

# A légkör összetétele és vertikális szerkezete

**Készítette:  
Breuer Hajnalka**



**ELTE-TTK Meteorológiai Tanszék**

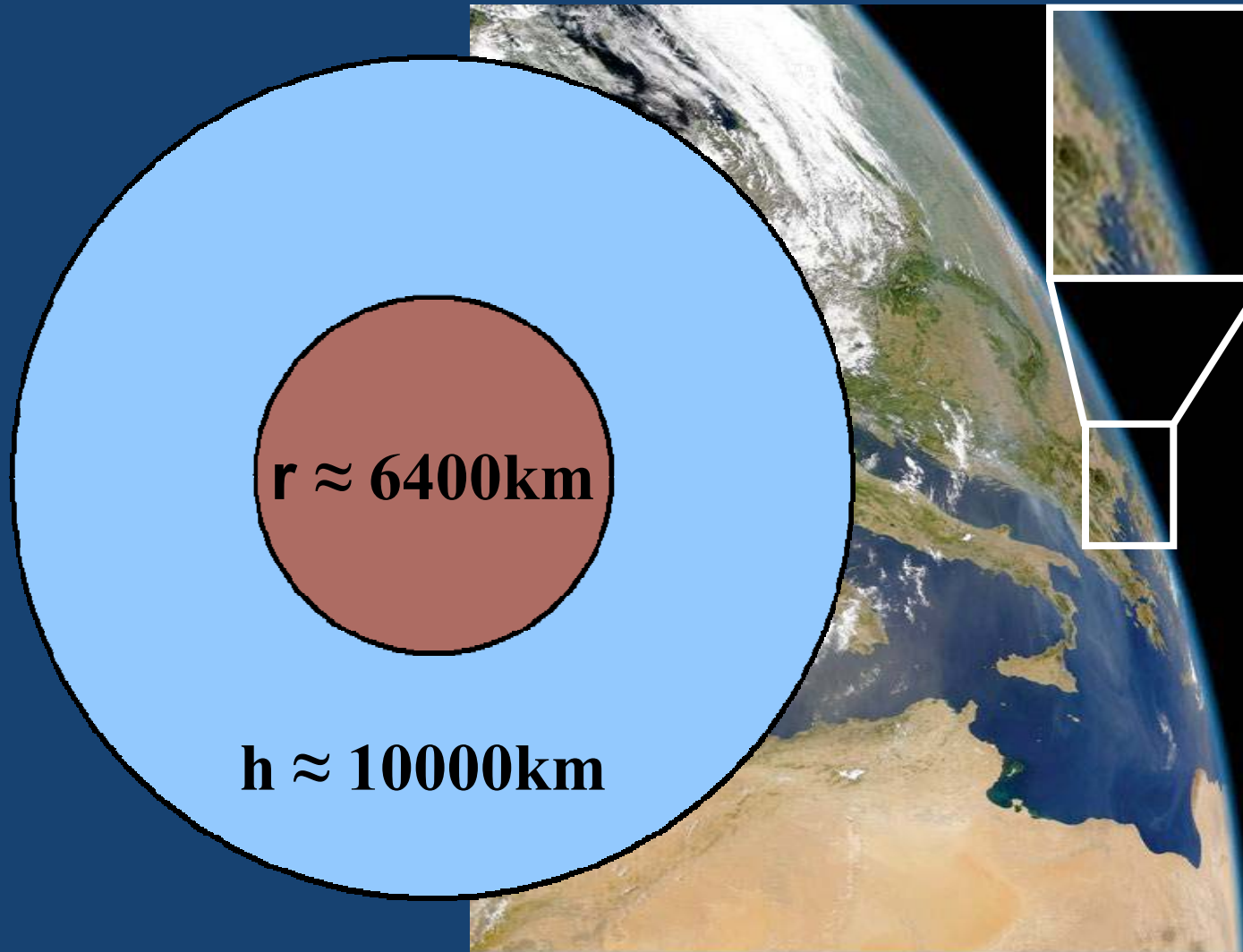
Mi a légkör?

Meddig tart a légkör (km)?

# Légekör

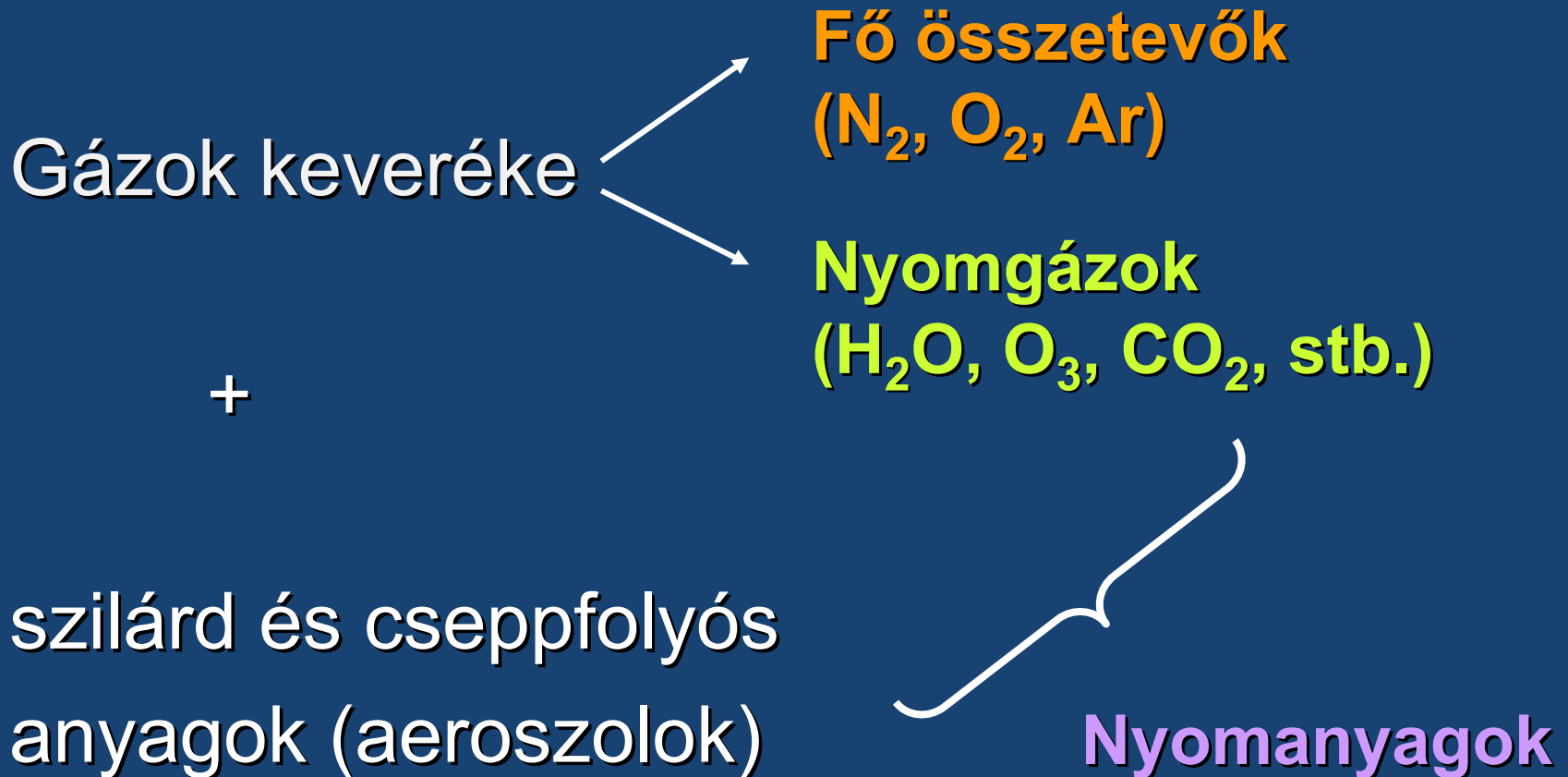
- A légkör a Földet körülvevő különböző gázok, továbbá szilárd és cseppfolyós részecskék keveréke.
- Határa addig terjed, amíg a légrészecskék a Földdel EGYÜTT mozognak a Föld gravitációjának hatására ( $\approx 10000\text{km}$ ).

# Légekör



# A légkör összetétele

# A légkör összetétele – relatív mennyiség alapján



# Fő összetevők

Gáz	Vegyjel	Térfogat %	Jelentőség
Nitrogén	N <sub>2</sub>	78,08	Bioszféra
Oxigén	O <sub>2</sub>	20,94	Lélegzés
Argon	Ar	0,93	nincs

# Nyomgázok

- **Vízgőz (H<sub>2</sub>O):**
  - a légkör alsó rétegében található,
  - időben és térben változó eloszlású – 0-4 m%,
  - üvegházhatású => 33°C-kal lenne kevesebb a felszíni átlag hőmérséklet
    - (H<sub>2</sub>O: 20,6 °C, CO<sub>2</sub>: 7,2 °C, O<sub>3</sub>: 2,4 °C, N<sub>2</sub>O: 1,4 °C, CH<sub>4</sub>: 0,8 °C)
  - felhőképződés (+ aeroszolok).
- **Ózon (O<sub>3</sub>):**
  - elsősorban a világűrből érkező UV sugárzást szűri meg.
- **Szén-dioxid (CO<sub>2</sub>):**
  - 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 ( $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_2$ , CO), toxikus nehéz fémek.

# A légkör összetétele

Gáz	Vegyjel	Térfogatszázalék	Minősítés				
			fő össze- tevő	nyom- gáz	ál- landó	vál- tozó	erő- sen vál- tozó
Nitrogén	N <sub>2</sub>	78,084	+		+		
Oxigén	O <sub>2</sub>	20,946	+		+		
Argon	Ar	0,934	+		+		
Neon	Ne	1,818 · 10 <sup>-3</sup>		+	+		
Hélium	He	5,24 · 10 <sup>-4</sup>		+	+		
Kripton	Kr	1,14 · 10 <sup>-4</sup>		+	+		
Xenon	Xe	8,7 · 10 <sup>-6</sup>		+	+		
Szén-dioxid	CO <sub>2</sub>	0,032	+			+	
Metán	CH <sub>4</sub>	2 · 10 <sup>-4</sup>		+		+	
Hidrogén	H <sub>2</sub>	5 · 10 <sup>-5</sup>		+		+	
Dinitrogén-oxid	N <sub>2</sub> O	2,5 · 10 <sup>-5</sup>		+		+	
Ózon	O <sub>3</sub>	0–5 · 10 <sup>-6</sup>		+		+	
Vízgőz	H <sub>2</sub> O	0–4		+			+
Szén-monoxid	CO	0–2 · 10 <sup>-5</sup>		+			+
Nitrogén-dioxid	NO <sub>2</sub>	0–3 · 10 <sup>-7</sup>		+			+
Ammónia	NH <sub>3</sub>	0–2 · 10 <sup>-6</sup>		+			+
Kén-dioxid	SO <sub>2</sub>	0–2 · 10 <sup>-7</sup>		+			+
Kén-hidrogén	H <sub>2</sub> S	0–2 · 10 <sup>-7</sup>		+			+

Relatív  
mennyiség  
alapján

Időbeli és  
térbeli  
változatosság  
alapján

# A légkör vertikális szerkezete

# A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

- Emlékeztető

- Sűrűség ( $\rho$ ) = tömeg/térfogat [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

- Nyomás ( $p$ ) = erő/terület [Pa]

- Légköri nyomás – adott magasságban a levegő oszlop által  $1 \text{ m}^2$  felületre kifejtett erő.

# A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

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

Melyik a fejt ki nagyobb nyomást egy lábon állva, egy átlagos nő túsarkon állva, vagy egy afrikai elefánt?

$$p = F / A = (m \cdot g) / A$$

$$p = \frac{60\text{kg} \cdot g}{2\text{cm}^2} = \frac{60\text{kg} \cdot g}{0,0002\text{m}^2}$$

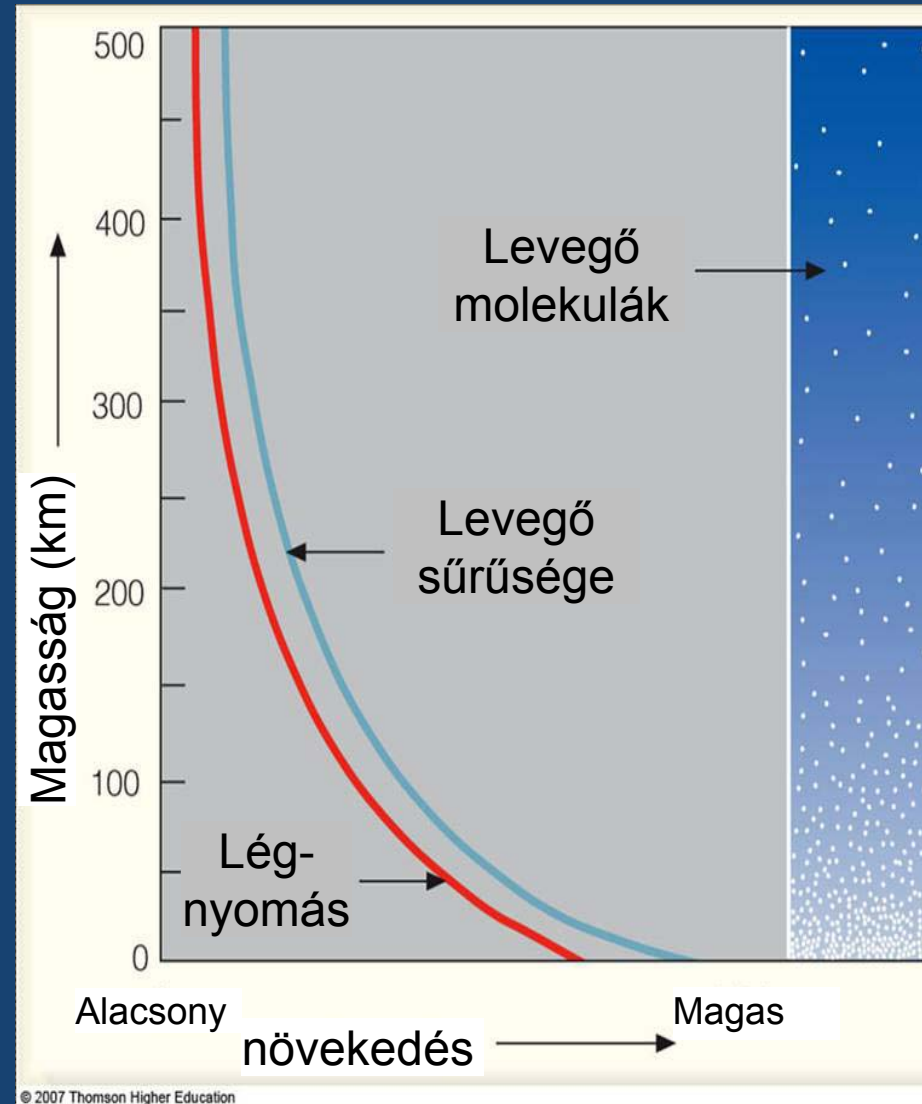
$$p = \frac{3000\text{kg} \cdot g}{1500\text{cm}^2} = \frac{3000\text{kg} \cdot g}{0,15\text{m}^2}$$

$$p = \frac{60\text{kg} \cdot g}{2 \cdot 10^{-4} \text{m}^2} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot g$$

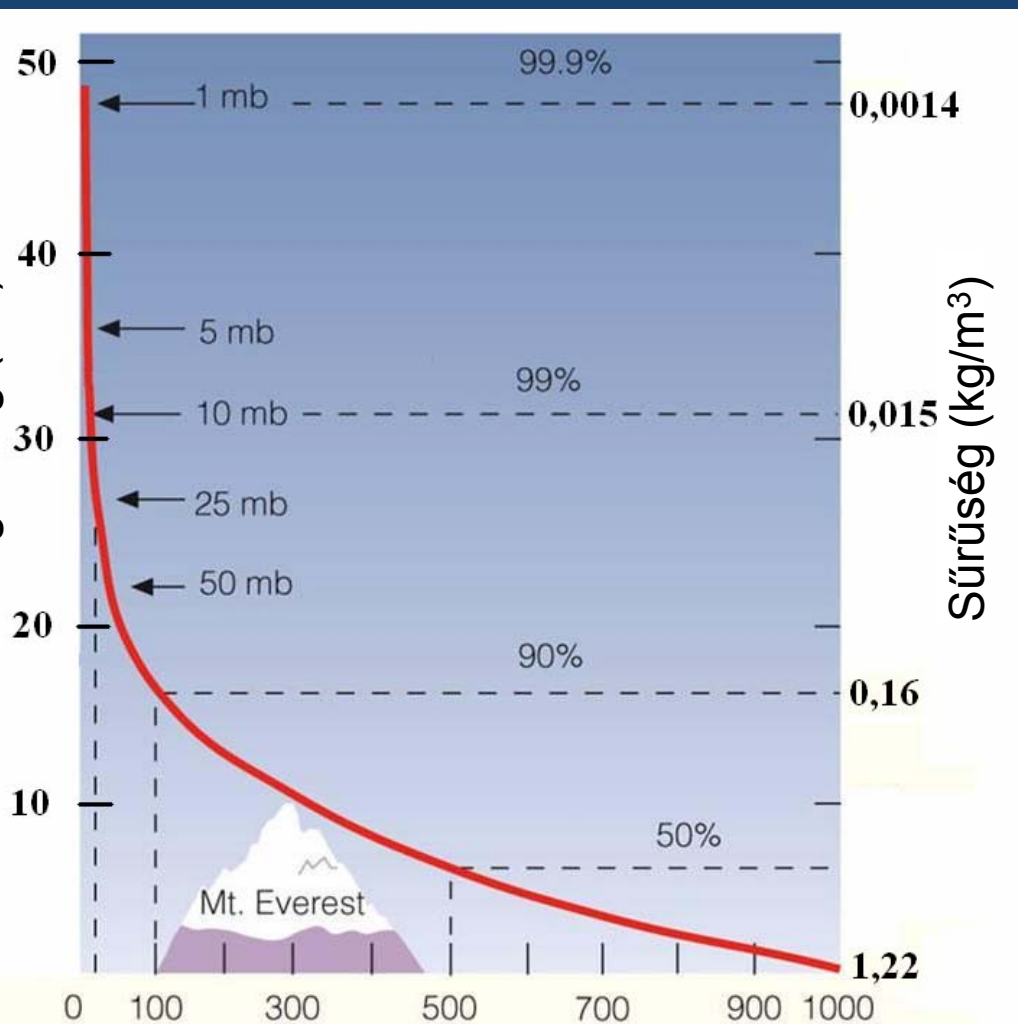
$$p = \frac{3000\text{kg} \cdot g}{0,15\text{m}^2} = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot g$$

# A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

- A légkör sűrűsége és nyomása exponenciálisan csökken a magassággal.



# A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

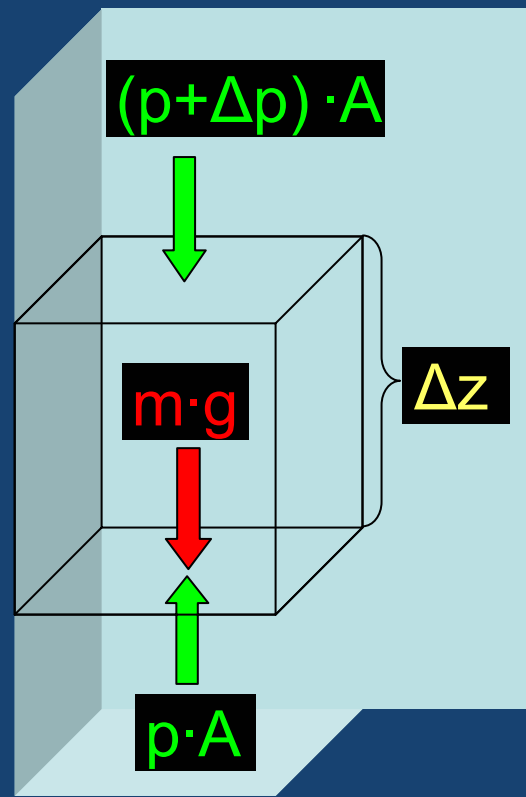


- Légkör teljes tömege:  $5,3 \times 10^{15}$  t.
- A légkör tömegének  $\approx 99\%$  -a a légkör alsó 30 km-es rétegében található.
- **Miért nem repülnek a repülők 40 km-en vagy annál magasabban?**

# A légkör vertikális szerkezete – nyomás és sűrűség

A légkör magasság szerinti eloszlása:

$$dp/dz = -g\rho \quad \text{/sztatika alapegyenlete/}$$



+ gázegyenlet ( $p\alpha = RT$ )

$$\Rightarrow dp/p = -g / (R T) dz$$

$$\Rightarrow P = P_0 \cdot \exp(-gz/RT)$$



# 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

## Hőmérséklet def.:

Az atomok, molekulák átl. mozgási energiája. Szilárd testekben: rezgés; folyadékokban és gázokban: rezgés + haladás.

$$E = 5/2 N_A k T = 5/2 R T$$

$$N_A = 6,0225 \cdot 10^{23} \text{ [1/mol]} \text{ (Avogadro-szám)}$$

$$k = 1,380\,6505(24) \cdot 10^{-23} \text{ [J/K]} \text{ (Boltzmann-állandó)}$$

$$R = 8,314 \text{ [J/(mol}\cdot\text{K)]} \text{ (általános gázállandó)}$$

Példa:

Mekkora egy szobahőmérsékletű (25°C) N<sub>2</sub> molekula átlagos sebessége?

$$\frac{1}{2} M v^2 = \frac{5}{2} R T \Rightarrow v_{N_2} = \sqrt{\frac{1}{2} M v^2} = \sqrt{\frac{5}{2} R T \frac{1 \cdot 298}{28}} = 665 \frac{m}{s} = 2394 \frac{km}{h}$$

# 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 => 0°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:  
 $T_F = 9 / 5 \times t [^{\circ}\text{C}] + 32$

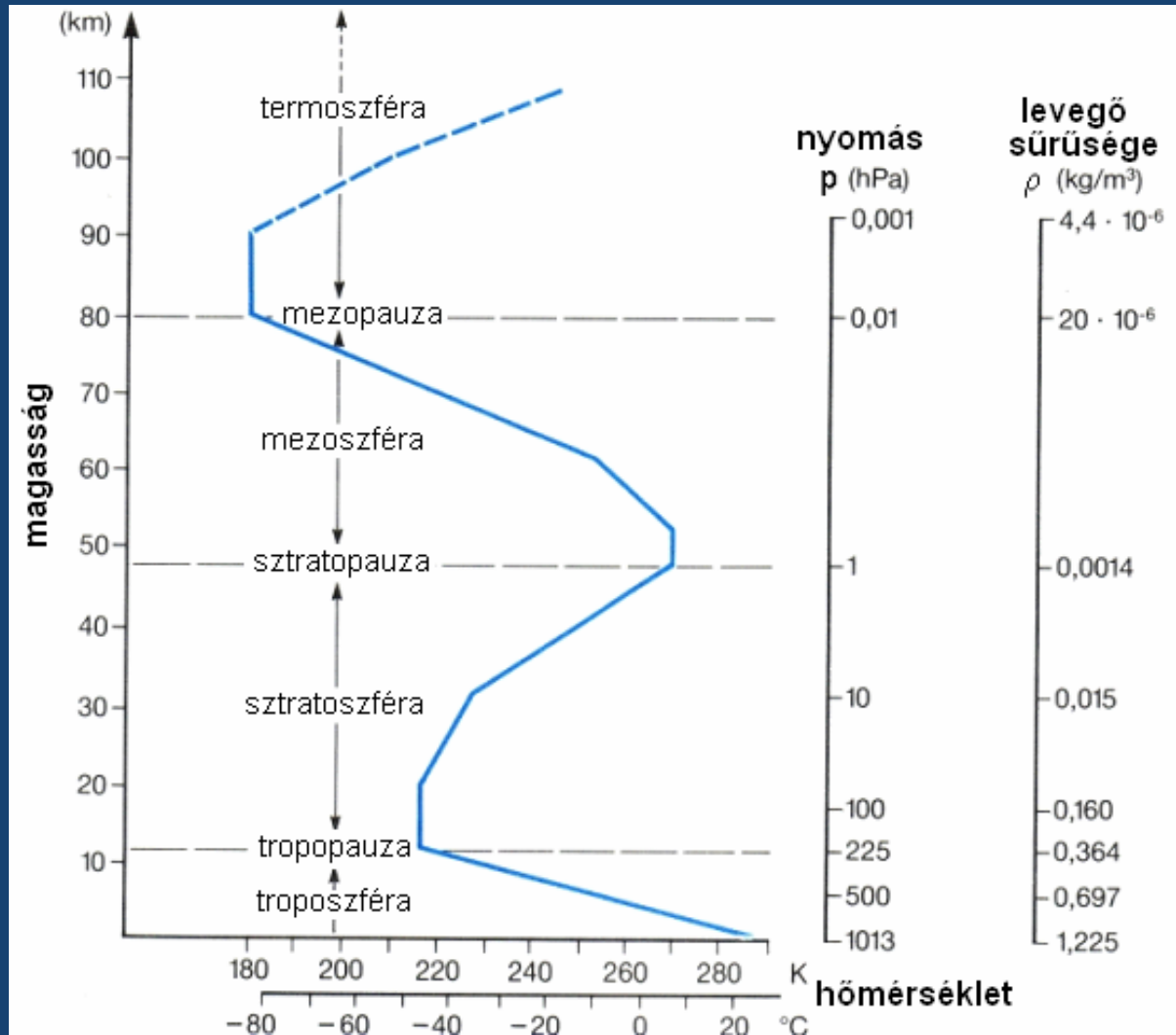
# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- 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.

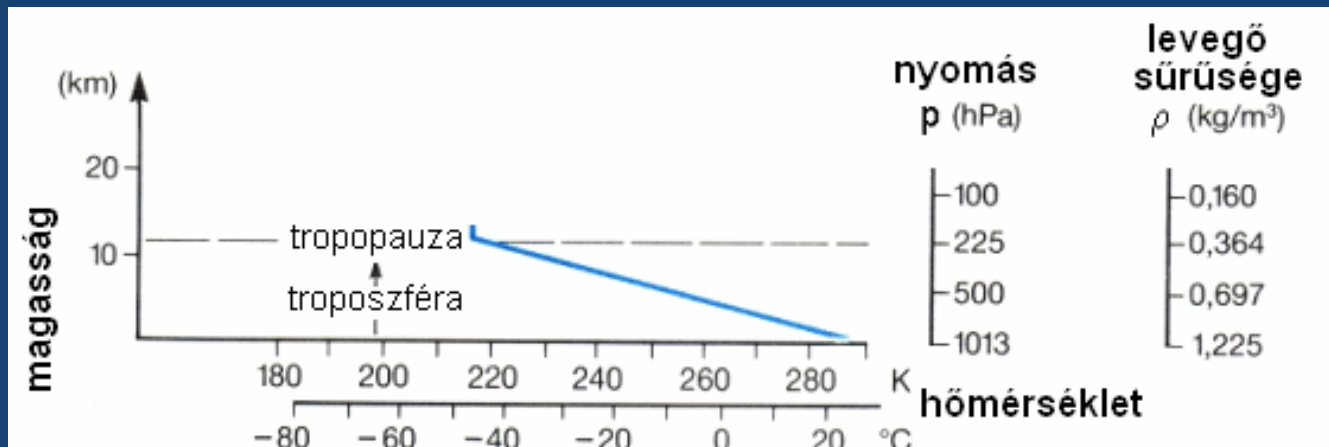
# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



# 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

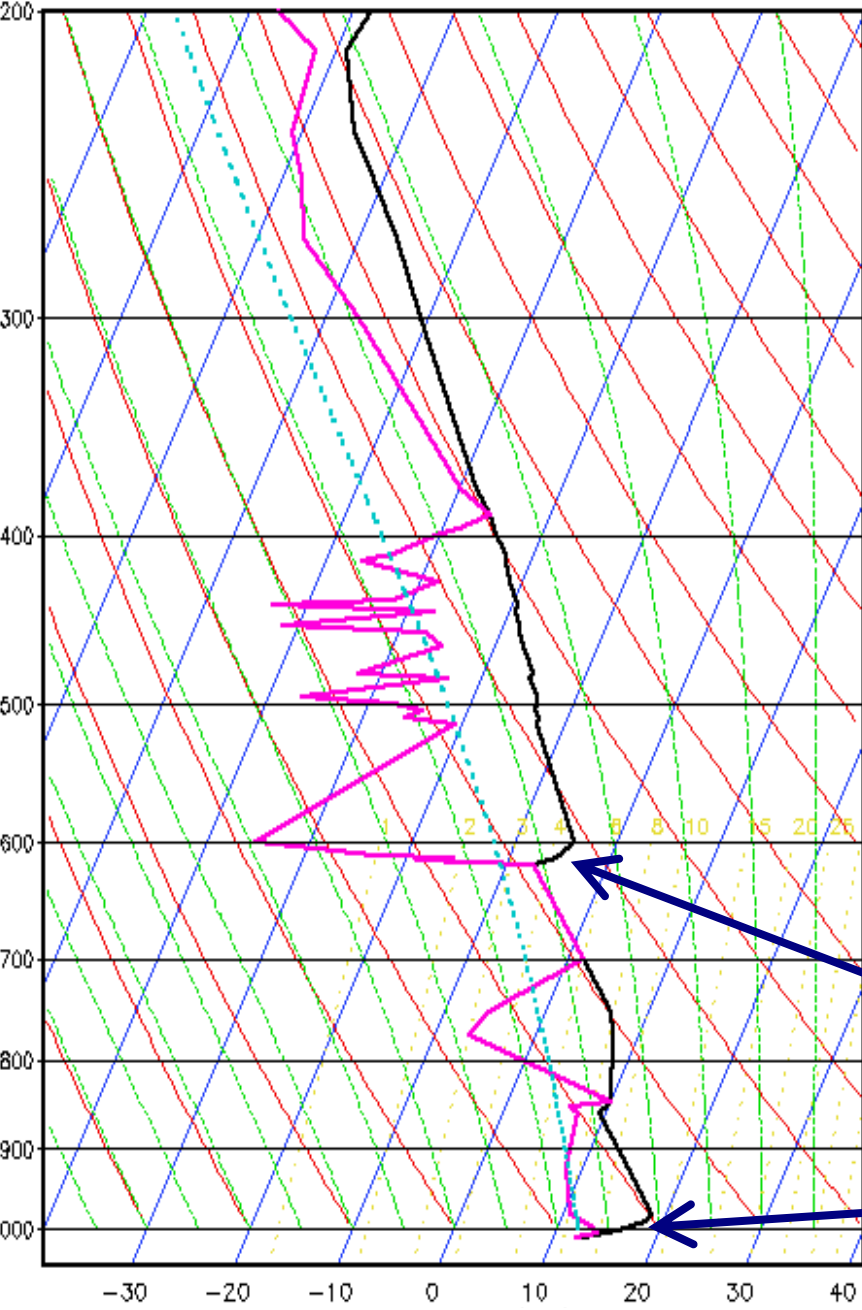
Vertikális hőmérsékleti gradiens:

$$\gamma = -dT/dz$$

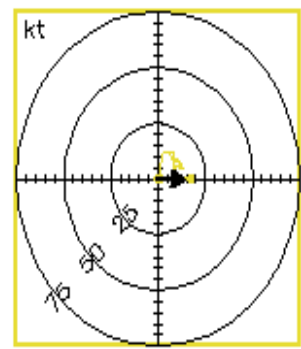
Ha  $\gamma > 0$ : a T a magassággal csökken

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

Ha  $\gamma = 0$ : izotermikus réteg



Keverési arány (g/kg)



- Átlagos  $\gamma \approx 6,5 \text{ }^\circ\text{C/km}$
- Időjárástól és évszaktól függően LOKÁLISAN főként az alsó kb. 2500 m-es rétegben ettől jelentősen ( $\pm 1\text{-}10^\circ\text{C/km}$ ) eltérhet.

**Inverzió**

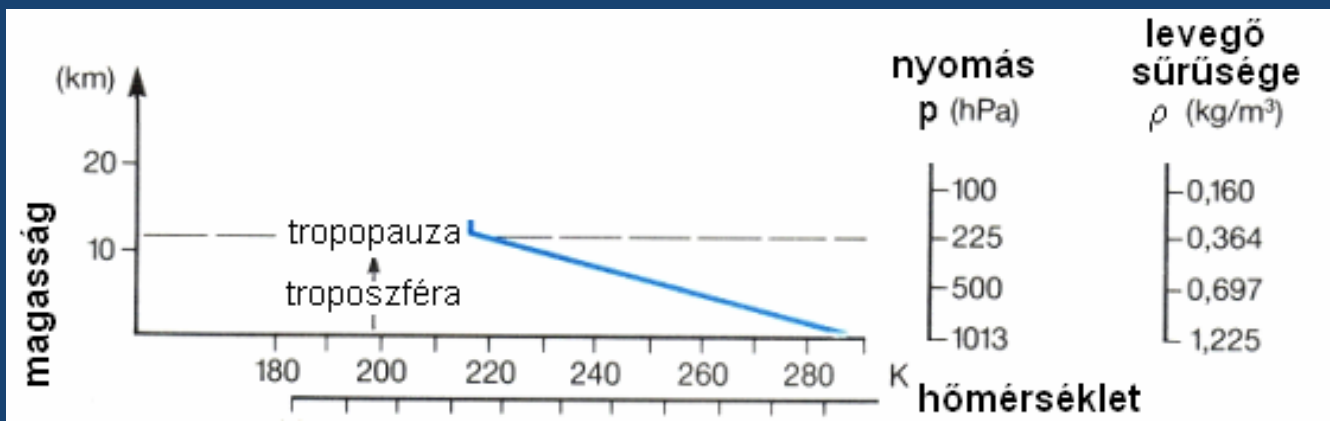
# A légkör vertikális szerkezete – troposzféra szerkezete

- Lamináris réteg: felszínt borító néhány mm vastag légtömeg.
- Felszíni 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

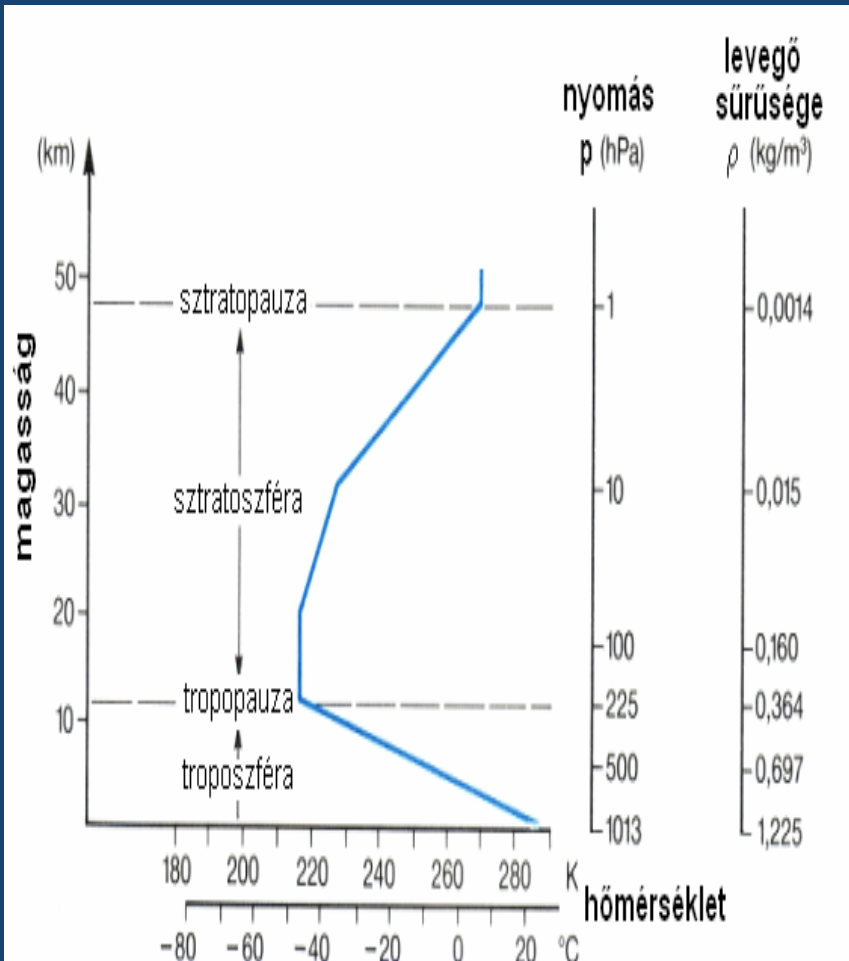
- Tropopauza

- A hőmérséklet változása kb. 2 km vastagságban  $< 2^{\circ}\text{C}$ .
- Az Egyenlítő környékén 14-16 km, sarkoknál 6-8 km magasan.
- Csak „szakadás” hatására van anyagcsere troposzféra és a felette levő légréteg között.



# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra
  - Miért növekszik a hőmérséklet a magassággal?

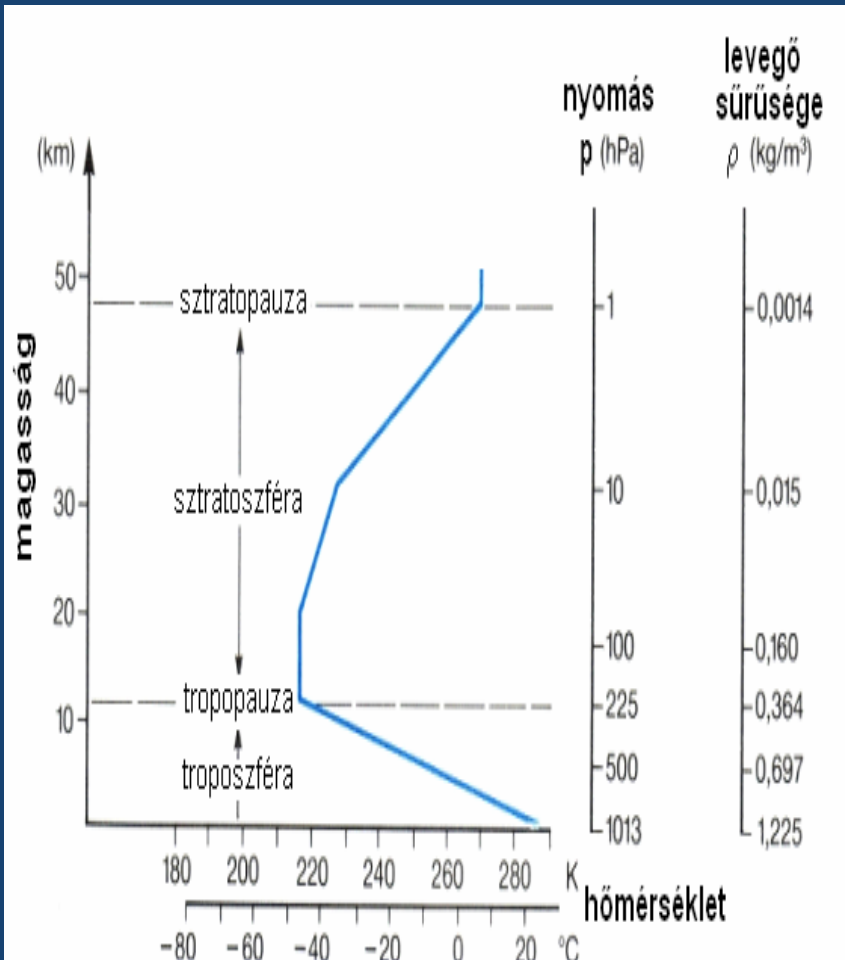


# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

- Sztratoszféra

- Miért növekszik a hőmérséklet a magassággal?

- A sztratoszférában található  $O_3$  elnyeli a Napból érkező UV sugárzást + az  $O_3$  keletkezésekor energia szabadul fel => energia többlet => hőmérséklet emelkedés.



# 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 légszennyezést mérő állomásokon is mérnek ózont, ha elnyeli az UV sugárzást, akkor miért baj, hogy a felszínen is van ózon?

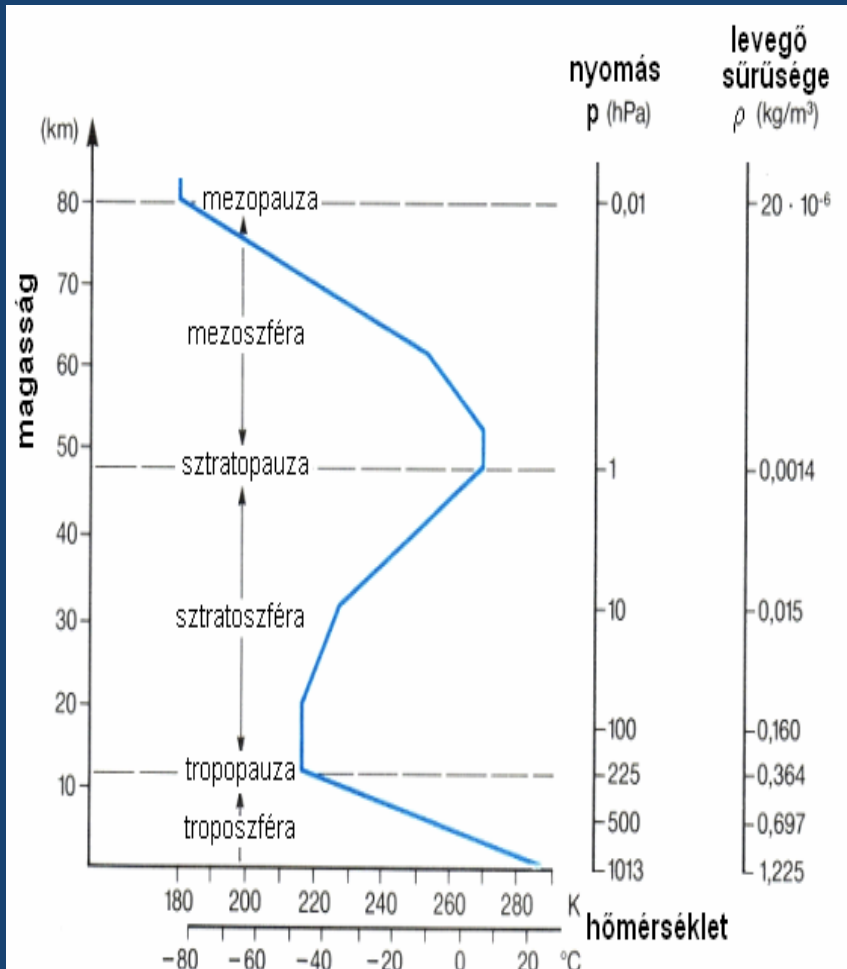
# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján

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

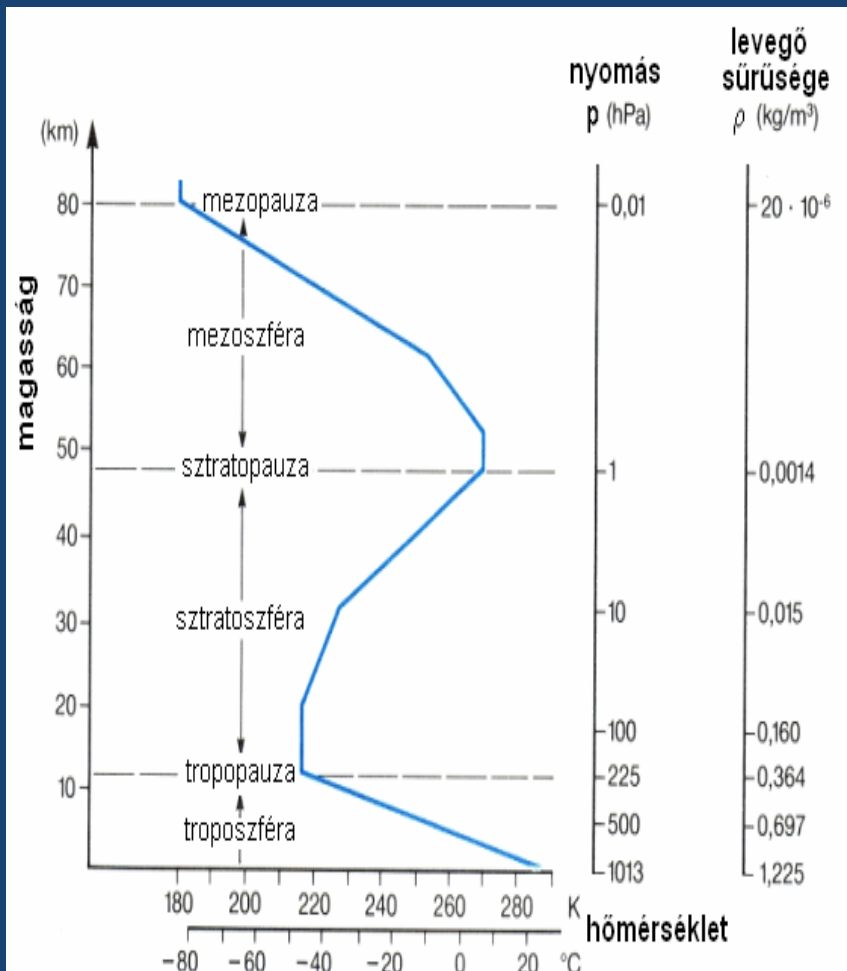
# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



## • 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

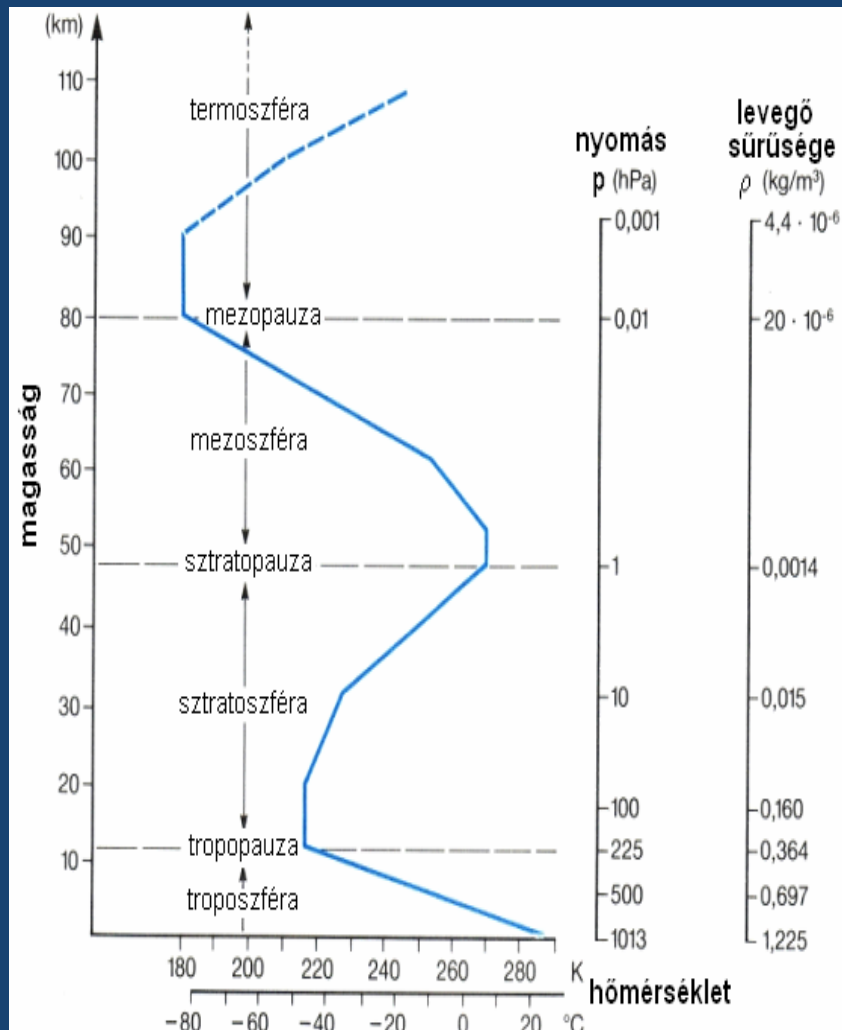
- A Földet elérő meteoritok ebben a rétegben kezdenek el izzani.

- Ha a hőm. itt a legalacsonyabb mitől izzanak a meteoritok?

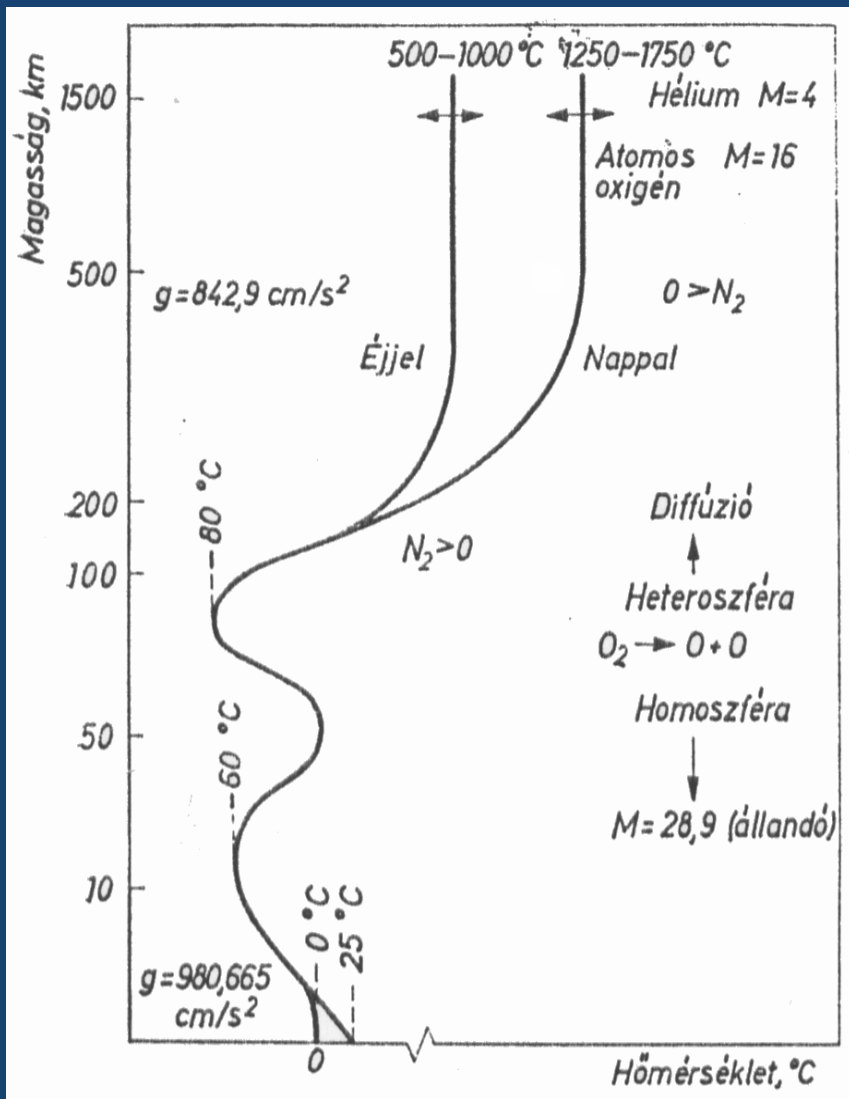
- Mezopauza

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

# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



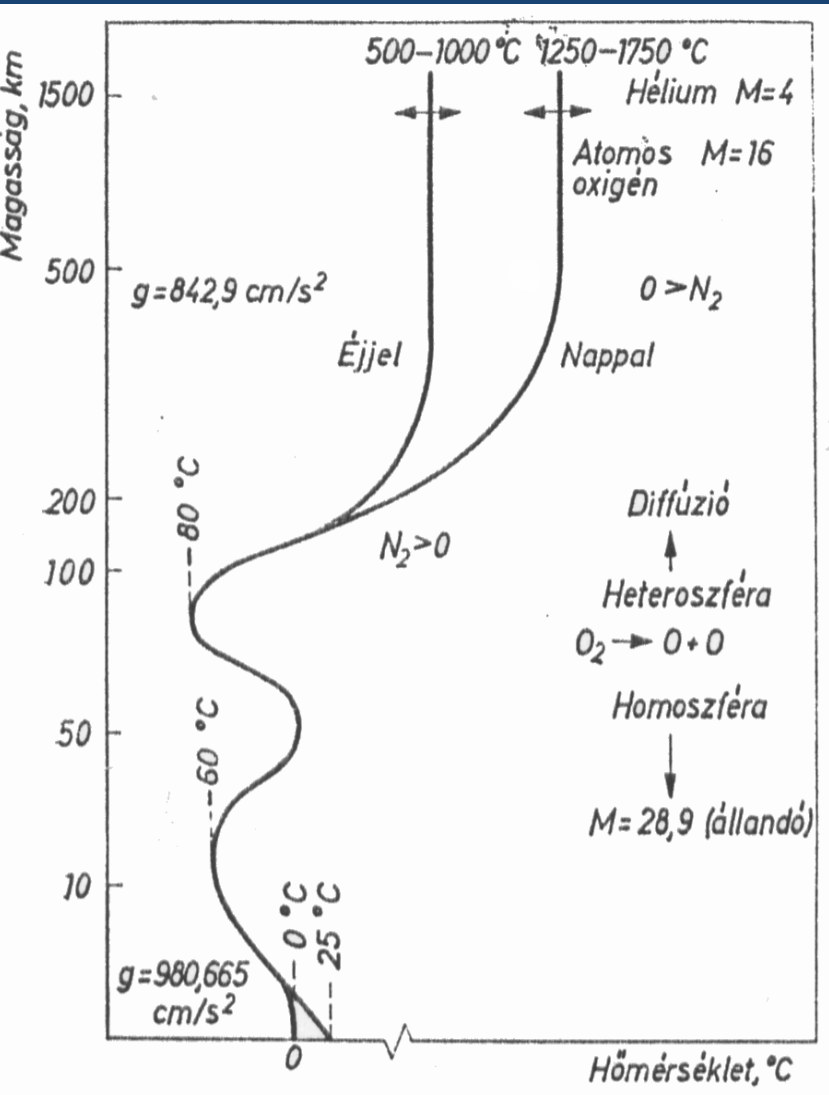
# A légkör vertikális szerkezete – hőmérséklet eloszlás alapján



## • 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



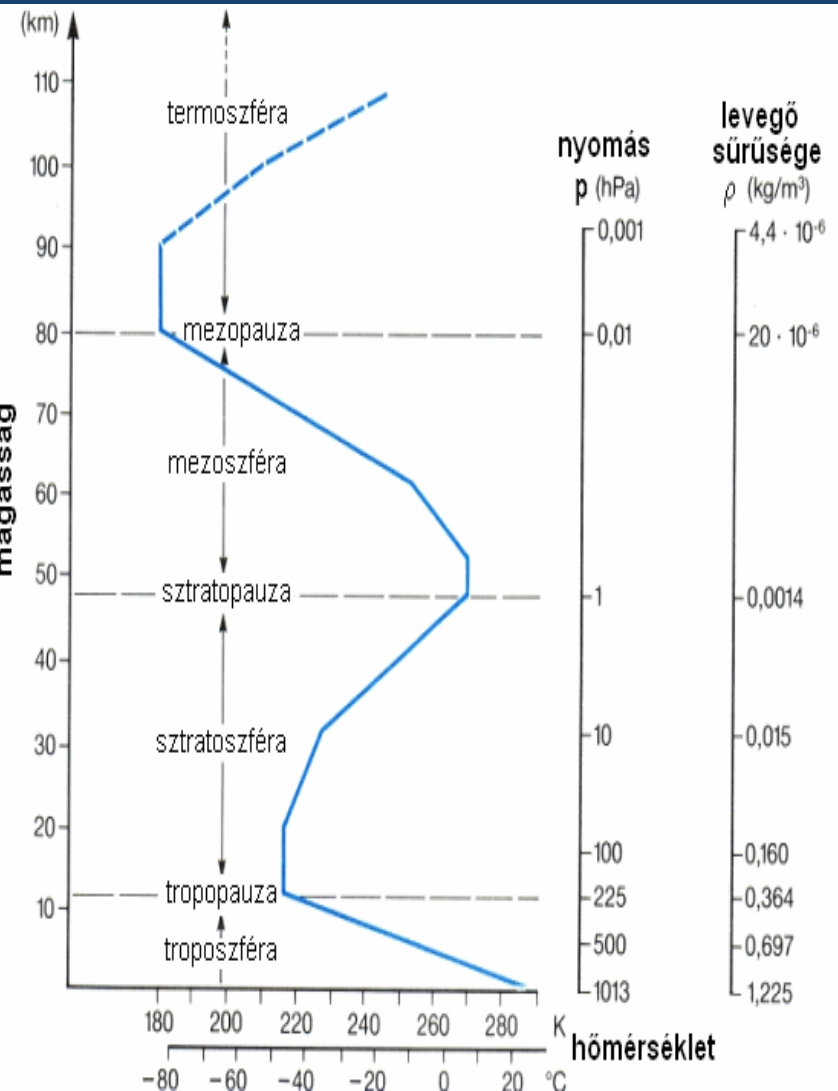
## • Exoszféra:

- 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



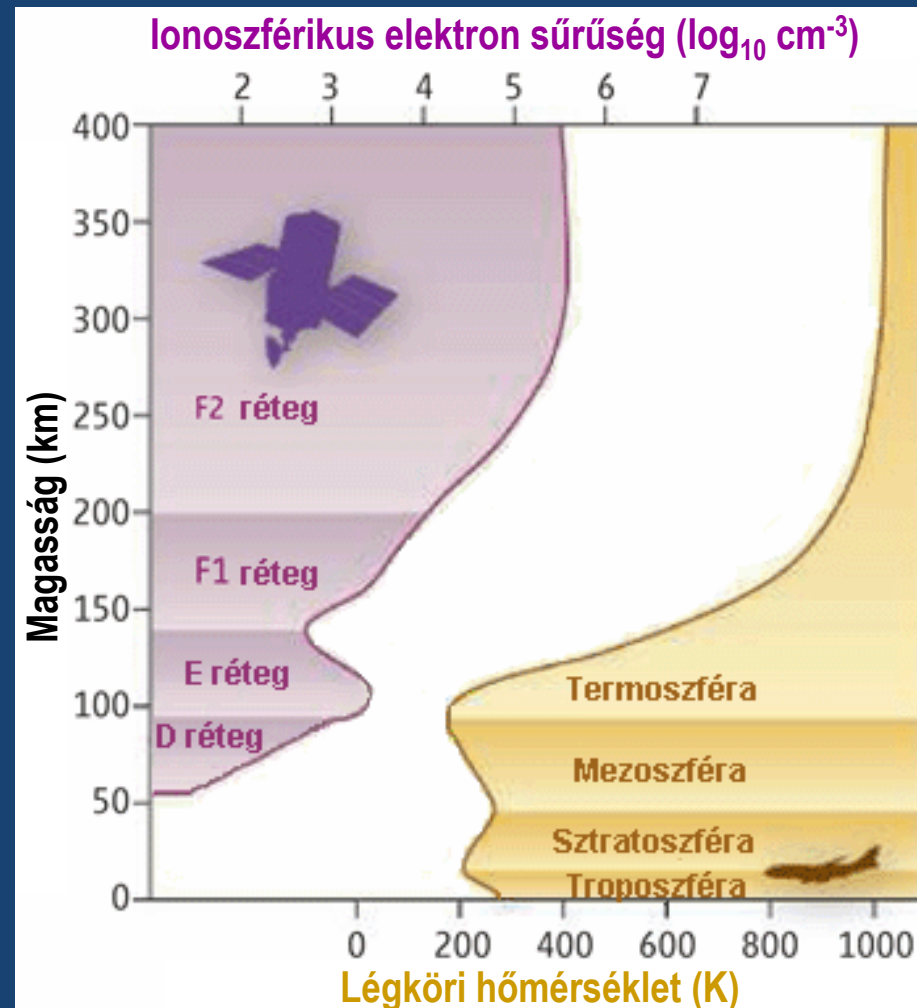
- Troposzféra
- Tropopauza – kb. 12 km
- Sztratoszféra
- Sztratopauza – kb. 50 km
- Mezoszféra
- Mezopauza – kb. 80 km
- Termoszféra – kb. 500 km-ig
- Exoszféra – kb. 10000 km-ig

# 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

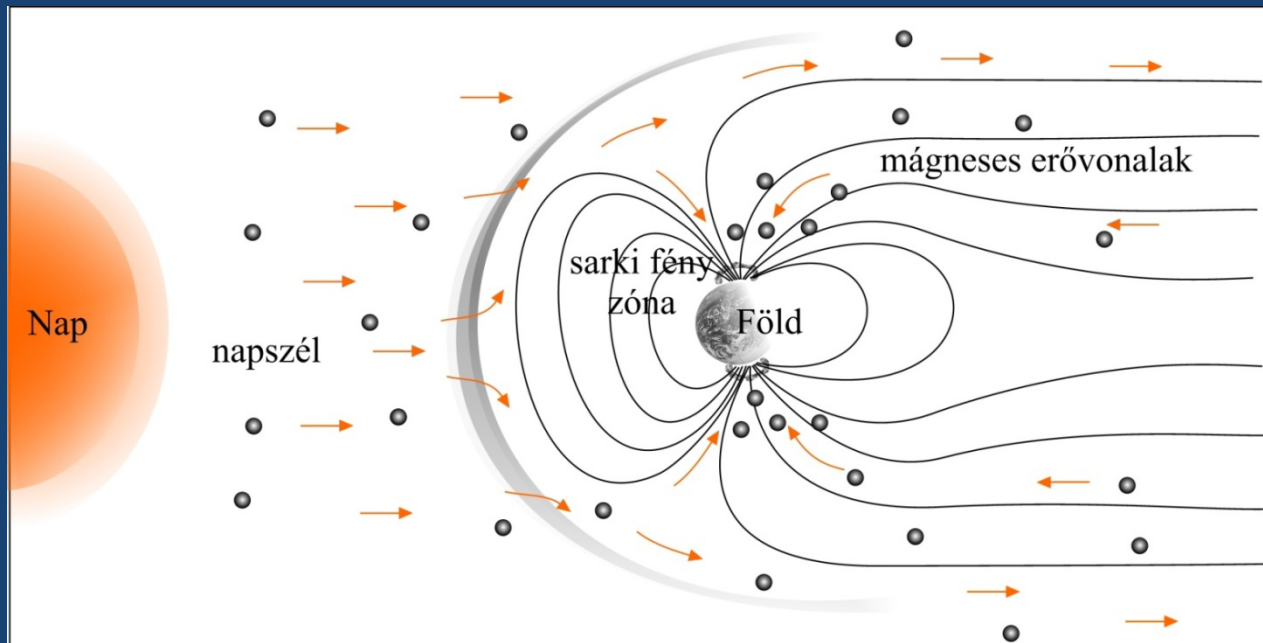
# A légkör vertikális szerkezete – ionizáltság alapján

- 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),N<sub>2</sub> (vörös)

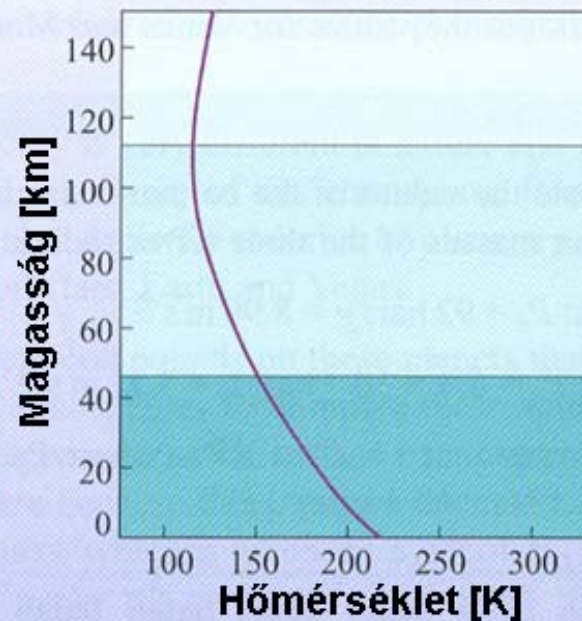
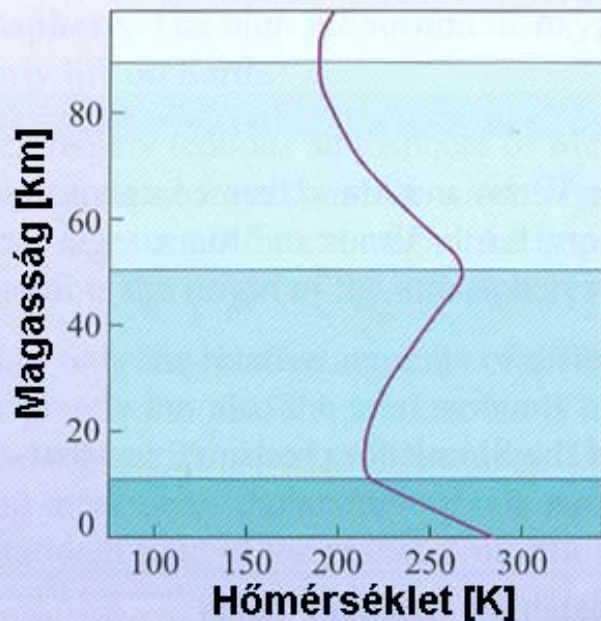
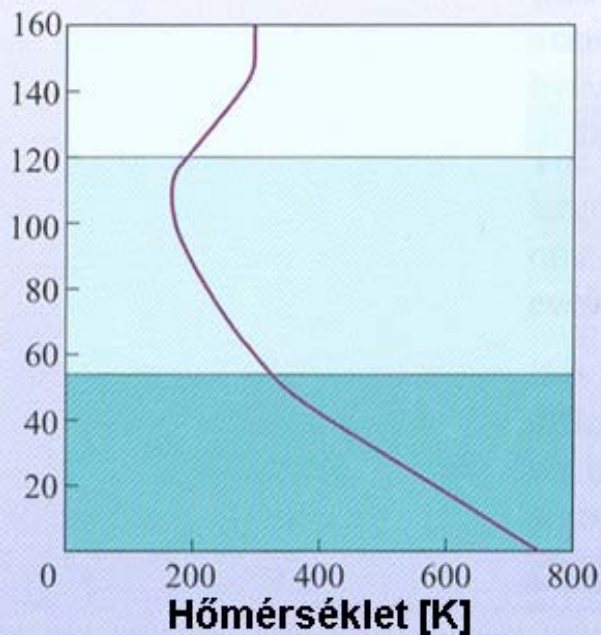




# A Naprendszer többi tagja

	Átmérő (km)	Távolság ( $\times 10^6$ km)	Átlagos felszíni hőm. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sűrűség ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Főbb légköri összetevők
Nap	1,392,000	-	5,800		-
Merkúr	4,880	58	260	5,4	-
Vénusz	12,100	108	480	5,3	$\text{CO}_2$
Föld	12,750	150	15	5,5	$\text{N}_2$ , $\text{O}_2$
Mars	6,800	228	-60	3,9	$\text{CO}_2$
Jupiter	143,000	778	-150	1,3	$\text{H}_2$ , He
Szaturnusz	121,000	1,427	-170	0,7	$\text{H}_2$ , He
Uránusz	52,800	2,869	-200	1,3	$\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$
Neptunusz	49,500	4,498	-210	1,7	$\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$

# A Naprendszer többi tagja



(a) Vénusz

(b) Föld

(c) Mars

 termoszféra    mezoszféra    sztratoszféra    troposzféra



**Köszönöm a figyelmet!**

