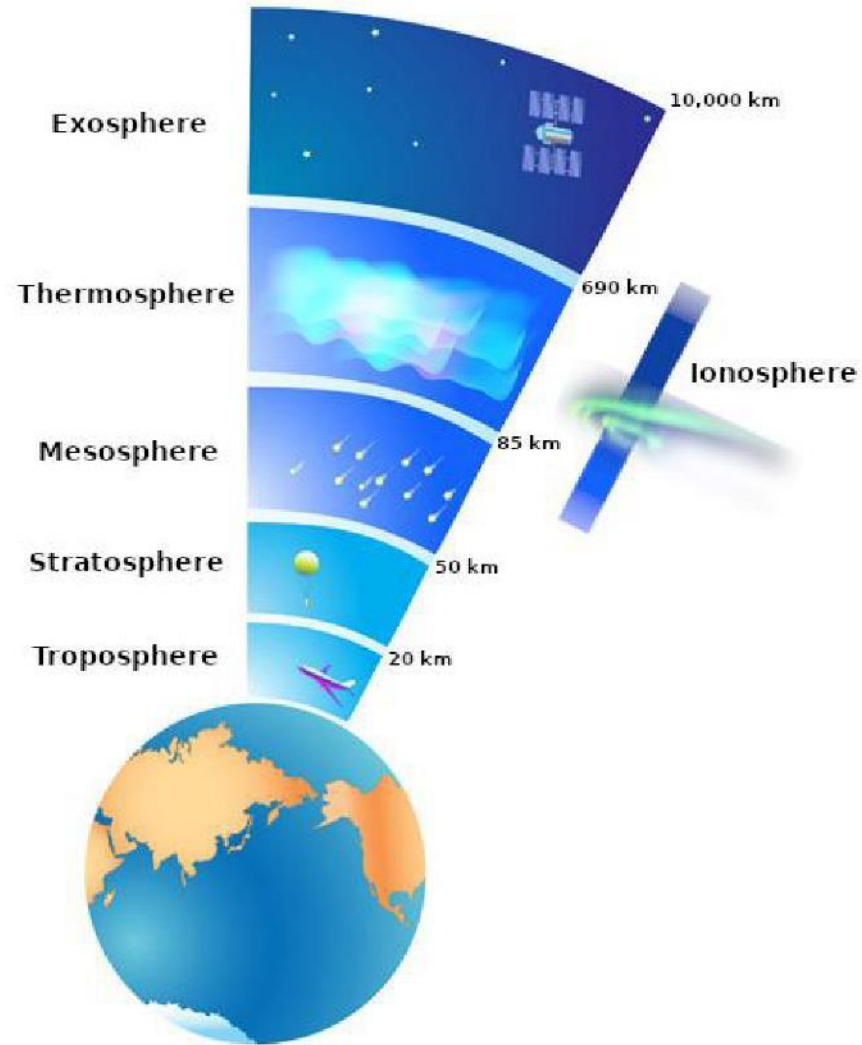


# GNSS mérések végrehajtása aktív ionoszféra idején

6. A gondok forrása az ionoszféra (egy kis fizika)

## A természeti környezet hatásai:

- a **troposzféra:**  
késleltetés jól modellezhető
- az **ionoszféra:**  
hatása frekvenciafüggő



### **Ionoszféra**

*a földi légkör és a világűr határvidéke*

## Ionoszféra: „A felső légkörnek a nap sugárzása által ionizált tartománya” (wikipedia)

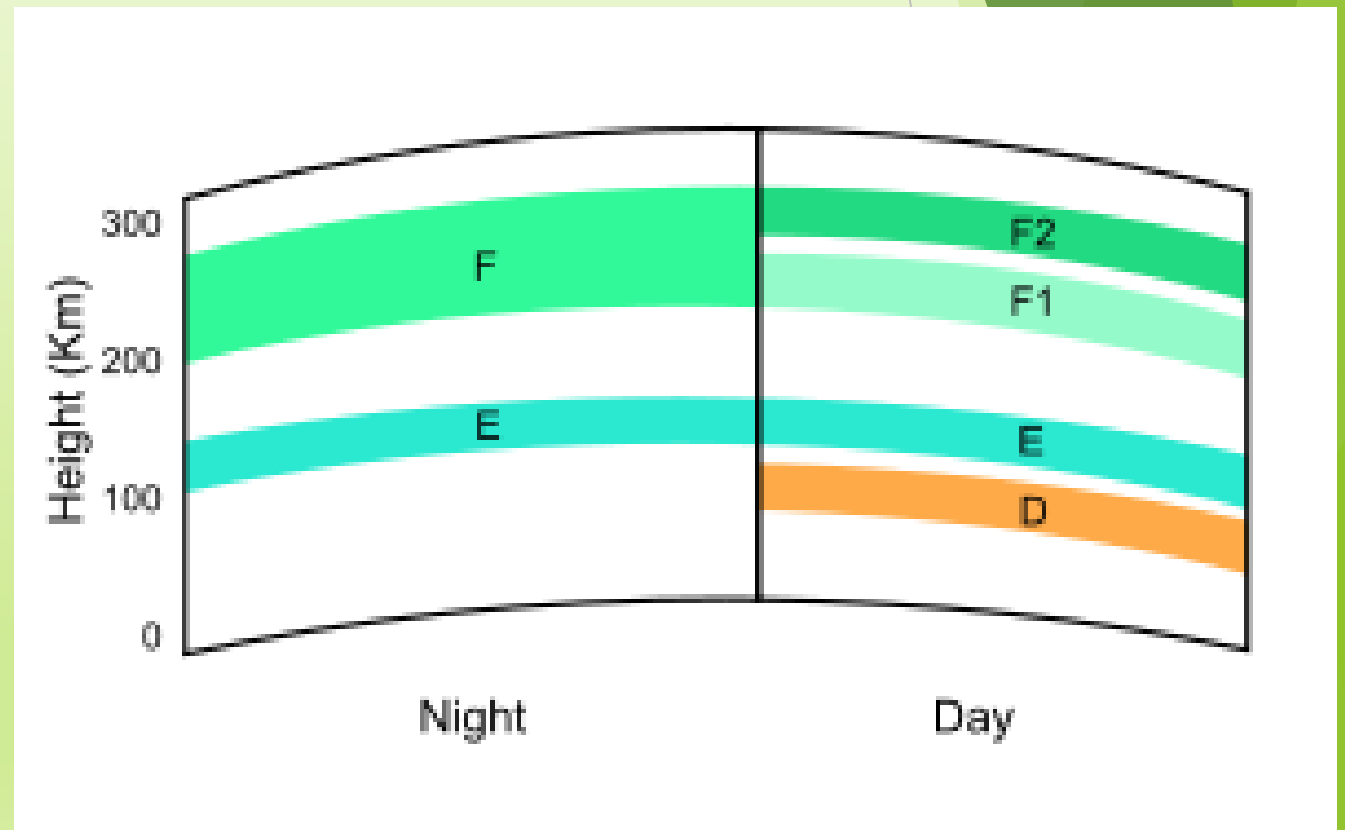
- Az *ionizáció* az a folyamat, melynek során elektromosan semleges atom vagy molekula pozitív vagy negatív töltésű lesz, annak megfelelően, hogy elektront veszít vagy elektront vesz fel a környezetéből. A Föld felső légkörében sokkal gyakrabban jönnek létre pozitívan töltött ionok (elektron eltávolításával), mint negatív töltésűek (elektron felvételével). Ezeket az elektronokat vagy a Napból származó nagy energiájú fotonok (többnyire UV- és röntgensugarak) „ütik ki”, vagy gyors részecskék semleges gázzal való ütközése során jönnek létre.

-Az ionoszféra periodikusan változik, mivel fő forrása, a Napból eredő UV- és röntgensugárzás erőssége a Nap pozíciójának függvénye. Ha a megfigyelő elmozdul akár az észak-déli égtájak irányában, akár a bolygó éjszakai oldala felé, a sugárzás ereje csökken, mert a Napból a Földre érkező sugarak beesési szöge kisebb lesz.

-Az ionizáció a D tartományban a legkisebb az ionoszféra tartományai közül.

-Az E tartomány 90 és 120 km között helyezkedik el. Főleg lágy röntgensugarak és UV-sugárzás hozza létre, amelyek az oxigénmolekulákra hatnak. Az E tartomány legnagyobb sűrűsége kb. 100-szorosa a D tartomány legnagyobb sűrűségének

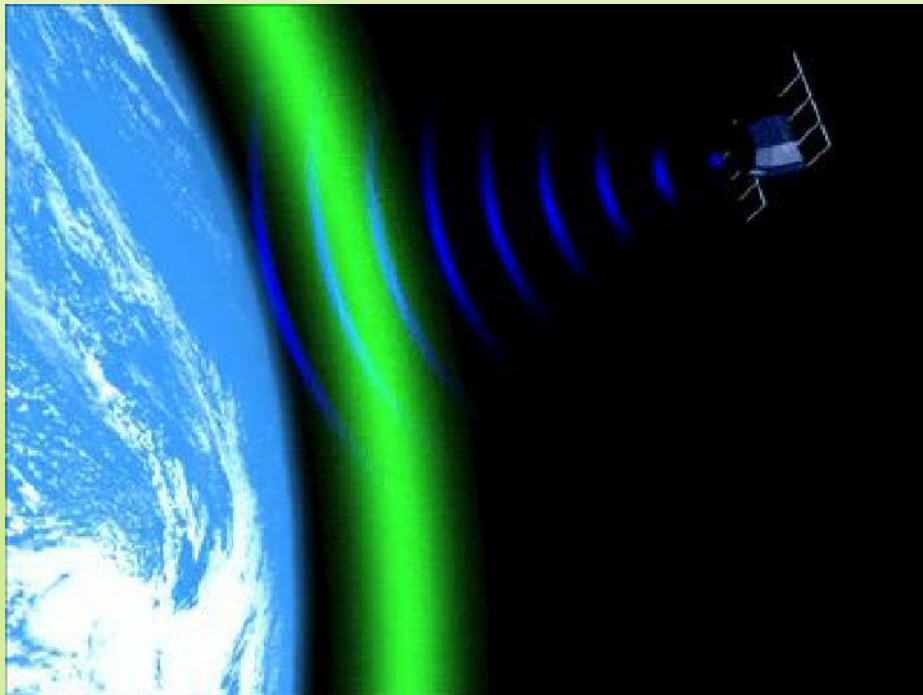
-Az ionoszféra legsűrűbb területe az F tartomány (gyakorlatilag a teljes magnetoszféra), ez 120 és 300 km között található. E fölött a sűrűség lassan csökken, és átmenet nagyjából az 1000 km-es magasságba tehető, ahol ionoszférában domináló oxigénionok helyét átveszik a plazmaszférát alkotó hidrogénionok.



Az ionizáció mértékére jellemző mennyiség:  
**TEC** (total electron content)

**TEC:** két pont között (adó és vevő) 1 m<sup>2</sup>-es alapterületű oszlopban lévő szabad elektronok száma

Általánosan használt TEC egység (TEC unit):  
**1 TECU** = 10<sup>16</sup> elektron/m<sup>2</sup>



Az időkézés mértéke jó közelítéssel

$$\tau = \kappa / f^2 * \text{TEC},$$

ahol a  $\kappa$  állandó értéke 40,3 m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>

Például a GPS L1 frekvenciáján ( $f = 1575,42$  MHz) a jelek késleltetése a vákuumbeli fénysebességgel való terjedéshez képest minden 1 TECU elektrontartalomra vonatkoztatva 0,162 m

A GPS gyakorlati megoldása: mérés **két frekvencián**  
Az adatok megfelelő kombinációjával az ionoszféra frekvenciafüggő (diszperzív) késleltető hatását jórészt „ki lehet ejteni”

Az ionoszféra egyes rétegei külön-külön is mind térben, mind időben rendkívül változékonyak, az egyes nagyobb vezetőképességű rétegek határai nem élesek. Ezért általában inkább a “tartomány” kifejezés használatát részesítik előnyben a “réteg” elnevezéssel szemben.

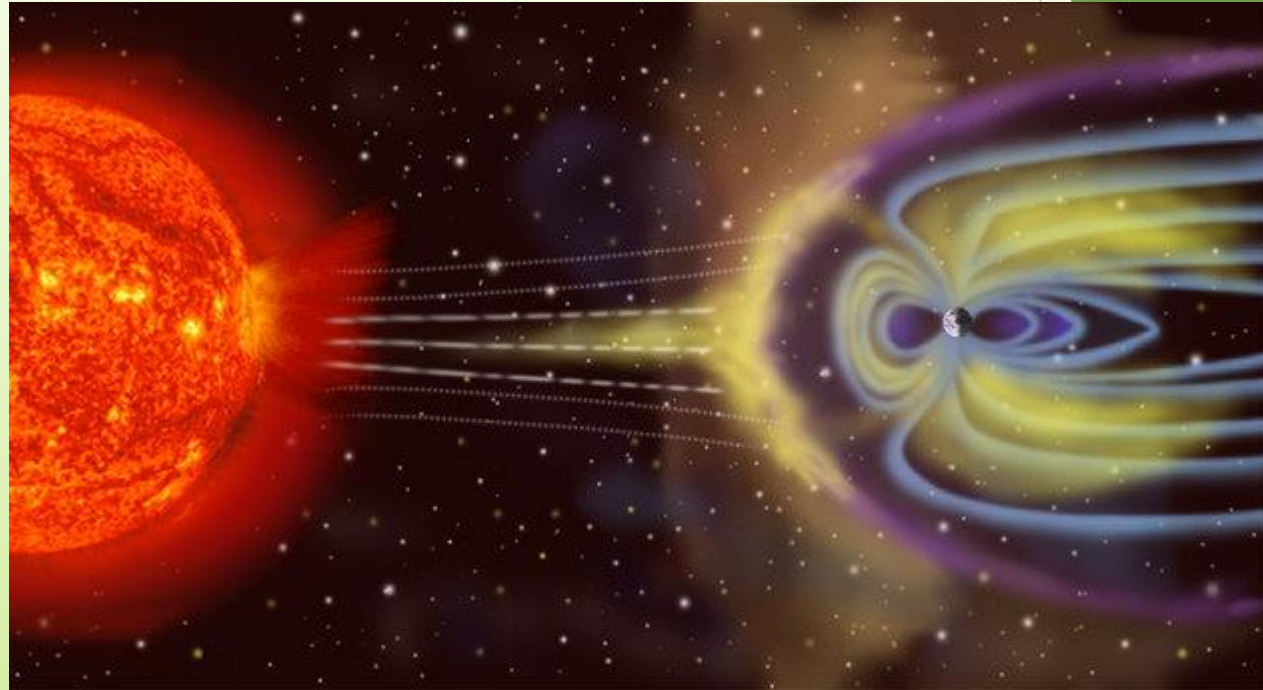
Napkitörések alkalmával a szoláris ionizáló sugárzások intenzitása a többszörösére növekszik. Hatásuk azonnal megjelenik, amint a kitörés hullámai eléri a Földet (1 - 3 nap). A rádióhullámok terjedését nagymértékben befolyásolják az alsó ionoszférában (is) bekövetkező változások

Ezeket a jelenségeket összefoglalóan „hirtelen ionoszférikus zavaroknak” (**SID** - Sudden Ionospheric Disturbances) nevezik. Ezek a zavarok főleg a röntgen sugárzás több nagyságrenddel megnövekvő intenzitásának, és kisebb mértékben az ugyancsak megnőtt intenzitású extrém ultraibolya sugárzásnak a következményei. Bár a flerek hatása nem elhanyagolható az F rétegekben sem, a változások legmarkánsabban az E és a D tartományokban jelentkeznek. A flerek néhány perctől akár több óráig is tarthatnak, hatásuk az egész nappali féltekét érinti és helyileg kizárólag a nap zenittávolságától függ.

## Naptevékenység, fler, koronakidobódás:

- 1859-es úgynevezett Carrington-esemény
- 1989 március Quebec (Kanada)

A Nap légkörében zajló folyamatok egyik fő meghatározó ereje a csillag mágneses terének bonyolult szerkezete. Az ebben fellépő instabilitás hatására a légkör felső rétegéből, a koronából időnként elektromosan töltött anyag tömeg lökődik ki a bolygóközi térbe: ez a jelenség a koronakidobódás (*coronal mass ejection, CME*). Ezek gyakorisága és erőssége is a napciklus aktuális szakaszától függ: a maximumhoz közeledve akár naponta három is bekövetkezik, míg a minimum idején átlagosan ötnaponta jön létre egy.



A **napkitörés** a naptevékenység leglátványosabb, és legerősebb földi hatásokkal rendelkező megnyilvánulása, melynek során együtt jelentkeznek az alábbi három naptevékenységi jelenség:

- **Fler**, vagyis a naplégkör egy körülhatárolt részének hirtelen, erős kifényesedése.
- **Koronakidobódás**, vagyis a napkorona egy darabjának kilökődése a bolygóközi térbe.
- **Eruptív protuberancia**, vagyis egy, a napkoronában hosszú ideje egy helyben lebegő, a környező gáznál sűrűbb és hidegebb felhő (nyugodt protuberancia) hirtelen, gyorsuló felemelkedése és elszállása.

A fenti jelenségek egymástól függetlenül is előfordulnak, de az esetek mintegy 50-75%-ában együttesen következnek be, napkitörés keretében. Különösen a legnagyobb flerek, koronakidobódások és eruptív protuberanciák lépnek fel szinte mindig együttesen.

## Naptevékenység, fler, koronakidobódás:

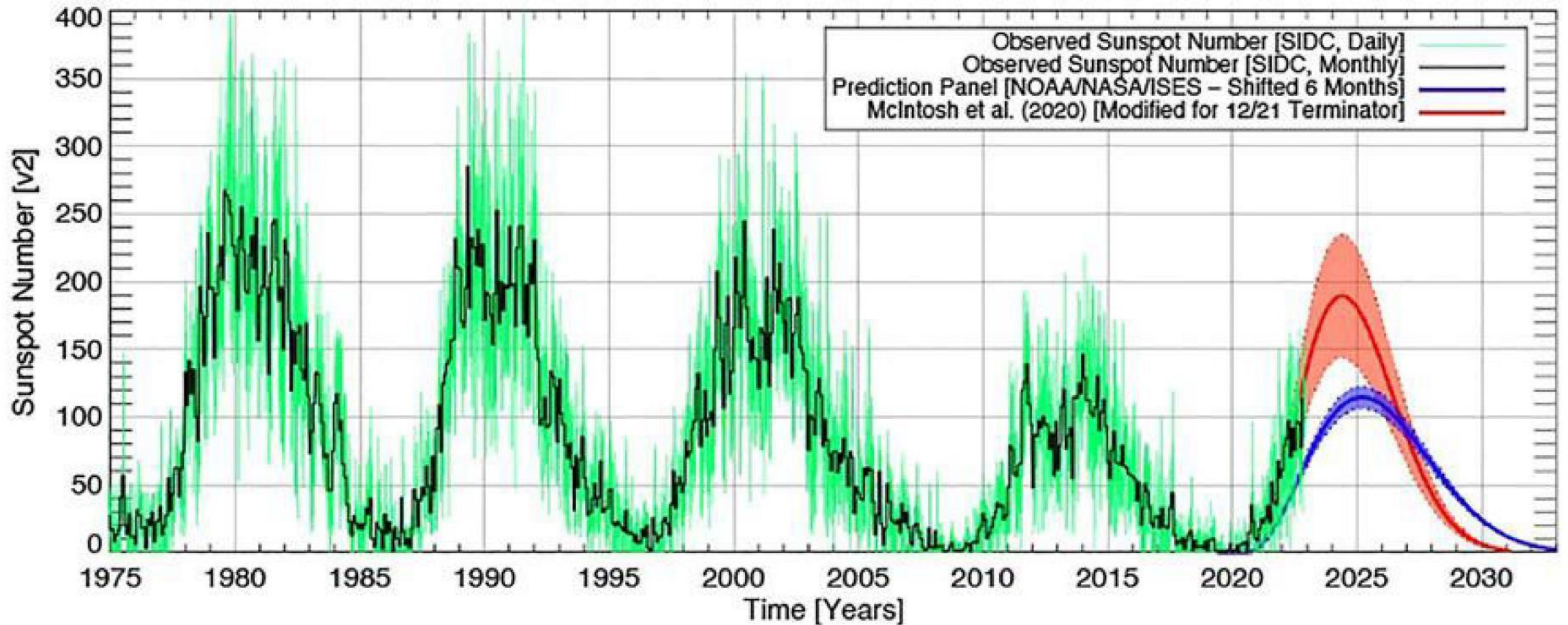
### Földi hatások:

- Erős flerek idején jelentősen megnő a földi felsőlégkörben és bolygónk kozmikus környezetében a nagyenergiájú sugárzások erőssége. Ez elsősorban a röntgen- és gamma-sugárzásra vonatkozik, továbbá, ha a Föld a flerből kiinduló részecskenyaláb útjába esik, akkor a töltött részecskék (elsősorban protonok) áramára is. Ezek komoly kárt okozhatnak a geostacionárius műholdakban és űrszondákban (2022-ben SpaceX 300 km alatti pályán 42-ből 38-at letérített); a töltött részecskék továbbá egészségi kockázati tényezőt jelentenek pilóták és űrhajósok esetében. Megszűnne a felső légkör ionizált D-rétege.
- A flereket kísérő rádiókitörések megzavarhatják, vagy megszüntethetik a Föld nappali oldalán a rádiós kommunikációt és a radarok működését. Ez jelentősen megnehezítené vagy lehetetlenné tenné a repülőutakat a sarkok körzetében (ez a körzet ilyen esetben a mérsékelt égövig is lenyúlhat).
- Ha a Föld a kidobott anyag útjába esik, a földi magnetoszférának ütközve mágneses vihart okozhat. A vihar megzavarhatja a navigációt, megbolondítva az iránytűket. Emellett a mágneses tér gyors ingadozása erős kóboráramokat indukálhat az elektromos berendezésekben, ami olykor - elsősorban magas földrajzi szélességeken, például Kanada, Skandinávia - nagy területeket érintő áramkimaradásokhoz vezet.
- A magnetoszférában - a Van Allen-övekben - állandóan jelen levő töltött részecskék a mágneses vihar következtében a sarkvidékeknél bejuthatnak a Föld felső légkörébe, ott a sarki fény néven ismert fényjelenséget okozva.
- A légkör elvesztheti ózonrétegének 10-50 %-át, ami a bőrrákos megbetegedések számának növekedéséhez vezet.
- A világos éjszakai égbolt megzavarja az állatok életciklusait és felborítja mindennapi életük rendjét.
- A protonok áramlása magreakcióba lépne a légkör oxigén és nitrogén atomjaival. Ennek eredménye nagysebességű neutronáramlás jönne létre, ami elérhetné a földfelszínt is. Ennek következménye a számítógépes rendszerek összeomlása, mert a memóriákban lévő aktuális tartalom felülíródna.

## Naptevékenység, fler, koronakidobódás:

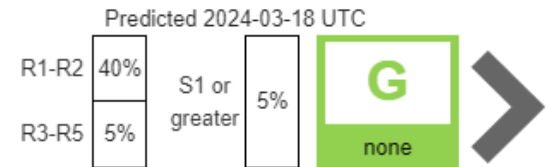
11 éves ciklus

mágneses pólusváltás - a csúcshoz közel van a legtöbb mágneses jelenség is





SPACE WEATHER CONDITIONS on NOAA Scales



Solar Wind Speed: **293** km/sec

Solar Wind Magnetic Fields: Bt **4** nT, Bz **4** nT

Noon 10.7cm Radio Flux: **151** sfu



Former RGN 3590 Detected Beyond the Limb

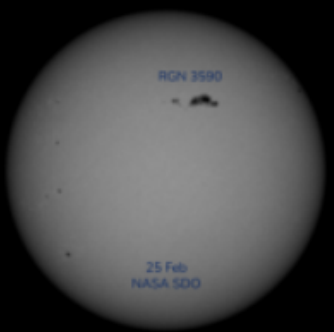
Updated  
13 Mar 2024  
1030 EDT

WHAT: NSO GONG Helioseismology Appears to have Detected the Old Region

Former Active Region 3590 Detected on the Sun's Far Side

published: Wednesday, March 13, 2024 14:32 UTC

Former Active Region 3590 appears to have been detected in NSO Gong helioseismol



Register today for Space Weather Workshop 2024!

published: Monday, March 11, 2024 18:49 UTC

The workshop will be held in person along with a virtual component, April 15-19, 2024 in Boulder, CO

POSTPONEMENT of Planned Network Outage

published: Tuesday, March 05, 2024 22:09 UTC

The SWPC Network upgrade originally scheduled for March 6, 2024, has been postponed. We are working with our engineers to determine the next oppor

Release of Experimental Upgrade to the Electric Power Community Dashboard

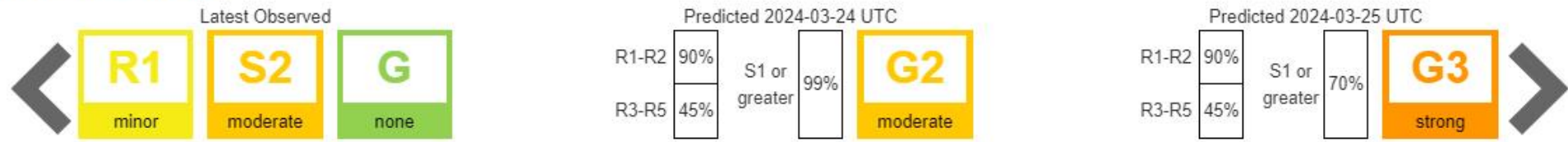
published: Monday, March 04, 2024 17:24 UTC

Effective February 29, 2024, NOAA/SWPC will deploy an experimental version an updated Electric Power

Behemoth Region 3590 Noted on the Sun's Far Side

Do you remember the large sunspot group Region 3590?! Well, its presence on the Sun's far side may have been detected by NSO GONG Helioseismology. The giant active region rotated out of view, beyond the northwestern limb in early March. It's no surprise the region may still be present due to its massive size and strong magnetic structure; however, whether the spot group is still complex or persists until it rotates back into Earth-view is yet to be seen.

**SPACE WEATHER CONDITIONS** on NOAA Scales



Solar Wind Speed: **570** km/sec

Solar Wind Magnetic Fields: Bt **7** nT, Bz **6** nT

Noon 10.7cm Radio Flux: **209** sfu

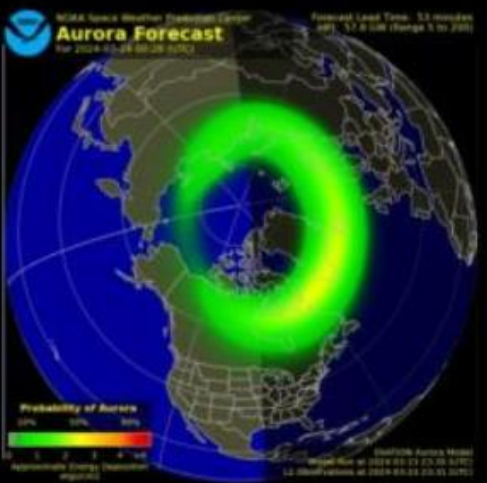
**MODERATE Geomagnetic Storm ALERT**  
Updated 2024 Mar 23 1939 EST/EDT  
WHAT: Geomagnetic responses increased and G2 levels reached

**G2 KEY MESSAGES**

**What is a moderate geomagnetic storm?**  
A less common, moderately intense disturbance in Earth's magnetic field. It often varies intensity between lower levels and moderate storm conditions over the course of some hours during the duration of the event.

**What you should do?**  
The general public need not be concerned. Those under or near the 30-minute predicted auroral extent may look for the aurora if at night and should weather conditions permit.

**Possible Technology Effects**  
Slight risk for some controllable power fluctuations in elements of the power grid. Generally negligible impacts for short duration events to spacecraft operations.



**G2 (Moderate) Geomagnetic Storm Levels Observed**  
published: Saturday, March 23, 2024 23:51 UTC  
G2 (Moderate) geomagnetic storming conditions were observed beginning at approximately 23/2320 UTC in response to negative polarity CH HSS and tran

**Geomagnetic Storm Watches Issued for 24-25 March 2024**  
published: Saturday, March 23, 2024 19:23 UTC  
A CME associated with an X1.1 flare observed at 23/0133 UTC is expected to arrive at Earth late on 24 Mar through 25 Mar.

**Solar Radiation Storms at S1-S2 (Minor-Moderate) Levels - 23 March 2024**  
published: Saturday, March 23, 2024 15:34 UTC

**Halo CME Detected - Associated with X1 Flare on 23 March UTC-Day**  
published: Saturday, March 23, 2024 07:07 UTC  
A halo CME, associated with the X1 flare, was detected in NASA/SOHO coronagraph imagery on the 23 March UTC-day.

## Radio Blackouts

Scale	Description	Effect	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
R 5	<b>Extreme</b>	<p><b>HF Radio:</b> Complete HF (high frequency) radio blackout on the entire sunlit side of the Earth lasting for a number of hours. This results in no HF radio contact with mariners and en route aviators in this sector.</p> <p><b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals used by maritime and general aviation systems experience outages on the sunlit side of the Earth for many hours, causing loss in positioning. Increased satellite navigation errors in positioning for several hours on the sunlit side of Earth, which may spread into the night side.</p>	X20 ( $2 \times 10^{-3}$ )	Less than 1 per cycle
R 4	<b>Severe</b>	<p><b>HF Radio:</b> HF radio communication blackout on most of the sunlit side of Earth for one to two hours. HF radio contact lost during this time.</p> <p><b>Navigation:</b> Outages of low-frequency navigation signals cause increased error in positioning for one to two hours. Minor disruptions of satellite navigation possible on the sunlit side of Earth.</p>	X10 ( $10^{-3}$ )	8 per cycle (8 days per cycle)
R 3	<b>Strong</b>	<p><b>HF Radio:</b> Wide area blackout of HF radio communication, loss of radio contact for about an hour on sunlit side of Earth.</p> <p><b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals degraded for about an hour.</p>	X1 ( $10^{-4}$ )	175 per cycle (140 days per cycle)
R 2	<b>Moderate</b>	<p><b>HF Radio:</b> Limited blackout of HF radio communication on sunlit side, loss of radio contact for tens of minutes.</p> <p><b>Navigation:</b> Degradation of low-frequency navigation signals for tens of minutes.</p>	M5 ( $5 \times 10^{-5}$ )	350 per cycle (300 days per cycle)
R 1	<b>Minor</b>	<p><b>HF Radio:</b> Weak or minor degradation of HF radio communication on sunlit side, occasional loss of radio contact.</p> <p><b>Navigation:</b> Low-frequency navigation signals degraded for brief intervals.</p>	M1 ( $10^{-5}$ )	2000 per cycle (950 days per cycle)



# Úridőjárás: <https://www.swpc.noaa.gov/> Protonok fluxusa egy geostacionárius műhold (a GOES) mérésében

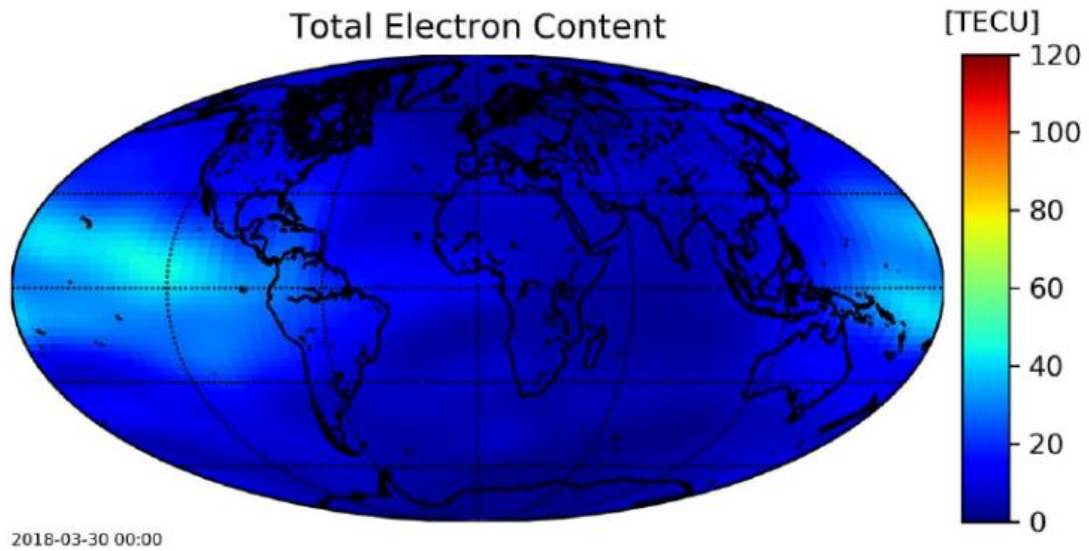
## Solar Radiation Storms

Scale	Description	Effect	Physical measure (Flux level of ≥ 10 MeV particles)	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
S 5	<b>Extreme</b>	<p><b>Biological:</b> Unavoidable high radiation hazard to astronauts on EVA (extra-vehicular activity); passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.</p> <p><b>Satellite operations:</b> Satellites may be rendered useless, memory impacts can cause loss of control, may cause serious noise in image data, star-trackers may be unable to locate sources; permanent damage to solar panels possible.</p> <p><b>Other systems:</b> Complete blackout of HF (high frequency) communications possible through the polar regions, and position errors make navigation operations extremely difficult.</p>	$10^5$	Fewer than 1 per cycle
S 4	<b>Severe</b>	<p><b>Biological:</b> Unavoidable radiation hazard to astronauts on EVA; passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.</p> <p><b>Satellite operations:</b> May experience memory device problems and noise on imaging systems; star-tracker problems may cause orientation problems, and solar panel efficiency can be degraded.</p> <p><b>Other systems:</b> Blackout of HF radio communications through the polar regions and increased navigation errors over several days are likely.</p>	$10^4$	3 per cycle
S 3	<b>Strong</b>	<p><b>Biological:</b> Radiation hazard avoidance recommended for astronauts on EVA; passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to radiation risk.</p> <p><b>Satellite operations:</b> Single-event upsets, noise in imaging systems, and slight reduction of efficiency in solar panel are likely.</p> <p><b>Other systems:</b> Degraded HF radio propagation through the polar regions and navigation position errors likely.</p>	$10^3$	10 per cycle
S 2	<b>Moderate</b>	<p><b>Biological:</b> Passengers and crew in high-flying aircraft at high latitudes may be exposed to elevated radiation risk.</p> <p><b>Satellite operations:</b> Infrequent single-event upsets possible.</p> <p><b>Other systems:</b> Small effects on HF propagation through the polar regions and navigation at polar cap locations possibly affected.</p>	$10^2$	25 per cycle
S 1	<b>Minor</b>	<p><b>Biological:</b> None.</p> <p><b>Satellite operations:</b> None.</p> <p><b>Other systems:</b> Minor impacts on HF radio in the polar regions.</p>	10	50 per cycle

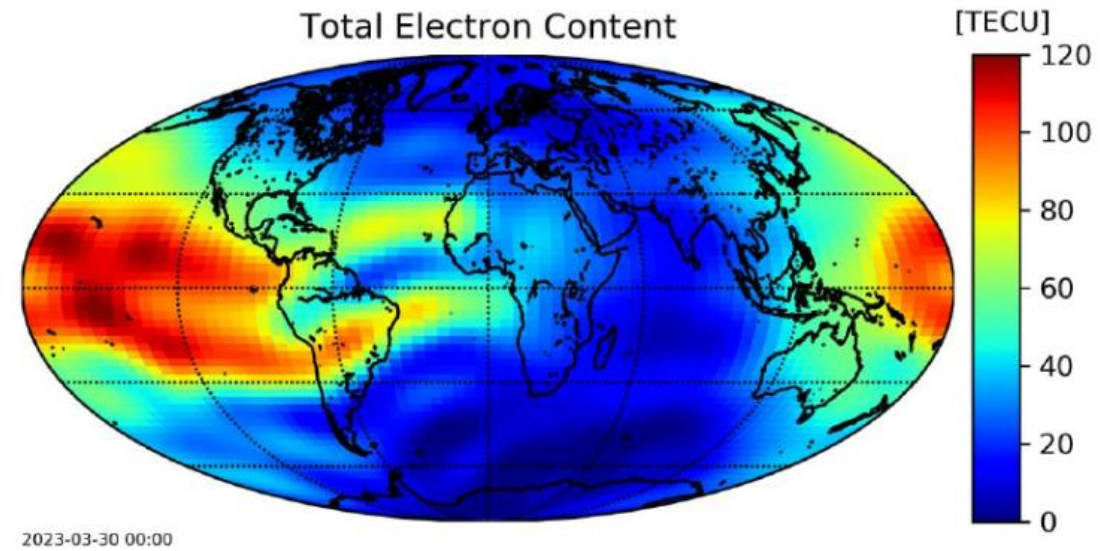
# Úridőjárás: <https://www.swpc.noaa.gov/> Planetary K index, ez a földfelszínen mért geomágneses aktivitás

## Geomagnetic Storms

Scale	Description	Effect	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
G 5	Extreme	<p><b>Power systems:</b> Widespread voltage control problems and protective system problems can occur, some grid systems may experience complete collapse or blackouts. Transformers may experience damage.</p> <p><b>Spacecraft operations:</b> May experience extensive surface charging, problems with orientation, uplink/downlink and tracking satellites.</p> <p><b>Other systems:</b> Pipeline currents can reach hundreds of amps, HF (high frequency) radio propagation may be impossible in many areas for one to two days, satellite navigation may be degraded for days, low-frequency radio navigation can be out for hours, and aurora has been seen as low as Florida and southern Texas (typically 40° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 9	4 per cycle (4 days per cycle)
G 4	Severe	<p><b>Power systems:</b> Possible widespread voltage control problems and some protective systems will mistakenly trip out key assets from the grid.</p> <p><b>Spacecraft operations:</b> May experience surface charging and tracking problems, corrections may be needed for orientation problems.</p> <p><b>Other systems:</b> Induced pipeline currents affect preventive measures, HF radio propagation sporadic, satellite navigation degraded for hours, low-frequency radio navigation disrupted, and aurora has been seen as low as Alabama and northern California (typically 45° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 8, including a 9-	100 per cycle (60 days per cycle)
G 3	Strong	<p><b>Power systems:</b> Voltage corrections may be required, false alarms triggered on some protection devices.</p> <p><b>Spacecraft operations:</b> Surface charging may occur on satellite components, drag may increase on low-Earth-orbit satellites, and corrections may be needed for orientation problems.</p> <p><b>Other systems:</b> Intermittent satellite navigation and low-frequency radio navigation problems may occur, HF radio may be intermittent, and aurora has been seen as low as Illinois and Oregon (typically 50° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 7	200 per cycle (130 days per cycle)
G 2	Moderate	<p><b>Power systems:</b> High-latitude power systems may experience voltage alarms, long-duration storms may cause transformer damage.</p> <p><b>Spacecraft operations:</b> Corrective actions to orientation may be required by ground control; possible changes in drag affect orbit predictions.</p> <p><b>Other systems:</b> HF radio propagation can fade at higher latitudes, and aurora has been seen as low as New York and Idaho (typically 55° geomagnetic lat.).</p>	Kp = 6	600 per cycle (360 days per cycle)
G 1	Minor	<p><b>Power systems:</b> Weak power grid fluctuations can occur.</p> <p><b>Spacecraft operations:</b> Minor impact on satellite operations possible.</p> <p><b>Other systems:</b> Migratory animals are affected at this and higher levels; aurora is commonly visible at high latitudes (northern Michigan and Maine).</p>	Kp = 5	1700 per cycle (900 days per cycle)



**30 March 2018**



**30 March 2023**