

„Ugyanakkor a Nap, mozog ahogy mindig, változásokat indít el, tevékenységével mindennap felszívja a legjobb legédesebb vizet, gőzzé alakítja, ami magasabb légkörbe kerül, ahol a hideg miatt újra összesűrűsödik és visszakerül a földre.”

Aristoteles (a víz körforgásáról)

# ÁLTALÁNOS METEOROLÓGIA

## TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS – ÓKOR

- Léggöri jelenségekkel kapcsolatos korai megfigyelések  
kínai, indiai, sumér, inka, maya civilizációk → arab közvetítés

## GÖRÖGÖK

- Hyppocrates (i.e. 480-377):  
az ókori orvostudomány egyik megalapítója; orvosmeteorológia  
(hyppocratesi eskü);
- Ptolemaios (i.u. 2. sz.) :  
geocentrikus világkép;  
„Almagest” – fő művének címe arabul;

- A meteorológia szó eredete:
  - Aristoteles (i.e. 384-322):  
„Meteorologica” (a középkorig csak ez a szakmai mű ismert)  
„meteor” = ég és föld közötti; „logosz” = tudomány
  
- A meteorológia tárgya:
  - ✓ az ókorban
  - ✓ napjainkban
  
- Ógörög eredetű szavak a meteorológiában:  
kozmosz, asztronómia, szféra, atom, atmoszféra, homo-, heteroszféra, tropo-, sztrato-, mezo-, termo-, exo-, krioszféra, magnetoszféra, homogén, heterogén, baro-, bárikus, izobár, izoterma, ciklon, anticiklon, dinamika, sztatika, szinoptika, aerológia, klimatológia, geológia, geográfia, entrópia, ...

A meteorológiai helye a tudományok között

TERMÉSZETTUDOMÁNYOK

M A T E M A T I K A

BIOLÓGIA

KÉMIA

FIZIKA

F Ö L D T U D O M Á N Y O K

Geológia Oceanológia Hidrológia Geokémia Geofizika **Földrajz**

M E T E O R O L Ó G I A

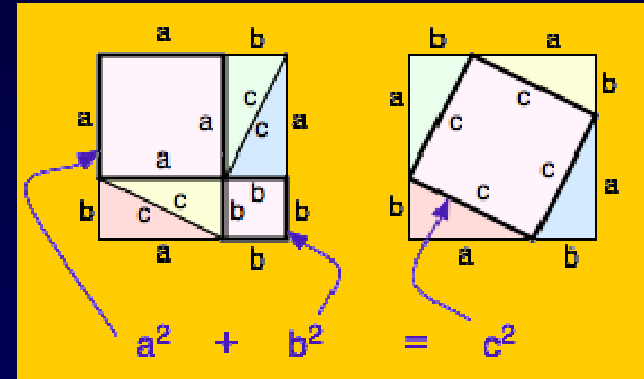
Elméleti v. Dinamikus meteorológia   Szinoptikus meteorológia   Kozmikus meteorológia   Aerológia   Ált. v. fizikai meteorológia   Bio- és agro-meteorológia   Hidro-meteorológia   Éghajlatlan (Klimatológia)

# ▪ ÓKORI MATEMATIKA, HELLAS



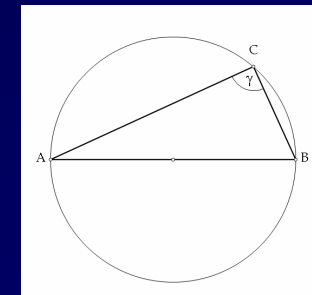
- Pythagoras (i.e. 569 – i.e. 475)

➤  $a^2 + b^2 = c^2$



- Thales (i.e. 624 – i.e. 546)

- ✓ **Thales tétele:** Ha egy kör átmérőjének  $A$  és  $B$  végpontját összekötjük a körív  $A$ -tól és  $B$ -től különböző tetszőleges  $C$  pontjával, akkor az  $ABC$  háromszög  $C$ -nél lévő szöge derékszög lesz.





- Aristoteles (i.e. 384 – i.e. 322)

- ✓ A **csoportképzés** szervezési módszertan, mely az antik görög időkig nyúlik vissza. Aristoteles volt az első nagy csoportalkotó, aki kísérletet tett arra, hogy megértse a társadalom alcsoportjainak lényegét. Miután megfigyelte, hogy a delfineknek méhlepényük van, ő arra következtetett, hogy ezek emlősek, nem pedig halak. Ez a konklúzió csaknem két évezreden át gúny tárgyát képezte a természettudósok körében.



- Plato (i.e. 427 – i.e. 347)

- ✓ „Hitvány ember az, aki nem tudja, hogy a négyzet átlója nem összemérhető annak oldalával.”  
(Azaz nincsen olyan egység, melynek egész számú többszöröse a négyzet átlója is és oldala is.)
- ✓ „A matematika olyan, mint egy játék, alkalmas a fiataloknak, nem túl nehéz, szórakoztató és nem jelent veszélyt az állam számára.”

**METEOROLÓGIA**  
(tágabb értelemben)  
a légkör tudománya

**METEOROLÓGIA**  
(szűkebb értelemben)  
a légköri folyamatok  
fizikai okainak feltárása

**KLIMATOLÓGIA**  
a Földi éghajlatok leírása,  
elemzése, speciális  
éghajlatok

**Elméleti**

- **Általános meteorológia;**
- Dinamikus meteorológia;
- Mikrometeorológia;
- Levegőkémia;
- Levegőfizika;
- Statisztikus meteorológia;

**Alkalmazott**

- Szinoptikus meteorológia;
- Biometeorológia;
- Orvosi meteorológia;
- Agrometeorológia;
- Hidrometeorológia;
- Közlekedési meteorológia;

**Elméleti**

- Fizikai klimatológia;
- Leíró klimatológia;
- Regionális klimatológia;
- Statisztikus klimatológia;

**Alkalmazott**

- Regionális klimatológia;
- Mikroklimatológia;
- Bioklimatológia;
- Városklimatológia;
- Diffúzió-klimatológia;
- Paleoklimatológia;

**OPERATÍV METEOROLÓGIA**

- Meteorológiai műszerek;

- Meteorológiai megfigyelések;

- Meteorológiai előrejelzések;

**A levegő-réteg, mely Földünket beborítja,  
Kékszínű tömegén játszva eget mutogat.  
Ah de mi ez? Hőség megritkította köröttem  
A levegőt s felszáll, váltja rohanva hideg.  
Képződnek szaporán s gyülekeznek vízi parányok  
S összeverődve, legitt földre csapódnak alá.**

**Arany János: A reggel (Természetráajz), részlet**

# **A Föld légköre**







Szeretni kell a csalfa köd-eget,  
Szeretni kell száz csillag enyhe képét,  
Fölnézvén a szív könnyebben feled  
És föltalálja tán az örök békét.

József Attila: Ének magamhoz (részlet)

## **Definíció:**

A légkör a Naprendszer több bolygójának szilárd tömegéhez kapcsolódó gázburok.

## A Föld légköre

- A légkör összetétele
- A légkör kiterjedése
- A légkör tömege
- A légkör szerkezete

## ▪ A légkör összetétele

A Föld légköre = gázkeverék + cseppfolyós + szilárd anyagok diszperz rendszere

A légköri gázok osztályozásának szempontjai:

1. az illető gáz mennyisége térben és időben mennyire állandó;

1a. állandó gázok ( $N_2$ ,  $O_2$  és a nemesgázok): mennyiségük hosszú időn át változatlan (nem geológiai időskálán!);

1b. változó gázok ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $N_2O$ ,  $O_3$ ): mennyiségük rövidebb időn belül (néhány év, pár évtized) változik, s koncentrációjuk térben is változik;

1c. erősen változó gázok ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ): mennyiségük igen rövid időtartamon (néhány nap, illetve hét) és kis területen belül is jelentősen megváltozik.

## 2. a légköri gázok relatív mennyisége (térfogati aránya)

2a. fő összetevők ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , Ar: 99,998 %);

2b. nyomgázok (2a.-n kívül az összes többi gáz);

2c. szilárd és cseppfolyós anyagok (aeroszolok).

2b. + 2c. = nyomanyagok (közülük  
legfontosabbak:  $H_2O$  és az aeroszolok)



## A légkör összetétele

Tartózkodási idő:  $\tau = M / F = M / R$  ahol M az adott gáz légköri mennyisége, F (R) a képződési (elnyelési) sebesség [tonna/év].

összetevő	Térf.%	ppm	Tartózkodási idő
<b>Állandó összetevők</b>			
▪ <u>nitrogén N<sub>2</sub></u>	78,084		10 <sup>6</sup> év
▪ <u>oxigén O<sub>2</sub></u>	20,947		5·10 <sup>3</sup> év
▪ <u>argon Ar</u>	0,934		∞
▪ neon Ne		18,18	∞
▪ hélium He		5,24	∞
▪ kripton Kr		1,14	∞
▪ xenon Xe		0,087	∞
<b>Változó összetevők</b>			
▪ <u>szén-dioxid CO<sub>2</sub></u>		354	15 év
▪ metán CH <sub>4</sub>		2,0	4 év
▪ hidrogén H <sub>2</sub>		0,5	6,5 év
▪ dinitrogén-oxid N <sub>2</sub> O		0,31	8 év
▪ ózon O <sub>3</sub>		0,04	~2 év
<b>Erősen változó összetevők</b>			
▪ szén-monoxid CO		0-0,05	~0,3 év (100 nap)
▪ Vízgőz H <sub>2</sub> O	0-4		10-14 nap
▪ Nitrogén-dioxid NO <sub>2</sub>		0-0,003	~6 nap
▪ Ammonia NH <sub>3</sub>		0-0,02	~7 nap
▪ Kén-dioxid SO <sub>2</sub>		0-0,002	~4 nap
▪ Kén-hidrogén H <sub>2</sub> S		0-0,003	~2 nap

aláhúzott: fő összetevő; keretezett: üvegházhatású gáz;

## ■ A légkör kiterjedése

- ✓ Alsó és felső határait nem lehet pontosan meghúzni.
- ✓ A légkör alsó határa:  
a folyadék, a jég felszíne. A talajfelszín nem határa automatikusan: talajba levő üregeket, barlangokat is levegő tölti ki.
- ✓ A légkör felső határa:
  - **Elméleti úton:** A Földhöz rögzített koordináta rendszerben számított centrifugális és nehézségi erő egyensúlya ( $G = F_c$ )  $h = 36.000$  km magasságban tapasztalható. Eddig a magasságig a gázburok együtt mozog a Földdel.

- **Tapasztalati úton:** támpontok a légkör kiterjedésének közelítő pontosságú megbecslésére:

1. **A meteoritok felvillanása:**

**Oka:** súrlódás;

Észlelhető: kb. 100 km, de 300-500 km magasságban is!

2. **A sarki fény:**

**Oka:** a Napból érkező hidrogénmagok és elektronok a magaslégkör gázatomjait gerjesztik.

Észlelhető: 60-400 km, de 1000 km magasságban is!

3. **A rádióhullámok visszaverődése:**

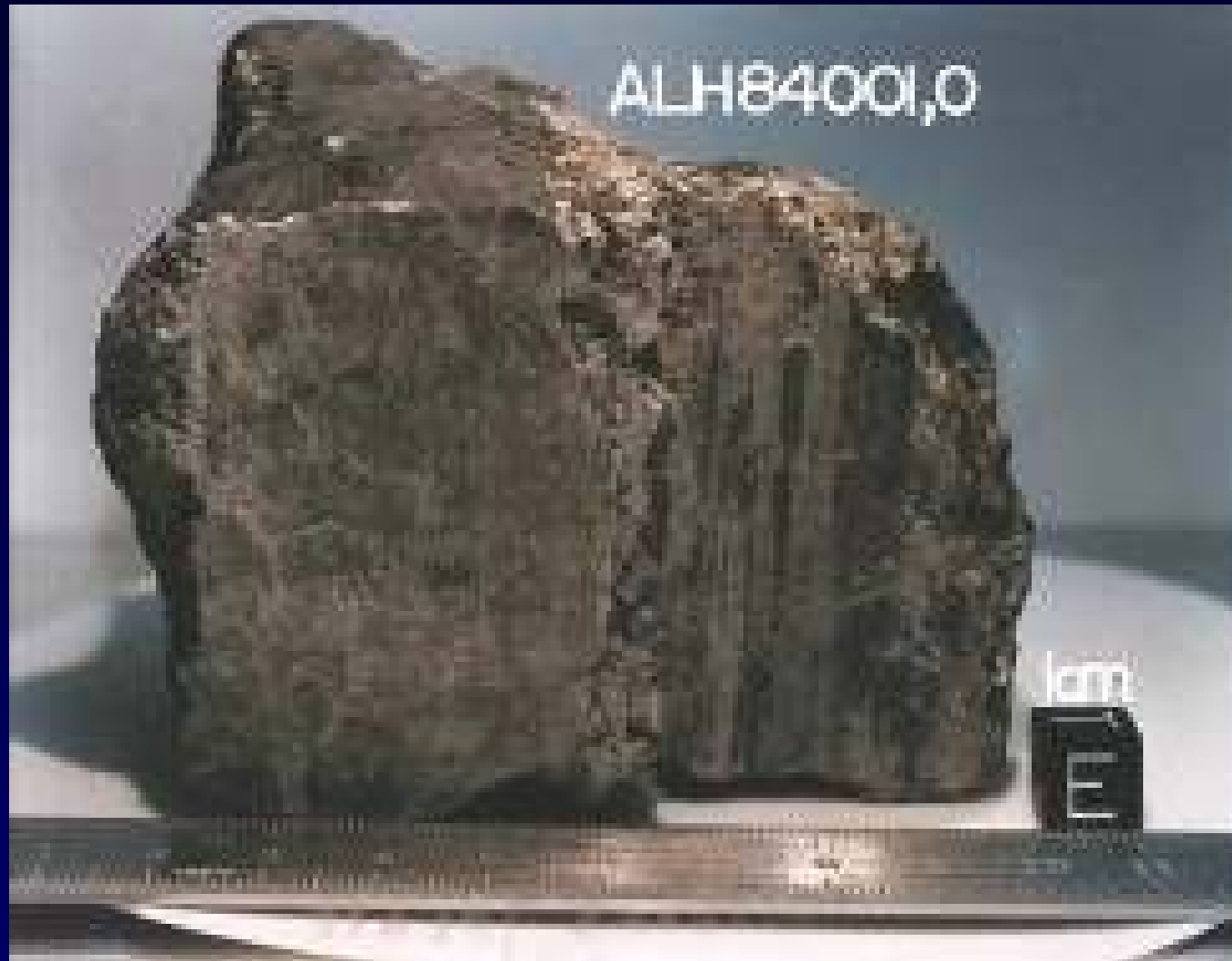
**Oka:** a magaslégköri ionizált (elektromosságot vezető) rétegek, ahol a gázatomok egy része a Nap ibolyántúli és röntgen sugárzása miatt elektromos töltésű.

Észlelhető: 60-300 km között, de 3000 km magasságban is!



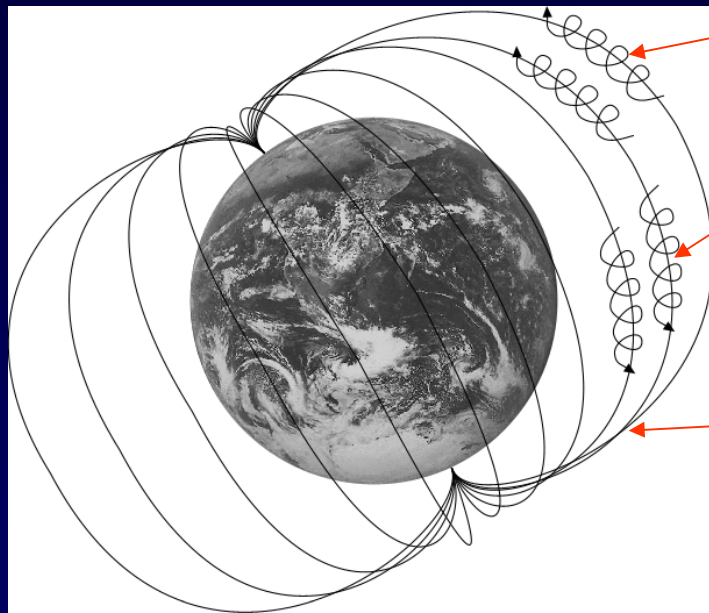


**Meteoritok felvillanása**



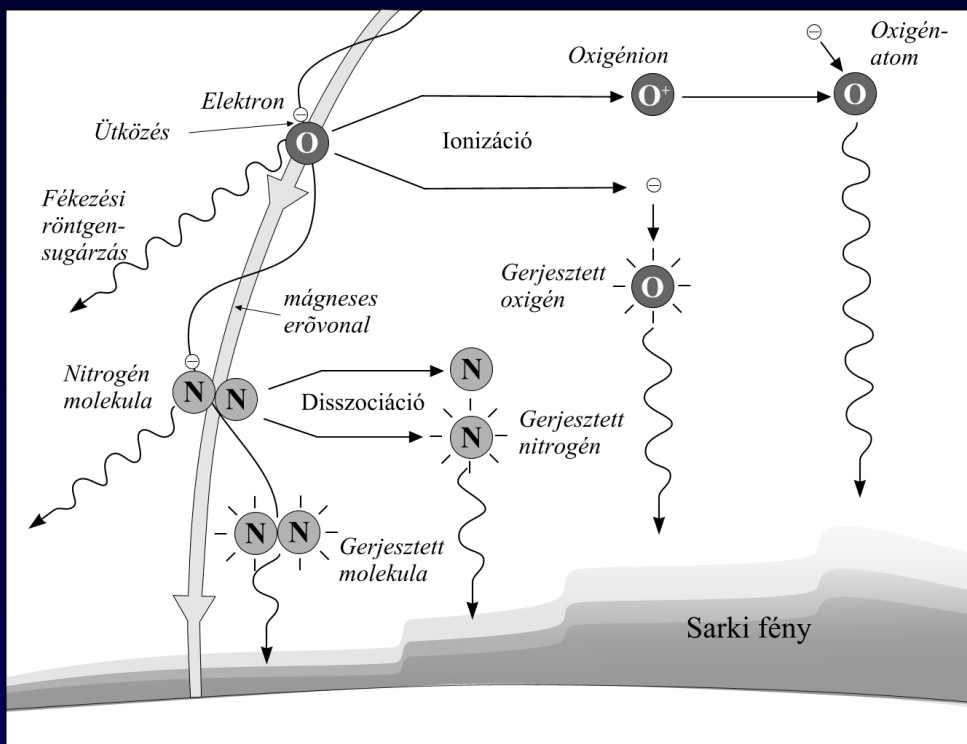
**Antarktisi meteorit (azonosító: ALHA-84001).  
1996 augusztus 7, NASA: benne életre utaló nyomok találhatóak.**

## Sarki fény (Aurora borealis) I.



Elektromosan töltött részecskék

Mágneses erővonalak



11.10. ábra

## Sarki fény II.

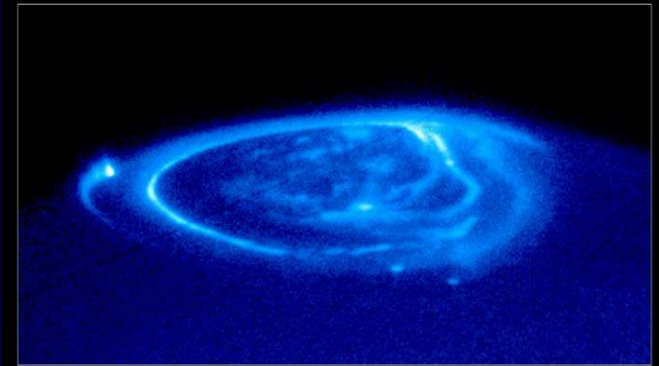




# Sarki fény III.

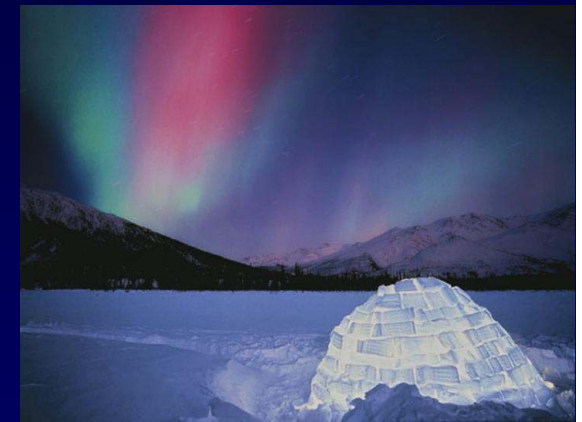


## A Jupiteren



Jupiter Aurora  
Hubble Space Telescope • STIS

NASA and J. Clarke (University of Michigan) • STScI-PRC00-38



## A Földön



**Sarki fény IV.**

**Anchorage, Alaszka**



## ■ A légkör tömege

- Meghatározható a földfelszíni légnyomásmérések alapján

$$G = m \cdot g$$

$$F = p \cdot A$$

$\Rightarrow$

$$m = \frac{p \cdot A}{g}$$

$$\left[ \frac{N \cdot m^{-2} \cdot m^2}{m \cdot s^{-2}} \right] \rightarrow [kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot m^{-2} \cdot m^2 \cdot m^{-1} \cdot s^2] \rightarrow [kg]$$

$$m \cdot g = p \cdot A$$

Néhány számítási eredmény:

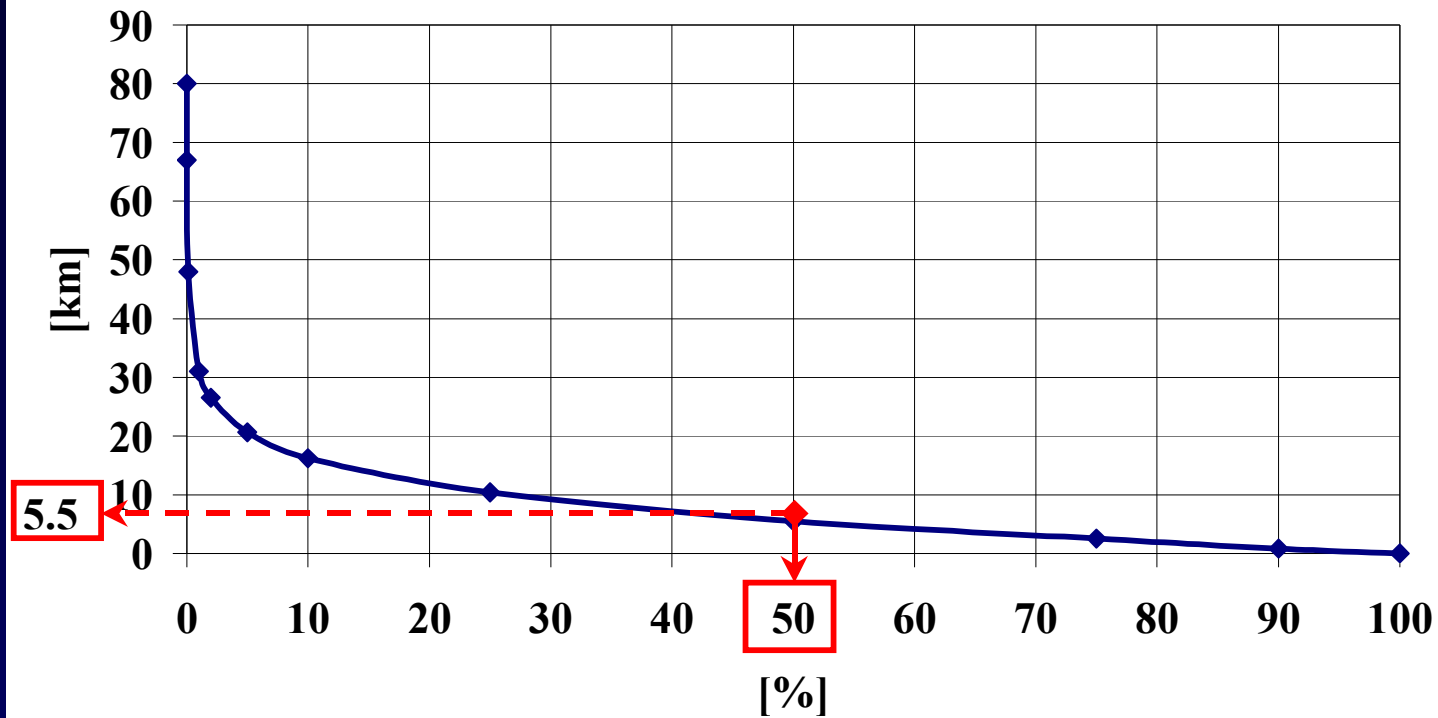
Aujeszky (1952):  $5,275 \cdot 10^{21}$  g

Makra (1995):  $5,136 \cdot 10^{21}$  g

Trenberth (1981):  $5,117 \cdot 10^{21}$  g

- A légkör tömegének jelentős része az alsó 20 km-es rétegben található.

### *A légkör tömegének magasság szerinti megoszlása*



### A légkör tömegének magasság szerinti eloszlása

50 %: 5,5 km alatt

90 %: 16,2 km alatt

95 %: 20,6 km alatt

99 %: 31,0 km alatt



## ✓ Homogén légtör

Határozzuk meg a homogén légtör vastagságát!

$$G = F$$

$$m \cdot g = p \cdot A$$

$$\rho \cdot V \cdot g = p \cdot A$$

$$\rho \cdot A \cdot h \cdot g = p \cdot A$$

$$\rho \cdot h \cdot g = p$$

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

$[h]$

$$\left[ \frac{N \cdot m^{-2}}{kg \cdot m^{-3} \cdot m \cdot s^{-2}} \right] \rightarrow \left[ kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^2 \right] \rightarrow [m]$$

# A légkör szerkezete

Kémiai szempontból

homoszféra

heteroszféra

Fizikai szempontból

Hőmérséklet alapján

**Troposzféra**

( $0 \text{ km} < h < 20 \text{ km}$ );  $t \approx -50, -60^\circ\text{C}$ ;

**Sztratoszféra**

( $20 \text{ km} < h < 50 \text{ km}$ );  $t \approx -0^\circ\text{C}$ ;

**Mezoszféra**

( $50 \text{ km} < h < 80 \text{ km}$ );  $t \approx -100^\circ\text{C}$ ;

**Termoszféra**

( $h < 1000 \text{ km}$ );  $t \approx -1000^\circ\text{C}$ ;

**Exoszféra**

Légelektromosság alapján

Ionizáló rétegek sorozata →  
**ionoszféra**

**D réteg:** 70-90 km nappal;

**E-réteg:** 90-140 km nappal;

**sporadikus E:**

szabálytalanul

**F réteg:** 140 km fölött;  
állandó, nappal  
kettéválik: **F1, F2**;

**G réteg:** 400 km fölött;

Mágnesesség alapján

Ha  $h < 80 \text{ km}$ :

⇒ **nem hat** a légkörre a  
Föld mágneses mezeje;

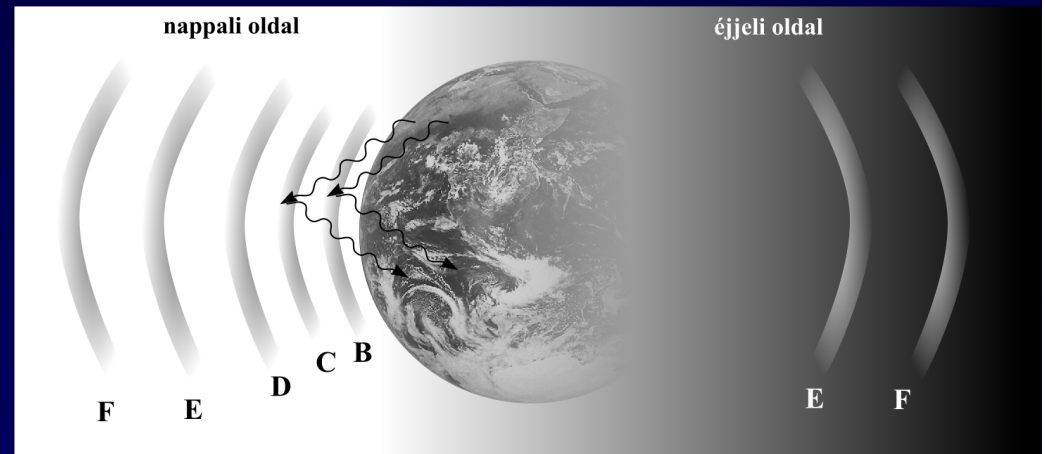
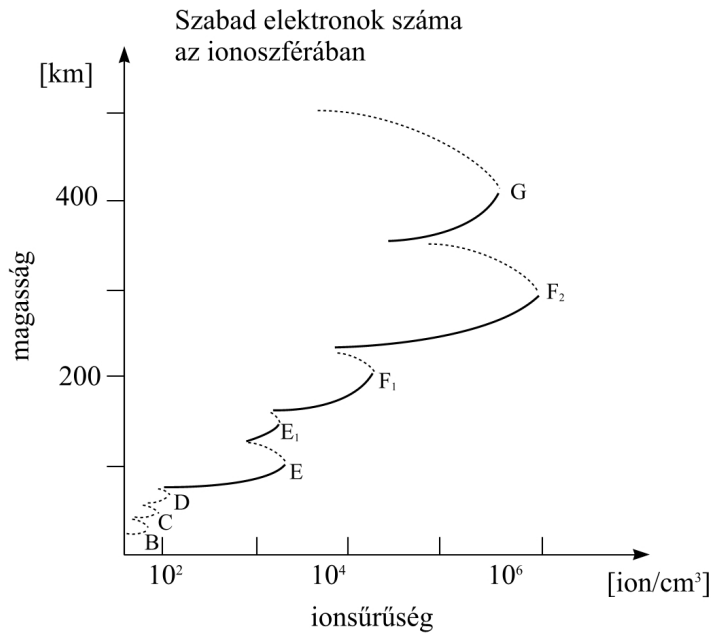
Ha  $(80 \text{ km} < h < 140 \text{ km})$ :

⇒ **légköri dinamó  
övezet**;

Ha  $h > 140 \text{ km}$ :

⇒ **magnetoszféra**

# Ionosféra



**Az ionizált rétegek helyzete,  
a szabad elektronok  
koncentrációinak eloszlása  
a légkörben**

**A főbb ionosféra rétegek helyzete**

## ■ A légkör szerkezete

➤ A levegő kémiai összetétele és a légkört alkotó gázok átlagos molekulatömege alapján:

1. **homoszféra**: a kémiai összetétel és az alkotó gázok átlagos molekulatömege állandó ( $h \leq 90$  km);  
**ok**: a légköri keverő mozgások;

2. **heteroszféra**: a kémiai összetétel a magasság függvénye, és az alkotó gázok átlagos molekulatömege a magassággal fölfelé rohamosan csökken ( $h > 90$  km);

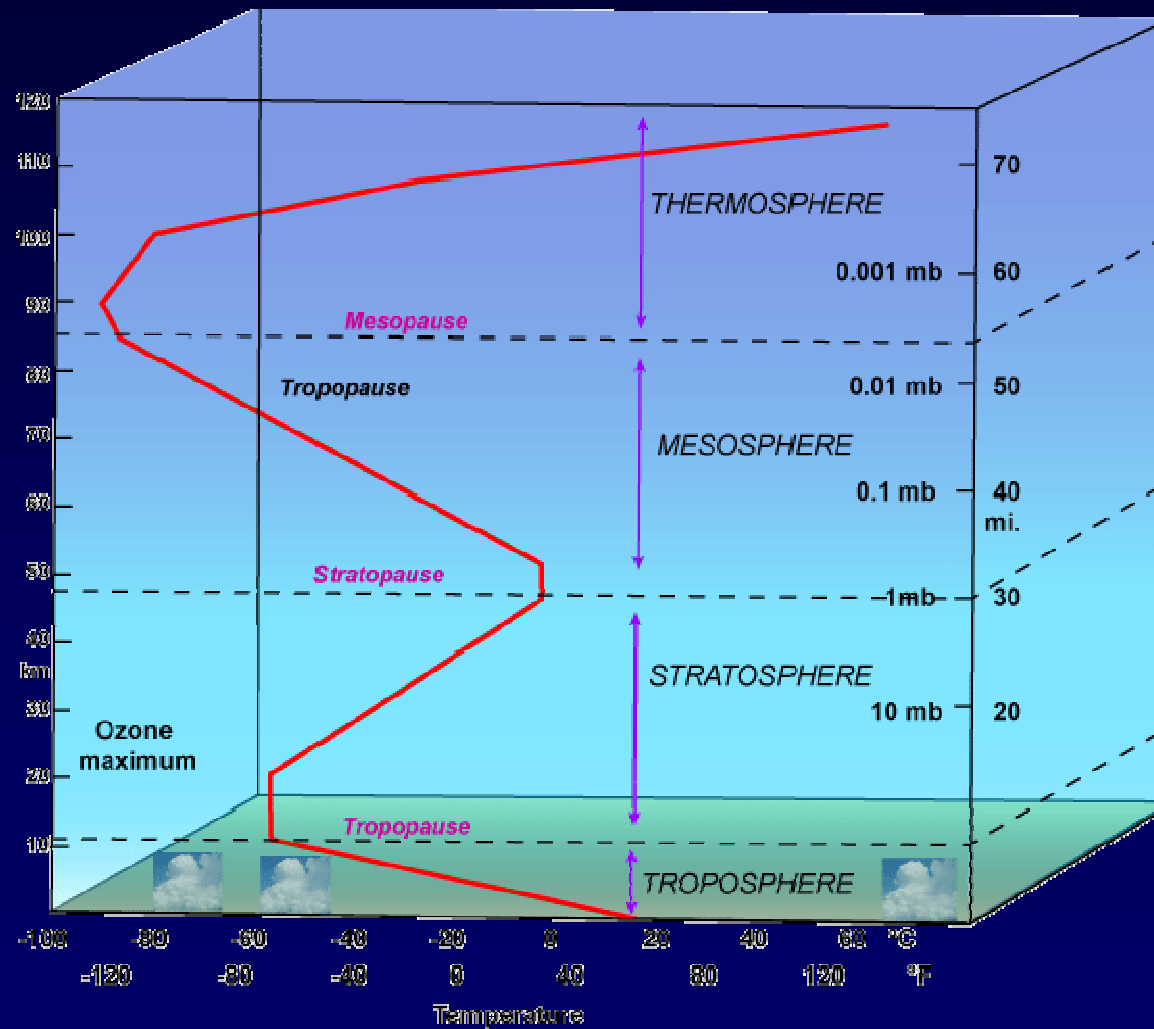
⇒ kisebb sűrűségű összetevők:

800-1000 km: O

1500 km: He

> 1500 km: H<sub>2</sub>

➤ A légkör termikus tulajdonsága alapján:



## ■ Hőmérséklet szerinti szerkezet

**troposféra** (feláramlási gömbhéj): [0 km – 10-15 km]

**sztratosféra** (réteges gömbhéj): [10-15 km – 50 km]

**mezosféra** (középső gömbhéj): [50 km – 90 km]

**termosféra** (meleg gömbhéj): [90 km – 1.000 km]

**magnetosféra** (mágneses gömbhéj): [1.000 km – 60.000 km]

**exosféra** (külső gömbhéj) [60.000 km – ]

- **Troposzféra**

- ✓ felső határa a felszíntől számítva:  
 $8 \text{ km} < h < 18 \text{ km}$ ;
- ✓ a hőmérséklet átlagos magassági változása:  
 $-0,65 \text{ }^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$  (gyengén labilis légállapot);

**Ok:**

A napsugárzás a felszín felől melegíti fel a Földet.

**Következmény:**

- a légköri vízzel kapcsolatos jelenségek;
- időjárási események;

## Az ICAO (International Civil Aviation Organization = Nemzetközi Polgári Repülésügyi Szervezet) által jegyzett standard légkör jellemzői, $\varphi = 45^\circ$

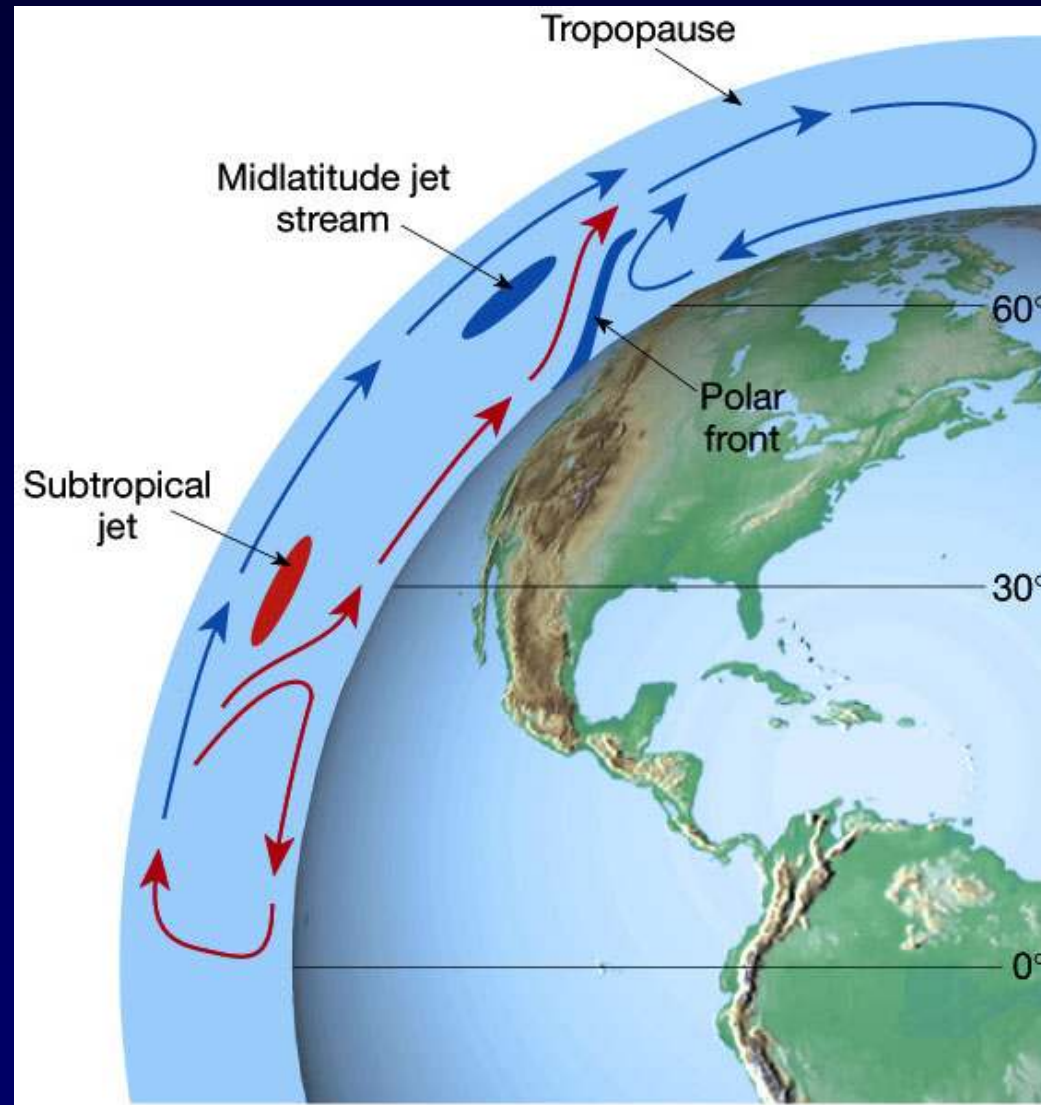
- átlagos tengerszinti légnyomás:  $p_o = 1013,25 \text{ mb}$ ;
- eddig mért max/min:  $p_{\max} = 1079 \text{ mb}$ ,  $p_{\min} = 877 \text{ mb}$ ;
- hőmérsékleti gradiens a troposzférában:  $-0,0065 \text{ K}\cdot\text{m}^{-1}$ ;
- léghőmérséklet a tengerszinten:  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $288,16 \text{ K}$ );
- közepes molekulásúly:  $28,9644 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;
- sűrűség a tengerszinten:  $1,225 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- univerzális gázállandó:  $8314,32 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ;



- Tropopauza

- ✓ a troposzféra tetején izotermia;  
⇒ a hőmérsékleti gradiens = 0.  $T_{\text{átlag}} \approx -56 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- ✓  $h$  (tropopauza) =  $f(\varphi; \text{évszak})$ ;
- ✓ Tropopauza „szakadás”: eltérő tulajdonságú légtömegek találkozásánál  
⇒ **jet stream (futóáramlás)** ( $v \approx 200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ );

# Futóáramlás (jet-stream)



## • Sztratoszféra

- ✓ A hőmérséklet növekszik a magassággal ( $h > 20$  km);  
**hőmérsékleti inverzió;**
- ✓  $\Rightarrow$  függőleges légmozgások nincsenek;  
**Ok:** a sztratoszférában található ózonréteg (UV elnyelő  $\Rightarrow$  melegítő hatás);
- ✓  $c_{\text{max}}(\text{O}_3) \approx 25$  km és  $T_{\text{max}} \approx 50$  km;  
**Ok:** a molekulák száma kisebb 50 km-en;
  - az elnyelt energia a kevesebb molekula hőmérsékletét gyorsabban emeli;
  - napsugárzásból magasabban több energia nyelődik el.

- Sztratoszféra

- ✓  $h \approx 50 \text{ km}$ ;
- ✓ légnyomás  $\approx 1 \text{ hPa}$ ;
- ✓ a légkör össztömegének 0,1 %-a van fölötte;

- Mezoszféra

- ✓  $50 \text{ km} < h < 85 \text{ km}$ ;
- ✓ kevés ózon;
- ✓ negatív hőmérsékleti gradiens;
- ✓ a légkör leghidegebb tartománya:  $t_{85 \text{ km}} = -95 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- ✓ éjszakai világító felhők;

- Miért ilyen hideg a mezoszféra?

- a sztratoszférát az ózonréteg melegíti;
- a termoszférát a napsugárzás által felgyorsított atomok melegítik;

⇒ A mezoszféra két meleg réteg közé ékelődik;

- **Mezopauza**

- ✓  $\sim 85$  km

- **Termoszféra**

- ✓ felső határa a felszíntől számítva:

- $85 \text{ km} < h < 500 \text{ km};$

- ✓ a molekulák elnyelik a napsugárzást  
(nagy energiájú fotonok)

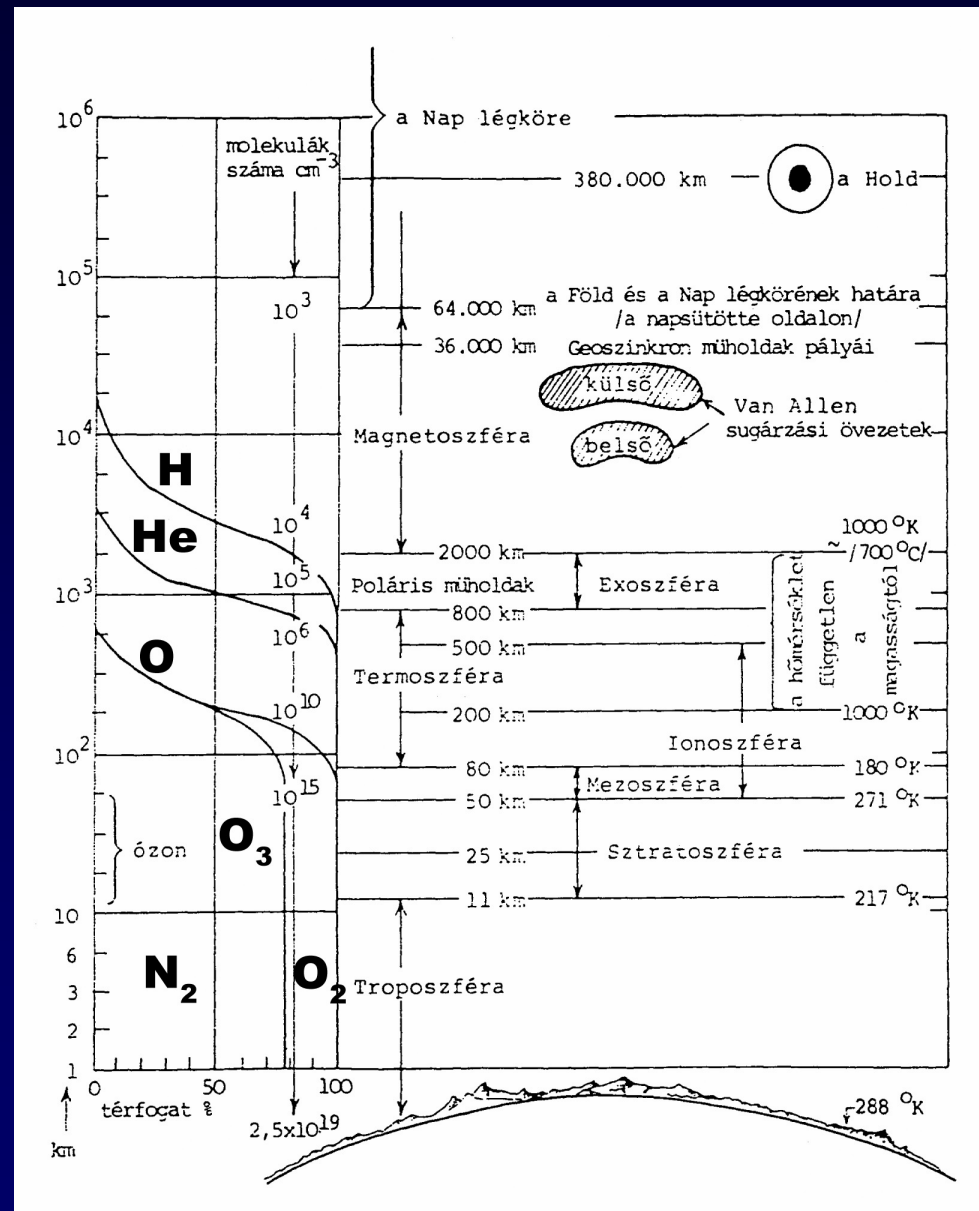
- ✓ nő a hőmérséklet;

- ✓ a levegő sűrűsége igen alacsony  
(közepes szabad úthossz:

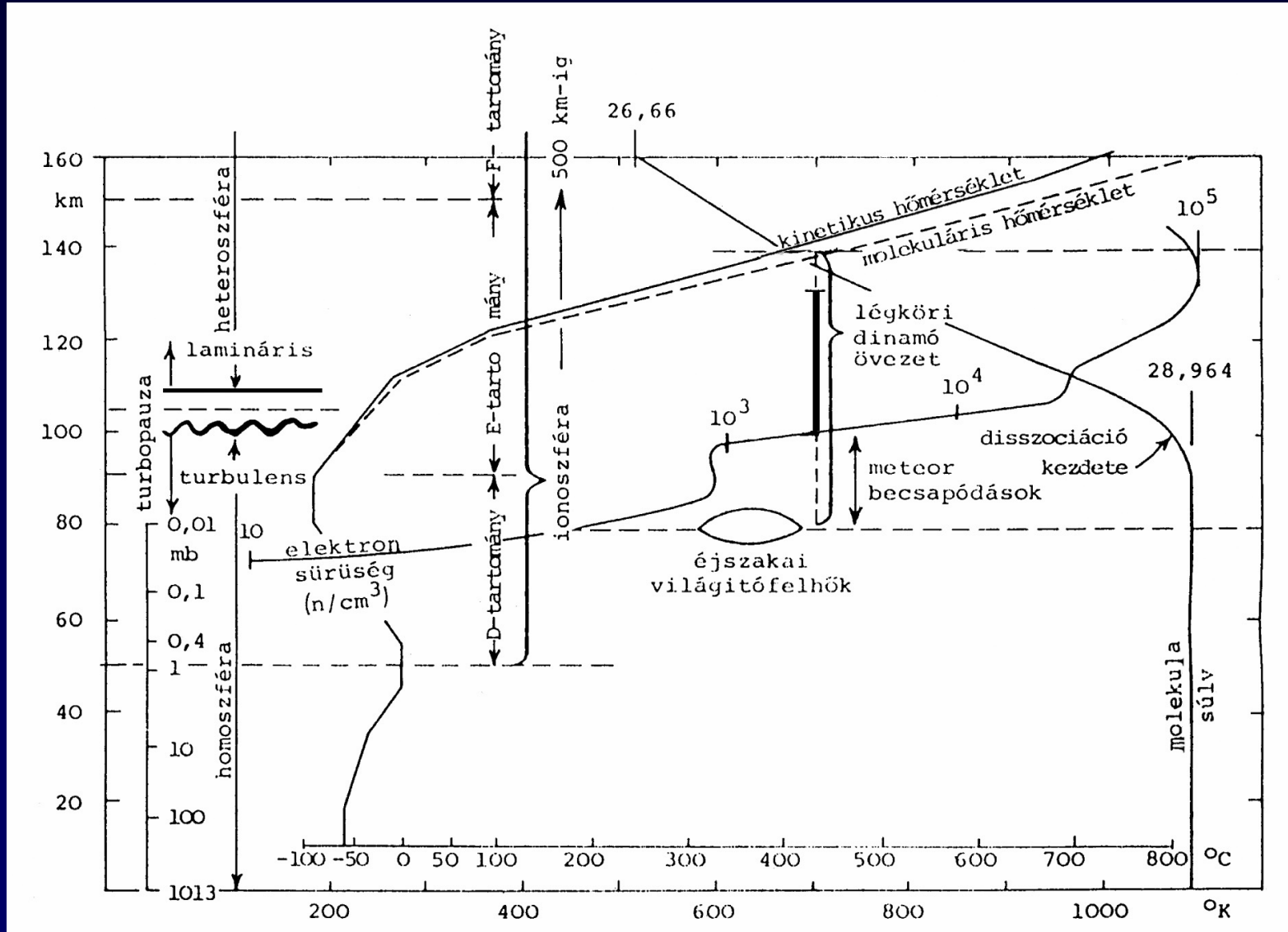
- itt: 1-10 km,

- tengerszinten:  $10^{-6}$  cm);

# A légkör vertikális szerkezete

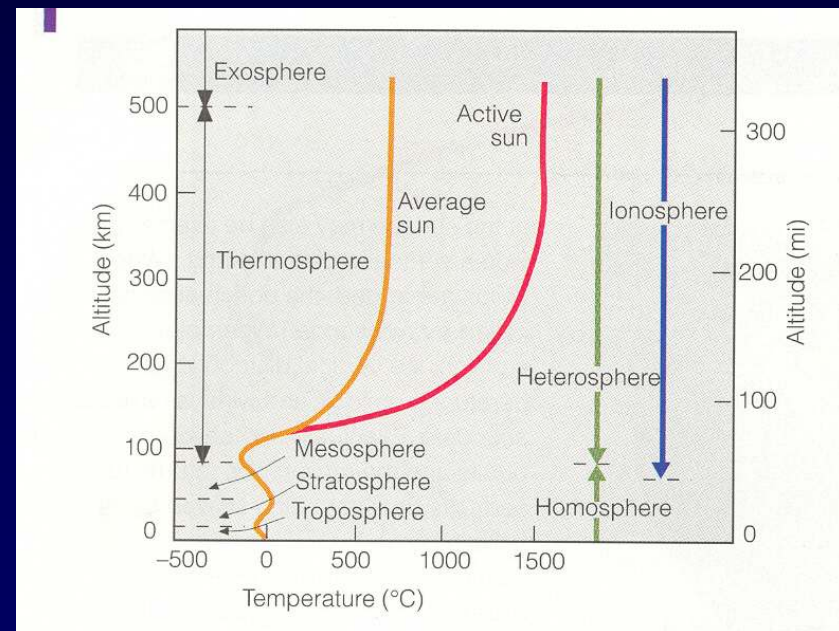
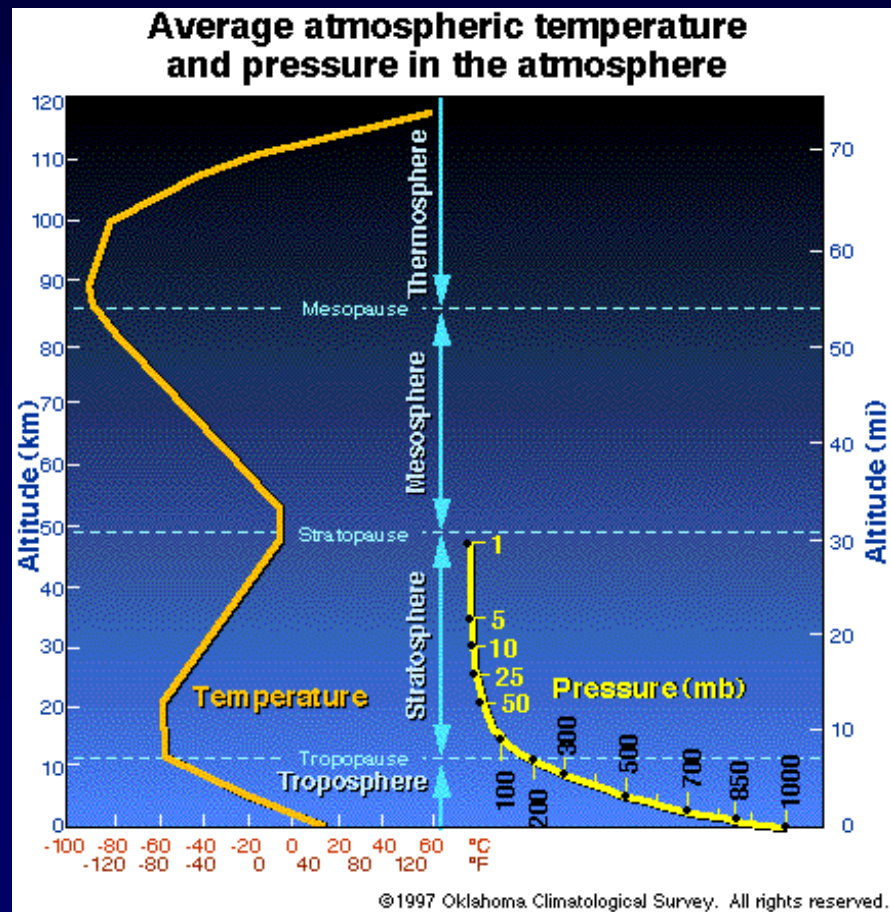


# A légkör rétegződése, $0 \text{ km} < h < 160 \text{ km}$





# Átlagos légköri hőmérséklet, nyomás, összetétel





A száraz, nyugalomban lévő  
tiszta légköri levegő  
fizikai állapotjelzői

## Egyszerűsített léggör

1. csak fő összetevők
2. vízgőz nincs
3. mozgás nincs

E léggör modell leírásához elegendő a gázok három állapotjelzőjének ismerete:

- a. **sűrűség** (vagy fajlagos térfogat)
- b. **nyomás**
- c. **hőmérséklet**

a1. sűrűség (= a térfogategységben foglalt tömeg)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$[kg \cdot m^{-3}]$$

a2. fajlagos, vagy specifikus térfogat  
(= a sűrűség reciproka)

$$V' = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m}$$

$$[kg^{-1} \cdot m^3]$$

A sűrűség és a fajlagos térfogat kapcsolata:

$$\rho \cdot V' = 1$$

**b. nyomás** (= a felületegységre merőlegesen és egyenletesen ható nyomóerő)

$$F = p \cdot A$$

$$p = \frac{F}{A}$$

$$\left[ \frac{N}{m^2} \rightarrow kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} \right]$$

c. **hőmérséklet** (= az anyagot alkotó molekulák rendszertelen mozgást végeznek, s ennek kinetikai energiája arányos a hőmérséklettel)  
abszolút hőmérséklet

A hőmérséklet objektív meghatározásának kritériumai:

- ✓ Egy rendszer csaknem valamennyi paramétere függ a hőmérséklettől;
- ✓ Az egymással érintkező rendszerek közötti hőmérséklet-különbségek egy idő után kiegyenlítődnek  $\Rightarrow$  termikus egyensúly
- ✓ Előállíthatók jól reprodukálható hőmérsékletek:
  - (\*)  $p = 1 \text{ atm}$ ; a tiszta jég és a víz keveréke
  - (\*\*)  $p = 1 \text{ atm}$ ; a forrásban lévő víz fölötti gőz

Abszolút hőmérsékleti skála, vagy Kelvin-skála:

$$T(\text{K}) = T_0 + t \text{ (}^\circ\text{C)}; \quad T_0 \approx 273 = \text{konstans}$$

Összefüggés a három  
állapotjelző között,  
az általános gázegyenlet

# A gázok állapotjelzői közötti kapcsolatok feltárása

## Tökéletes / ideális gázok:

- parányi részecskékből (molekulákból) állnak; mozgásuk egymástól független, állandóan véletlenszerű;
- a molekulák térfogata elhanyagolható a gáz által elfoglalt térfogathoz képest;
- a molekulák közötti erőhatások elhanyagolhatók;
- a nyomás annak tulajdonítható, hogy a gázmolekulák a tartóedény falához ütköznek;

# A gáztörvény tökéletes gázokra:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$p$  = légnyomás,

$V$  = valódi térfogat,

$n$  = a gáz mólja\*,

$T$  = hőmérséklet,

$R$  = gázállandó

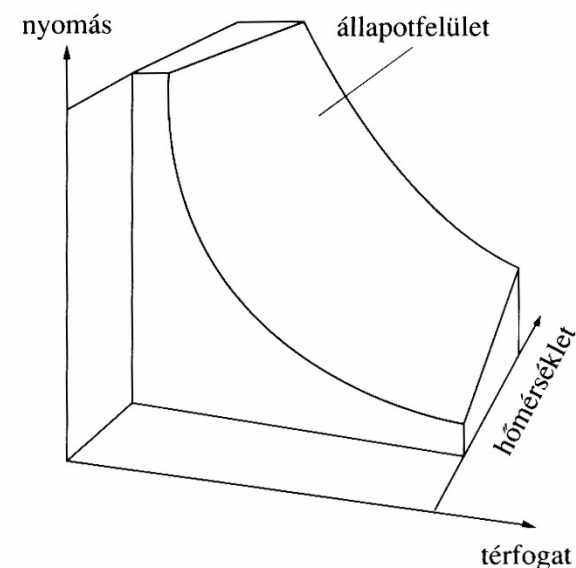
[ $R = f$  (a légnyomás egysége, hőmérséklet, fajlagos térfogat)].

**$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  , ha  $p$  [kPa],  $V$  [L],  $T$  [K];**

**$R = 0,0821 \cdot \text{L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  , ha  $p$  [atm],  $V$  [L],  $T$  [K];**

\*Egy **mól** bármely anyagból az a **mennyiség**, amely ugyanannyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kg  $\text{C}^{12}$ -ben. Az anyagmennyiséget mólokban fejezzük ki.

1 mól anyagban  $\approx 6,022 \cdot 10^{23}$  db részecske van (= Avogadro-szám).



**1.4. ábra** Adott mennyiségű tökéletes gáz  $p$ ,  $V$ ,  $T$  felületének részlete. A felületet alkotó pontok azokat az állapotokat jelölik, melyekben a gáz létezhet.



# A gáztörvény

1 mol tömegű gáz esetén:

$$p \cdot V_m = N \cdot k \cdot T$$

$p$  = nyomás;

$V_m$  = moláris térfogat (egy mól mennyiségű gáz térfogata);

$T$  = hőmérséklet;

$N$  (Avogadro szám = egy mól anyagmennyiségnek megfelelő részecskeszám) =  $6,022 \cdot 10^{23}$  elemi egység;

$k$  (Boltzmann-állandó) =  $1,3806505 \cdot 10^{-23}$  J·K<sup>-1</sup>;

$N \cdot k$  =  $R^*$  állandó;

$R^*$  =  $8314,41$  J·kmol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>; univerzális gázállandó;

# A gáztörvény

egységnyi tömegű gáz esetén:

$$p \cdot \frac{V_m}{M} = \frac{R^*}{M} \cdot T$$

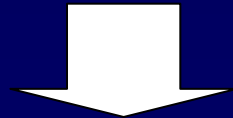
M = moláris tömeg (egy mól kémiai elem, vagy kémiai vegyület tömege);

Használjunk moláris térfogat helyett fajlagos térfogatot:

$$\frac{V_m}{M} = v$$

$$\frac{R^*}{M} = R$$

az adott gázra jellemző specifikus gázállandó;



$$p \cdot v = R \cdot T$$

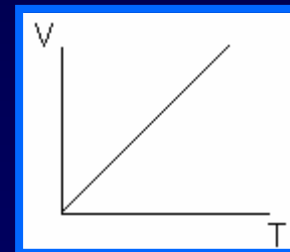
## Gay-Lussac törvénye (1802):

állandó nyomáson (térfogaton) a tökéletes gázok térfogata (nyomása) lineárisan változik a hőmérséklettel:

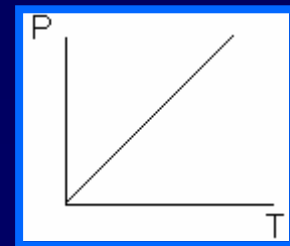
$$V(t) = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

$$p(t) = p_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

**állandó nyomás  $\longrightarrow V / T = \text{konstans}$**



**állandó térfogat  $\longrightarrow p / T = \text{konstans}$**

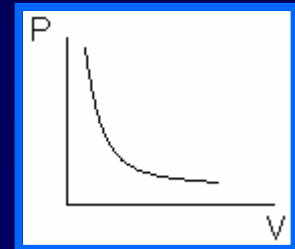


## Boyle (1664) – Mariotte (1676) törvénye:

állandó hőmérsékleten a tökéletes gáz nyomása fordítottan arányos annak fajlagos térfogatával

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{állandó}$$

**állandó hőmérséklet  $\longrightarrow$   $p \cdot V = \text{konstans}$**



## Boyle – Mariotte – Gay-Lussac törvénye:

Ha  $t$  °C hőmérsékleten valamely tökéletes gáz adott mennyiségének nyomása  $p$ , fajlagos térfogata  $V$ , akkor

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

ahol  $\alpha = \frac{1}{273,16}$  a gáz anyagi minőségétől

független állandó (térfogati hőtágulási együttható).

Fejezzük ki a fajlagos térfogatot a gáz  $\rho$  sűrűségével:

$$V = \frac{1}{\rho}$$

$$V_0 = \frac{1}{\rho_0}$$

s tekintsük a  $T = 273,16 + t$  abszolút hőmérsékletet.

Innen a fentieket behelyettesítve a  $p \cdot V$  egyenletébe, a

következőt kapjuk:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} \cdot \frac{T}{273,16}$$

A fenti egyenletben a  $\frac{p_0}{\rho_0 \cdot 273,16}$  konstans az adott

gázra nézve állandó szám.

Neve: az adott gázra jellemző, specifikus gázállandó;

Jele: R

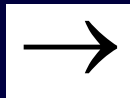
Innen a fajlagos térfogat és a sűrűség közötti összefüggés

alapján:  $R = \frac{p_0 \cdot V_0}{273,16}$



Most helyettesítsük be a gázállandó értékét, s végeredményül az **általános gázegyenlet**re a következő két egyenletet kapjuk:

$$\frac{p}{\rho} = R \cdot T$$



$$p = \rho \cdot R \cdot T$$

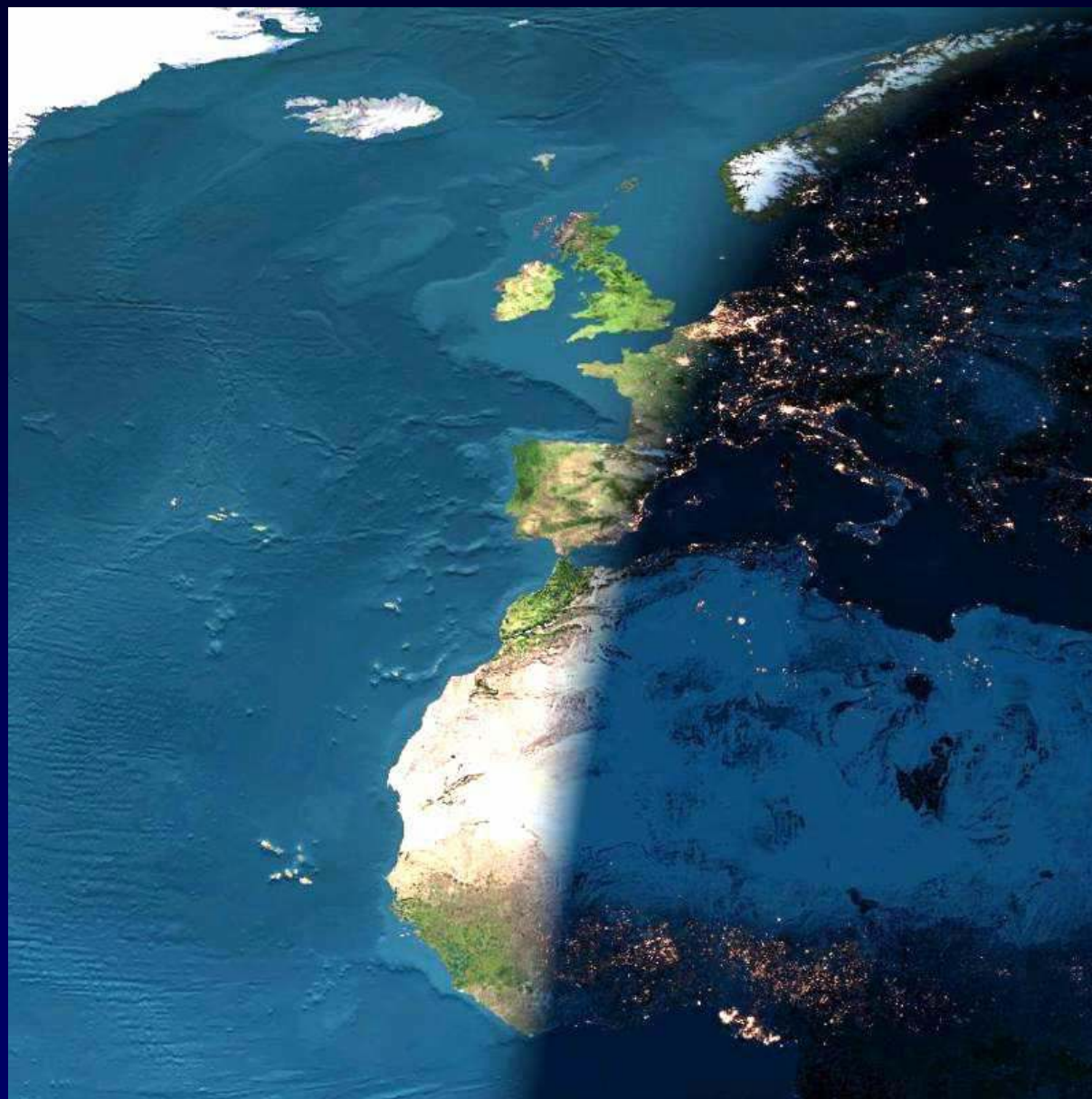
$$p \cdot V = R \cdot T$$

Az **általános gázegyenlet** tehát a tömegegységnyi (1 mol) gáz térfogata ( $V$ ), nyomása ( $p$ ) és hőmérséklete ( $T$ ) közötti összefüggés.

Szobahőmérséklet és 1 atm légköri nyomás mellett **jó közelítéssel érvényes a nehezen cseppfolyósítható gázokra** (az oxigénre, a nitrogénre, **a levegőre**, a hidrogénre, a héliumra, stb.).

## Átlagos hőmérséklet, légnyomás és sűrűség, $\varphi=15^\circ\text{N}$

magasság (km)	légnyomás (hPa)	hőmérséklet ( $^\circ\text{C}$ )	sűrűség ( $\text{kgm}^{-3}$ )
0	1013,0	29,4	1,17
5	559,0	-2,5	$7,20 \cdot 10^{-1}$
10	285,0	-36,2	$4,20 \cdot 10^{-1}$
20	56,0	-66,4	$9,52 \cdot 10^{-2}$
30	12,2	-40,9	$1,83 \cdot 10^{-2}$
40	3,0	-19,2	$4,18 \cdot 10^{-3}$
50	0,85	-3,0	$1,10 \cdot 10^{-3}$
60	0,24	-20,0	$3,29 \cdot 10^{-4}$
70	0,058	-54,3	$9,21 \cdot 10^{-5}$
80	0,011	-88,4	$2,09 \cdot 10^{-5}$
90	0,0017	-96,1	$3,38 \cdot 10^{-6}$
100	0,00029	-82,4	$5,15 \cdot 10^{-7}$



**Mára befejeztük, jó éjszakát!**