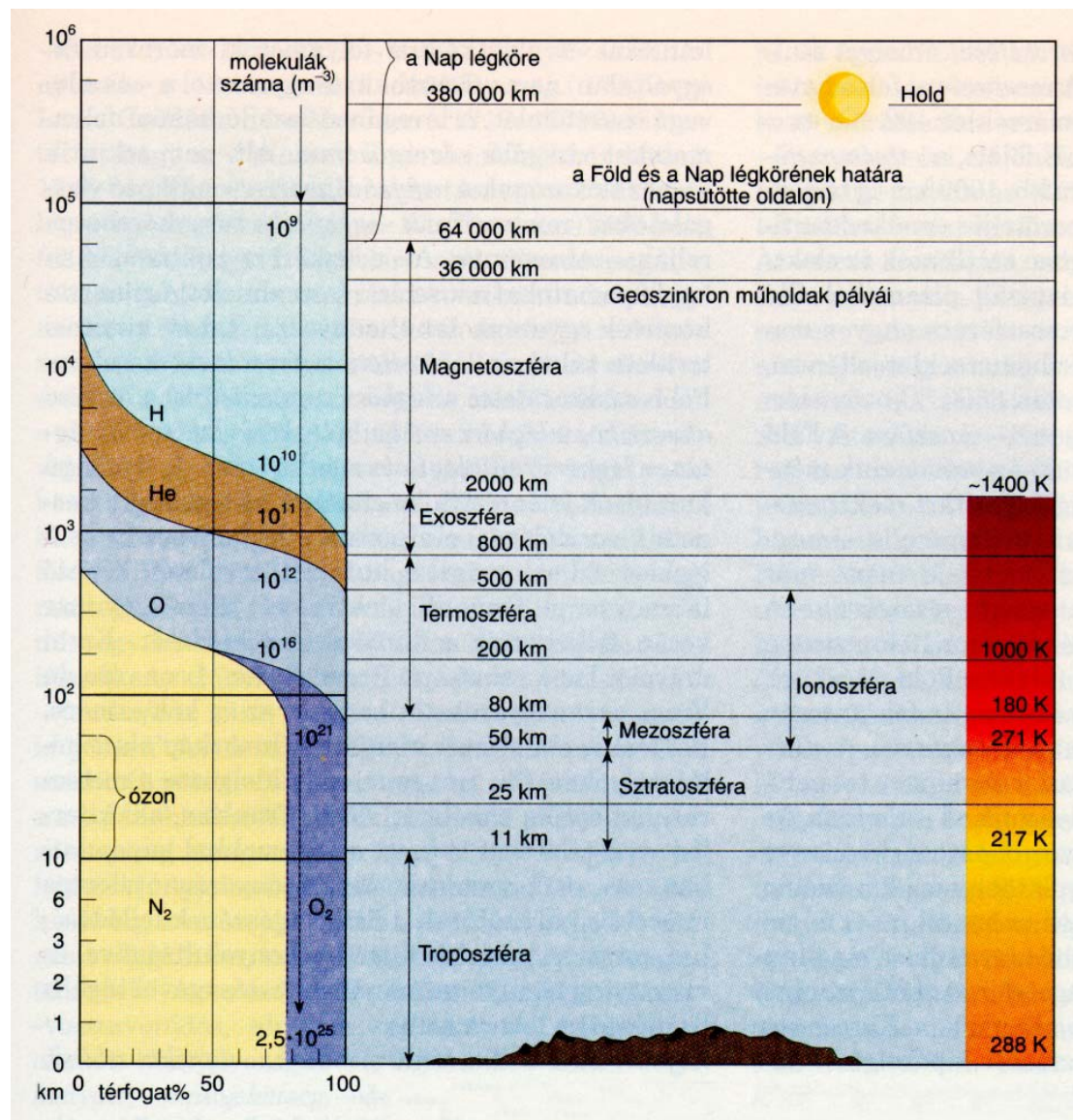


## GEOFIZIKA / 2.

### A FÖLD KÖRÜLI TÉRSÉG SZERKEZETE (TROPOSZFÉRA, SZTRATOSZFÉRA, IONOSZFÉRA, MAGNETOSZFÉRA)

A geofizika nem csak a Föld belsejében és felszínén hanem a környezetében végbemenő folyamatok, fizikai jelenségek megfigyelésével és magyarázatával is foglalkozik. A vizsgált jelenségek és folyamatok sok tekintetben szoros kapcsolatban vannak a Naprendszerben lejátszódó jelenségekkel és folyamatokkal. A geofizika által vizsgált térbeli tartomány a Föld középpontjától a Föld magnetoszférájának külső határáig, terjed. Ebben a tartományban található a Földünk légköre is, amelynek vizsgálatával a geofizika és a meteorológia is foglalkozik. A Föld körüli térség vázlatos szerkezete az 1. ábrán látható.



1. ábra. A Föld körüli térség vázlatos szerkezete

Földünk légkörének azt a gáztömeget tekintjük, amely részt vesz a Földnek a Nap körüli keringésében. Magassági határát pontosan meghatározni nehéz, mert fokozatosan megy át a bolygóközi tér ritka anyagába; de műholdas mérések alapján több tízezer kilométerre tehető. Alakja ellipszoidra emlékeztet, amely a Nappal ellentétes oldalon a Nap sugárnyomása következtében messze elnyúlik. A légkör tömege  $5.3 \cdot 10^{15}$  tonna, a Föld teljes tömegének egymilliomod része.

A légkör különböző gázok keveréke, de mindig vannak benne cseppfolyós és szilárd halmazállapotú részecskék is. Ezt a különböző halmazállapotú részecskékből álló keveréket aeroszolnak nevezzük.

A légkörben megkülönböztetünk alapgázokat; ezek aránya az alsó 50-100 km-ben állandó, és vendéggázokat, amelyek részesezési iránya változó.

Az **alapgázok** összetétele:

N<sub>2</sub> 75%  
O<sub>2</sub> 23%  
Ar 1%  
Hélium  
Neon  
Kripton  
Xenon  
Radon

A **vendéggázok** összetétele:

Vízgőz  
Széndioxid CO<sub>2</sub>  
Nitrogénoxid NO  
Ózon O<sub>3</sub>  
H<sub>2</sub>  
J

Jelen vannak még a vendéggázok **kondenzációs termékei** és a különböző **szennyeződések** (por, korom, .stb.)

A vendéggázok közül legjelentősebb a vízgőz, mennyisége széles határoly közt változik. Az egyenlítő vidékén eléri a 4 térfogatszázalékot és a poláris vidékeken viszont télen mindössze néhány tized térfogatszázalék a mennyisége.

A szén-dioxid-tartalom a múlt században még csak 290 ppm (parts per million) volt, mennyisége azóta fokozatosan növekedik, pl. az 1970-es érték már 320 ppm. A növekedés a fosszilis tüzelőanyagok használatának következménye. Az ily módon a légkörbe bocsátott széndioxid egy része elnyelődik a tengerekben, mintegy 40% azonban a légkörben marad.

A légkör fontos összetevője az ózon (O<sub>3</sub>). A troposzférában csak nyomokban található, nagyobb mennyiségben a sztratoszférában fordul elő. A légkörben levő aeroszol, azaz a szilárd és cseppfolyós részek együttese részben természetes, részben mesterséges eredetű. Természetes források a porviharok, általában a szelek, amelyek apró közettörmelékkel, port, szerves eredetű anyagot juttatnak a légkörbe. A hullámozó tengervíz porlásából származó sókristályok, a vulkánkitűrések anyaga s a világúrból a légkörbe kerülő kozmikus por további elemei légkörünk idegenanyag-tartalmának.

A légkörben felfelé haladva, az alapgázok aránya az alsó 100 km-ig közel állandó. E magasság fölött az O<sub>2</sub> egyre növekvő arányban bomlik atomos oxigénné, majd a nitrogén gázzal történik ugyanez. 1500 km fölött a légkört főképp atomos oxigén, atomos nitrogén, hélium és protonok alkotják (1. ábra).

A légkört elsősorban a hőmérsékletének függőleges változása szerint az 1. ábrán látható módon több rétegre osztjuk.

A legalsó átlagosan 10 km vastag réteg a **troposzféra**. Ebben a rétegben alakul Földünk időjárása, benne a hőmérséklet felfelé átlagosan  $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  értékkel csökken. A troposzféra erősen a földfelszín befolyása alatt áll, hőtartalmát, vízgőztartalmát, szennyeződésének túlnyomó részét innen kapja. Ezeket a függőleges keverőmozgások szállítják a felszíntől a magasabb rétegekbe. A troposzféra legalsó, mintegy 1.0-1.5 km vastagságú rétege határreteg a felszín és a légkör között, ezt **alaprétegnek** nevezzük. Az emberiség élete és tevékenysége túlnyomórészt ebben az alaprétegben zajlik. A troposzféra vastagsága a sarkok fölött átlagosan 6 km, Magyarország fölött télen 9, nyáron 11 km, az egyenlítő fölött 18-20 km. A troposzférát felülről a **tropopauza** zárja le, amely átmeneti réteg a troposzféra és a fölötte levő sztratoszféra között.

Átlagosan 10 km és 50 km között helyezkedik el a **sztratoszféra**. Ebben a hőmérséklet felfelé haladva előbb állandó, majd gyengén növekszik, emiatt benne függőleges keverőmozgások nem keletkezhetnek s így a troposzféra vízgőztartalma sem jut a sztratoszférába, felhők nem keletkeznek benne. A sztratoszféra legfőbb jellemzői a megnövekedett ózontartalom és a nagysebességű vízszintes légmozgások. Felső határa a **sztratopauza**, amely hőmérséklete a felszíni hőmérséklethez közelálló értékek.

Az 50 km és 80 km közötti **mezoszférában** a hőmérséklet ismét csökken 80 km magasságban a **mezopauza** hőmérséklete  $-70^{\circ}$ - $-80^{\circ}$  körüli érték.

A hideg mezopauza fölött ismét egy felfelé melegedő réteg a **termoszféra** következik, amelynek felső tartományában 300 km fölött, a hőmérséklet meghaladhatja az  $1000\text{-}1500\text{ K}^{\circ}$ -ot.

A földi légkör legkülső tartománya az **exoszféra**, mely átmeneti tartomány a légkör és a bolygóközi tér között. Ebben a tartományban gyakorlatilag már csak protonok találhatók. Mivel a bolygóközi anyag sűrűsége  $1\text{-}10\text{ proton}/\text{cm}^3$ , ezért az exoszféra külső határát ott jelölhetjük ki, ahol a földi légkör sűrűsége a  $10\text{ proton}/\text{cm}^3$  értékre csökken.

A fenti rétegeken kívül egyéb tulajdonságok alapján is elkülönítünk egyes légköri rétegeket.

Az **ozonoszféra** a légkörnek a sztratoszférát és a mezoszféra alsó részét tartalmazó rétege. Ebben a tartományban a légkör ózontartalmának maximuma van. Részben a sztratoszférában, de főleg a mezoszféra alsó részében a napsugárzás UV (ultraibolya), illetve a  $0.24\text{ }\mu\text{m}$ -nél rövidebb hullámhosszú sugárzása hatására az  $\text{O}_2$  oxigéngázból  $\text{O}_3$  ózon keletkezik. Az  $\text{O}_3$  instabil gáz, oxigénné történő visszaalakulás során hő keletkezik.

Több olyan réteg található a légkörben, ahol a gázatomok egy része ionizált állapotban van. Az ionizációt a napsugárzás rövid ibolyántúli része, a Nap röntgensugárzása, valamint a kozmikus sugárzás hozza létre. Ezek a részek alkotják az **ionoszférát**, amelyet az ionizáció fokának megfelelően a 2. ábrán látható módon különböző rétegekre oszthatunk.

A **C-réteg** 30-50 km közötti magasságban található. Kevésbé összefüggő réteg, legtöbbször ún. ionfelhők találhatók itt.

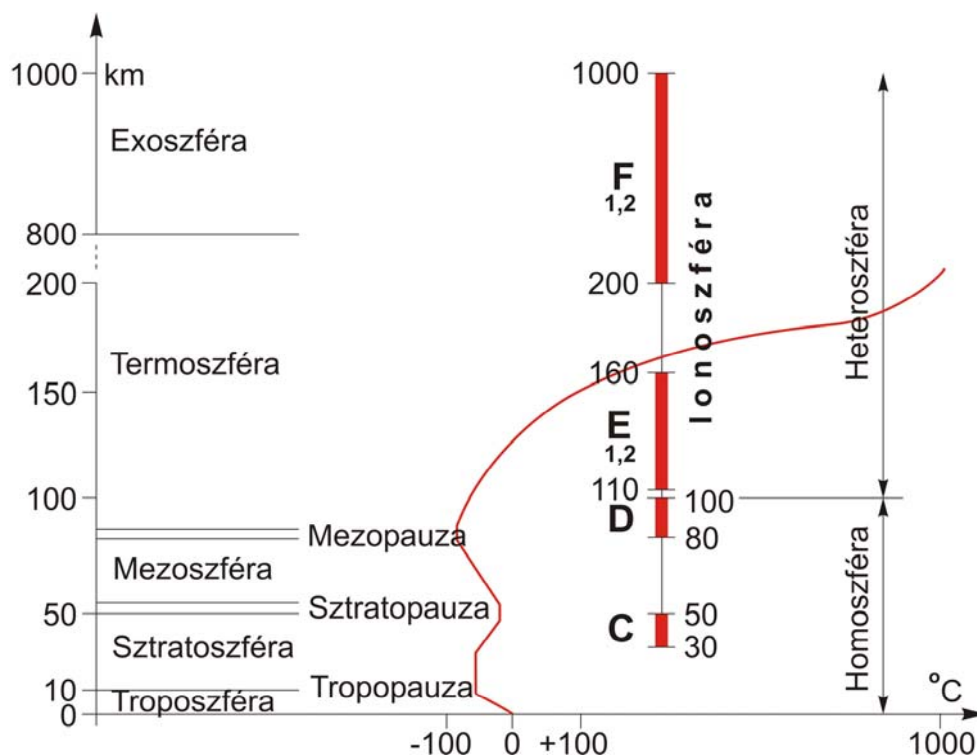
A **D-réteg** 80-100 km között keletkezik. Csak nappal észlelhető, a Nap járását követve naplementekor feloszlik, napkitörések idején pedig jelentősen felerősödik.

Az **E-réteg** (Heaviside-réteg) 110-160 km-es magassági szintek között helyezkedik el. Éjszaka is jelen van, de nappal megerősödik az ionizáció és kettős **E1**, **E2** réteggé alakul.

Az **F-réteg** az ionoszféra legfontosabb állandó rétege 200-1000 km között. Szintén állandó réteg, nappal megerősödik és kettős, **F1** és **F2** réteg különböztethető

meg. Ebben az **F** rétegben az anyag mozgását a nyomásnál és a gravitációnál erősebben befolyásolják a mágneses erőtér, a magnetoszféra jelenségei. Napközben ez a réteg kettéválik: az **F1**-réteg süllyed, az **F2**-réteg 225 km-nél magasabbra emelkedik.

Az ionoszféra rétegei az elektromágneses hullámokat részben elnyelik, részben főleg a közepes és hosszú rádióhullámokat visszaverik. Magasságuk gyakran ingadozik.



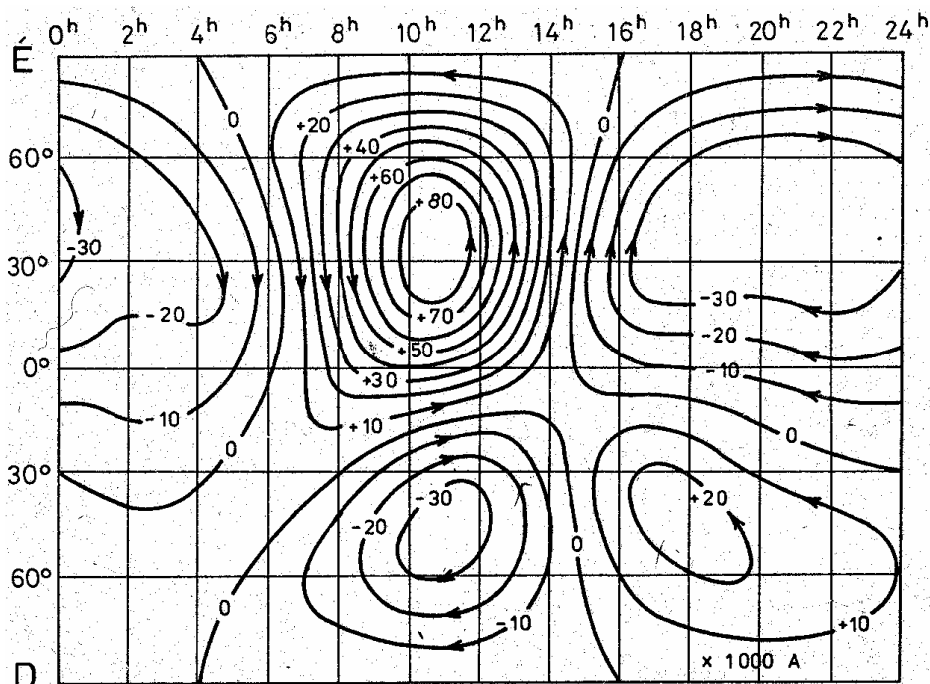
2. ábra. Az ionoszféra rétegei

## Az ionoszféra és a földmágneses nyugodt napi variációk eredete

A földmágneses erőtér nyugodt napi variációi a magaslégkörben folyó elektromos áramokra vezethetők vissza. A Nap elektromágneses sugárzása, valamint a kozmikus sugárzás a Föld légkörének felsőbb részeit ionizálja, azaz elektromos vezetővé teszi. Főként a légkör vízszintes irányú árapályszerű és hőmérsékleti mozgása következtében ez a vezető réteg a Föld állandó mágneses teréhez viszonyítva elmozdul és benne a földmágneses erőtér függőleges összetevője elektromos áramokat indukál. Ezek az elektromos áramok okozzák a földmágneses tér napi rövid periódusú változásait. Található hasonlaltal *légköri dinamóról* beszélhetünk – amelyben a Föld állandó mágneses tere az "álló mágnes", a hőmérsékleti és az árapálykeltő erők hatására elmozduló magaslégkör a "forgó rész" és a magaslégkör ionizált vezető rétege az "áramvezető tekercs".

A légköri dinamó működésének színtere, a legnagyobb vezetőképessége miatt az *ionoszféra E-rétege*. Az ionoszféra-rétegek magasságának és az ionizáció fokának szabályos napi menete van: amint a légkört napsugarak érik, a vezetőrétegek magassága csökken, és az ionizáció foka és ezzel a vezetőképessége is növekszik.

A nyugodt napi variációk területi változása jól leírható az ionoszférában indukált két örvényáram mágneses hatásával. Az örvényáramok a Nap látszólagos mozgásával együtt vándorolnak az ionoszférában úgy, hogy középpontjuk helyi időben 11 óra körül van a 35° északi és déli szélességű helyek fölött. A 3. ábrán a nyugodt napi variációkat okozó ionoszférikus örvényáramok eloszlása látható napfoltminimum idején az 1902. VI. 22-i napforduló napján. (Az ábrán az áramerősség értékek 1000 amperes egységben értendők.)



3. ábra. Ionoszférikus örvényáramok a nyári napforduló napján

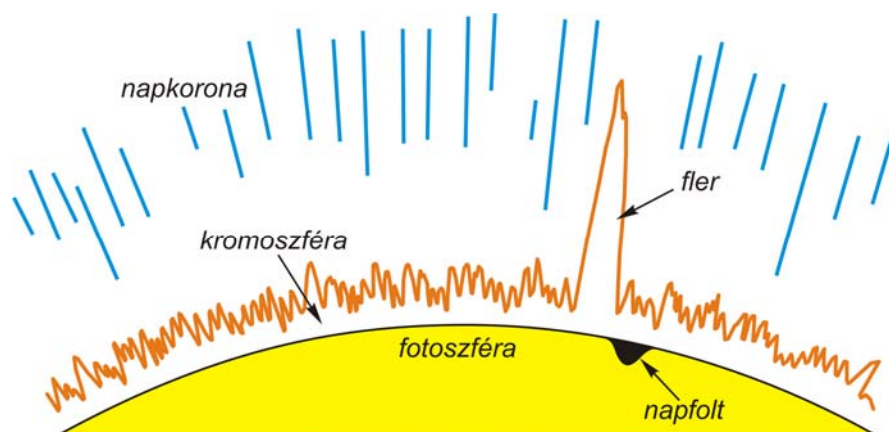
Ezek az örvényáramok okozzák pl., hogy a földmágneses térerősség északi X összetevőjének délelőtt 11 óra tájban az egyenlítő közelében maximuma, a 35. szélességi fokok közelében pedig minimuma van. Az északi félteke mérsékelt övében az X keleti összetevője hullámának reggel maximuma, délután pedig minimuma; a Z függőleges összetevőnek pedig 11 óra tájban minimuma van.

A légköri dinamó tartományában azonban nemcsak az árapály és a hőmérsékleti mozgások, hanem a magnetoszférából a mágneses erővonalak mentén lehatoló elektromos terek is áramokat keltenek. Ilyen okból különösen nagy erősségű elektromos áramok alakulhatnak ki a dinamó-tartomány sarkvidékeket környező zónáiban, amelyek a földmágneses tér gyors időbeli változásainak további típusait idézik elő.

## A magnetoszféra és a földmágneses háborgások elmélete.

A Föld mágneses terének legmarkánsabb változása a mágneses viharok alkalomával tapasztalható. Már korábban megfigyelték, hogy ezeket általában a Napon kifejlődő "felfénylések": az ún. *flerek* megjelenése előzi meg. Bár az elektromágneses sugárzás a Nap és a Föld közötti távolságot percek alatt befutja, mégis a földi mágneses tér zavarai a flerek megjelenését követően csak több órás, esetleg egy-két napos késéssel tapasztalhatók. Ez arra utal, hogy a mágneses viharok a Nap korpuszkuláris

sugárzásával, – elsősorban a Nap külső tartományában lejátszódó eseményekkel hozható kapcsolatba.



4. ábra. A Nap külső tartományának szerkezete

A Nap külső tartományát a 4. ábrán látható módon három különálló részre: a fotoszférára, a kromoszférára és a napkoronára lehet felosztani.

A *fotoszféra* a Nap légkörének alsó része, vastagsága a Nap mérete mellett elhanyagolható, mindössze 350 km. A napsugárzás döntő része ebből a tartományból származik. Hőmérséklete  $4500-7500\text{ K}^0$  között változik. Benne a hidegebb részeken lefelé; a melegebb részeken felfelé irányuló áramlások vannak, – ezek alakítják ki a fotoszféra ún. granulációs szerkezetét. A fotoszféra sűrűsége igen kicsi:  $10^{-5} - 10^{-7}\text{ kg/m}^3$  között változik. A fotoszféra igen fontos jelenségei a *napfoltok*, amelyek valószínűleg úgy keletkeznek, hogy a megelőzően fellépő  $0.1-1\text{ T}$  nagyságrendű hatalmas mágneses mező megakadályozza a melegebb anyag feláramlását, így a mágneses mező területén a fotoszféra felülete lehül és sötét foltként látszik. Átmérőjük néha eléri a  $200\,000\text{ km}$ -t is, élettartamuk néhány órától több hónapig terjedhet. A napfoltok helyzete és száma kb. 11 éves ciklussal változik.

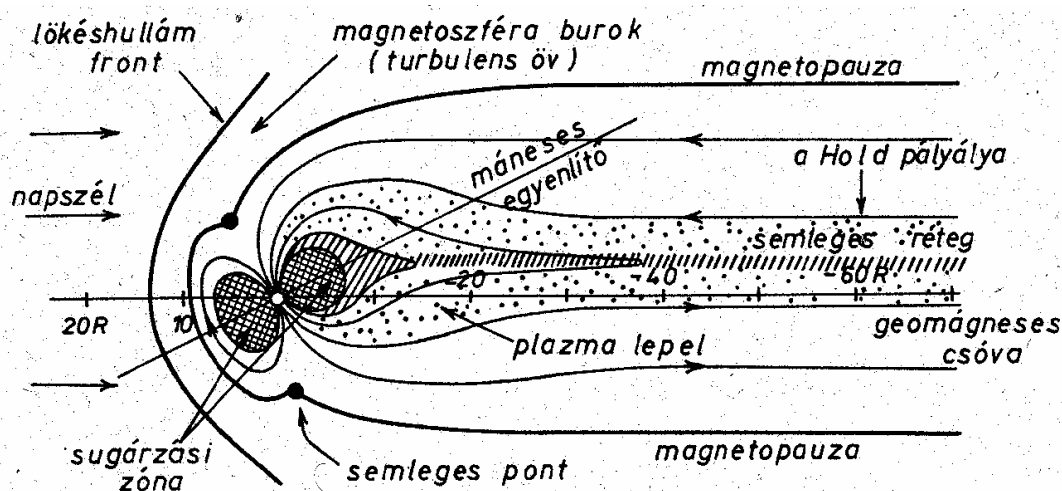
A *kromoszféra* a fotoszféra felett levő, kb.  $10000\text{ km}$  vastagságú gázréteg, amely átmenetet képez a napkoronához. Sűrűsége és hőmérséklete – mely  $4000$  és  $20000\text{ K}^0$  között változik – erősen inhomogén. A kromoszféra legfontosabb jelenségei a protuberanciák és a kromoszférikus erupciók, vagyis a *flerek*. A flerek élettartama általában  $7 - 40$  perc, rendszerint a napfoltok közelében, gyakran ezek mágneses terének semleges pontjai felett fénylenek fel és gyakoriságuk is a napfoltokéval párhuzamosan változik. A flerek szinte a teljes elektromágneses spektrumban sugároznak ki energiát; de ezen kívül hatalmas mennyiségű töltött részecskét is kidobnak magukból, amelyet olyan nagy sebességre gyorsítanak fel, hogy ezek nyaláb formájában elhagyják a Napot. A magneto-hidrodinamika törvényei szerint ez a Napból kidobódott plazma a Nap mágneses terének egy részét is magával viszi.

A *napkorona* a naplégkör legkülső része, melynek a határát nem célszerű definiálni, mert fokozatosan megy át a bolygóközi térbe. Sűrűsége igen kicsi, hőmérséklete viszont rendkívül magas: több mint  $10^6\text{ K}^0$ . A napkorona felső tartományaiban a részecskék energiája olyan nagy, hogy képesek legyőzni a Nap tömegvonzását és így a napkorona tágulni "párologni" kezd. Tágulási sebessége a Földünk távolságában  $400\text{ km/sec}$  körüli érték és becslések szerint a Naptól mintegy  $12-160$  csillagászati egység távolságig juthat el. Ezt a nagy sebességű részecskeáramot is jogosan tekinthetjük sugárzásnak, mégpedig a Nap anyagából származó korpuzkuláris sugárzásnak.

A szoláris "híg" plazmából (elsősorban protonokból, elektronokból és különböző ionokból álló) részecskesugárzást *napszélnek* nevezzük. A napszél állandó komponense a táguló napkorona anyagárama, míg a változó komponensét főként a flerek által kidobott plazmatömegek alkotják.

A földi mágneses térnek elvileg nem volna határa, ha minden egyéb fizikai hatástól mentesen létezne. A napszél jelenléte azonban jelentősen befolyásolja a Föld körüli térség szerkezetét. A Föld mágneses tere kölcsönhatásba lép a Napból áramló plazma mágneses terével, ezért az eredetileg dipólusos jellegű tér erővonalai eltorzulnak és a napszél hatására kialakul a földi mágneses teret magába foglaló *magnetoszféra*.

A Föld magnetoszférájának az éjfél-dél meridiánsíkba eső metszetét pontosabban ennek orr-részt) vázlatosan az 5. ábrán láthatjuk. A magnetoszféra lényegében a Föld körüli térnek azon része, ahol a lejátszódó folyamatokat még a Föld mágneses tere jelentősen befolyásolja. A magnetoszféra külső határa, a *magnetopauza* éles és elég vékony átmenetet jelent az interplanetáris térből a földmágneses térbe: A magnetopauza a Föld Nap felőli oldalán átlagosan 10 földugárnyi távolságig terjed; az átellenes oldalán viszont igen hosszan több 100 földugárnyi távolságig csóvaszerűen elnyúlik. A magnetopauza ott alakul ki, ahol az interplanetáris térben  $v$  sebességgel áramló napszél kinetikus energiájának  $\rho v^2 / 2$  sűrűsége éppen egyenlő a földmágneses tér  $B^2 / 8\pi$  energiasűrűségével. Mivel a kettő közül az egyik (a napszél energiája) erősen változó, ezért a magnetopauza helyzete sem állandó: általában nagyobb geomágneses zavartság esetén a felszínhez közelebb van, – mivel ilyenkor a napszél sebessége is nagyobb.

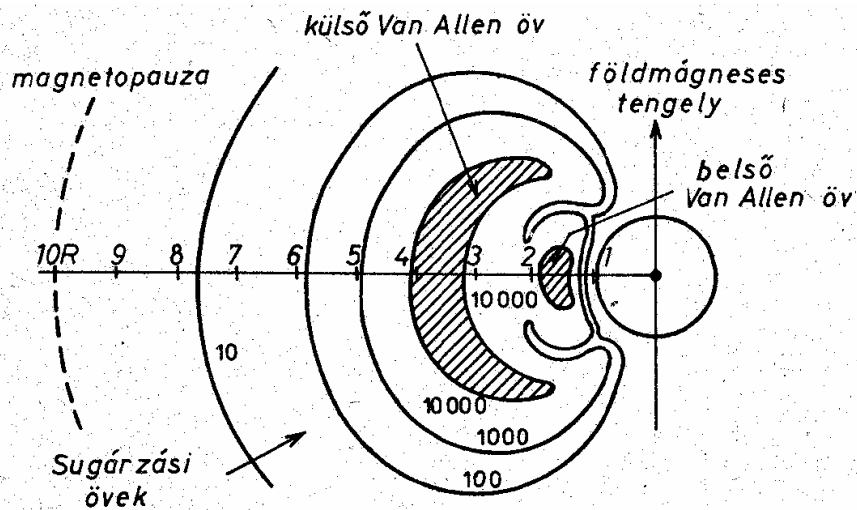


5. ábra. A földi magnetoszféra szerkezete

A magnetopauza előtt néhány földugárral a szuperszónikus sebességű napszél és a földmágneses tér kölcsönhatása következtében ívesen hajló *lökéshullám front* alakul ki. Itt nyugodt körülmények között a magnetohidrodinamikai zavarok sebességének mintegy hétszeresével érkező napszél jelentősen lefékeződik, és mögötte *turbulens zóna*, a magnetoszféra burok alakul ki. Ebből töltött részecskék a magnetoszférába csak a magnetopauzában levő két szakadásnál (az 5. ábrán látható *semleges pontoknál*) juthatnak le, – ahol a mágneses térerősség nulla, és amelyek környezetéből az erővonalak a mágneses pólusokhoz csatlakoznak.

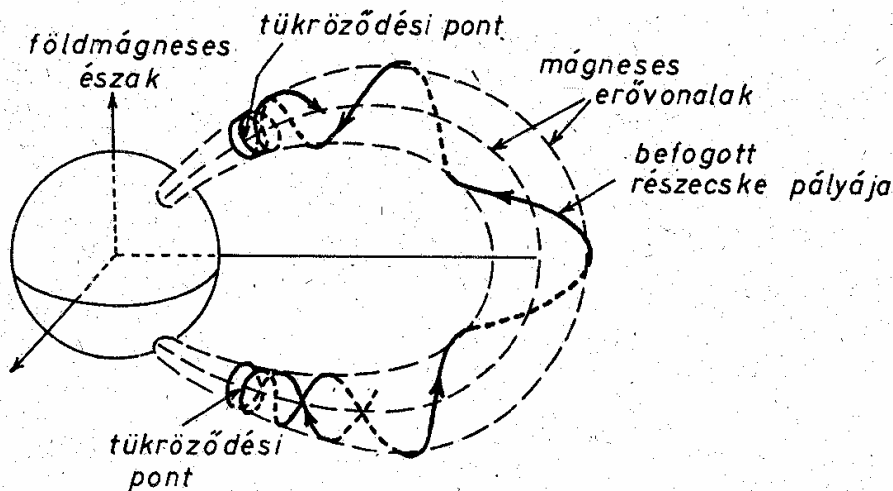
A magnetoszféra jellegzetes része az 5. ábrán látható *sugárzási zóna*, amely az 1958-as Nemzetközi Geofizikai Év egyik legjelentősebb felfedezése volt. Ebben a tar-

ományban a Föld mágneses tere által befogott töltött részecskék fluxussűrűsége fel-  
tűnően nagy; egyes tartományokban 10000-25000 nagyenergiájú részecske is szám-  
lálható másodpercenként és  $cm^3$ -ként. Van Allen és csoportja – a sugárzási zóna fel-  
fedezői – a sugárzási zónán belül két fontosabb övet különítették el. Ezek a 6. ábrán  
látható módon kb. 1.5 illetve 3-4 földugárnyi távolságban vannak a Föld középpont-  
jától. A belső Van Allen-övben főképpen nagy energiájú protonok vannak befogva és  
a részecskeveszteség igen kicsi. A külső Van Allen-övben a sugárzási fluxus elsősor-  
ban elektronoktól ered; itt a fluxussűrűség erősen változó, a változás egyetlen nap  
alatt egy nagyságrendet is elérhet.



6. ábra. Sugárzási övek a magnetoszférában

Ma már tudjuk, hogy a zárt erővonalak tartománya teljes egészében képes bizo-  
nyos energiájú töltött részecskéket hosszabb-rövidebb ideig fogva tartani. Azonban a  
tartós részecskebefogás csak ott lehetséges, ahol a mágneses tér szerkezete még  
"elégg" dipóltér jellegű. A befogott részecskék a patkó alakú mágneses erővonalakat  
körülölelő spirális pályák mentén a 7. ábrán látható módon oda-vissza mozognak a  
mágneses egyenlítő síkjától északra és délre elhelyezkedő mágneses "tükröződési  
pontjaik" között. Miközben ezt a mozgást végzik a pozitív részecskék nyugatra, a ne-  
gatívok keletre sodródnak. (Ezt az utóbbit mágneses drift mozgásnak nevezzük.)



7. ábra. Részecskebefogás a sugárzási övekben



Az eddig leírtak elsősorban a magnetoszféra Nap felőli oldalára vonatkoznak. A Nappal ellentétes oldalon a felszíntől a sugárzási zóna külső határáig a magneto-hidrodinamikai hullámok szempontjából a helyzet nagyjából hasonló. Viszont a sarki "sapkából" kiinduló erővonalak nem záródnak, hanem az 5. ábrán látható módon a *magnetoszféra csóváját* alkotják.

Ennek kiterjedését még nem ismerjük; lehetséges, hogy a földmágneses erővonalak az, interplanetáris tér erővonalaihoz kapcsolódnak, itt a magnetoszféra nyitott és így ezen az oldalon nincs is magnetopauza. Az ellentétes irányú erővonalak között alakul ki a *semleges réteg*, amelyben a mágneses térerősség zérus.

Amíg a "zárt" erővonalak a kisebb szélességeket hidalják át, addig a geomágneses csóva "nyitott" erővonalrendszere a sarkvidékekkel függ össze. Az ionoszférának az a két karimaszerű – a déli és az északi sark környezetében elhelyezkedő – zónája, mely a nyitott és a zárt erővonalak elválási tartományában, illetőleg e tartomány közelében terül el, igen gazdag geofizikai eseményekben. Ezekben az ún. *sarki fény oválokban* jelenik meg leggyakrabban a sarki fény és itt folynak a legerősebb elektromos áramok a magnetoszférából az ionoszférába. Ezek az időnként hirtelen megerősödő áramok a sarkvidéken erős mágneses háborgásokat keltenek. A jelenségek mind azt tanúsítják, hogy a sarki fény oválok, illetve ezek környezete érzi meg legerősebben az interplanetáris térben, tehát végeredményben a Napon lejátszódó eseményeket.

A sarki szubviharok és a feltehetőleg velük oksági kapcsolatban levő – egész világon érezhető – mágneses viharok szempontjából igen lényeges zónának tűnik a geomágneses csóva semleges rétege és ennek környezete. A csóvának az északi és a déli féltekére horgonyzódó mágneses erővonalai között elhelyezkedő semleges rétegében a napszél növekedésének idején a magnetoszféra összenyomódik és eddig még nem teljesen tisztázott folyamatok indulnak meg. Ezek a folyamatok a plazmalepelben levő ún. termikus plazma kis "csomagjait" felhevítik és a Föld felé sajtolják, amely fokozatosan szétterül a mágneses erővonalak egész tartományában. A nagyobb energiájú plazmatöbbslet nyomása révén kissé "szétfeszíti" a zárt erővonalakat, amit a Föld felszínén – főleg a kis és a közepes szélességeken – a mágneses térerősség csökkenéseként észlelünk. Ha a geomágneses csóvának a plazmacsomagokat előállító instabilitási folyamatai leállnak, akkor a zárt mágneses erővonalak tartományába bejutott forró plazma kiürülésével a földfelszíni mágneses térerősség normális szintje fokozatosan helyreáll.

Az itt bemutatott kép még korántsem tekinthető problémamentesnek, számos jelenség és folyamat még magyarázatra vár.