



PÁZMÁNY

Pázmány Péter Katolikus Egyetem  
**Információs Technológiai és Bionikai Kar**

# MOTIVÁCIÓ ÉS FIZIKATANÍTÁS LÉGKÖRFIZIKAI PÉLDÁKON

---

2024 március 21.

**Dr. Tasnádi Péter**

*egyetemi tanár*

# VÁZLAT

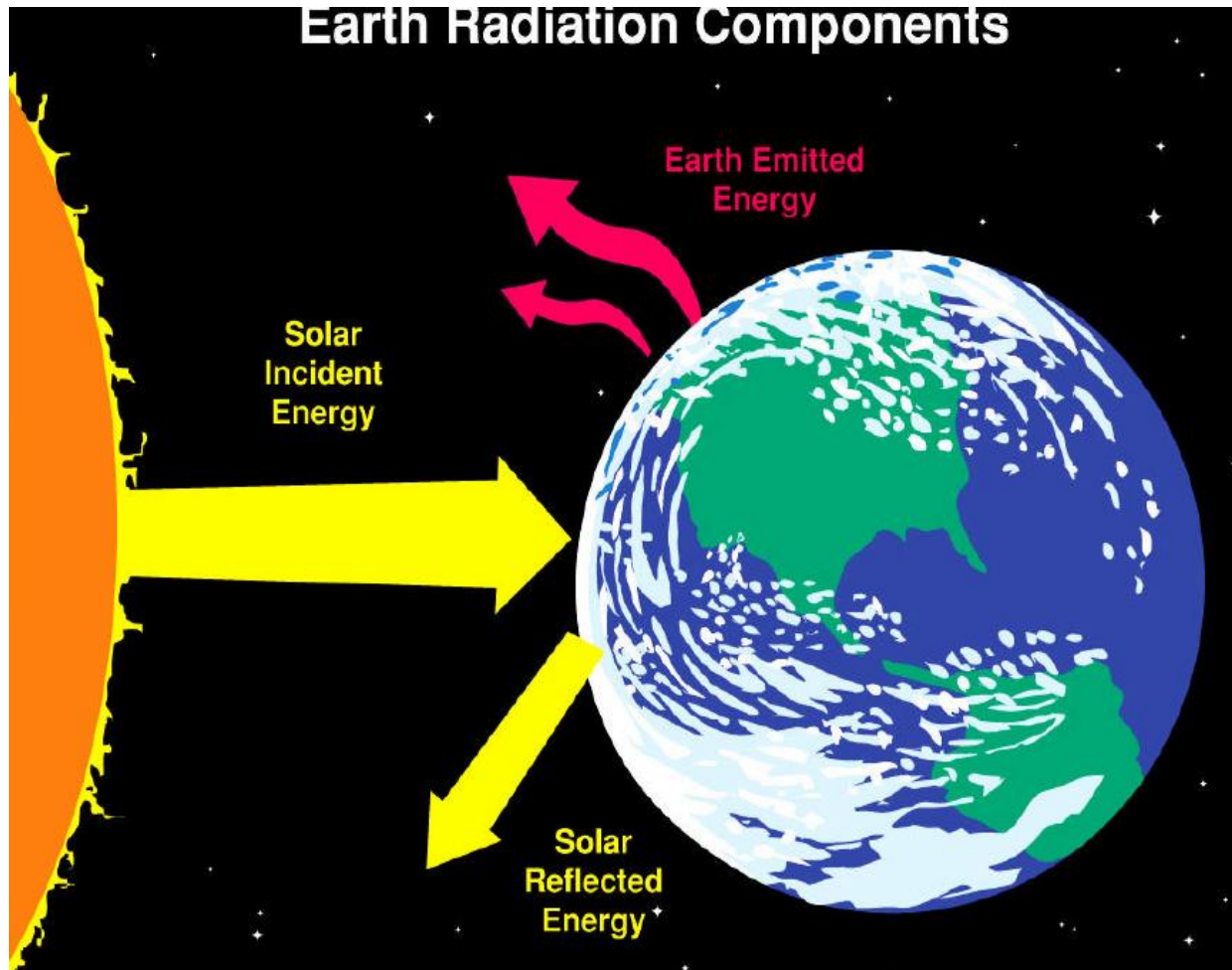
- Tantervek, a fizikatanítás lehetőségei
  - Korosztály, absztrakciós készség
- Motiváció, témaválasztás, „anekdoták”
  - Pusztá érdekességgel, belső (intrinsic), elmélyülés,
  - STEM, integráció, a fizika határterületei
- Légkörfizika (nagyon széles témakör)
  - Klimaváltozás
  - Időjárás, általános légkörzés (A RÉM: CORIOLIS ERŐ)
  - Zivatarfelhő
    - Csapadékképződés
    - Légköri elektromosság, villámok
    - A nagy légköri áramkör,
    - Schumann rezonancia,
    - Felsőléggköri átmeneti elektromos jelenségek

# A LÉGKÖR ENERGIAMÉRLEGE

---

*KLIMAVÁLTOZÁS*

# A NAP SUGÁRÖZÖNÉBEN ÉLÜNK



A bejövő sugárzás nem halmozódik fel  
Kimenő = Bejövő

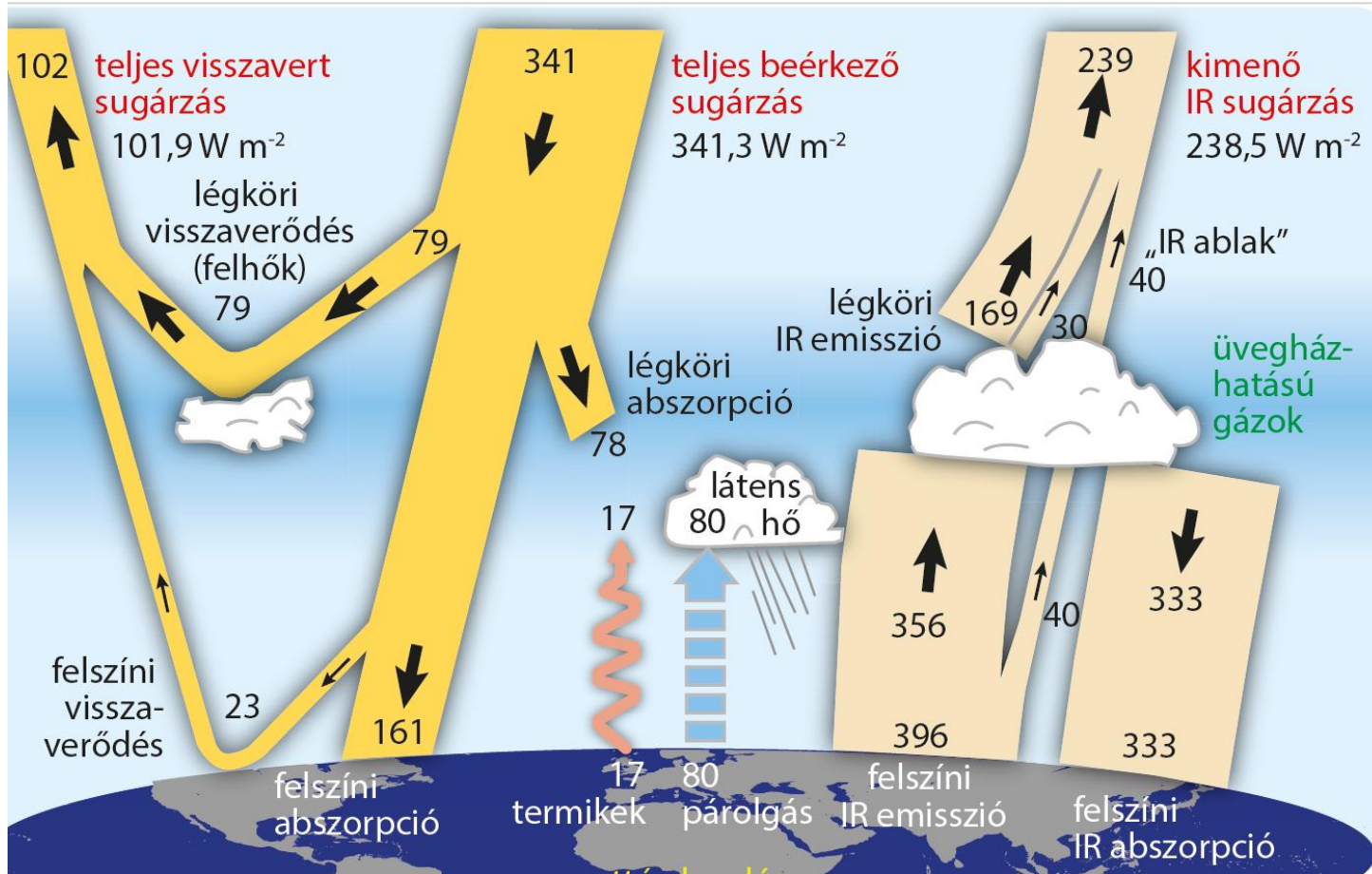
DE!

A rövidhullámú sugárzásból,  
hosszúhullámú lesz

HALADÓKNAK:

Rendezettség-rendezetlenség  
Entrópia

# A FÖLD ENERGIAMÉRLEGE (9.-10. oszt. tankönyvi ábra)



A teljes rendszer energiamérlege:

$$341 = 102 + 239 \quad (341, 341)$$

A földfelszín energiamérlege:

$$161 + 333 = 17 + 80 + 396 \quad (494, 493)$$

A légkör energiamérlege:

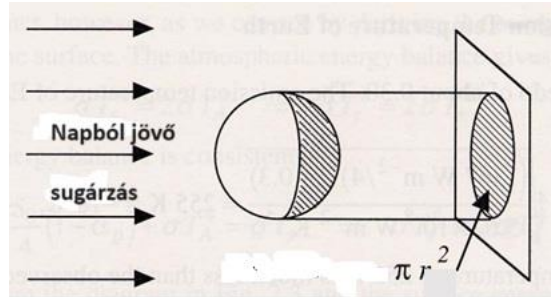
$$78 + 17 + 80 + 396 = 333 + 239 \quad (571, 572)$$

A többlet 0,9

A beérkező energia 0,3 %-a

Tanulság: A rendszer minden része sugárzási egyensúlyban van

# A LÉGKÖR NÉLKÜLI FÖLDFELSZÍN HŐMÉRSÉKLETE



Az elnyelt sugárzás:

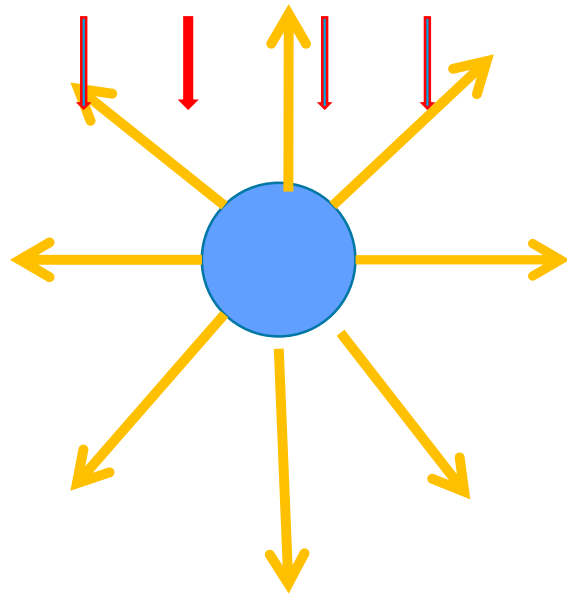
$$r^2\pi S(1-a)$$

A kibocsátott sugárzás:

$$4 r^2\pi\sigma T_0^4$$

A „csupasz” Föld felszínének hőmérséklete:

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{S(1-a)}{4\sigma}} = 255 \text{ K} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$$



AMI HIÁNYZIK: STEFÁN – BOLTZMANN TÖRVÉNY

# A LÉGKÖR HATÁSA

A földfelszín és a légkör hőmérséklete ha a légkör teljesen elnyeli a Föld infra sugárzását

Energiamérleg:

1. A Föld:

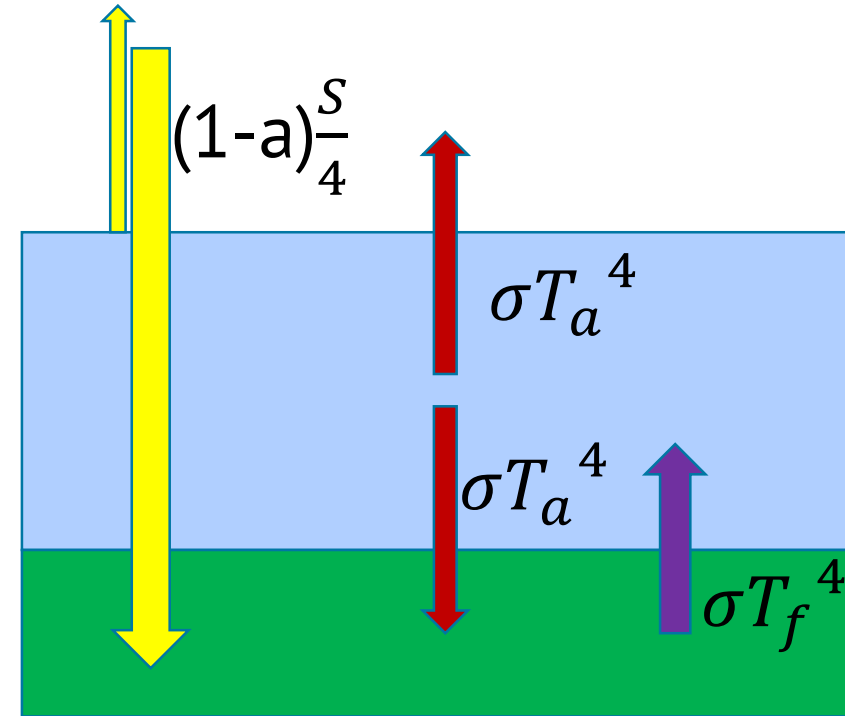
$$(1 - a)S\pi r^2 + \sigma T_a^4 4\pi r^2 = \sigma T_f^4 4\pi r^2$$

$$(1 - a)\frac{S}{4} + \sigma T_a^4 = \sigma T_f^4$$

2. A Föld-atmoszféra rendszer:

$$(1 - a)S\pi r^2 = \sigma T_a^4 4\pi r^2$$

$$(1 - a)\frac{S}{4} = \sigma T_a^4$$



$$T_a = T_0 = 255K = -18^\circ C$$

$$T_f = \sqrt[4]{2}T_0 = 303K = 30^\circ C$$



# IJESZTŐ A BATAGAYKA permafrost kráter Szibériában



A permafroszt (állandóan fagyott) talaj olvadása kráterereket hoz létre

Batagayka: 96 m

Metán szabadulhat fel

Köpönyeg, 2021

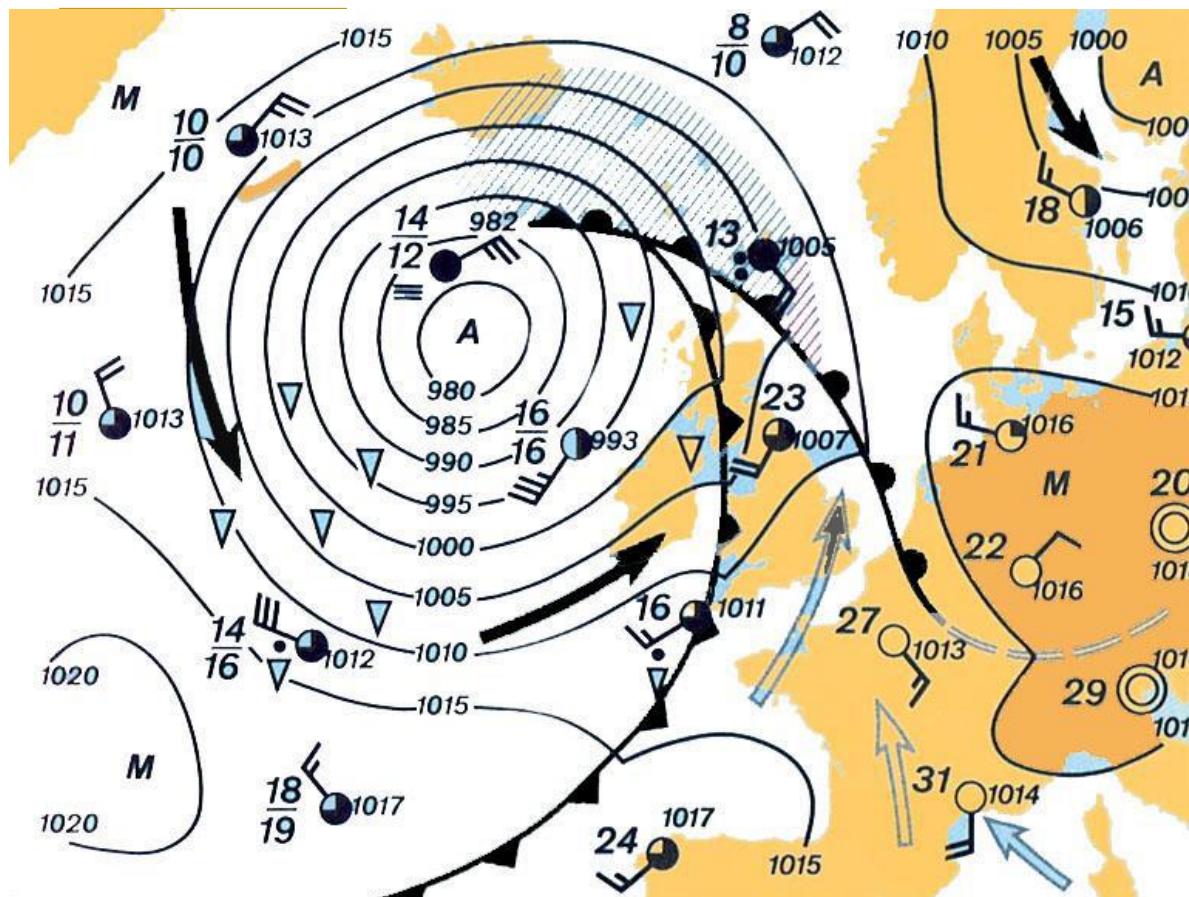
# ÁRAMLÁSOK

---

*CIKLONOK, SZÉL ÉS TENGERÁRAMLÁS*



# IDŐJÁRÁS (RÉSZLETEZÉS NÉLKÜL)



AZ ELSŐ HIVATÁSOS METEOROLÓGUS

**FitzRoy admirális**

Új Zéland kormányzója

A Royal Society tagja

Az első előrejelzés

Kikötői viharjelzés

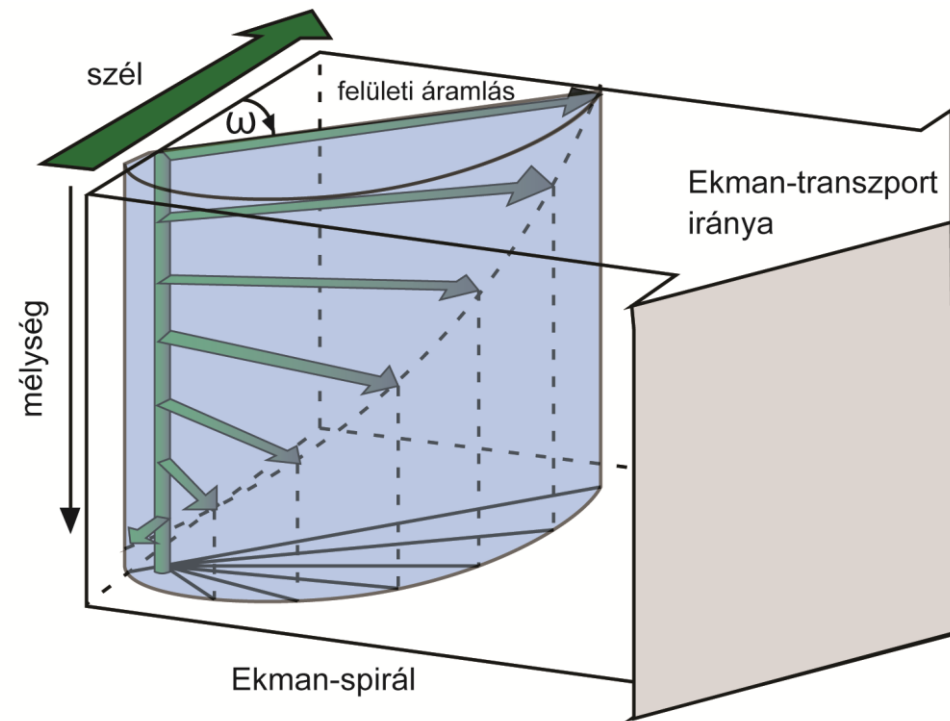
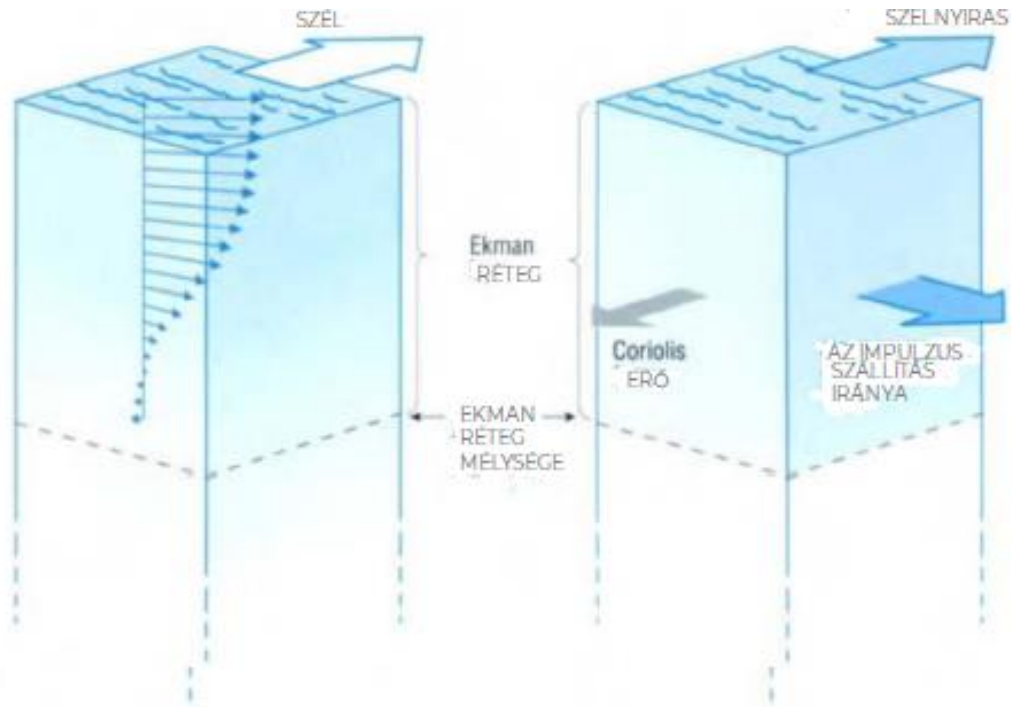
Barométer készítés és forgalmazás

Öngyilkos lett



# CSAK HALADÓKNAK: SZINTE HIHETETLEN

a tengeráramlás nem egyezik a szél irányával

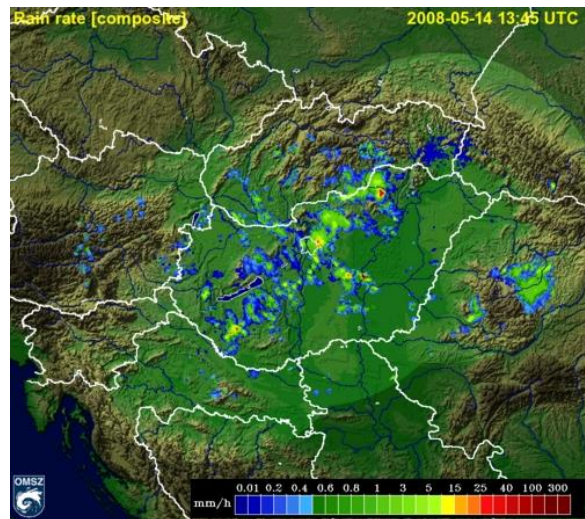


# A ZIVATARFELHŐ

---



# A ZIVATARFELHŐ (CUMULONIMBUS)



# KÉRDÉSEK

---

MIBŐL ÁLL?

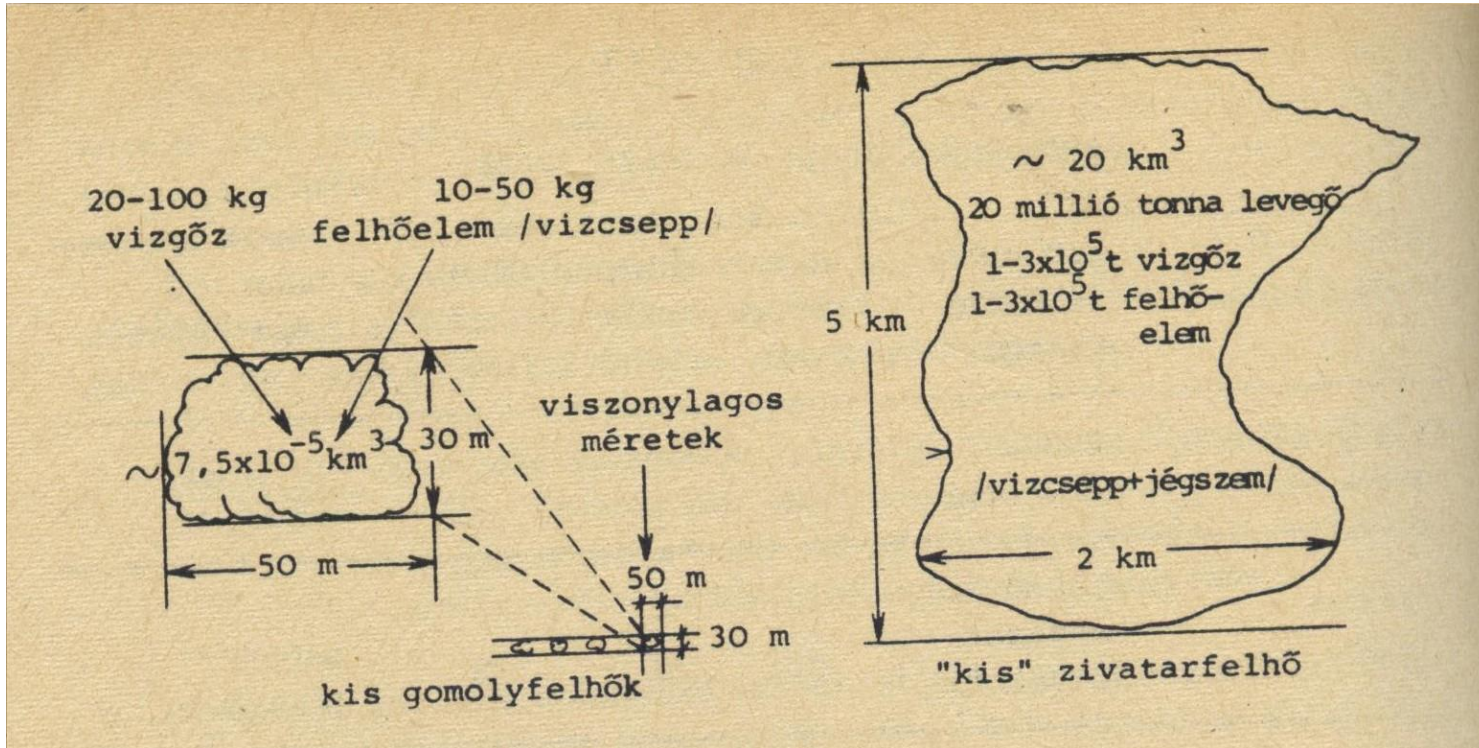
MIK A FIZIKAI TULAJDONSÁGAI?

MILYEN FOLYAMATOK ZAJLANAK BENNE?

HOGYAN KELETKEZIK?

MILYEN HATÁSAI VANNAK?

# KIS GOMOLYFELHŐ ÉS KIS ZIVATARFELHŐ



A Föld tömege:  $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

térfogata:  $1,1 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$

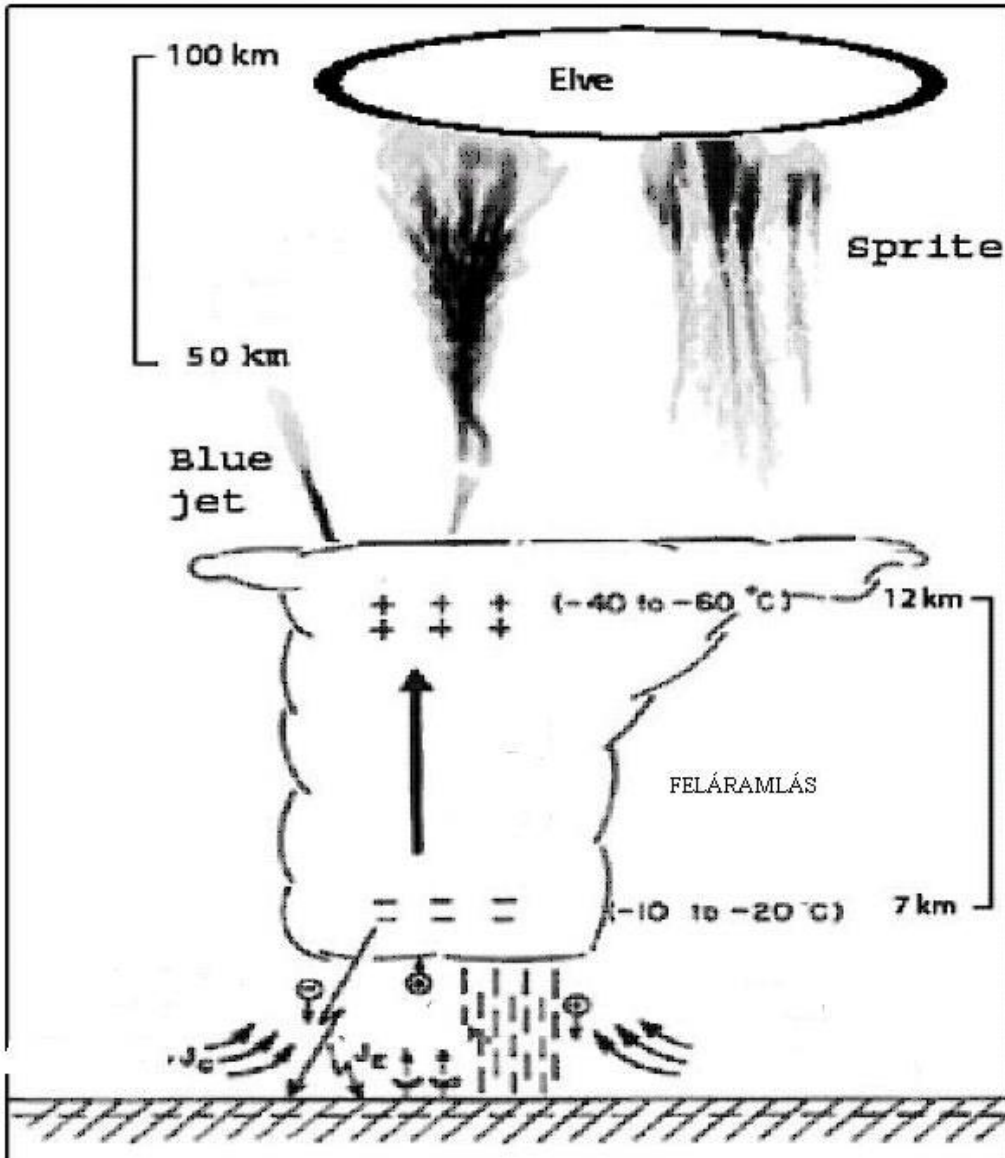
A hidroszféra tömege:  $1,46 \cdot 10^{21} \text{ kg}$

Az atmoszféra tömege:  $5,6 \cdot 10^{18} \text{ kg}$

A zivatarfelhőben a vízgőz lecsapódásakor felszabaduló hő nagyságrendje a Paksi atomerőmű (2000 MW) egy napi energiatermelésének nagyságrendjébe esik!



# ZIVATARFELHŐ ÉS KÖRNYÉKE



KONVEKCIÓ

TÖLTÉSSZÉTVÁLÁS

VILLÁMLÁS

CSAPADÉK

SZÉLVIHAR

FELETTE:

ELVES, SPRITES

- Emission of
- light and
- very low frequency perturbation from
- electromagnetically pulsed
- sources

# ZIVATARFELHŐK KELETKEZÉSE

- **OK: KONVEKCIÓ**  
A LÉGKÖR ALULRÓL MELEGÍTETT „LÁBOS”
- **ALAPFOLYAMATOK**
  - **FELÁRAMLÁS (Archimedes törvény)**  
Fűtés: a kicsapódó vízpára
  - **FELTORLÓDÁS**  
hegyek, frontok
  - **SZÉLNYÍRÁS**

# A FELHAJTÓERŐ

$$\rho_L Va = \rho_K Vg - \rho_L Vg$$

$$a = \frac{\rho_K - \rho_L}{\rho_L} g = \frac{T_L - T_K}{T_K} g$$

Adiabatikus emelkedés

Szabad konvekciós szint

Túlfutás, rezgés

KÖZBEN

kicsapódás, melegedés (lassuló hűlés)

esőcseppek képződése

LESZÁLLÓ LÉGMOZGÁS

ALUL HIDEG MEDENCE

ELVÁGJA A MELEG LEVEGŐ UTÁNPÓTLÁST

# EGYCELLÁS ZIVATARFELHŐ

Szabad konvekciós szint

Adiabatikus emelkedés

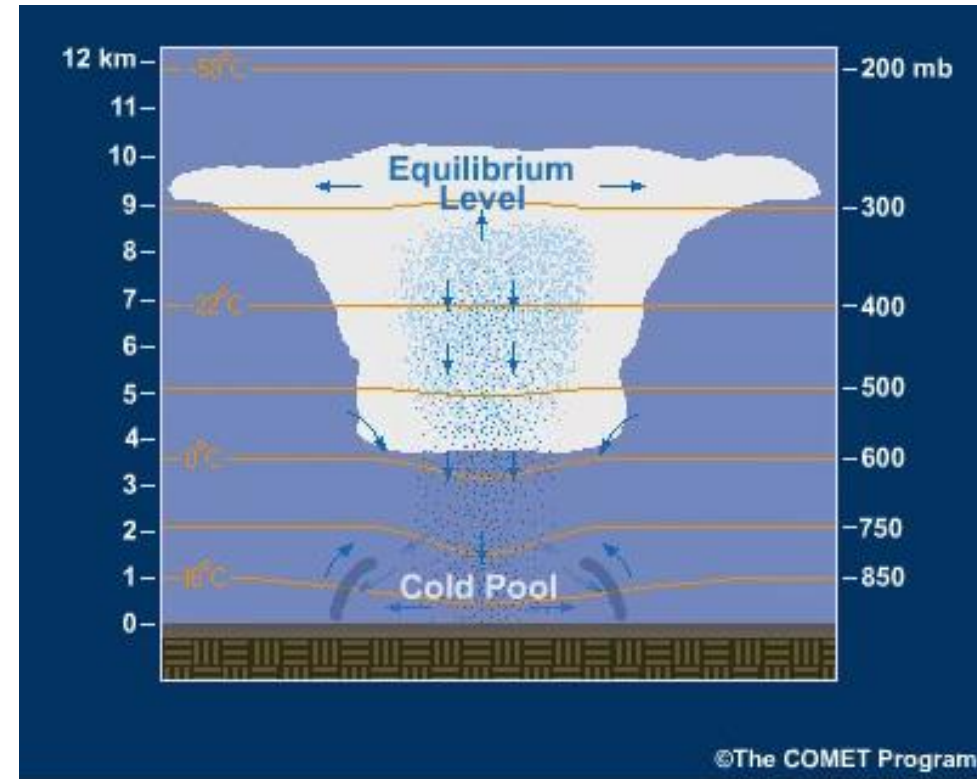
Túlfutás, rezgés

Kicsapódás

Csapadékképződés

Alul hideg csepp

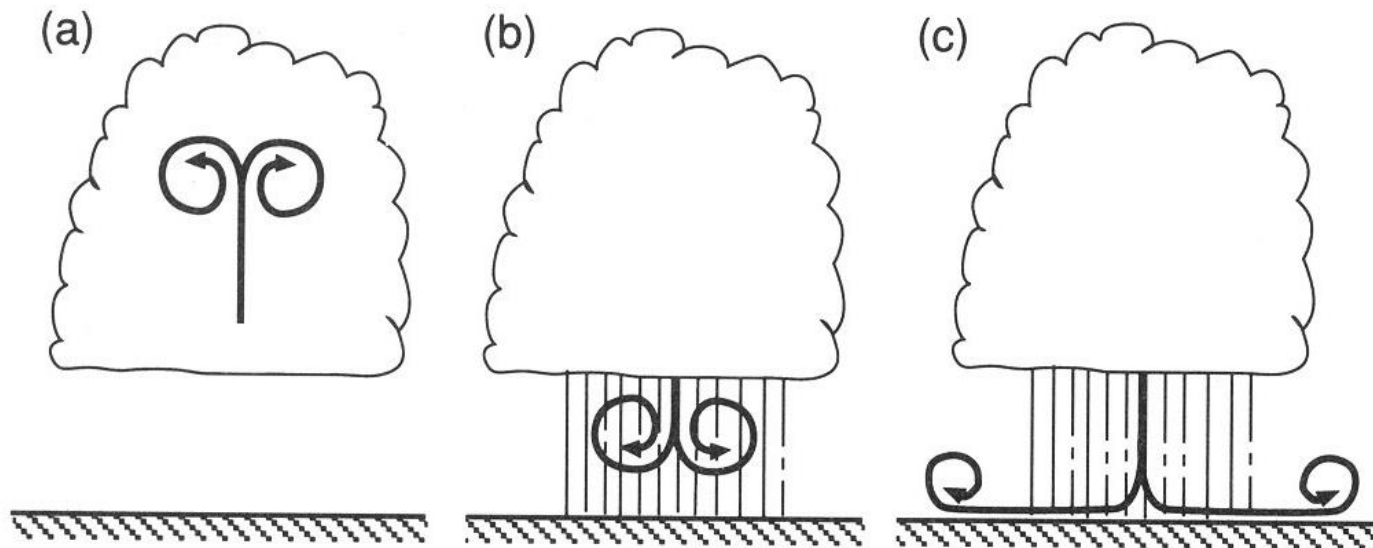
A felhő megszűnése



# ÖRVÉNYKÉPZŐDÉS A FELHŐFEJLŐDÉS SORÁN

A felhajtóerő a légelem közepén maximális, a horizontális gradiens a két szélén ellentétes. Az emelkedő légelem túlfordul

Ellentétesen forgó örvénypár keletkezik



Lefelé hasonló, de itt szerepet játszik a párolgási hűlés és a csapadék lefelé húzó hatása

A talajon szétterülő leáramlás miatti szétáramlás élénél erős horizontális felhajtóerő gradiens és örvénypár marad tartósan

# VILLÁMOK

---

# RÉGI TÖRTÉNET

Zeus, Kronos, a cyclopsok, Hephaistos és a háború a titánokkal



# MAI TÖRTÉNETEK

- Szokatlan fénytűnemények az ionoszférában, babonás feltevések
- Nagyon alacsony frekvenciájú elektromágneses hullámok a Föld atmoszférájában

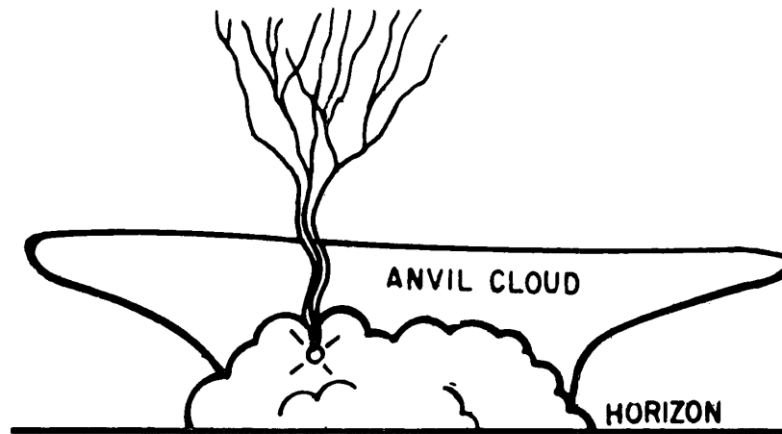
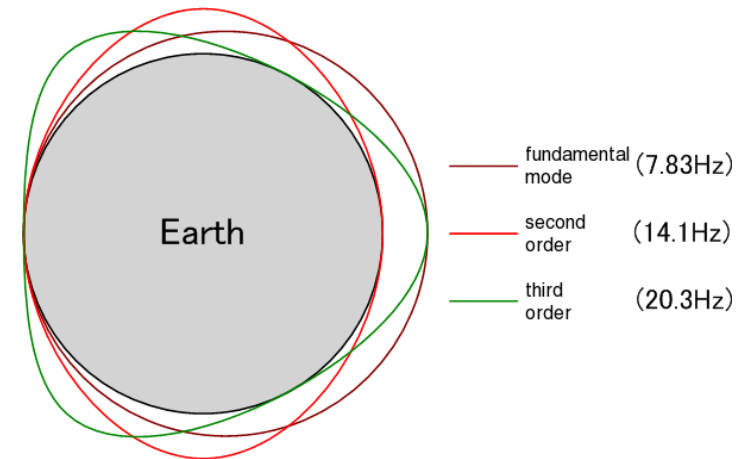
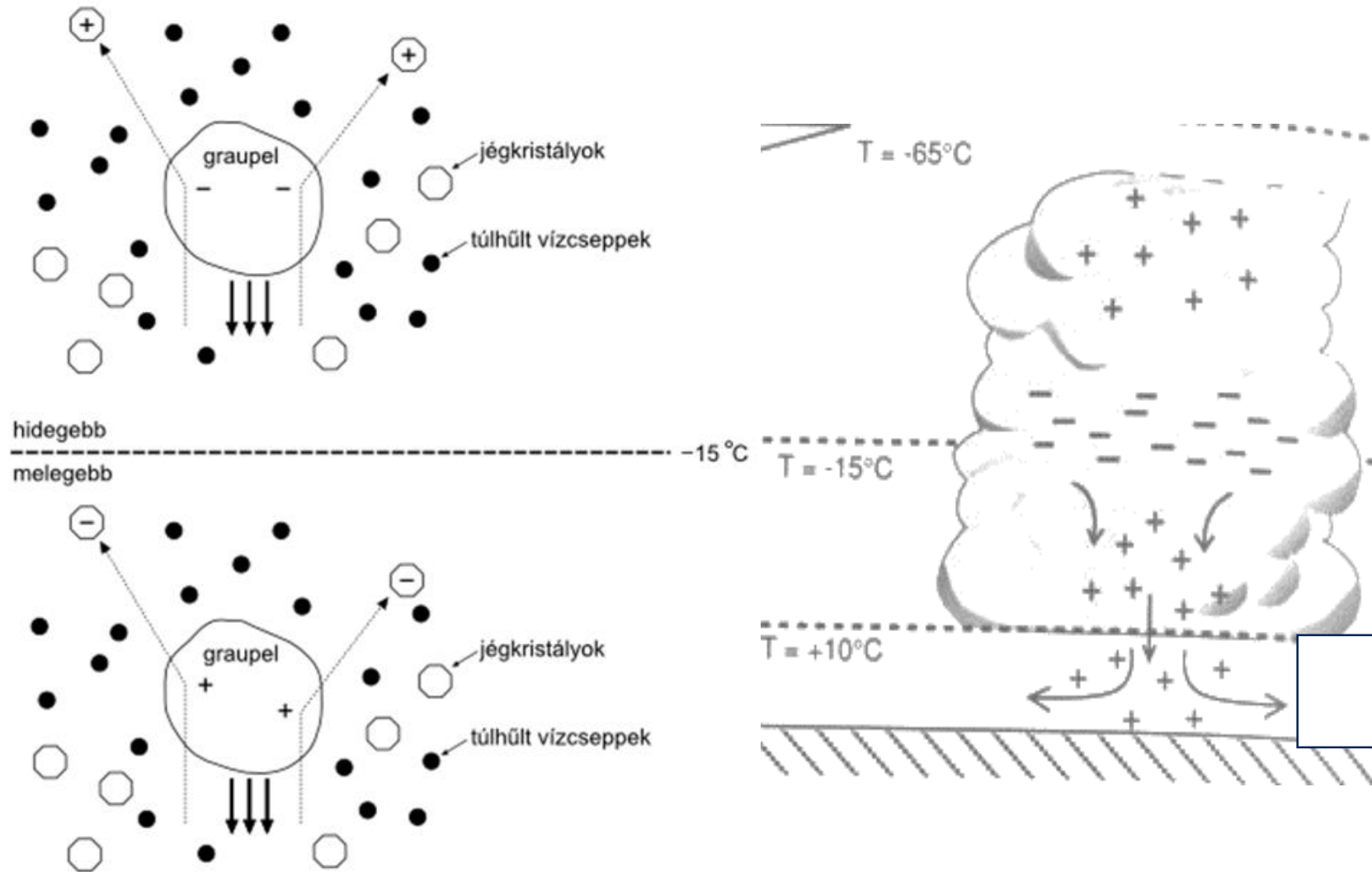


Figure 1. Sketch illustrating lightning display observed above the anvil of a cumulonimbus cloud (Wood, 1951).





# TÖLTÉSSZÉTVÁLÁS





# VILLÁM ANIMÁCIÓ

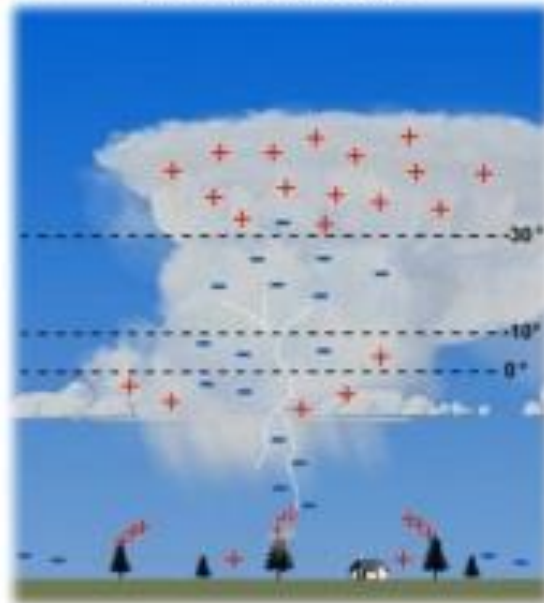


ltg\_ani.mp4

## Step 7: Successive Dart Leaders and Return Strokes

hr	min	sec	msec	µsec
00	00	00	261	320

### 1 Conceptual View of Cloud-to-Ground Lightning Discharge Process



### 3 Cloud-top View



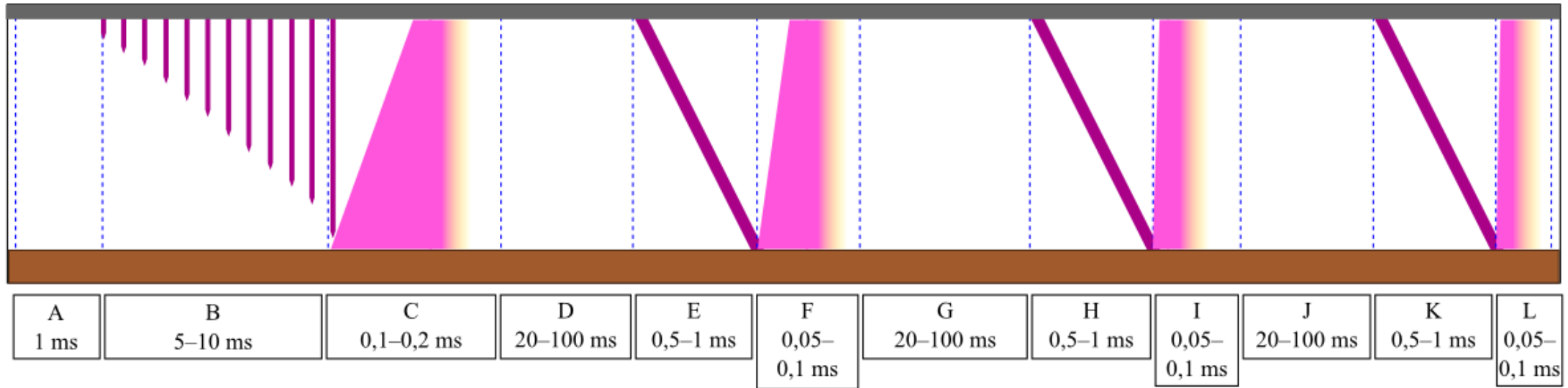
### 2 Ground-Based Lightning Detection



- Low frequency radio wave listening network detections
- VWF Lightning Mapping Array (LMA) detections

©The COMET Program

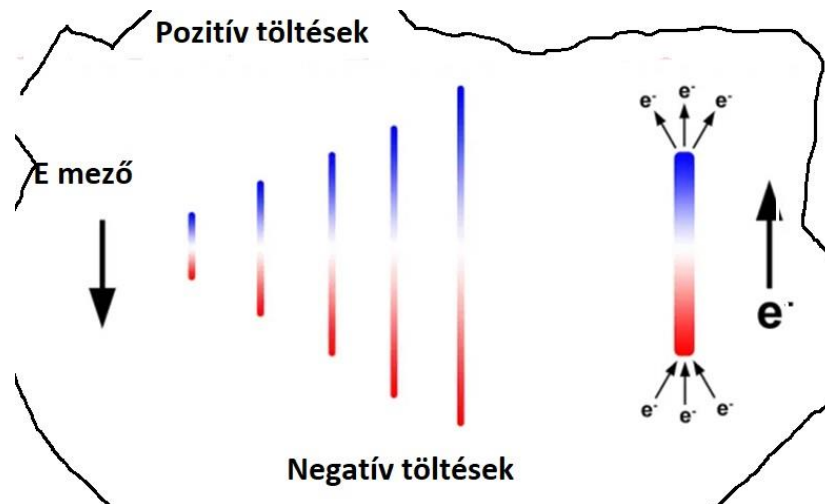
# A VILLÁM ÉLETRAJZA



- A) Átütés a felhőalap közelében, a felhő belsejében lépcsős vezetés alakul ki (*stepped leader*).
- B) Lépcsős vezetés a föld felé. A lépcső kialakulásáig a teljes villámcsatorna felfénylik.
- C) A földről indulva vezetési front keletkezik a felhőből jövő vezetővel való kapcsolódásra (*connecting leader*). Az első „visszacsapás”. A csatorna ragyogóan fénylik.
- D) A visszacsapó front eléri a felhőt, az áram 20–100 ms időtartamra megszűnik, és a villám kihuny.
- E) Az első dárдавillám (*dart leader*) indulása a felhőből a föld felé. A visszacsapó villám ionokkal teli vezető csatornát hagy maga mögött, amely kijelöli a villám következő áramlökések útját. Az áramlökést néhány 10 méteres ragyogó fénydárda jelöli.
- F) A dárдавillám földet ér, és elindul a második visszacsapás, amely 0,05–0,1 ms-ig tart.
- G) A második visszacsapás befejeződése.
- H–L) A dárдавillámok és visszacsapások sorozatban ismétlődnek.

# HOGYAN INDUL? KASEMÍR ELMÉLETE

- A SZIKRA ANALÓGIA NEM PONTOS
  - NINCSENEK ELEKTRÓDÁK
  - NEM EGYIRÁNYÚ FOLYAMAT
- KÉTIRÁNYÚ, BIPOLÁRIS FOLYAMAT
  - Kasemir 1950, elfogadása 1990 után



Bipolar [leaders](#)

# KÉTIRÁNYÚ KÉTPÓLUSÚ VEZETŐ



Felhő-talaj villám →

← Felhő-felhő villám



# POZITÍV ÉS NEGATÍV ÁG VISELKEDÉSE



Nem elágazó ragyog és meanderezik

Sokszorosán elágazó gyenge fényű és könnyen eltűnik

Visszalökő vezető az eltűnő pozitív vezető ágon, a csúcsból visszaindulva, újra ionizál

A visszalökő negatív ága a fő pozitív csatornához érve visszacsapás-szerűen felfénylik.

Lépéses haladás, véletlenszerű irányváltoztatás

Gyakori elágazás, nem szűnő ragyogó fény

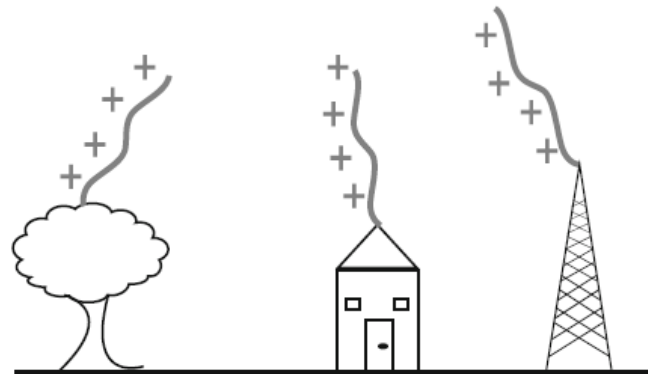
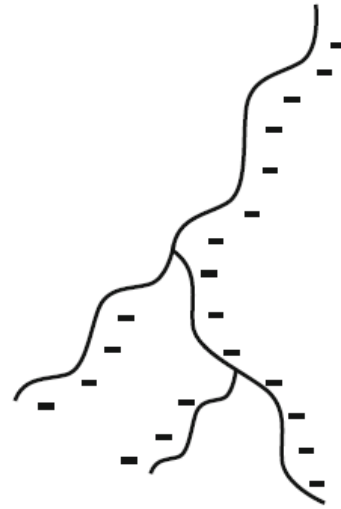
Az eltűnt ágon kevésbé gyakori újra fejlődés, ha igen, akkor az elágazási ponttól.

Az újra ionizáció utáni ág gyakran fennmarad és tovább fejlődik.

# HOVÁ CSAP VILLÁM, A CSATLAKOZÓ VEZETŐ

---

A lefelé mozgó lépcsős vezető terének hatására a talajról csatoló vezető indul a villám felé.





# A VILLÁMOK SZEREPE A LÉGKÖRBE

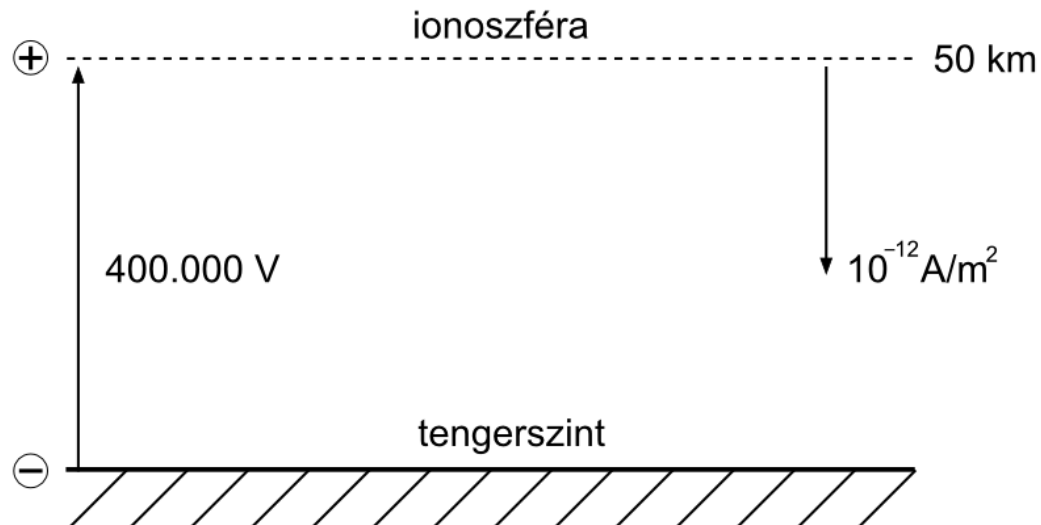
---

# A FÖLD TÖLTÉSE, POTENCIÁLTERE

A föld és az ionoszféra hatalmas állandóan töltött gömbkondenzátort alkot.

A föld a negatív, az ionoszféra a pozitív fegyverzet.

A kondenzátor szivárog



A teljes áram 1000 A

1/2 ÓRA ALATT KISÜLNE

Mi tölti fel?

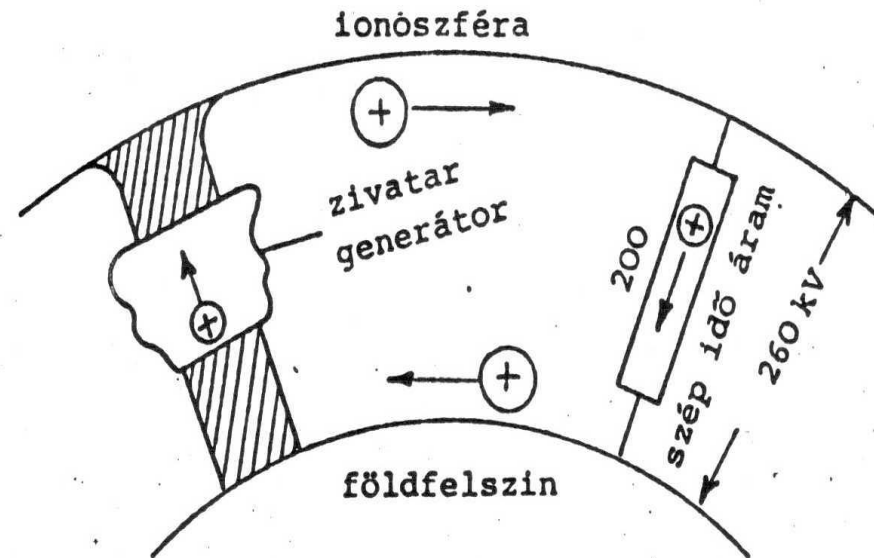
# A ZIVATARGENERÁTOR

## Wilson modell

Szép idő:

100-150V/m

1300A

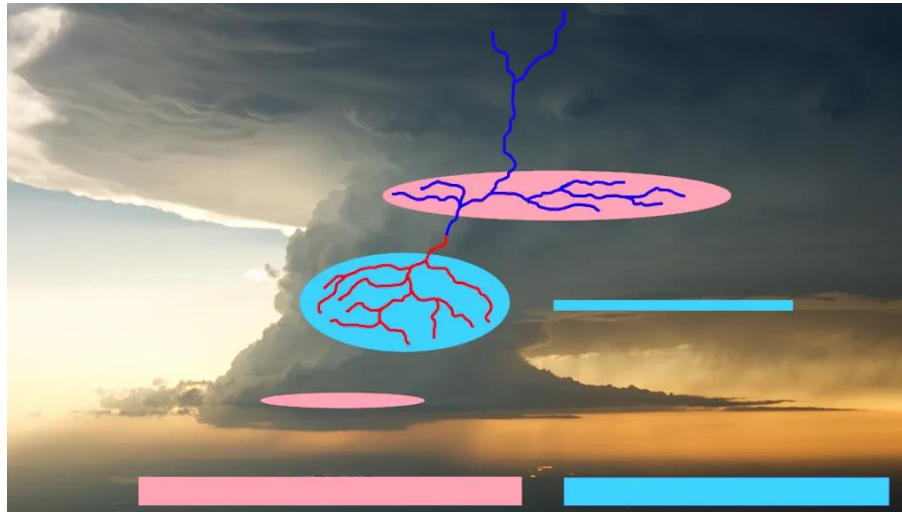


75. ábra

A globális légköri villamosság áramkörének "kondenzátor modellje"

# VILLÁMOK A FELSŐLÉGGKÖRBEN

KÉK NYALÁB (BLUE JET)



VÖRÖS NYALÁB (RED JET)



[https://www.youtube.com/watch?v=nN2ohgVHpDI&ab\\_channel=PaulMSmith](https://www.youtube.com/watch?v=nN2ohgVHpDI&ab_channel=PaulMSmith)

# SPRITES, ELVES AND GLOW DISCHARGE TUBES

- 1924 jóslat (ismét) Wilson: a viharok felett rövid fénytűnemények
- 1990 Boeck és Vaughan igazolták
- 1993 szisztematikus kutatás
  - Sentman : sprites
  - Lyons: elves
    - Emission of light and very low frequency perturbations from electromagnetically pulsed sources

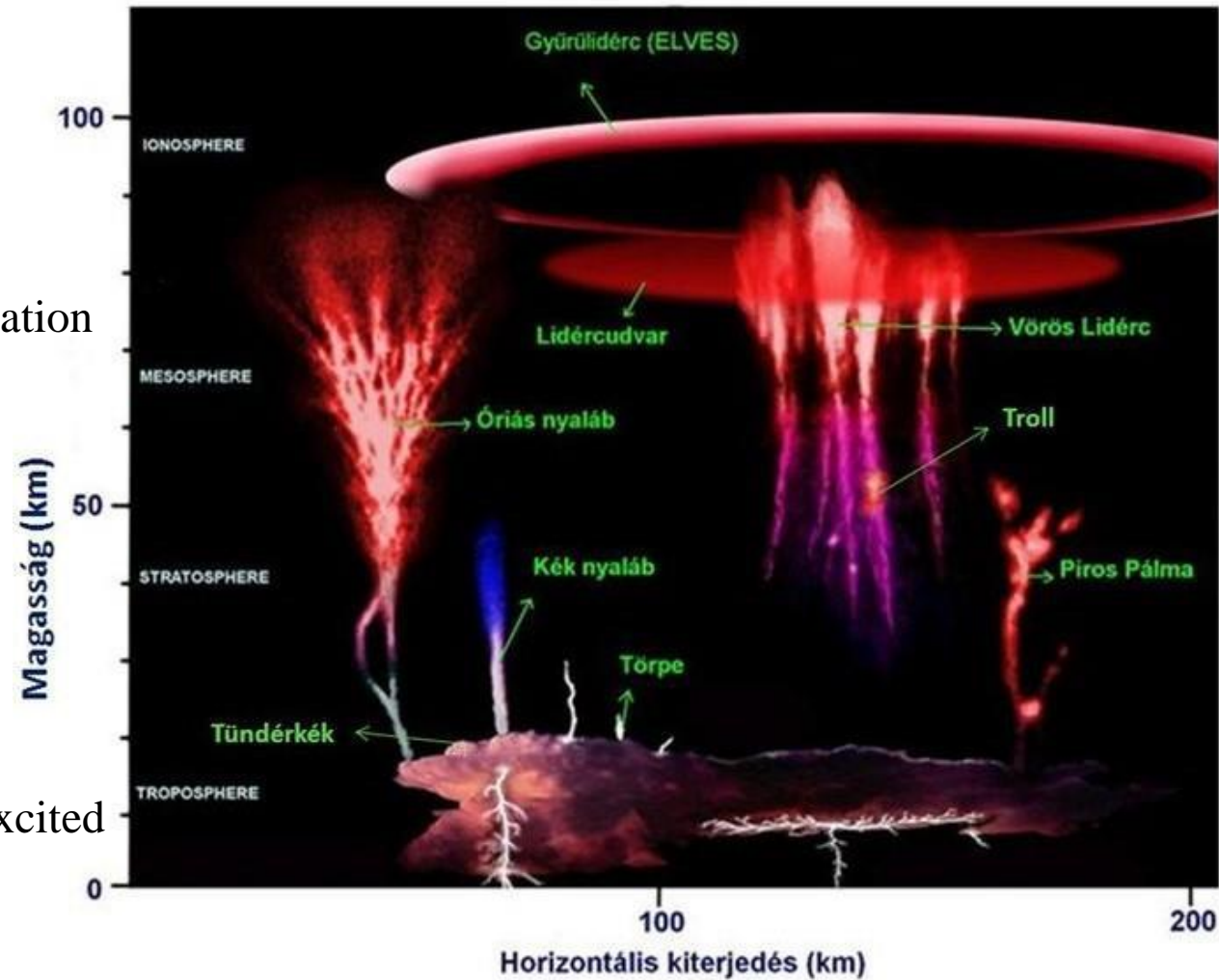
TLE,,tranzient luminuous events”,

# FELSŐLÉGGÖRI JELENSÉGEK

SPRITE  
Stratospheric  
Perturbations  
Resulting from  
Intense  
Thunderstorm Electrification

ELVES  
Emissions of  
Light and  
VLF perturbations from  
EMP

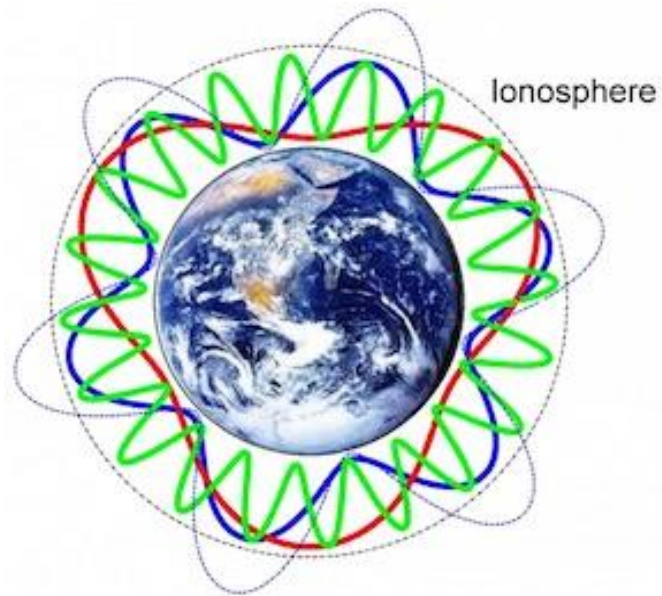
GHOST  
Green emissions from excited  
Oxygen in  
Sprite  
Tops



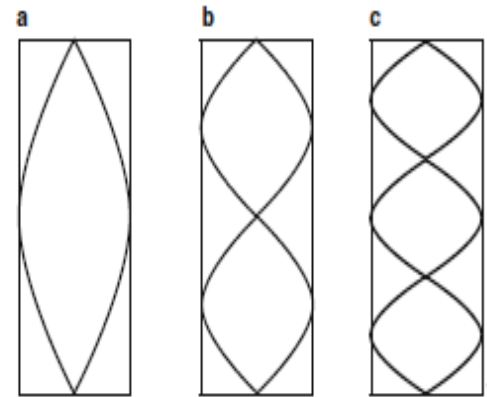
# SCHUMANN REZONANCIÁK A FÖLD SZÍVVERÉSE

A villám spektrum ELF frekvenciáira:  
3Hz-3000Hz „rezonál a föld –  
ionoszféra kondenzátor

$$f = \frac{c}{2\pi R} \sqrt{n(n+1)}$$



Analógiák



5. ábra

**Mindkét végén zárt levegőoszlop  
rezonanciafrekvenciái**

$f = n \frac{c}{2l}$ , ahol  $n$  egész szám,  $c$   
a hang terjedési sebessége  
levegőben,  $l$  a levegőoszlop  
hossza



# KOMPLEX HALOJELENSÉGEK

Fotó: Marko Riikonen 1999. január 11. Déli sark



# TÚZTORNÁDÓ





# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET

---

