

Meteorológia

előadás

dr. Breuer Hajnalka
egyetemi adjunktus



ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Kurzus tematika

1. Légkör vertikális szerkezete
2. Légköri sugárzástan
3. Légkörben ható erők
4. Általános cirkuláció
5. Mérsékelt-övi és trópusi ciklonok
6. A légtömegek fogalma, légköri frontok
7. A felhő- és csapadékkeletkezés
8. Alapvető felhő- és csapadékfajták
9. Az időjárás előrejelzése

Információ

- Jegyzet:
 - Meteorológiai alapismeretek
 - Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek

<http://nimbus.elte.hu/oktatas/jegyzetek.html>
- Elérhetőség:
 - ELTE TTK, Északi tömb, 6.117
 - bhajni@nimbus.elte.hu

A légkör összetétele és vertikális szerkezete

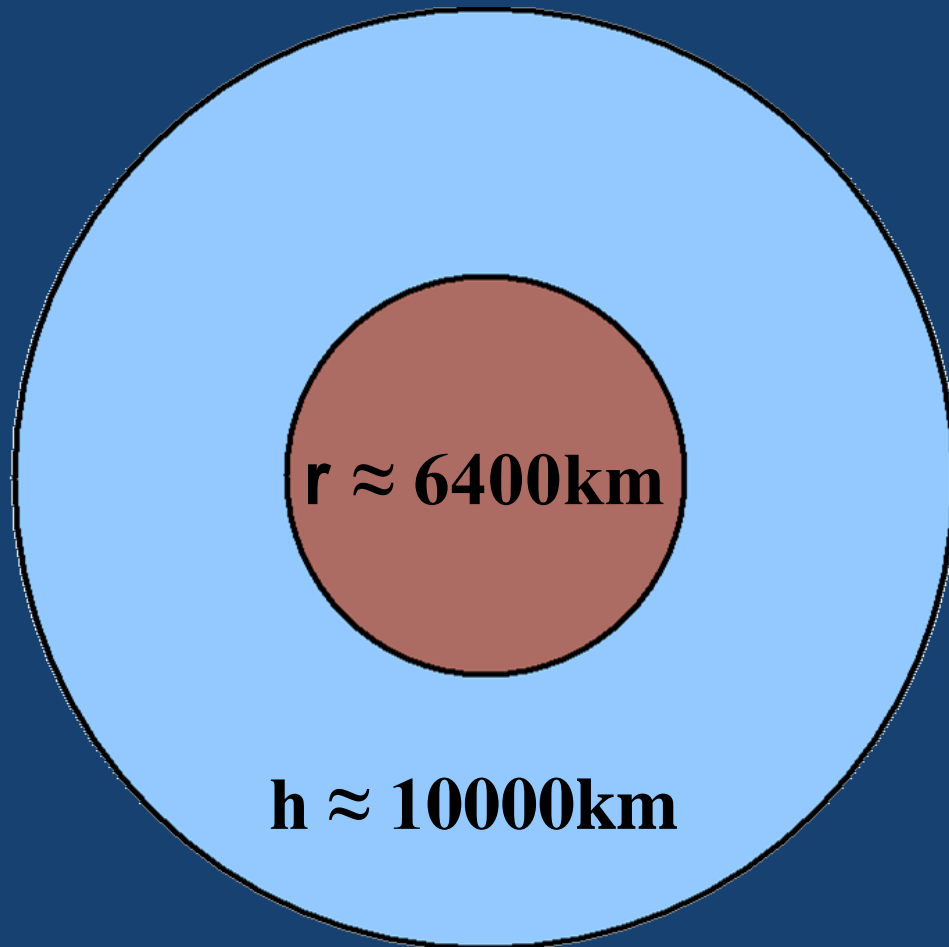
Mi a légkör?

Meddig tart a légkör (km)?

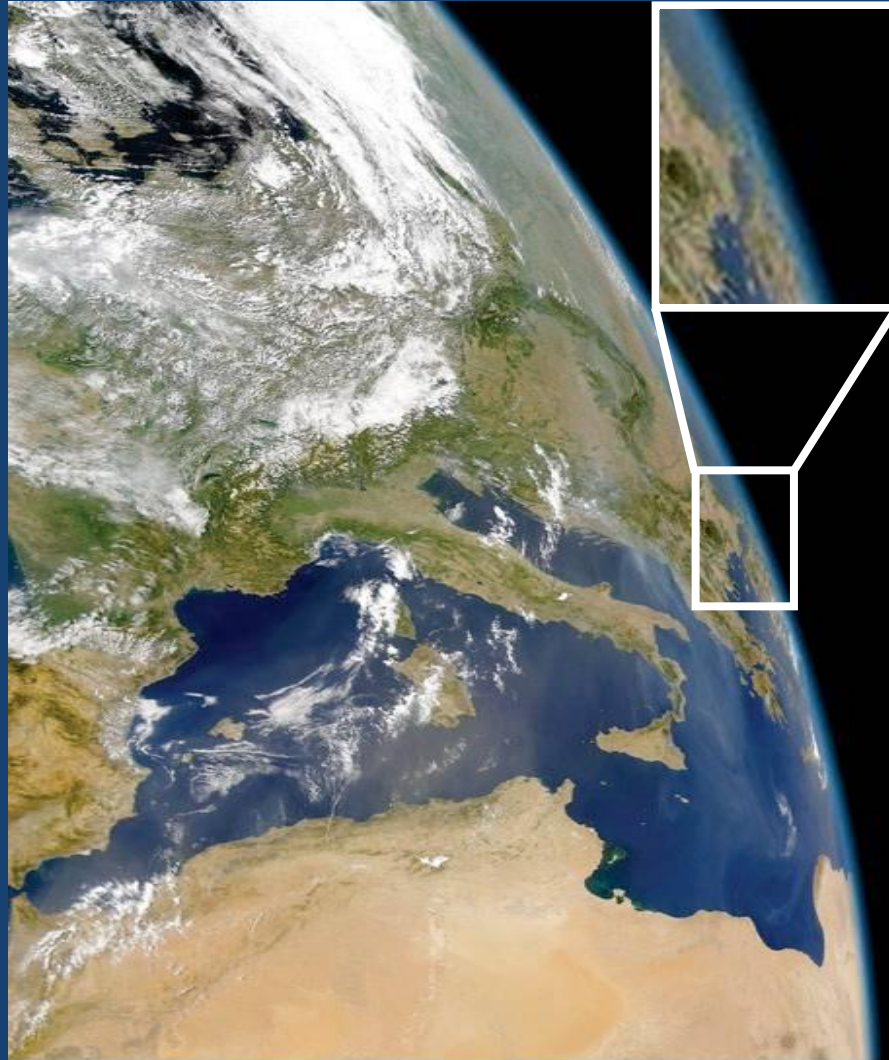
Légkör

- A légkör a Földet körülvevő különböző gázok, továbbá szilárd és cseppfolyós részecskék keveréke.
- Határa addig terjed, amíg a légrészecskék a Földdel EGYÜTT mozognak a Föld gravitációjának hatására (≈ 10000 km).

Légkör

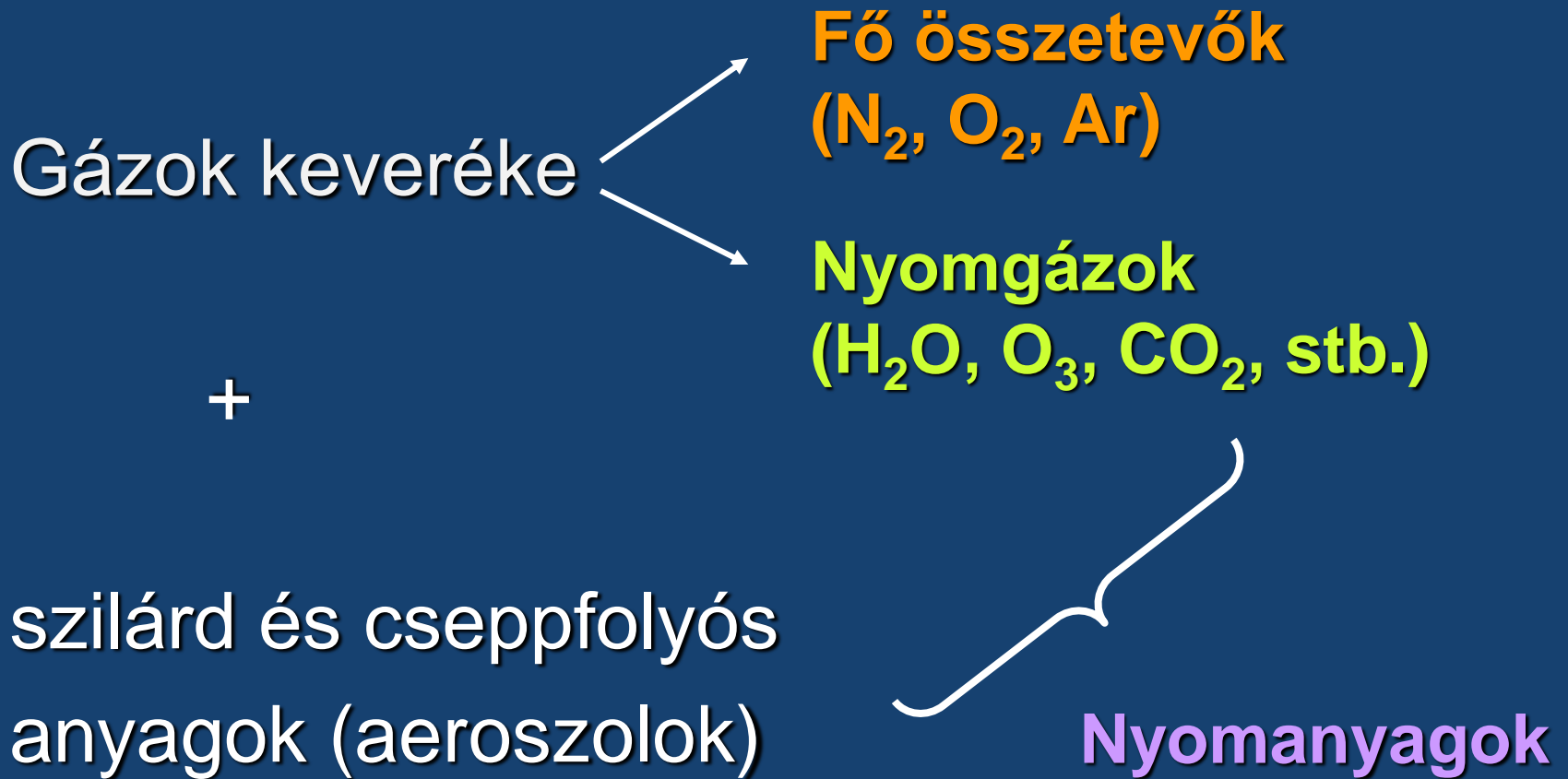


Légkör



A légkör összetétele

A légkör összetétele – relatív mennyiség alapján



Fő összetevők

| Gáz | Vegyjel | Térfogat % | Jelentőség |
|----------|----------------|------------|------------|
| Nitrogén | N ₂ | 78,08 | Bioszféra |
| Oxigén | O ₂ | 20,94 | Lélegzés |
| Argon | Ar | 0,93 | nincs |

Nyomgázok

- **Vízgőz (H₂O):**
 - a légkör alsó rétegében található,
 - időben és térben változó eloszlású: 0–4 m%,
 - üvegházhatású => 21 °C-kal lenne kevesebb a felszíni átlag hőmérséklet,
 - felhőképződés (+ aeroszolok).
- **Ózon (O₃):**
 - elsősorban a világűrből érkező UV sugárzást szűri meg.
- **Szén-dioxid (CO₂):**
 - a légkör alsó rétegében található,
 - szerves anyagok oxidációjával jut a légkörbe,
 - üvegházhatású – koncentrációja kb. 60-szor kisebb mint a vízgőzé, de 7 °C-kal járul a felszíni átlag hőmérsékletéhez.

A légkör összetétele – időbeli és térbeli változékonyság alapján

- Tartózkodási idő: amely idő alatt az anyag teljesen kikerülne a levegőből, ha nem lenne további emisszió.
 - Állandó összetevők: $>10^6$ év,
 - Változó: pár év,
 - Erősen változó: pár nap, pl.: antropogén eredetű szennyező anyagok (SO_2 , NO, NO_2 , CO), toxikus nehéz fémek.

A légkör összetétele

| molekulánév | vegyjel | koncentráció | tartózkodási idő |
|-----------------------------|---|--------------|------------------|
| ÁLLANDÓ GÁZOK | | | |
| nitrogén | N ₂ | 78,1% | 16 millió év |
| oxigén | O ₂ | 20,9% | 3-10 ezer év |
| argon | Ar | 0,9% | |
| neon | Ne | 18,18 ppm | |
| hélium | He | 5,24 ppm | 10 millió év |
| kripton | Kr | 1,79 ppm | |
| xenon | Xe | 0,087 ppm | |
| VÁLTOZÓ GÁZOK | | | |
| szén-dioxid | CO ₂ | 400 ppm + | 20-150 év |
| metán | CH ₄ | 1800 ppb + | 10 év |
| hidrogén | H ₂ | 530 ppb | 2 év |
| dinitrogén-oxid | N ₂ O | 325 ppb + | 150 év |
| ERŐSEN VÁLTOZÓ GÁZOK | | | |
| vízgőz | H ₂ O | 0-4% | 10 nap |
| szén-monoxid | CO | 50-250 ppb | néhány hónap |
| ózon | O ₃ | 10-100 ppb | hetek - hónapok |
| nitrogén-oxidok | NO, NO ₂ | 1-100 ppb | néhány nap |
| ammónia | NH ₃ | 0,1-10 ppb | néhány nap |
| kén-dioxid | SO ₂ | 0,3-300 ppb | néhány nap |
| hidrogén-szulfid | H ₂ S | 10-60 ppb | néhány óra |
| VOC | illékony szerves vegyületek (gyújtónév) | | |
| CFC, HCFC | halogénezett szénhidrogének (gyújtónév) | | |
| POP | felhalmozódó szerves vegyületek (gyújtónév) | | |

Időbeli és térbeli változatosság alapján

Relatív mennyiség alapján



Fő összetevő



Nyomgáz

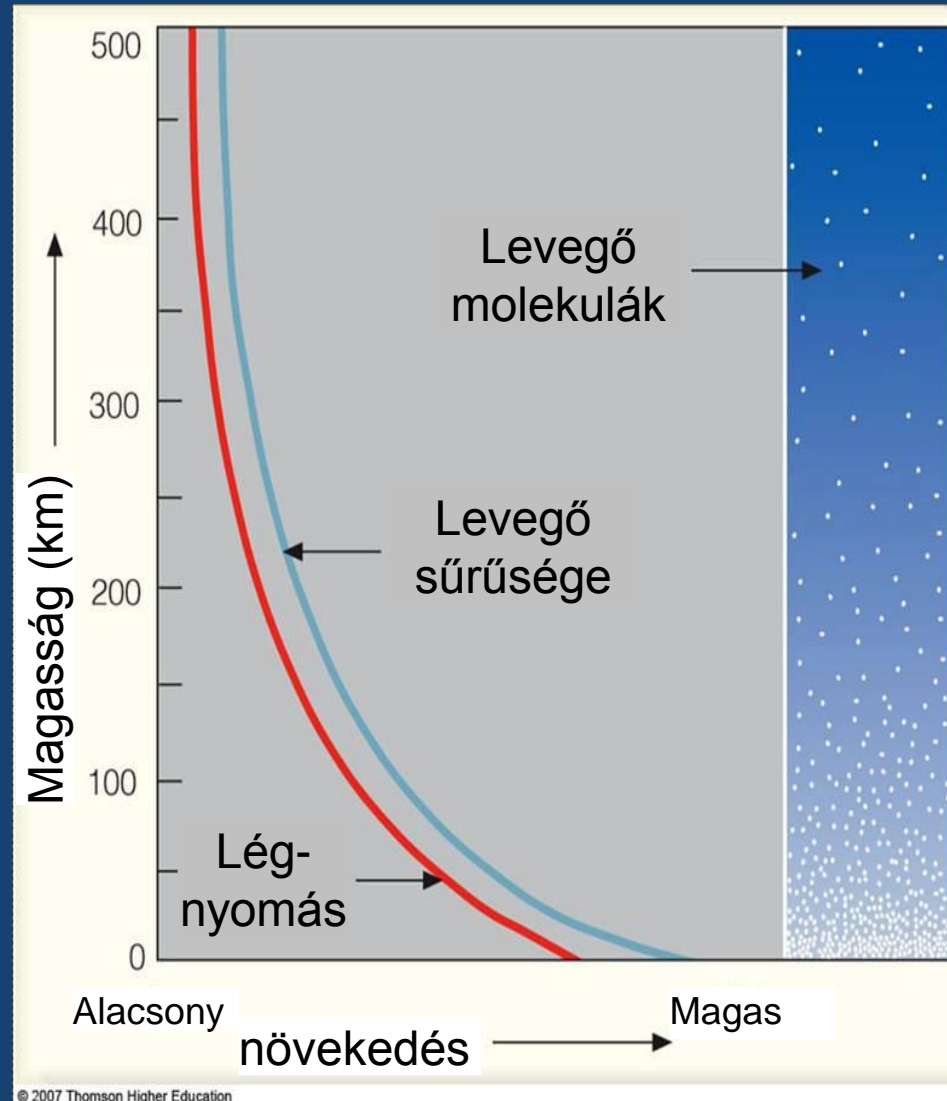
A légkör vertikális szerkezete

A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

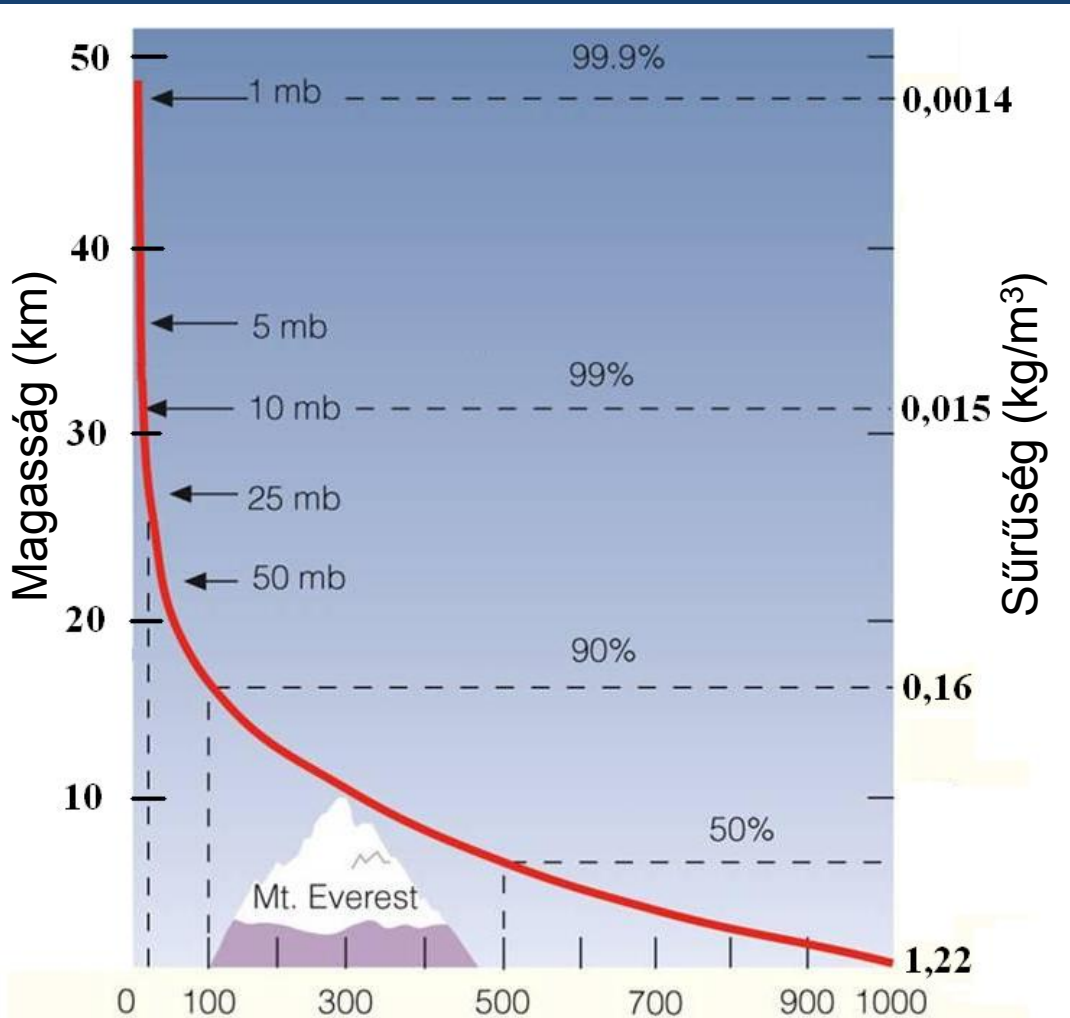
- Emlékeztető
 - Sűrűség (ρ) = tömeg/térfogat [kg/m^3]
 - Nyomás (p) = erő/terület [Pa]
 - Légköri nyomás – adott magasságban a levegő oszlop által 1 m^2 felületre kifejtett erő.

A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

- A légkör sűrűsége és nyomása exponenciálisan csökken a magassággal.



A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség



- Légkör teljes tömege:
 $5,3 \times 10^{15}$ t.
- A légkör tömegének $\approx 99\%$ -a a légkör alsó 30 km-es rétegében található.
- Miért nem repülnek a repülőök 40 km-en vagy annál magasabban?

A légkör vertikális szerkezete – felosztása tulajdonságok alapján

- Összetétel alapján
- Hőmérséklet eloszlás alapján
- Ionizáltság alapján

A légkör vertikális szerkezete – összetétel alapján

- Homoszféra
 - a felszíntől kb. 85 km magasságig,
 - relatív összetétel állandó,
 - vertikális légmozgások, turbulens diffúzió biztosítja az átkeveredést.
- Heteroszféra
 - az összetétel a magasság függvénye.
 - A levegő nagyon ritka => átkeveredési folyamatokhoz képest az egyes molekulák ütközés nélkül úthossza (szabad úthossz) nagyon hosszú.
 - A rétegződés molekula súly alapján történik – minél nehezebbek, annál alacsonyabban vannak.

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

Hőmérsékleti skálák:

A hőmérséklet mérésére szolgáló különböző hőfok-beosztású skálák.

- Celsius skála: A víz olvadáspontja és forráspontja között 100 részre felosztott skála, viszonyítási pontja a fagyás pont $\Rightarrow 0^{\circ}\text{C}$.
- Kelvin-skála: viszonyítási pontja az abszolút 0 fok – részecskék teljesen mozdulatlanok (a világűr hőmérséklete 4K).
 $T_K = 273,15 + t [^{\circ}\text{C}]$
- Fahrenheit skála:
 $T_F = (32 + t [^{\circ}\text{C}]) \times 9 / 5$

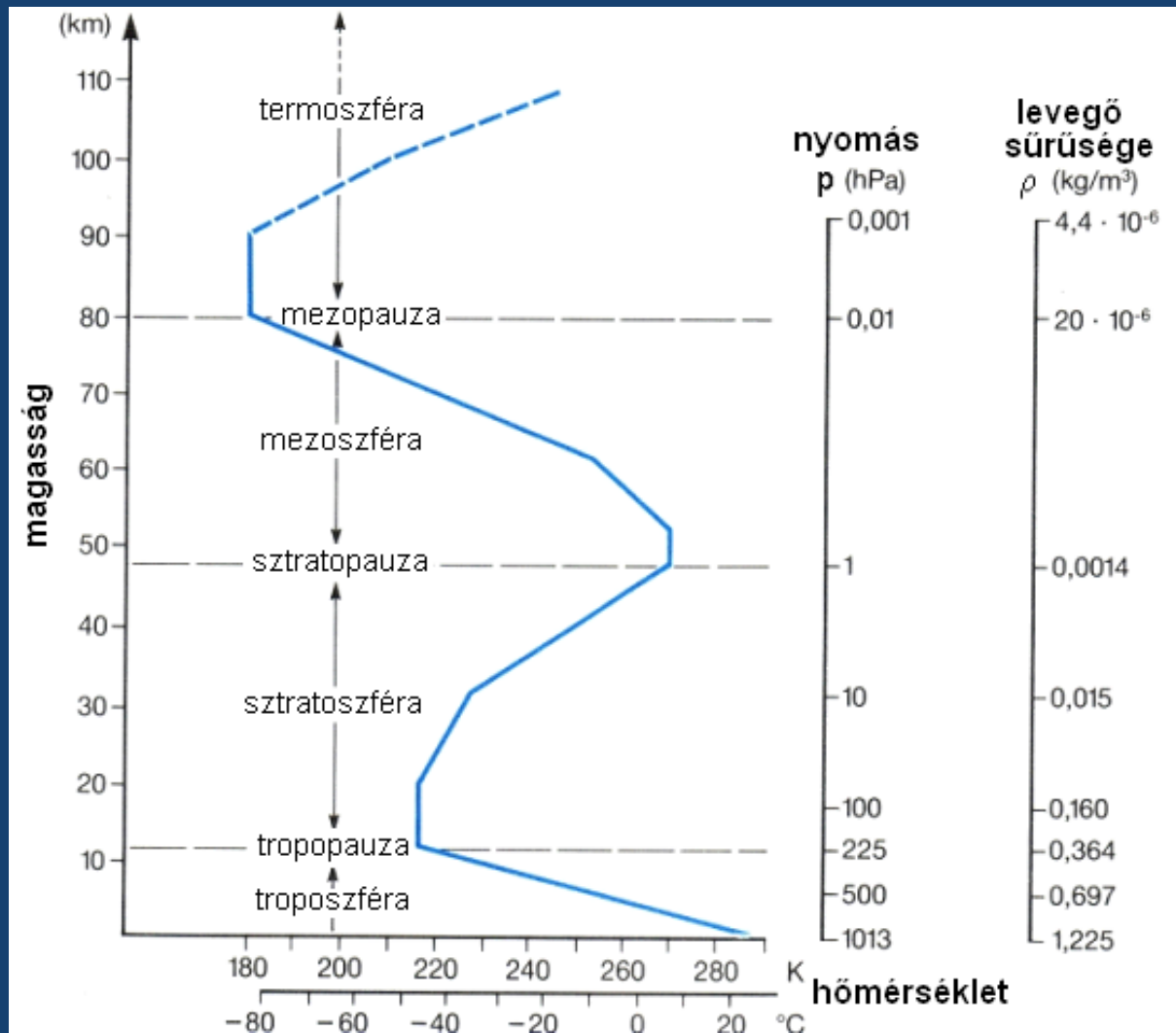
A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Milyen a hőmérséklet változása a tengerszint feletti magasság növekedésével?
 - a) sűrűséghez és nyomáshoz hasonló,
 - b) nem exponenciálisan, de folytonosan csökken,
 - c) exponenciálisan növekszik,
 - d) nem exponenciálisan, de folytonosan növekszik,
 - e) változékony, van ahol növekszik, van ahol csökken.

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Milyen a hőmérséklet változása a tengerszint feletti magasság növekedésével?
 - a) sűrűséghez és nyomáshoz hasonló,
 - b) nem exponenciálisan, de folytonosan csökken,
 - c) exponenciálisan növekszik,
 - d) nem exponenciálisan, de folytonosan növekszik,
 - e) változékony, van ahol növekszik, van ahol csökken.

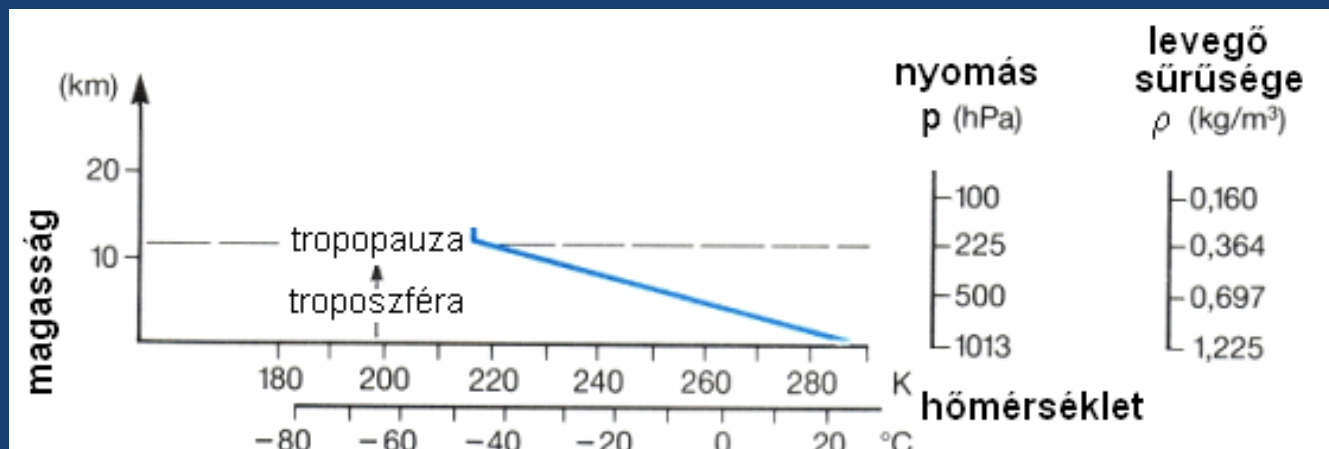
A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Troposzféra

- Emelkedve a nyomás is csökken => levegő kitágul => sűrűség is csökken.
- A földfelszíntől kap energiát => hőmérséklet csökken a magasság növekedésével.
- Horizontális és vertikális mozgások =>
- Időjárás legnagyobb része ebben a rétegben zajlik.



A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Hőmérséklet rétegződése a troposzférában nem egyenletes

Vertikális hőmérsékleti gradiens:

$$\gamma = -dT/dz$$

Ha $\gamma > 0$: a T a magassággal csökken

Ha $\gamma < 0$: a T a magassággal nő (inverzió)

Ha $\gamma = 0$: izotermikus réteg

- Átlagos $\gamma \approx 6,5 \text{ } ^\circ\text{C/km}$

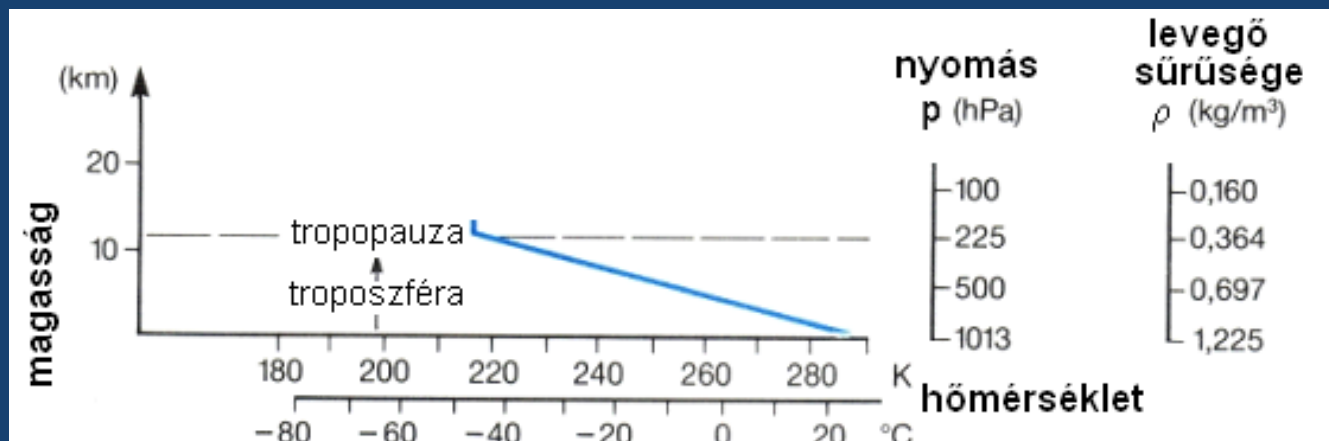
A légkör vertikális szerkezete – troposzféra szerkezete

- Lamináris réteg: felszínt borító néhány mm vastag légtömeg.
- Felszíni vagy felszín közeli réteg: vertikális anyagáram
 - éjjel: 20 - 30 m,
 - nappal: 50 – 100 m.
- Határréteg: 100 – 3000 m magasságig
 - horizontális és vertikális légmozgás,
 - 1-2 óra alatt reagál a felszíni változásokra,
 - felszíni hatások jelentősek (domborzat),
 - szennyezőanyag terjedés.
- Szabad légkör: határrétegtől tropopauzáig
 - vertikális légmozgás elhanyagolható a horizontálishoz képest (kivéve zivatar felhők esetén).

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

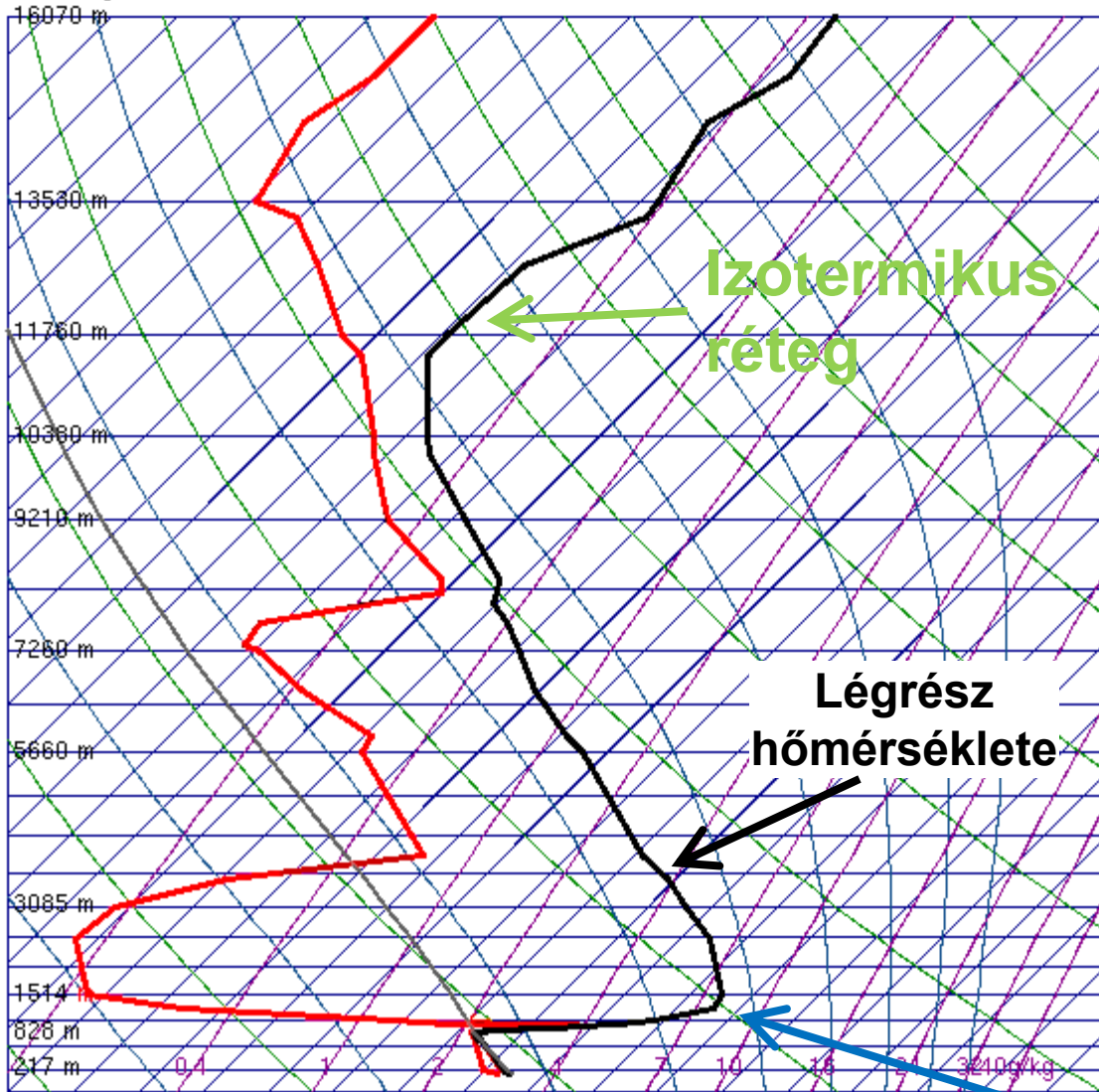
- Tropopauza

- A hőmérséklet változása kb. 2 km vastagságban legfeljebb 2°C -t változik.
- Az Egyenlítő környékén 14-16 km, sarkoknál 6-8 km magasan (500 hPa-nál alacsonyabb nyomáson).
- Csak „szakadás” hatására van anyagcsere troposzféra és a felette levő légréteg között.



12843 Budapest

100



- Időjárástól és évszaktól függően LOKÁLISAN főként az alsó kb. 2500 m-es rétegben ettől jelentősen ($\pm 1-10^\circ\text{C}/\text{km}$) eltérhet.

00Z 19 Dec 2013

Hőmérséklet ($^\circ\text{C}$) University of Wyoming

Inverzió

Tropopauza – dinamikus akadály

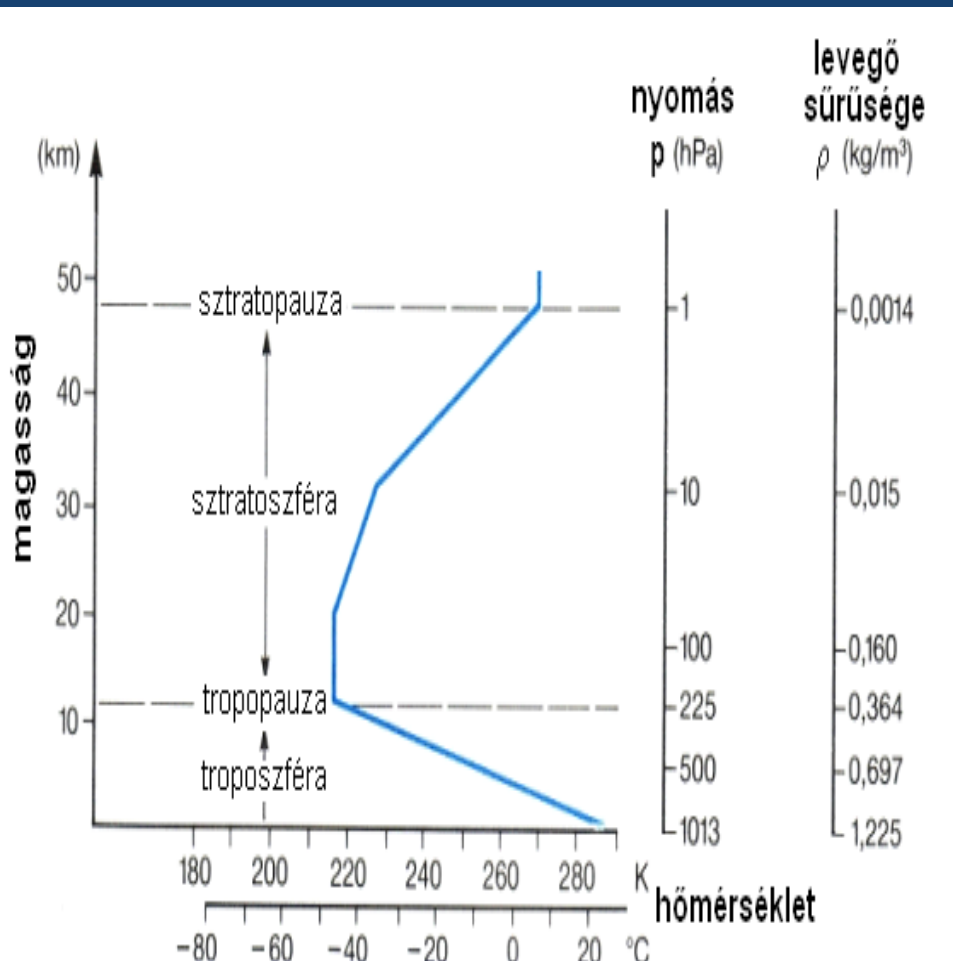
2013-08-05 16:30 - 17:38 UTC (1h 08 m, $\Delta T=5s$, 125x)
Ricoh GXR A16 (24-85mm) © 2013 Martin SETVÁK



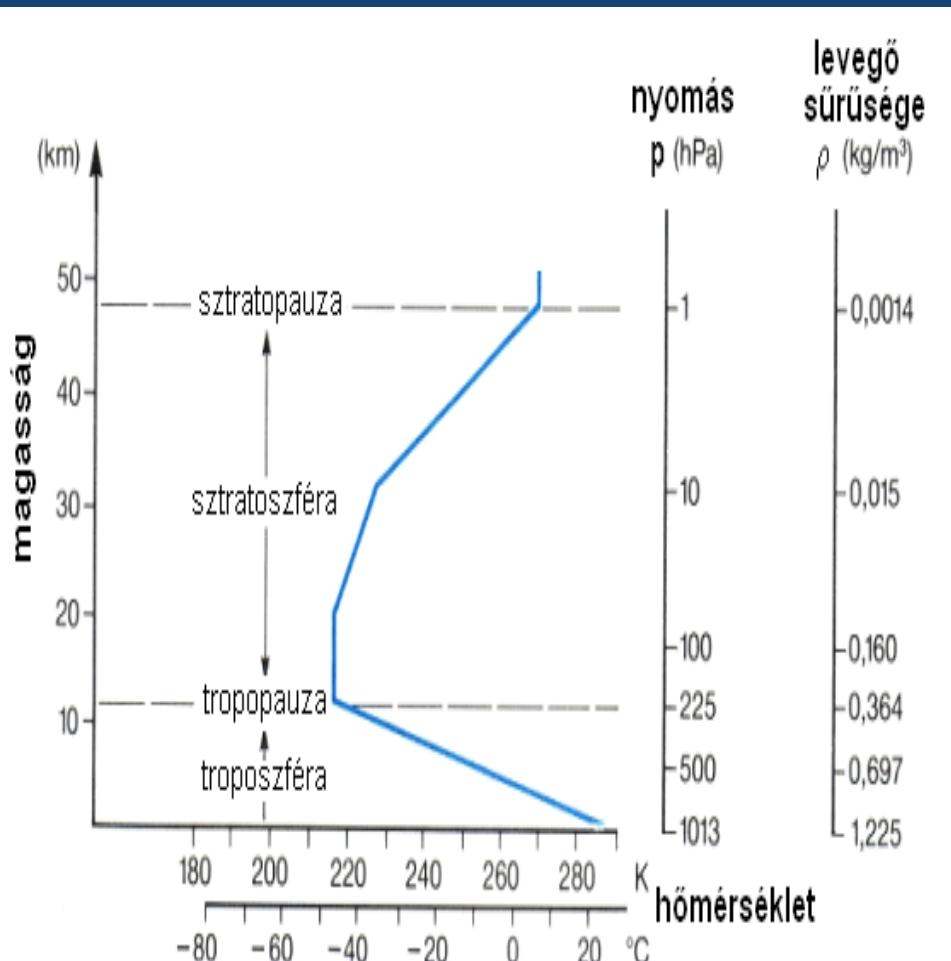
A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra

– Miért növekszik a hőmérséklet a magassággal?



A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



- Sztratoszféra

- Miért növekszik a hőmérséklet a magassággal?
- A sztratoszférában található O_3 elnyeli a Napból érkező UV sugárzást => kémiai reakció (Chapman-mechanizmus) => energia többlet => hőmérséklet emelkedés.

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Chapman-mechanizmus
 - $O_2 + h\nu_1 \rightarrow 2 O$ ($\lambda = 1/\nu_1 < 242 \text{ nm}$) (E felszab +)
 - $M + O + O_2 \rightarrow M + O_3$ (E felszab ++)
 - $O_3 + h\nu_2 \rightarrow O + O_2$ ($\lambda = 1/\nu_2 = < 320 \text{ nm}$) (E felszab +)
 - $O + O_3 \rightarrow 2 O_2$ (E felszab +++)

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra
 - Mi az ózonlyuk?

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra

- Mi az ózonlyuk?

- Ózonlyukról akkor beszélünk, ha az átlagos sztratoszférikus ózon mennyiségének csak kb. 30%-a van jelen adott területen.

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra

- Mi az ózonlyuk?
- Ózonlyukról akkor beszélünk, ha az átlagos sztratoszférikus ózon mennyiségének csak kb. 30%-a van jelen adott területen.
- A légszennyezettséget mérő állomásokon is mérnek ózont, ha elnyeli az UV sugárzást, akkor miért baj, hogy a felszínen is van ózon?

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

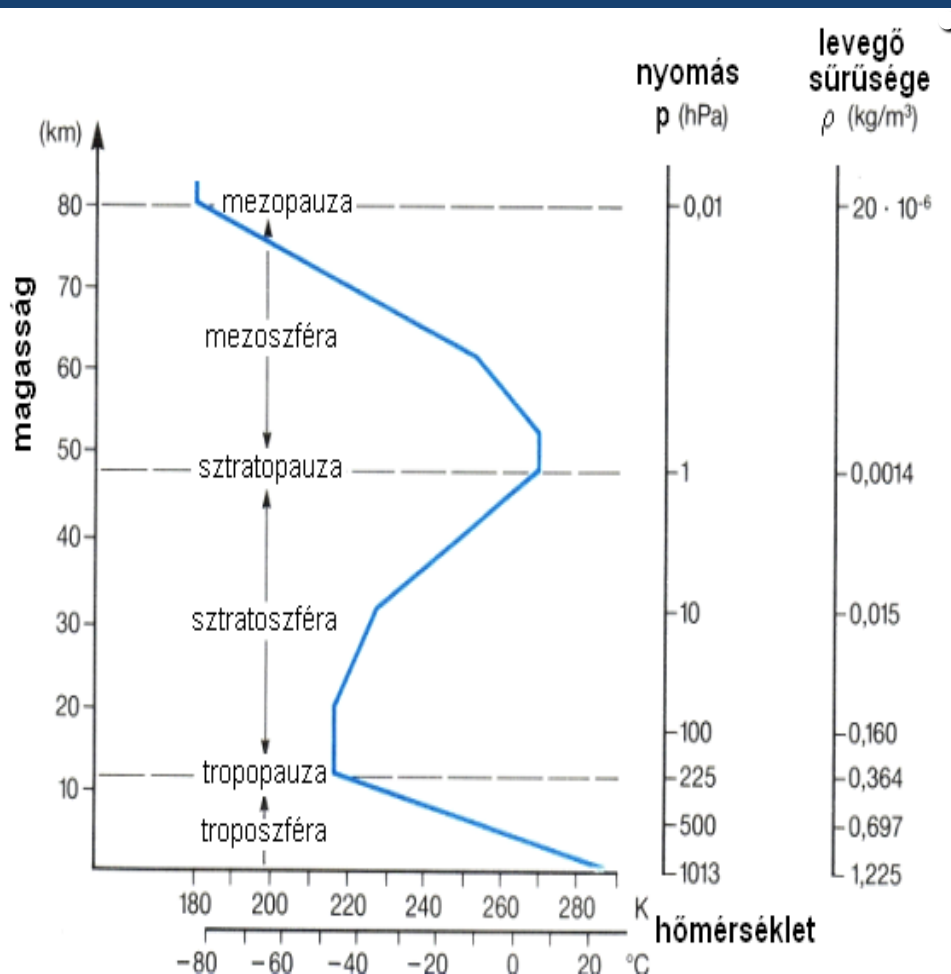
- Sztratoszféra

- Mi az ózonlyuk?
- Ózonlyukról akkor beszélünk, ha az átlagos sztratoszférikus ózon mennyiségének csak kb. 30%-a van jelen adott területen.
- A légszennyezettséget mérő állomásokon is mérnek ózont, ha elnyeli az UV sugárzást, akkor miért baj, hogy a felszínen is van ózon?
- Mert ipari szennyezés eredménye képpen keletkezik, erős oxidáló hatású, üvegházhatású gáz. A troposzférikus ózon roncsolja a növényzet légcsere nyílásait és káros az emberi egészségre.

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra
 - Mi az ózonlyuk?
 - Ózonlyukról akkor beszélünk, ha az átlagos sztratoszférikus ózon mennyiségének csak kb. 30%-a van jelen adott területen.
 - A légszennyezettséget mérő állomásokon is mérnek ózont, ha elnyeli az UV sugárzást, akkor miért baj, hogy a felszínen is van ózon?
 - Mert ipari szennyezés eredménye képpen keletkezik, erős oxidáló hatású, üvegházhatású gáz. A troposzférikus ózon roncsolja a növényzet légcsere nyílásait és káros az emberi egészségre.
- Sztratopauza (kb. 50 km) ~ tropopauza

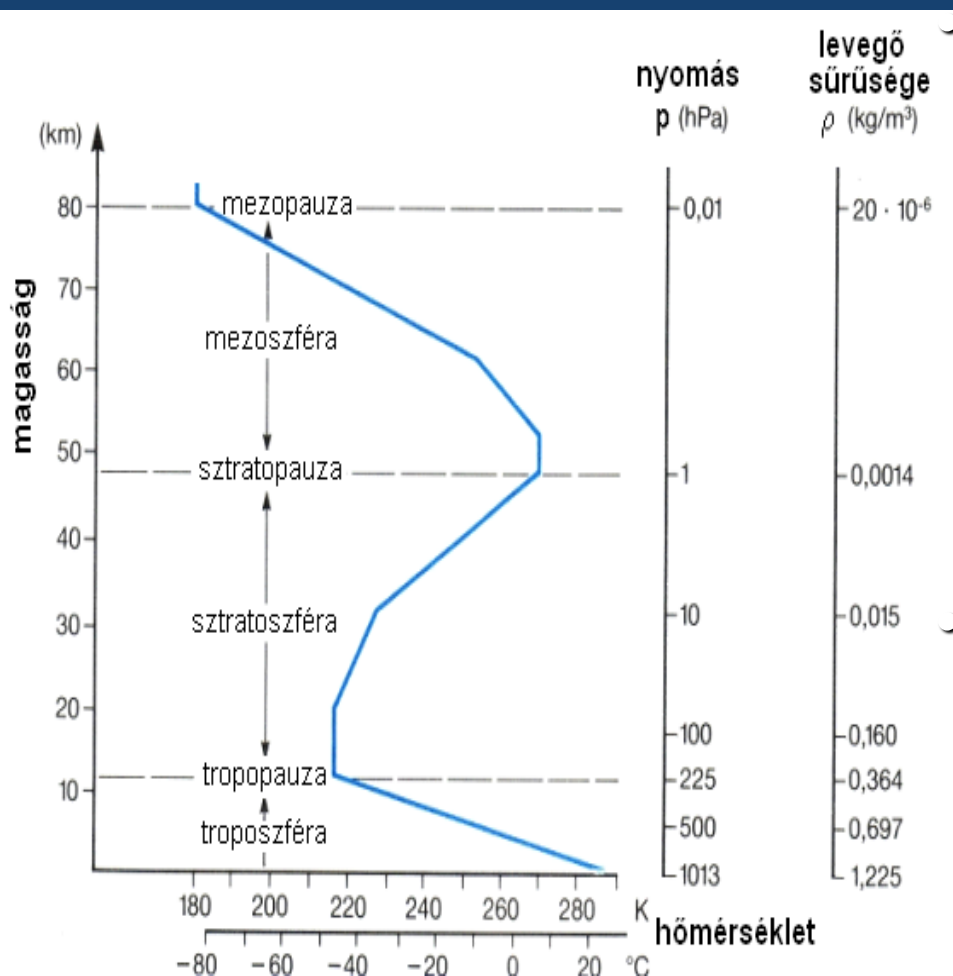
A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



Mezoszféra

- a hőmérséklet csökken a magassággal,
- a molekulasúly lassan csökkeni kezd,
- a légkör hőmérséklete a mezoszféra tetején a legalacsonyabb.

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



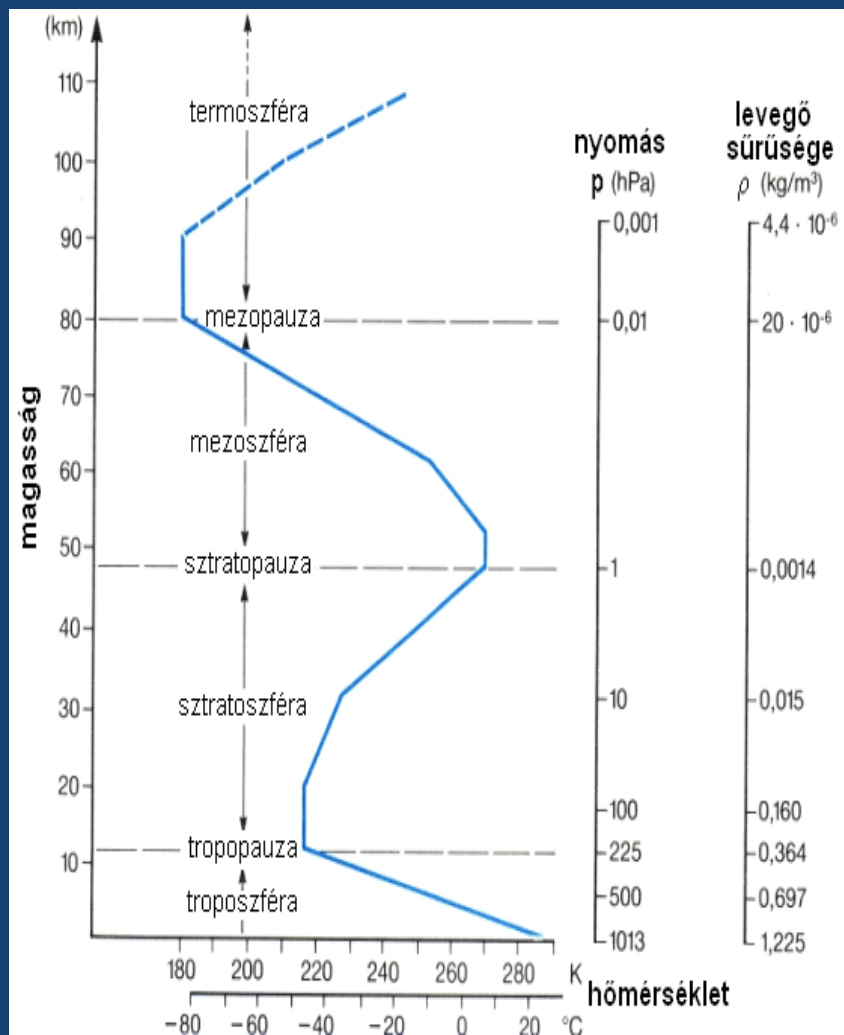
Mezoszféra

- A Földet elérő meteorok ebben a rétegben kezdenek el izzani.
- Ha a hőm. itt a legalacsonyabb mitől izzanak a meteoritok?

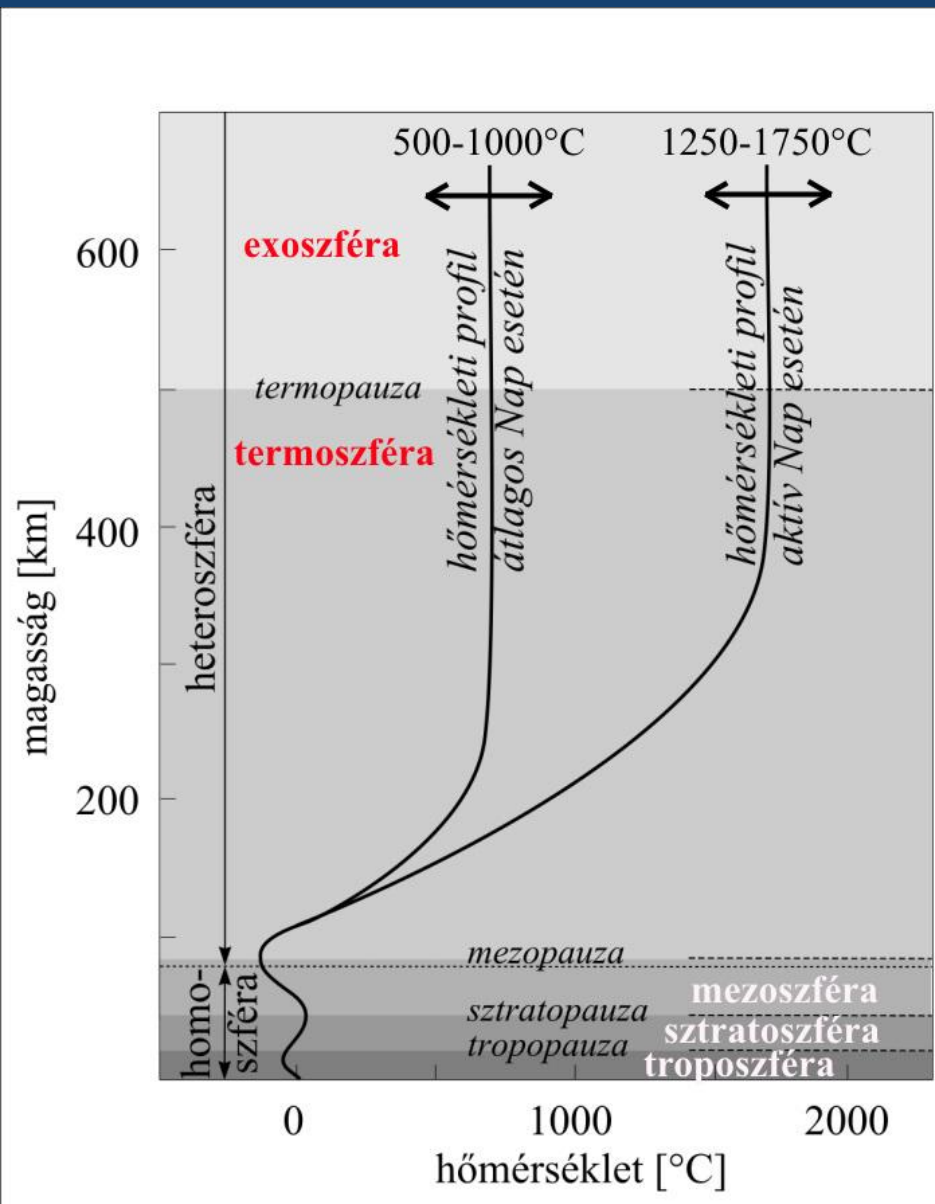
Mezopauza

- kb. egybeesik a homoszféra és heteroszféra határával (kb. 85 km)

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



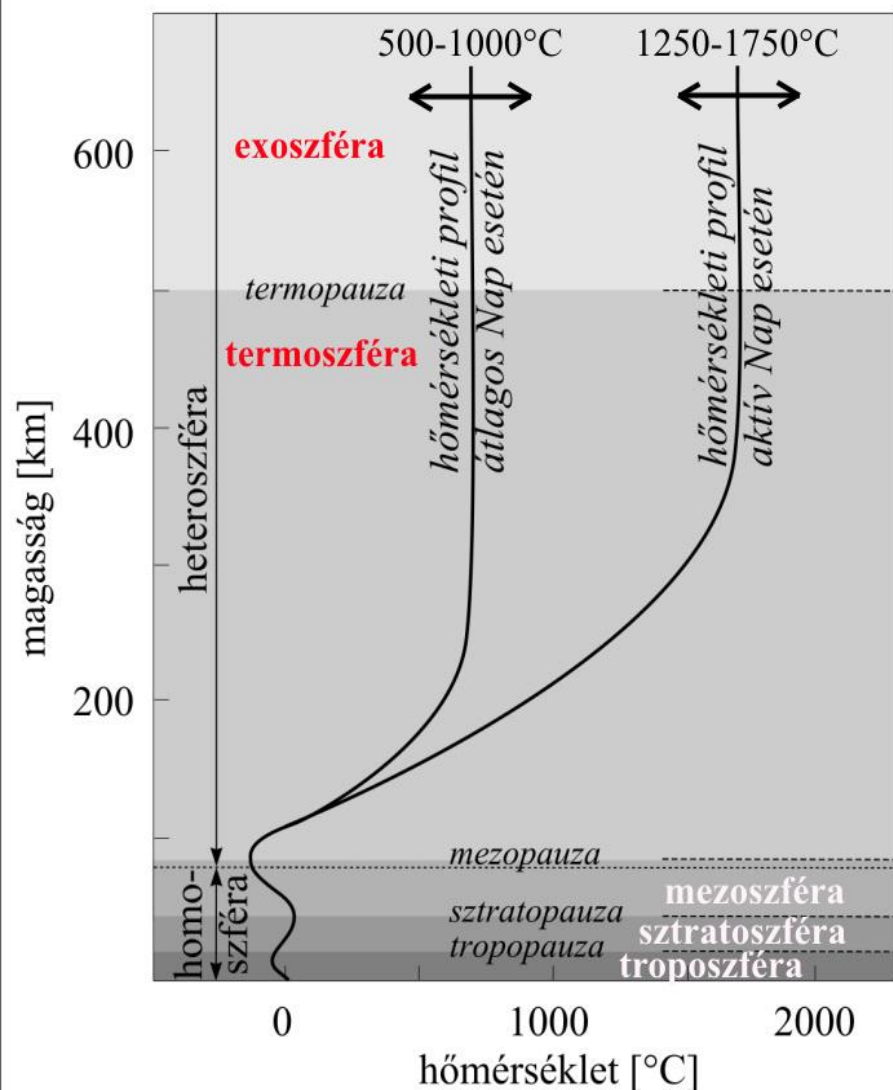
A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



• Termoszféra:

- Kb. 85 – 500 km
- Anyagok tömeg szerinti szétválása,
- a hőmérséklet a magassággal emelkedik – molekulák rövid hullámú sugárzást nyelnek el.
- A nemzetközi űrállomás kb. 350 km magasságban kering a Föld körül, hogyan lehetséges, hogy a magas hőmérséklet nincs hatással sem az űrállomásra, sem pedig az űrhajósokra?

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

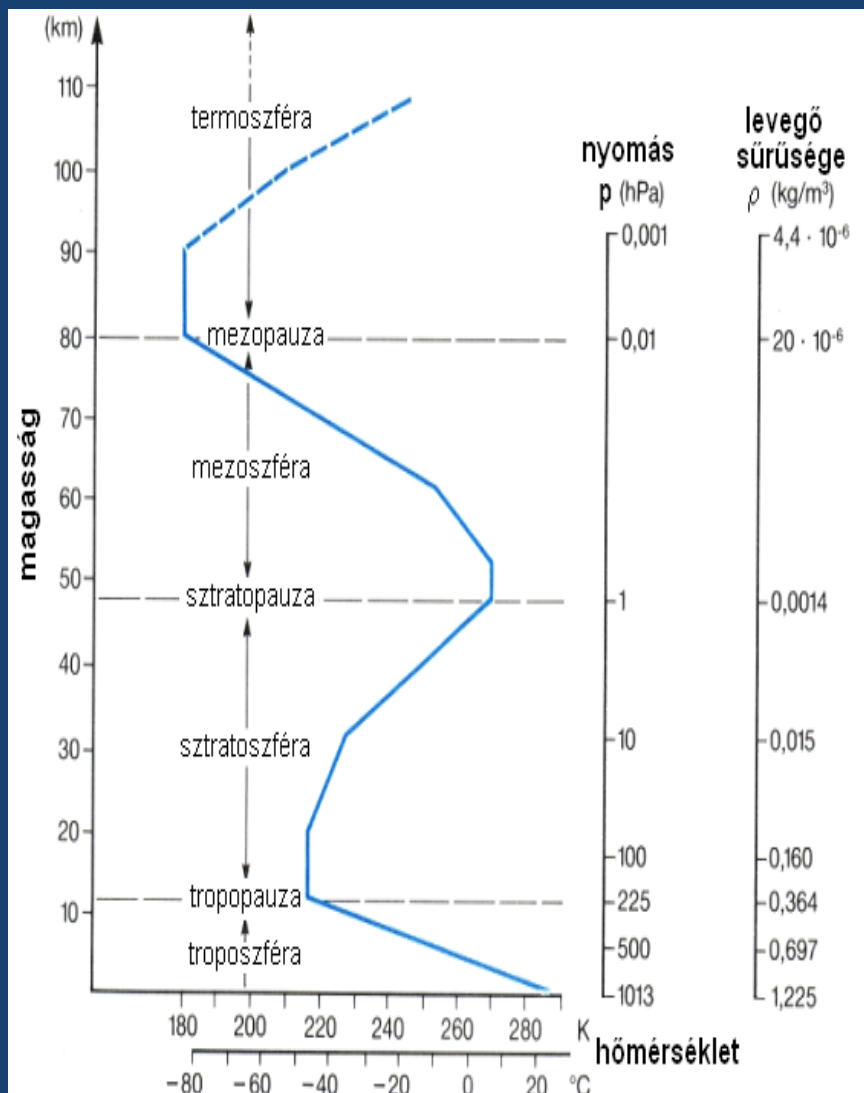


• Exoszféra:

- Kb. 500 – 10000 km
- A molekulák és atomok nagy sebességgel ballisztikus pályán haladnak.
- A H elérheti szökési sebességet.
- Mekkora a szökési sebesség?

$$v_H = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 1500}{0,001}} = 6115 \frac{m}{s}$$

A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



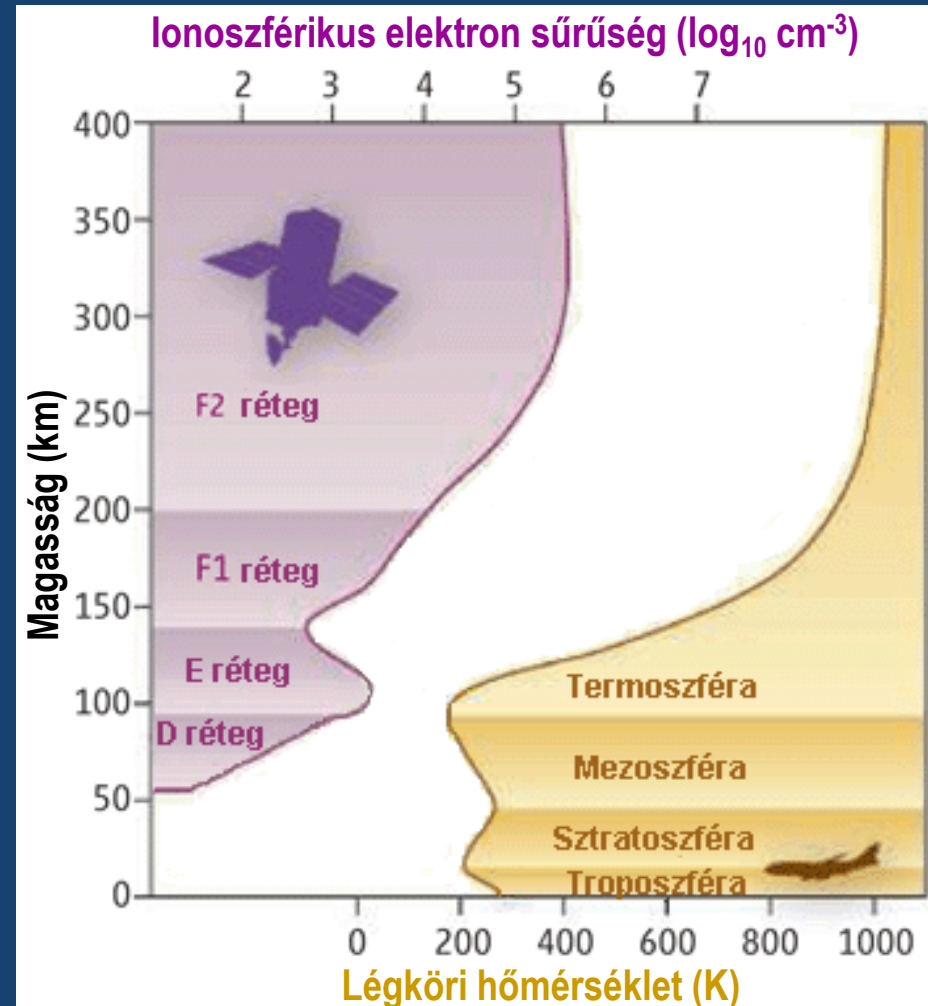
- Troposzféra
- Tropopauza – kb. 12 km
- Sztratoszféra
- Sztratopauza – kb. 50 km
- Mezoszféra
- Mezopauza – kb. 80 km
- Termoszféra – kb. 500 km-ig
- Exoszféra – kb. 10000 km-ig

A légkör vertikális szerkezete – ionizáltság alapján

- Heteroszférában:
 - A molekulák szabad úthossza nagy.
 - Kozmikus-, napsugárzás nagy energiájú – ionizálja a légköri részecskéket,
 - töltött (pozitív vagy negatív) részecskék jelennek meg.
- Ionosféra: Alsó határa: ahol a max. behatoló-képességű sug. már elegendő e-ion párt kelt ahhoz, hogy a rádióhullámok terjedését észrevehetően befolyásolják.
- Ionosféra szerepe – távközlés – rádió hullámok terjedése

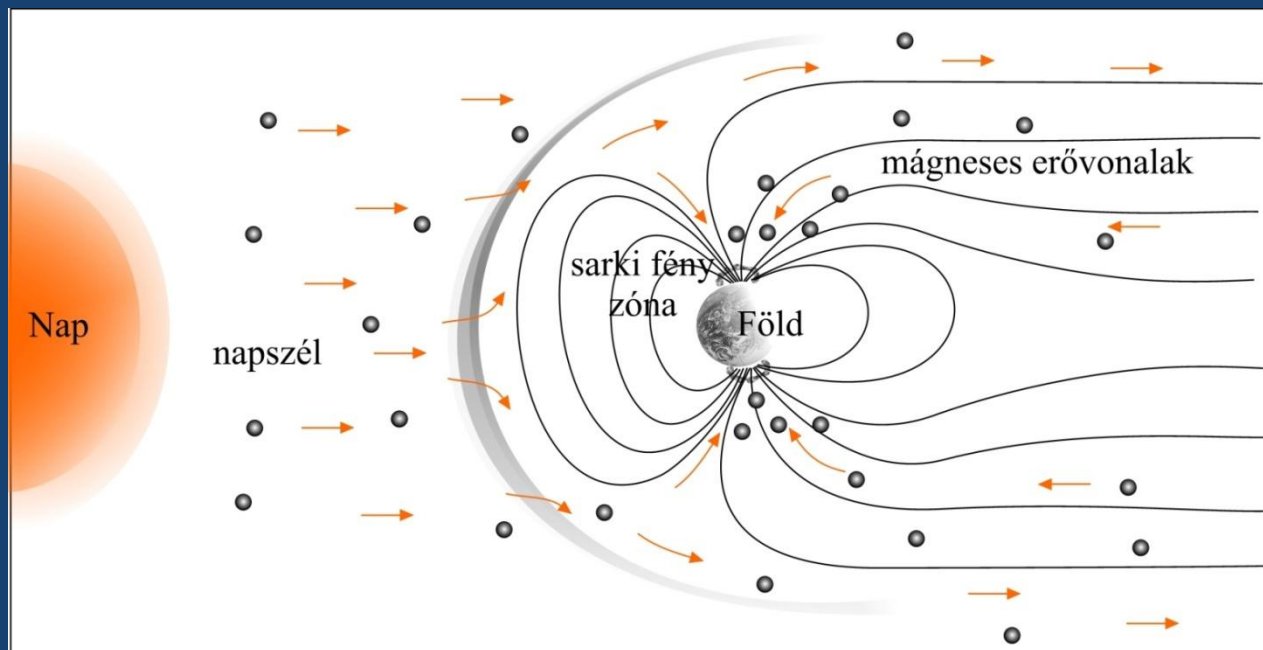
A légkör vertikális szerkezete – ionizáltság alapján

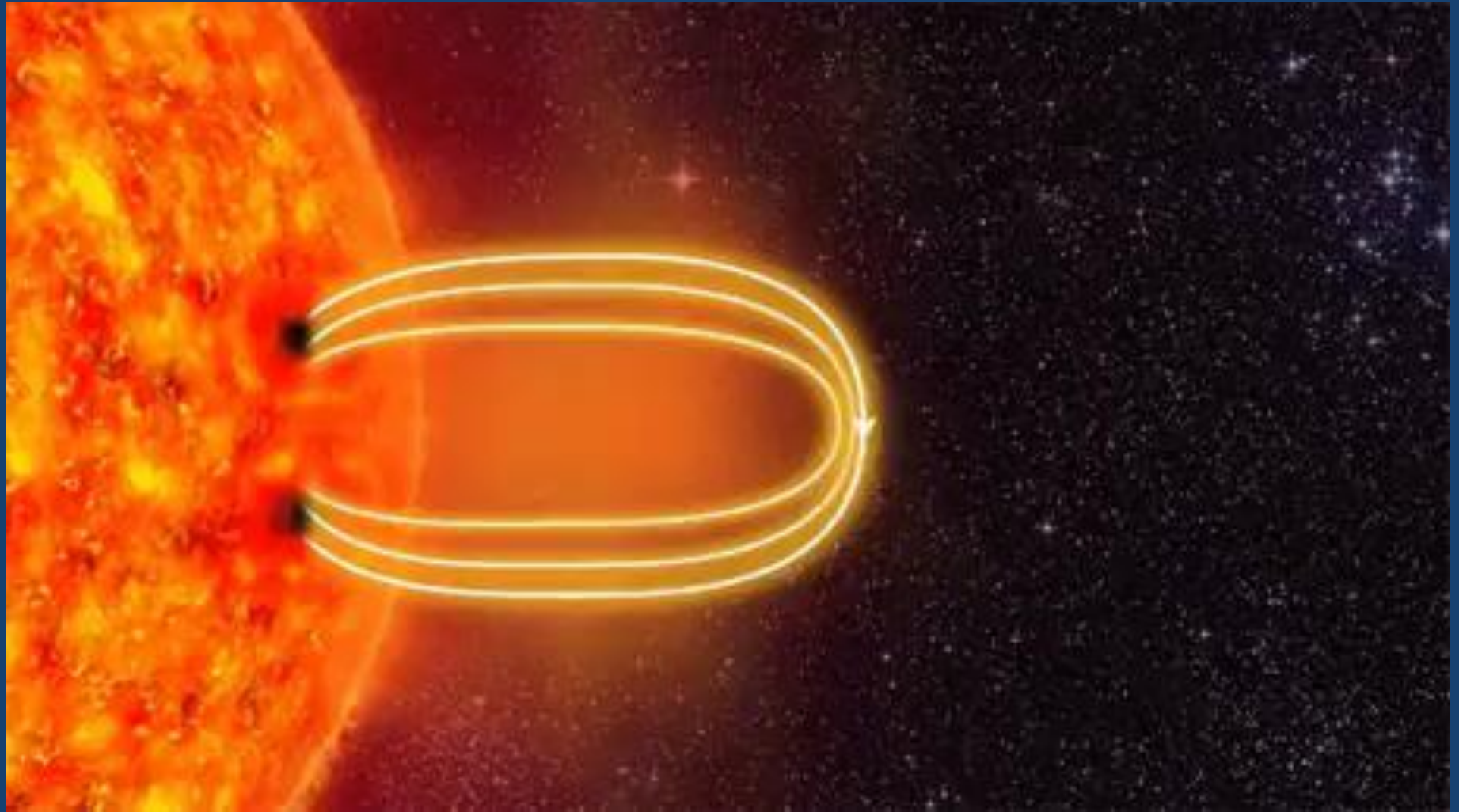
- Ionoszféra rétegei
 - D réteg – 50-90 km, csak nappal, alacsony hullámhosszú rádió hullámok elnyelése
 - E réteg – 90-120 km
 - F réteg – 120-400 km, napközben F1 és F2 rétegre osztható, rádió hullámok visszaverése a felszín felé.



A légkör vertikális szerkezete – ionizáltság alapján

- Magnetoszféra:
 - Teteje a magnetopauza, a légkör felső határa, mely a napszél és a földi mágneses tér kölcsönhatásaként alakul ki.
 - A gáz mozgását már nem a gravitáció, hanem a földi mágneses tér és a plazma kapcsolata határozza meg.





A légkör vertikális szerkezete – ionizáltság alapján

Auróra jelenség:

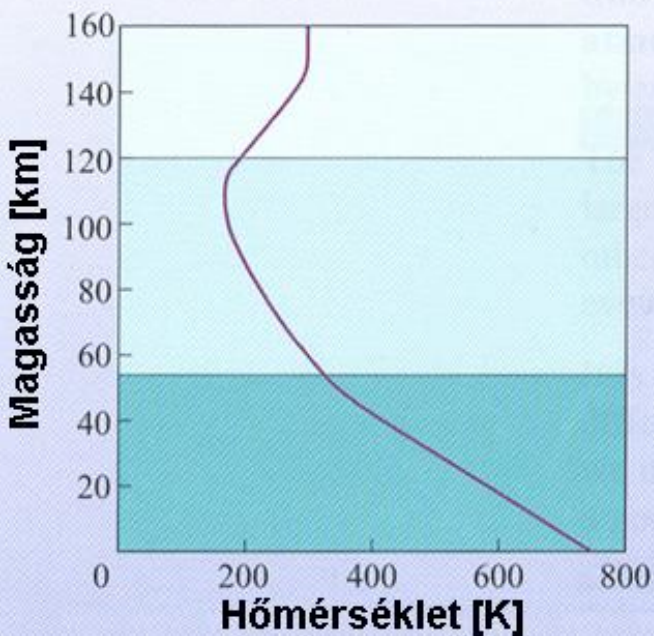
- Napkitörések => nagy mennyiségű plazma kerül a pólusoknál az ionoszférába
- Ionizált és gerjesztett állapotú O (piros, zöld), N (kék), N₂ (vörös)



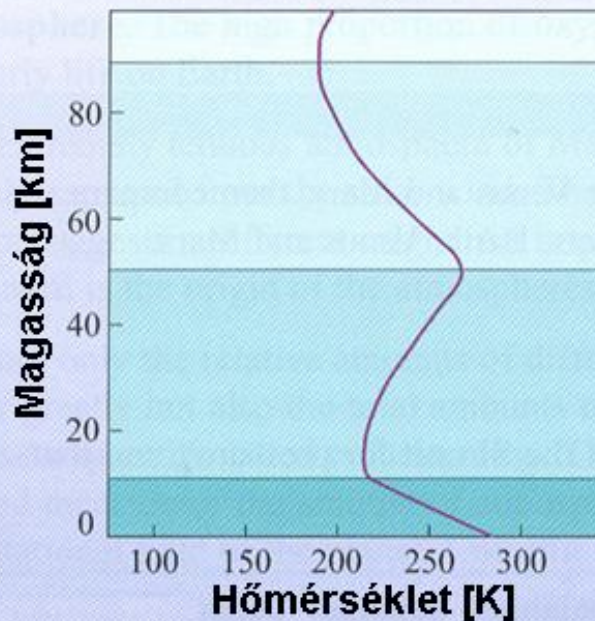
A Naprendszer többi tagja

| | Átmérő (km) | Távolság (x10 ⁶ km) | Átlagos felszíni hőm. (°C) | Sűrűség (kg/m ³) | Főbb légköri összetevők |
|------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Nap | 1,392,000 | - | 5,800 | | - |
| Merkúr | 4,880 | 58 | 260 | 5,4 | - |
| Vénusz | 12,100 | 108 | 480 | 5,3 | CO ₂ |
| Föld | 12,750 | 150 | 15 | 5,5 | N ₂ , O ₂ |
| Mars | 6,800 | 228 | -60 | 3,9 | CO ₂ |
| Jupiter | 143,000 | 778 | -150 | 1,3 | H ₂ , He |
| Szaturnusz | 121,000 | 1,427 | -170 | 0,7 | H ₂ , He |
| Uránusz | 52,800 | 2,869 | -200 | 1,3 | H ₂ , CH ₄ |
| Neptunusz | 49,500 | 4,498 | -210 | 1,7 | H ₂ , CH ₄ |

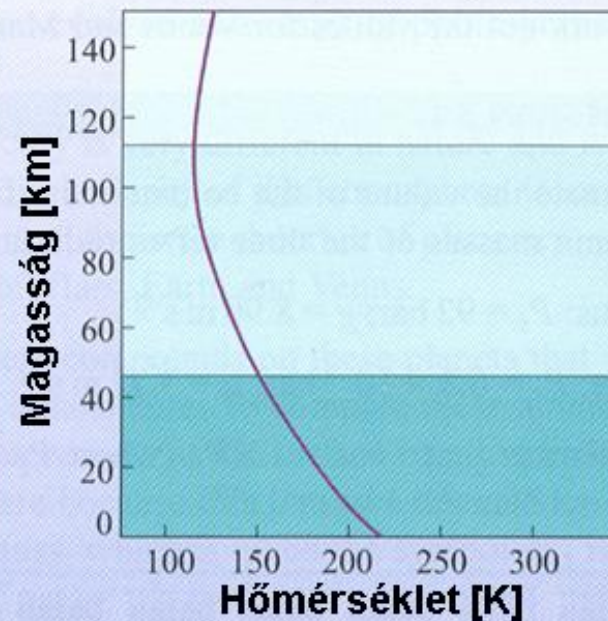
A Naprendszer többi tagja



(a) Vénusz



(b) Föld



(c) Mars

termoszféra mezoszféra sztratoszféra troposzféra



Köszönöm a figyelmet!

