a gyorsított anyag 15-18 óra, illetve pl. protonok akár párszor 10 perc alatt is ideérhetnek.



Nagysebességű napszél nyalábok, szoláris részecske záporok (proton és elektron események)



A naptevékenység hatásai a földközeli térségben

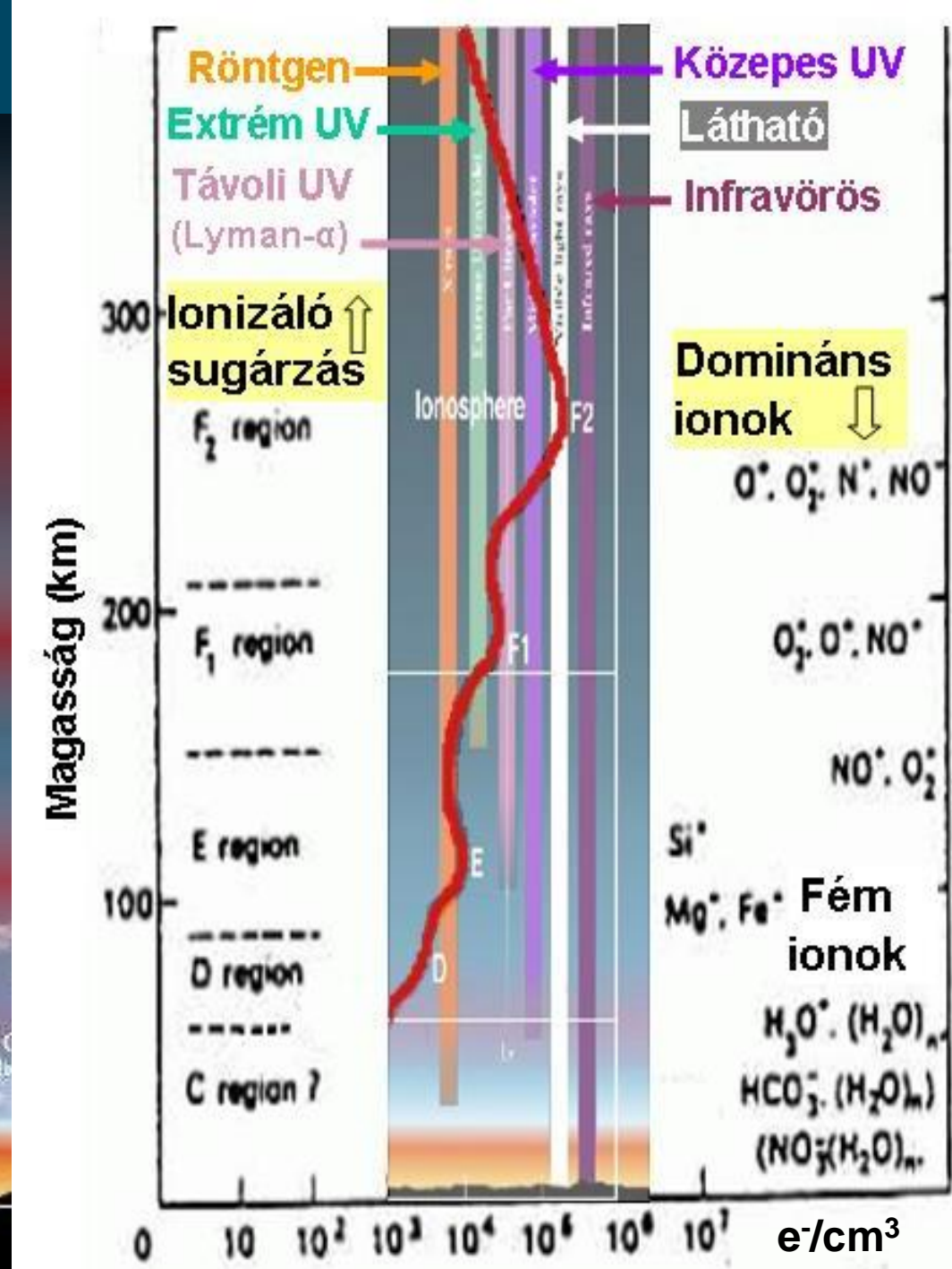
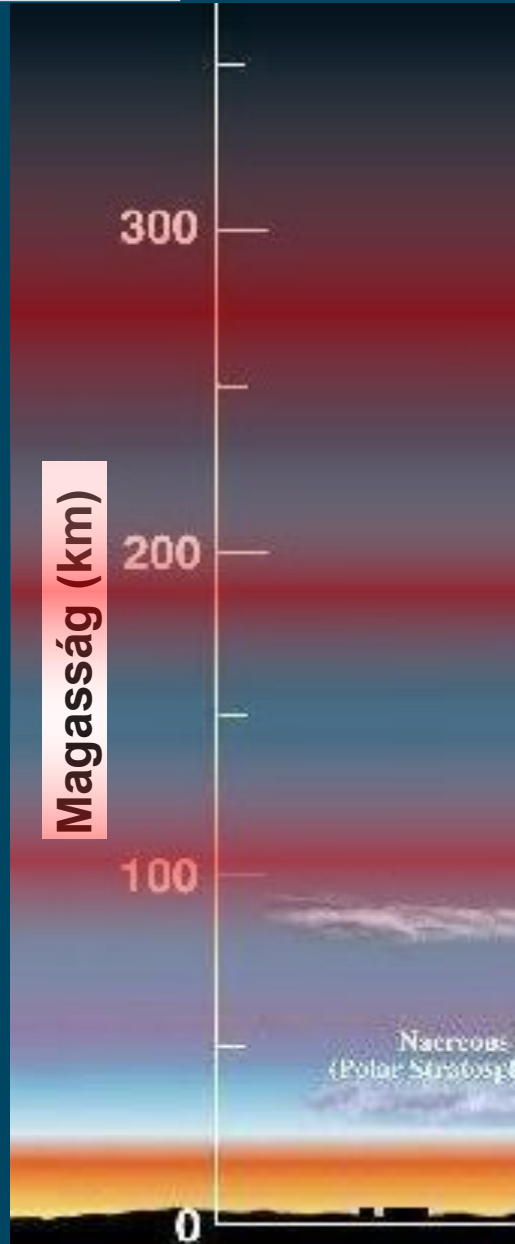
Dinamikus kölcsönhatás

- a magnetoszférával
- az ionoszférával
- a légkörrel

Ionizáció és gerjesztés

=> pl. Aurora

Az űridőjárás ezt modulálja





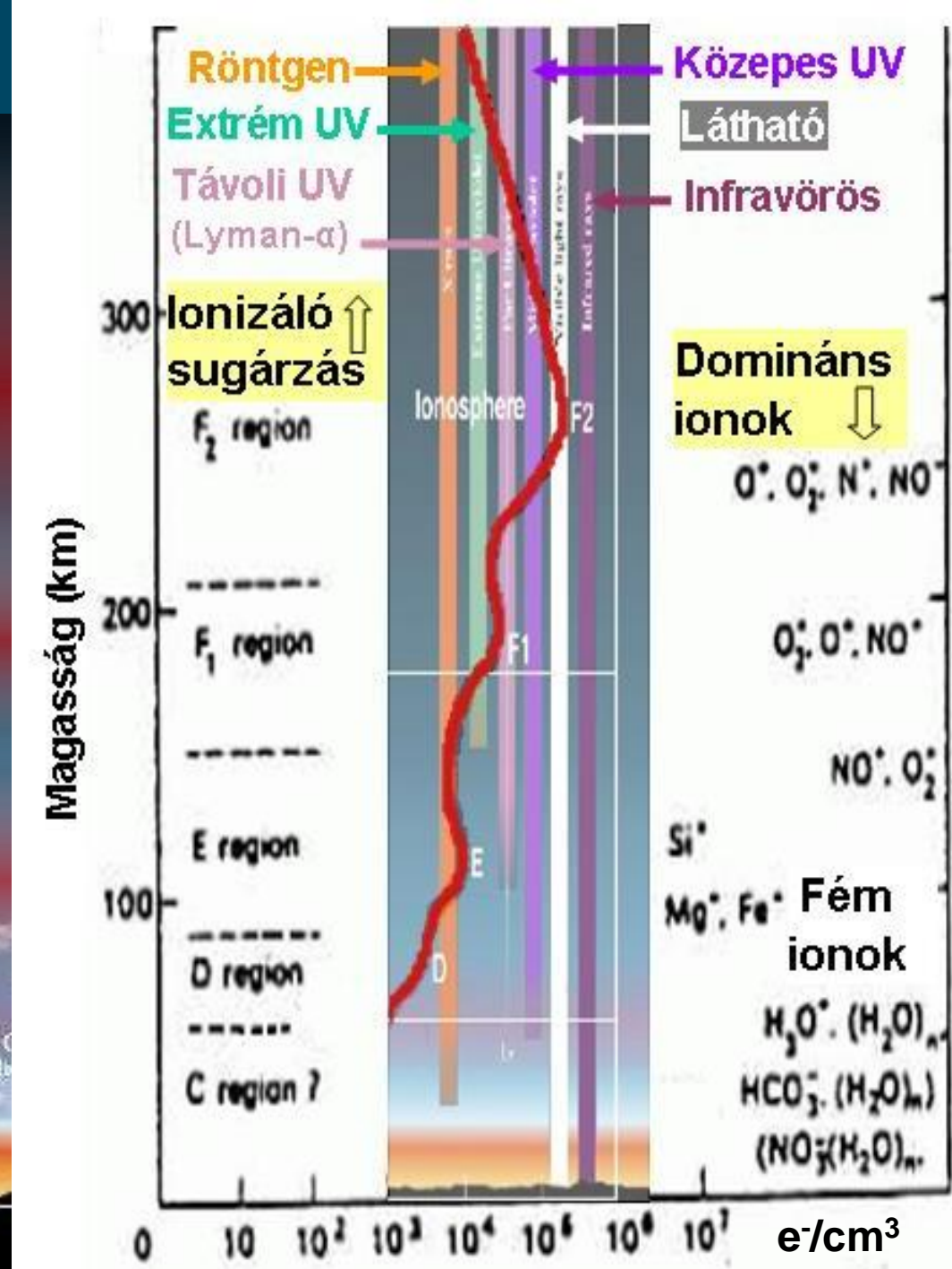
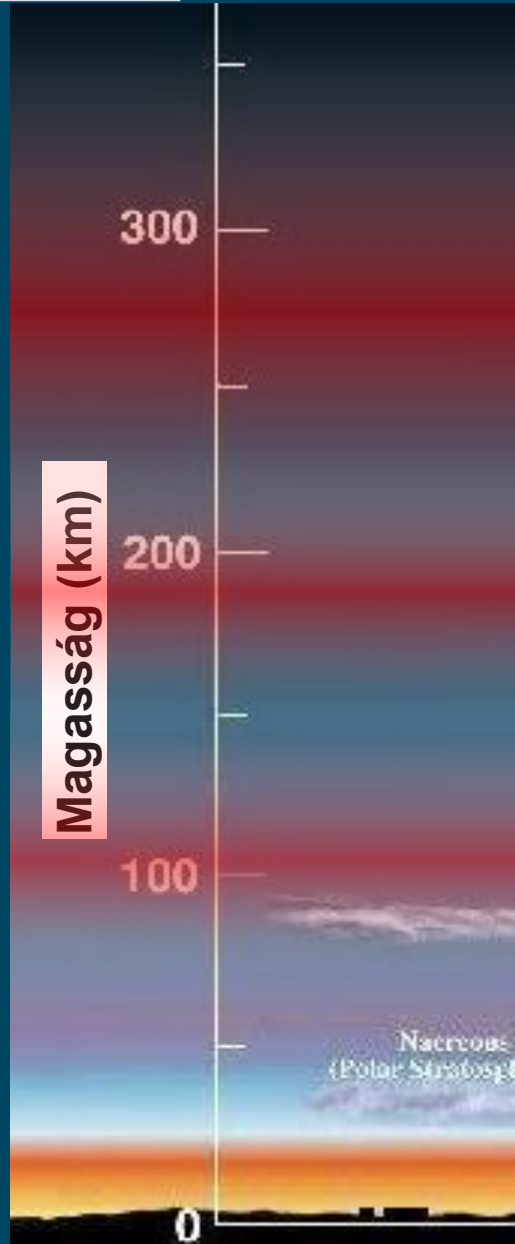
A naptevékenység hatásai a földközeli térségben

Dinamikus kölcsönhatás

- a magnetoszférával
- az ionoszférával
- a légkörrel (100 km alatt)

Légköri ionizáció

Ózon réteg kialakulása





A galaktikus kozmikus sugárzás kölcsönhatása

- a légkörrel

Atomrombolás

Másodlagos részecskezár
és sugárzás

Egészen a földfelszínig

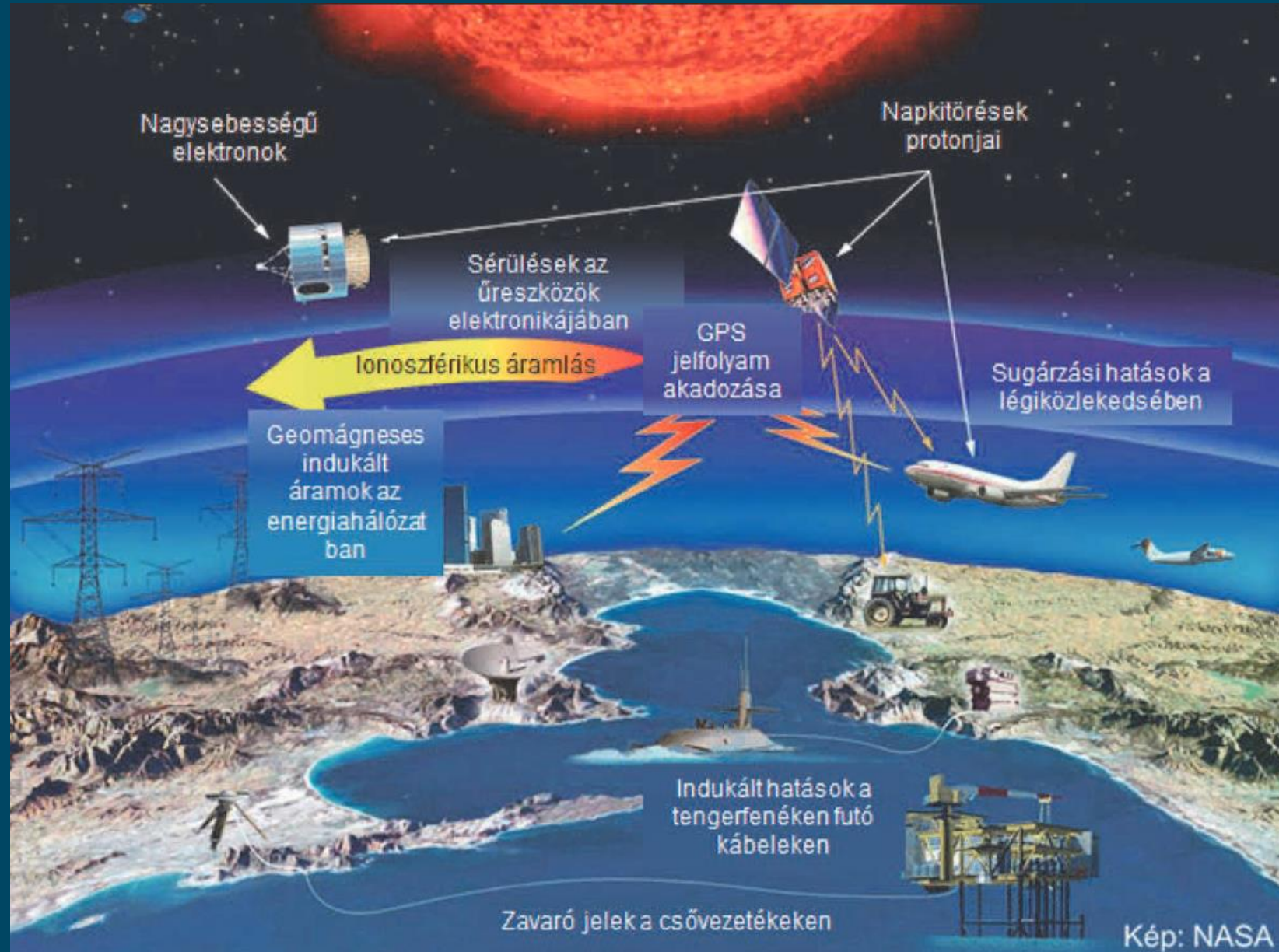
Az úridőjárás ezt modulálja
pl. Forbush csökkenés = GCR
intenzitás csökkenés





Az űridőjárás hatásai a földközeli térségben

- Műholdak károsodása
- Műholdas kommunikáció zavarai (pl. GPS jelek)
- Ionoszféra zavarok, rádió kommunikáció anomáliák
- Hosszú cső és távvezetékeken indukált erős áramlökések
- Elektromos áramrendszerek kialakulása a földkéregben





Az űridőjárás kapcsolata az időjárással?

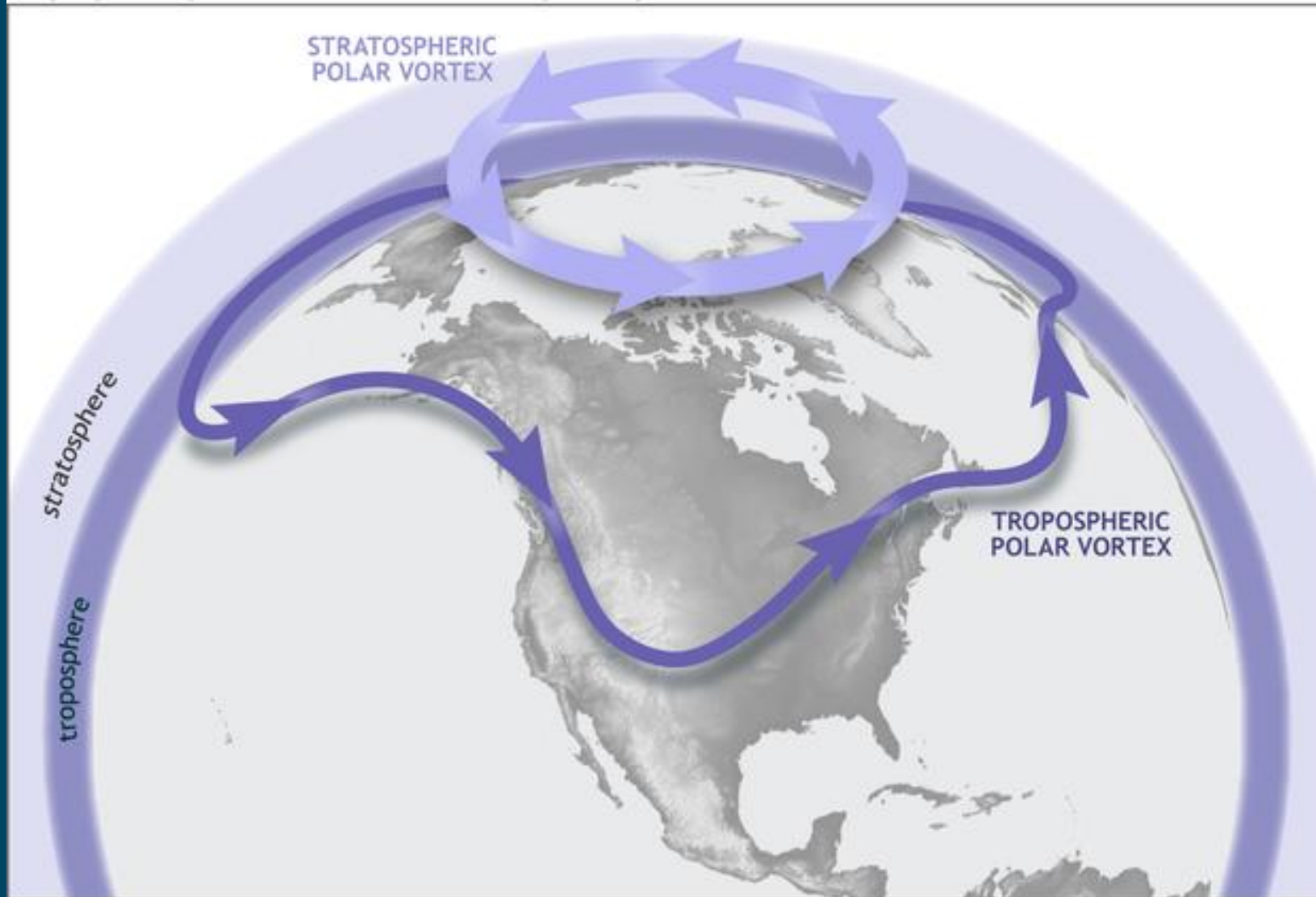
A sarki területek a leginkább érintettek

a sztratoszférikus és a troposzférikus poláris örvények (polar vortex, PV) csatolódásán keresztül.

Sztratoszférikus PV:
a félteke telén

Troposzférikus PV:
egész évben

Tropospheric polar vortex versus stratospheric polar vortex



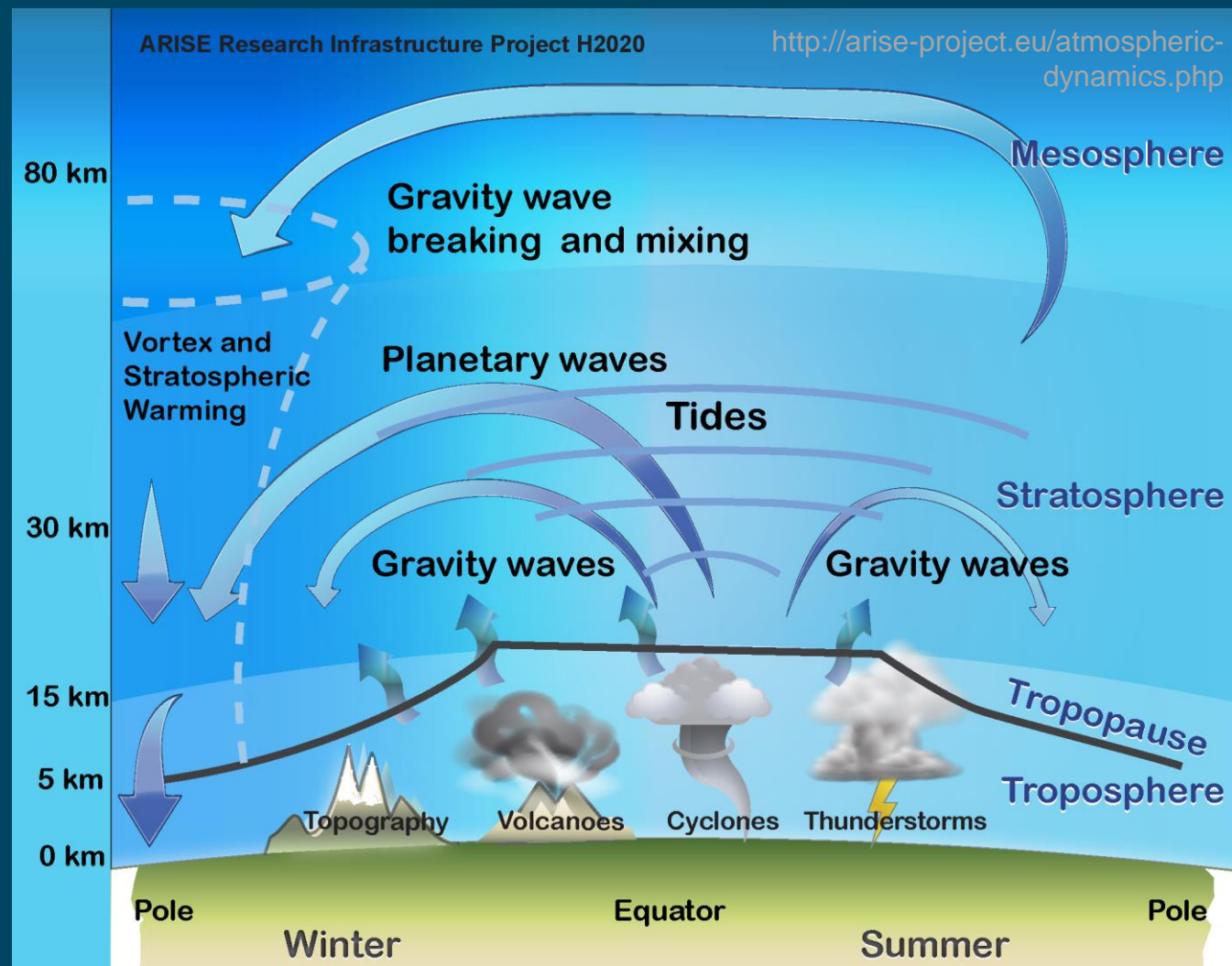


Az űridőjárás kapcsolata az időjárással?

A poláris örvények csatolása két irányú:

Felfelé a planetáris és a légköri gravitációs hullámok szállítanak energiát => hirtelen sztratoszférikus melegedésnek (SSW)

A lefelé való csatolásban a nagyenergiájú szoláris részecskezápörök (főleg elektronok - EEP) miatt a középső légkörben keletkező NO_x alászállása (=> sztratoszférikus ózon csökkenés) jellemző, illetve a troposzférikus szélrendszer modulálása is előfordulhat.





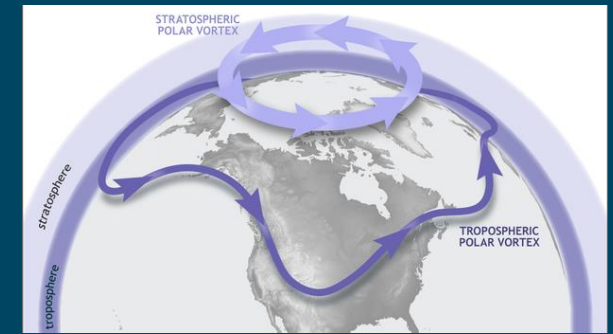
A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

HUN
REN



Földfizikai és
Űrtudományi
Kutatóintézet



Az űridőjárás kapcsolata az időjárással?

A nagyenergiájú elektronzáporok (EEP) az elsődleges erősítői a sztratoszférikus poláris örvénynek, ezt követi a tropikus kvázi-kétéves oszcilláció (QBO) extra-tropikus áramlásokat módosító hatása.

A két ható magyarázza az örvény változásainak 25-35%-át, amelyből 10-20% az EEP-nek tudható be. (Salminen et al., 2020)

A változások áttevéődhetnek a troposzférába és megjelenhetnek pl. az Atlanti Oszcilláció gyűrűs (NAM) és északi (NOA) módusaiban, amelyek a félteke telén befolyásolják a légnyomás- és hőmérséklet-eloszlást, illetve a szélrendszereket (hidegbetörések).

Az EEP hatás megjelenése ezekben meteorológiai paraméterekben statisztikus jellegű.
Nem találtak egy az egyben kapcsolatot a többszörös áttétel és az EEP általi energia betáplálás alacsony hatékonysága miatt.

(Vaugh et al., 2016; Nesse, ISSI Workshop 2024)

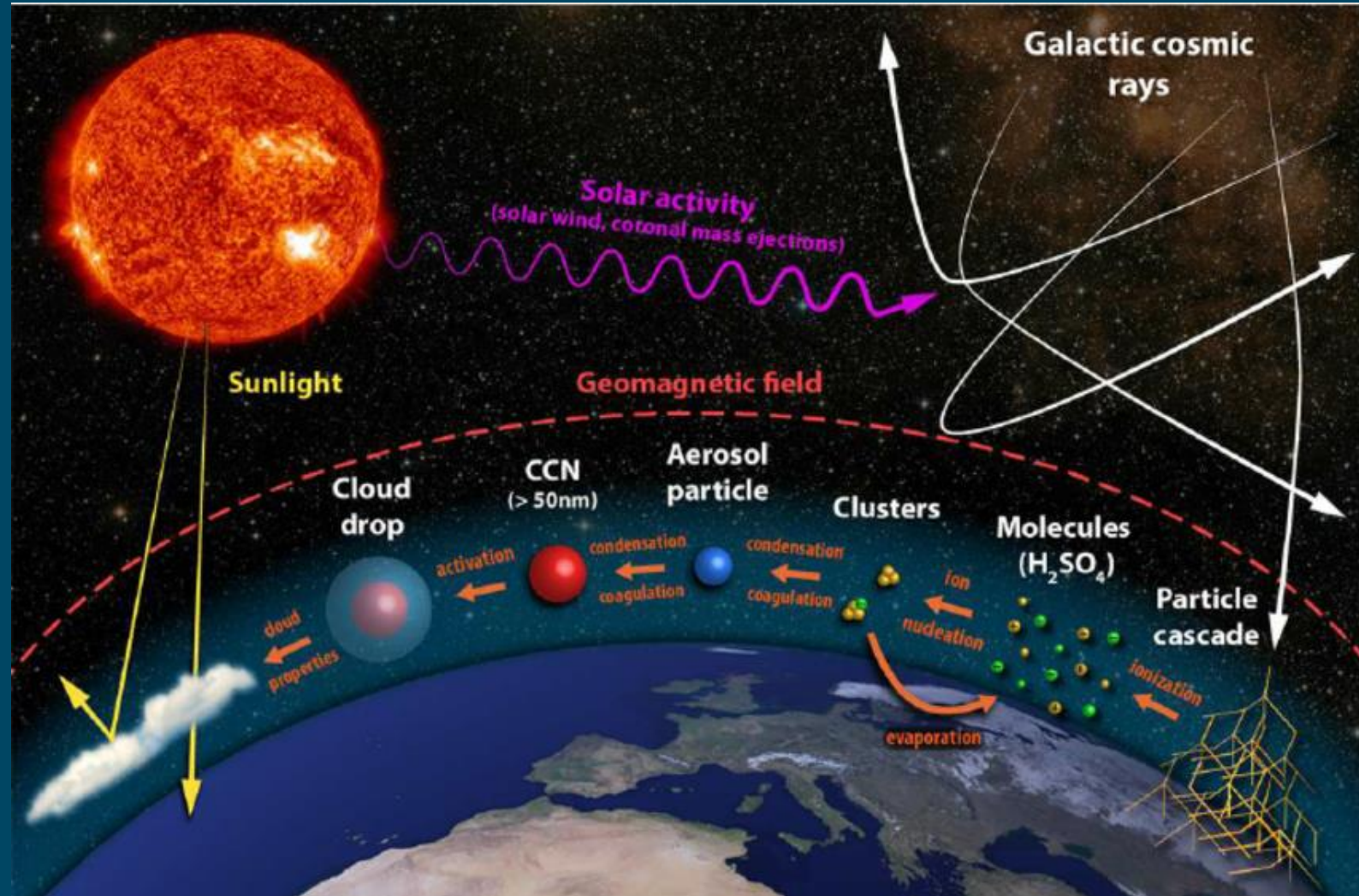


Az űridőjárás kapcsolata a felhőzettel?

A galaktikus kozmikus sugárzás (GCR) fluxusának modulációján keresztül?

Nincsenek konzisztens eredmények => nem állíthatjuk egyértelműen, hogy GCR fluxus változásának számottevő hatása lenne a felhőképződésre.

(Čalogović and Laken, 2015)

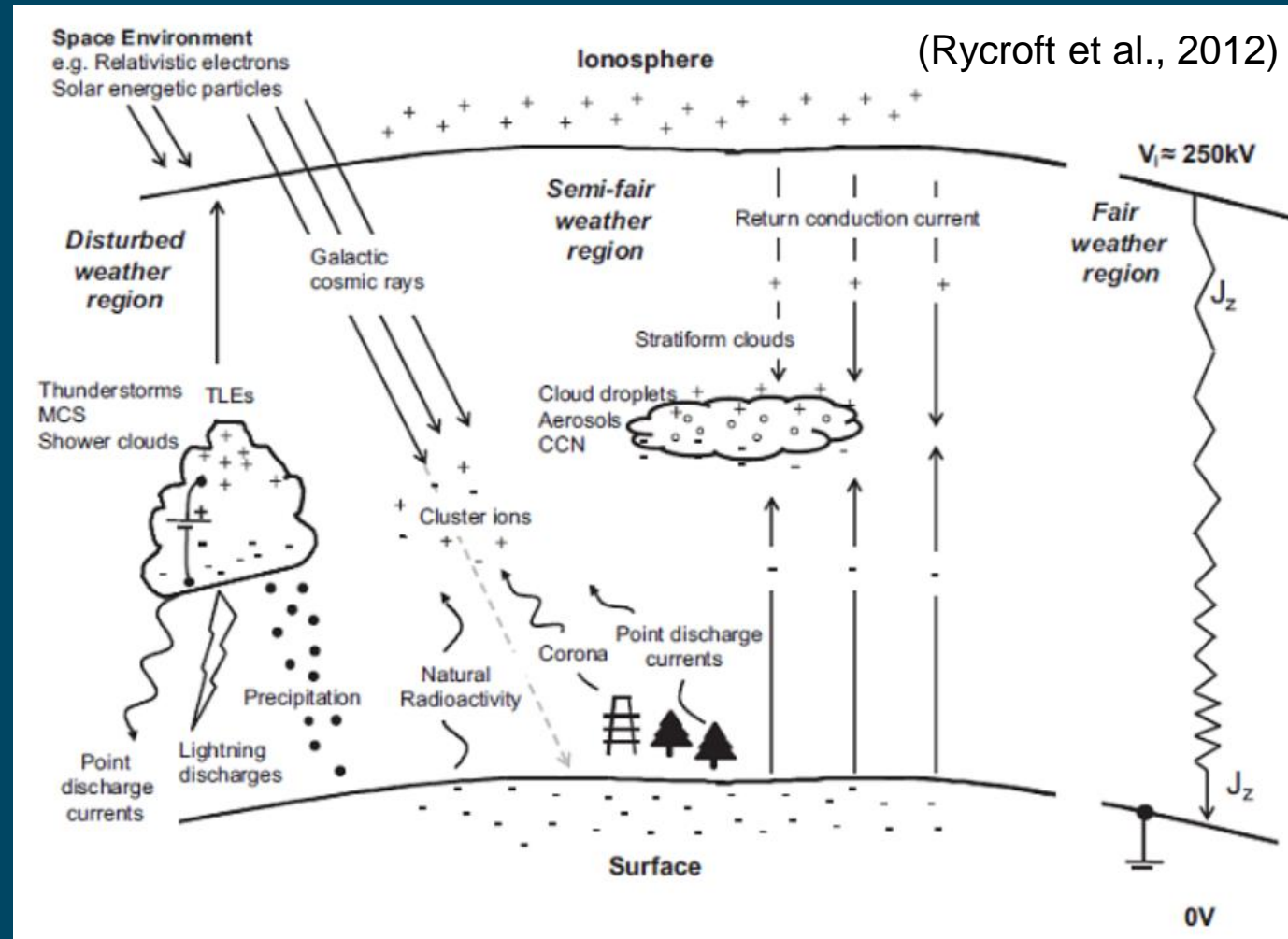




Az űridőjárás kapcsolata a felhőzettel?

A globális légköri áramkörön (GEC) keresztül?

Naptevékenység => galaktikus kozmikus sugárzás (GCR) => a levegő vezetőképessége => szépidő vertikális áram (J_z) => felhőelemek elektromos töltöttsége => megváltozó mikrofizikai tulajdonságok => megjelenés makro skálájú fizikai tulajdonságokban: felhőmagasság, homályosság, élettartam.



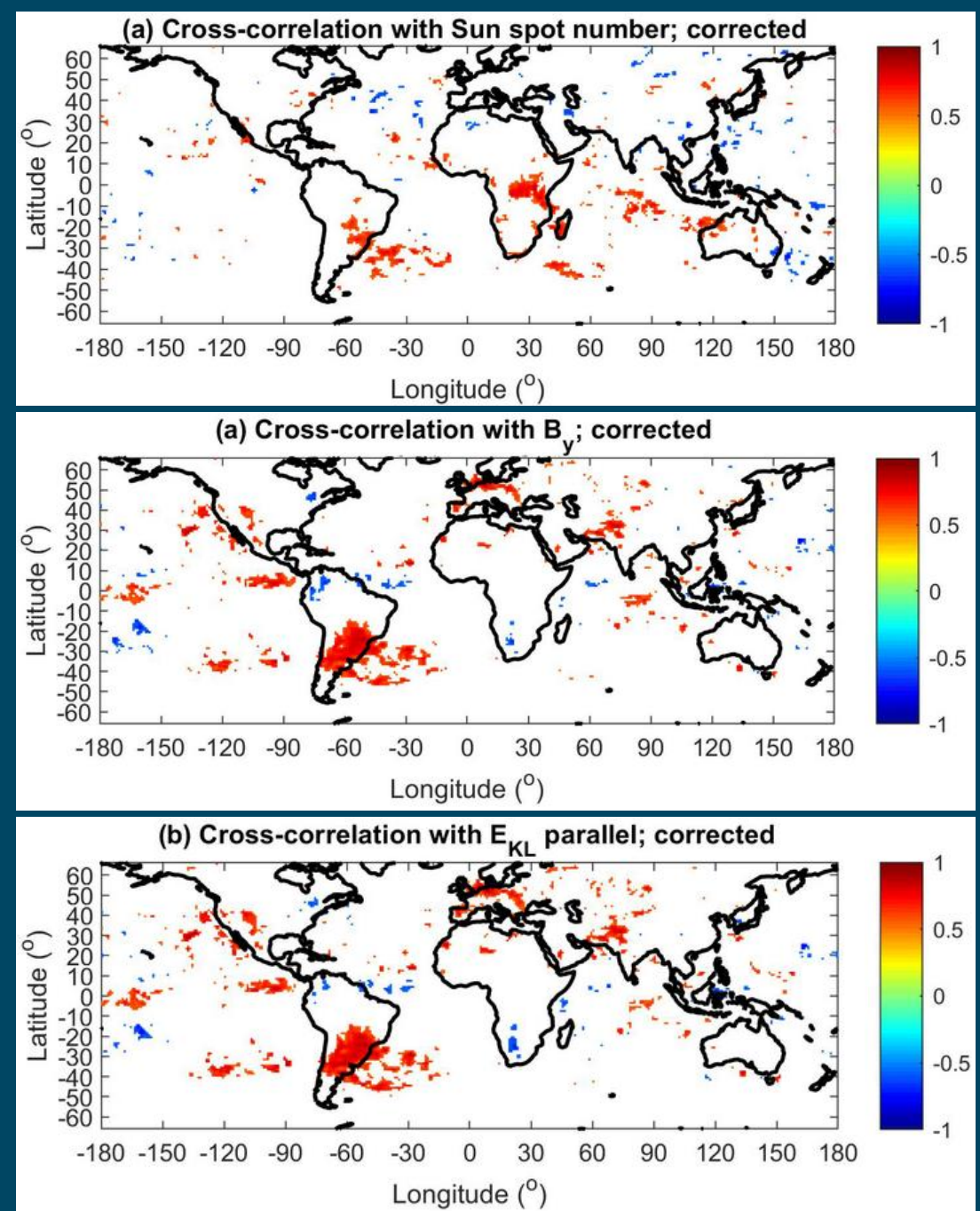
(Nicoll and Harrison, ISSI Workshop 2024)



Az űridőjárás kapcsolata a villámaktivitással

A 11 éves napciklus (napfoltszámok – SSN, röntgen sugárzás) és a villámaktivitás közötti korreláció ismeretes (Stringfellow, 1976; Schlegel et al., 2001, [Sátori et al., 2005](#)).

Korrelációt mutattak ki nagysebességű napszélnyalábok beérkezésével (Scott et al., 2014), illetve a bolygóközi mágneses tér B_y komponensével és a magnetoszféra uszályában az erővonalak összekapcsolódásából eredő elektromos térrel E_{KL} (Chum et al, 2024)

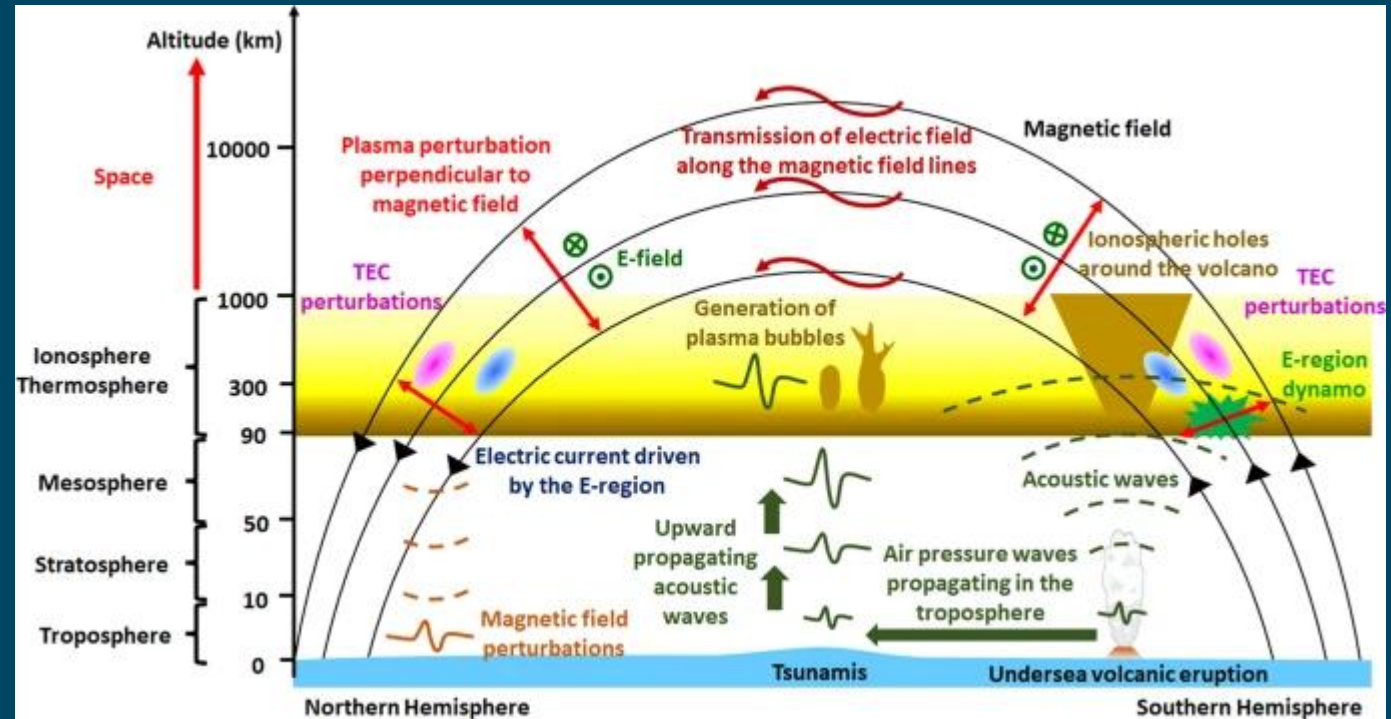


(Chum et al, 2024)



Az űridőjárást is befolyásoló troposzférikus folyamatok

- Légköri gravitációs hullámok, nem kizárólag a poláris örvényeknél



Shinbori et al., 2023

Ciklonok, zivatarok

(Barta et al., 2017, Koucka-Knizova et al. 2024)

Földrengések / szökőár (cunami)

(pl. Tohoku: Jin and Jin, 2014)

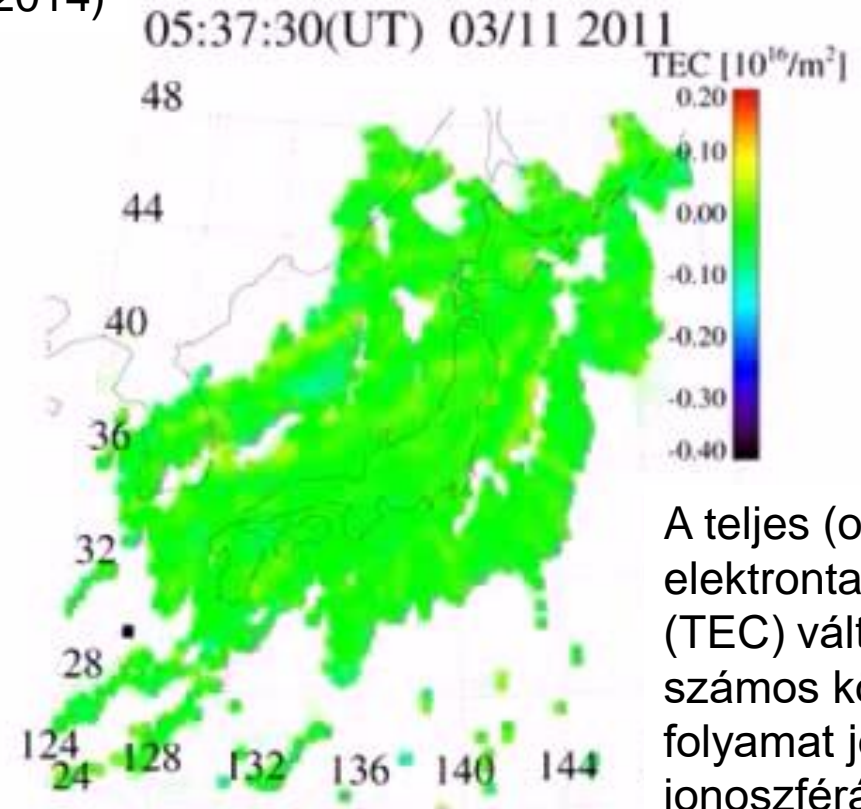
Vulkánkitörések (pl. Hunga-Tonga: Shinbori et al., 2023)



Az űridőjárást is befolyásoló troposzférikus folyamatok

- Légköri gravitációs hullámok, nem kizárólag a poláris örvényeknél

(Jin & Jin, 2014)



The TEC data are detrended with 10-min window

<https://www.youtube.com/watch?v=avxucheErk4>

Ciklonok, zivatarok

(Barta et al., 2017, Koucka-Knizova et al. 2024)

Földrengések / szökőár (cunami)

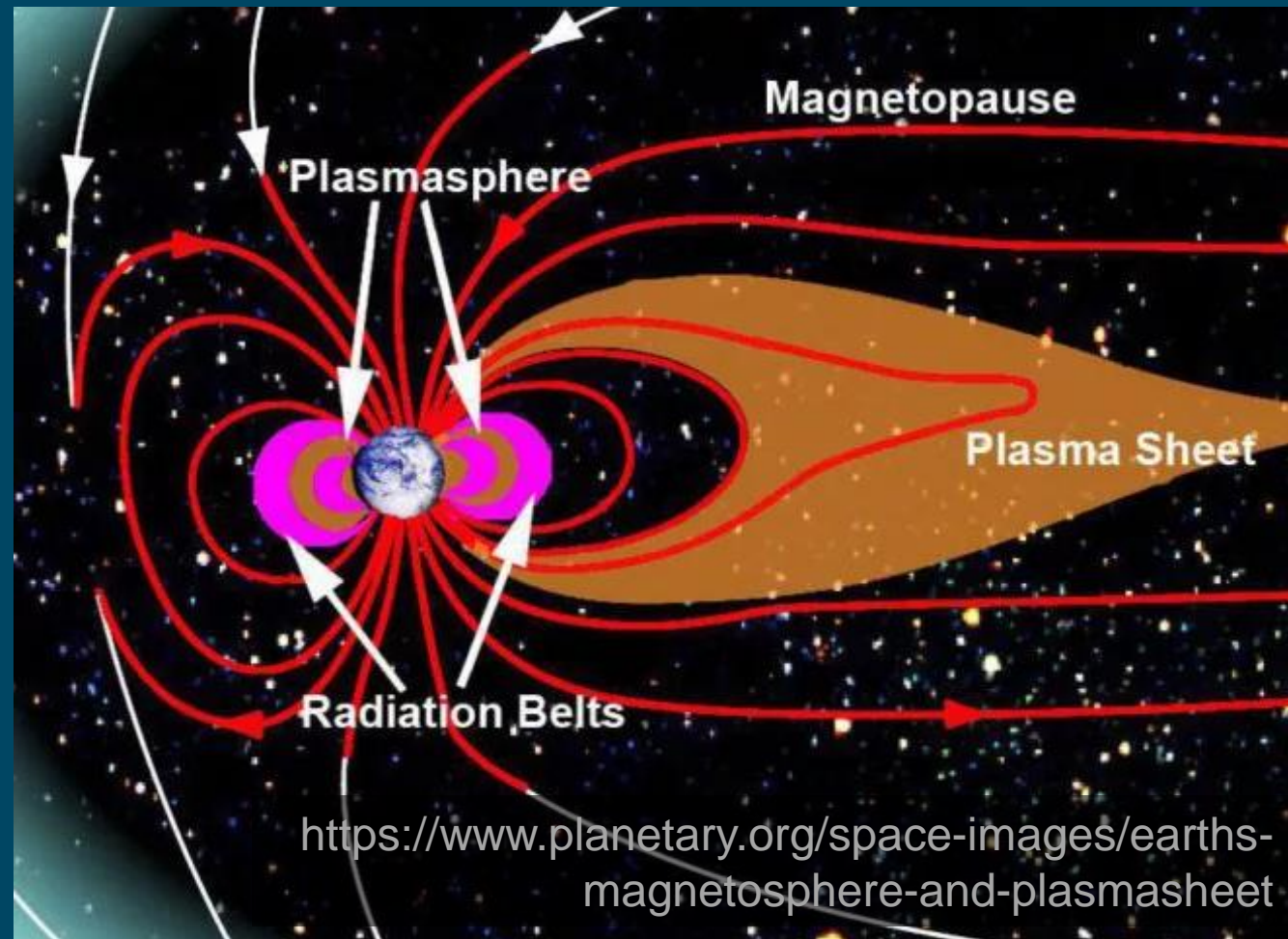
(pl. Tohoku: Jin and Jin, 2014)

Vulkánkitörések (pl. Hunga-Tonga: Shinbori et al., 2023)



Az űridőjárást is befolyásoló troposzférikus folyamatok

- Légköri gravitációs hullámok, nem kizárólag a poláris örvényeknél
- A van Allen övek közötti, a műholdak számára biztonságos tartomány létrejötte a villámoknak is köszönhető: a töltött részecskék kiszóródását okozó plazmaszférikus sziszegés (hiss, 0.3 - 10 kHz-es rádióhullámok) kialakulásához a villámok rádiósugárzása is hozzájárulhat. (Green et al., 2005)



Plazmaszféra (belső magnetoszféra): a külső régióhoz képest itt a szabad töltések sűrűsége nagyobb, a részecskék energiája viszont kisebb (hideg plazma)

Van Allen övek: a földmágneses tér által csapdába ejtett napszél elektronok, protonok, könnyű ionok

Biztonságos zóna a belső és a külső öv között:

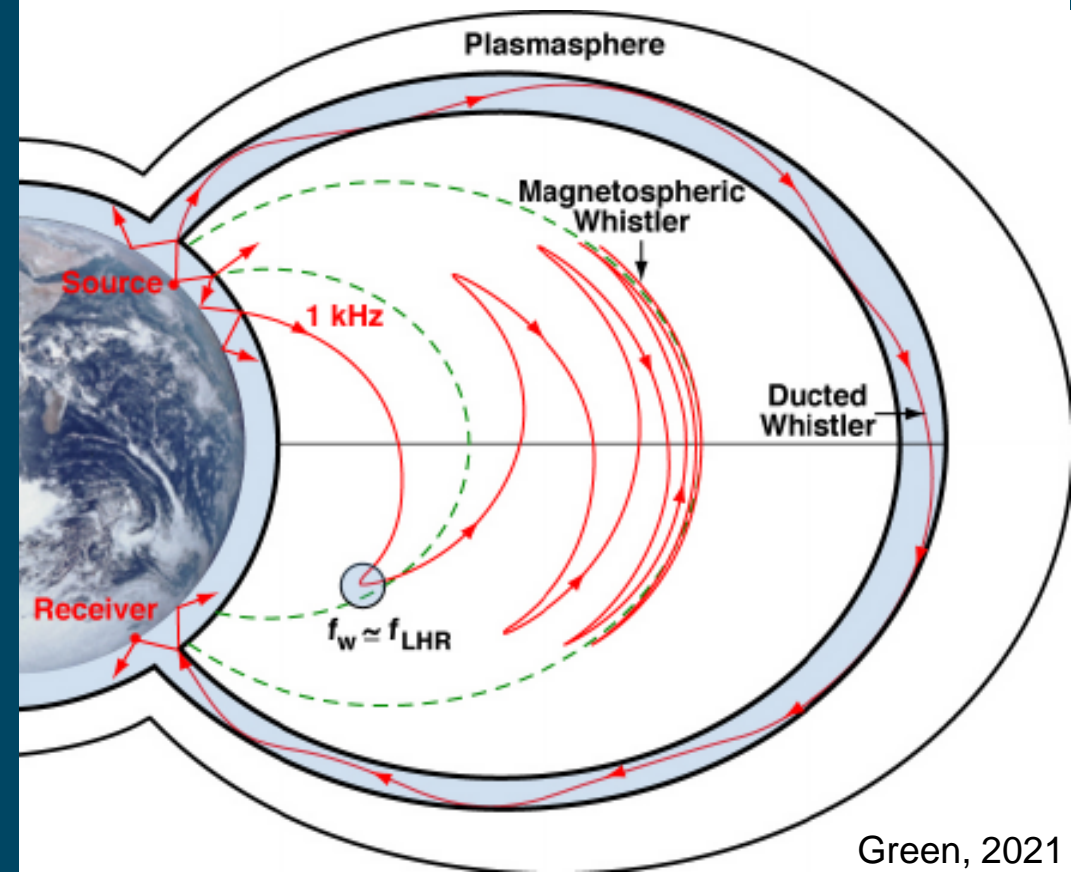
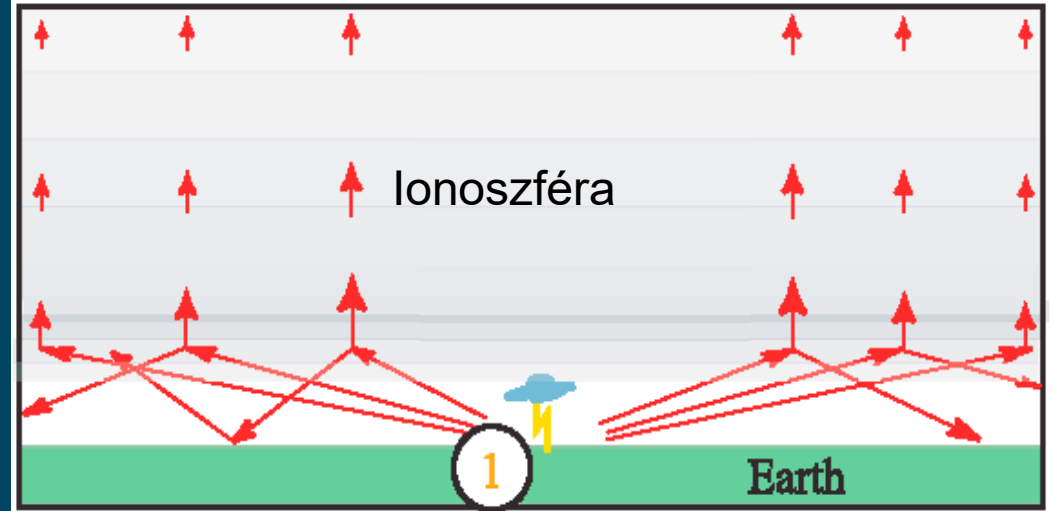
kb. 14000 km-es magasságban



Az űridőjárást is befolyásoló troposzférikus folyamatok

- Légköri gravitációs hullámok, nem kizárólag a poláris örvényeknél
- A van Allen övek közötti, a műholdak számára biztonságos tartomány létrejötte a villámoknak is köszönhető: a töltött részecskék kiszóródását okozó plazmaszférikus sziszegés (hiss, 0.3 - 10 kHz-es rádióhullámok) kialakulásához a villámok rádiósugárzása is hozzájárulhat. (Green et al., 2005)
- Elektron záporok (EEP események) kiváltása (Feinland et al., 2024)

Inan et al, 2010



Green, 2021



Összefoglalás I. – Az űridőjárás bemutatása

Az űridőjárás (space weather) a bolygóközi térben és a földközeli térségnek már a világűr részének tekinthető tartományában (kb. 100 km magasság felett a magnetoszférában és az ionoszférában) a fizikai tulajdonságok és az anyagtartalom viszonylag rövid, legfeljebb a földi időjáráséval összemérhető időskálán bekövetkező változékonysága, amelyet elsősorban a Nap felszínén és a koronájában zajló dinamikus folyamatok okoznak.

Az űridőjárás hatása gazdasági kockázati tényező az űreszközök működése, a földi és műholdas kommunikáció, illetve kritikus földi infrastruktúrák (pl. távvezeték hálózatok) vonatkozásában.



Összefoglalás II. – Az űridőjárás és a légkör kapcsolata (kb. 100 km alatt)

- Az űridőjárás hatása nyilvánvaló a sztratoszférikus poláris örvény erősítésében és az ózontartalom változásaiban.
- A troposzférikus poláris örvényre és az éghajlatra gyakorolt hatása áttételes és nem érhető egyértelműen tetten.
- A felhőképződésre gyakorolt hatást nem tudták egyértelműen igazolni.
- A globális légköri elektromos áramkörre gyakorolt hatás a galaktikus kozmikus sugárzás (GCR) fluxus modulációján keresztül megvalósul, de a felhőzet tulajdonságainak ettől való függését még vizsgálják.
- A zivatar- és villámaktivításra gyakorolt hatást kimutatták, ám a hatásmechanizmus egyelőre nem egyértelmű. A GCR szerepe valószínűsíthető.
- A troposféra folyamatai közül a légköri gravitációs hullámok és a villámok szerepet játszanak a földkörüli térségben az űridőjárás alakításában akár több tízezer km-es magasságban is.