



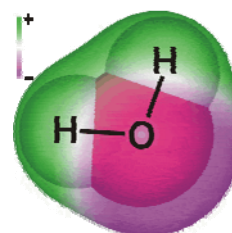
(<http://salma.web.elte.hu/BpArt>)

FELHŐK SZÜLETÉSE: amikor a kémia a fontos

SALMA Imre
ELTE Kémiai Intézet
Budapest Aeroszol Kutató és Oktató Platform

VÍZGŐZ A LÉGKÖRBE

- H_2O : a leggyakoribb molekula a Földön, a felszínen 2,8 km vastag réteget alkotna
- változatos viselkedés, különleges környezeti tulajdonságok (pl. állóvizek rétegződés)
- a víz körforgása: a Nap által vezérelt desztillációs ciklus
 - víz a légkörbe jutása: evapotranspiráció (párolgás, szublimáció, sejti szintű légzés által), tengeri permet
- páratartalom (légnedvesség): 0–4% között változik, a felszínen 2.5 cm vastag réteget hozna létre
- relatív páratartalom: $\text{RH} = 0\text{--}100\%$,
túltelített levegő: $\text{RH} > 100\%$ (túltelítettség: $S = \text{RH} - 1$)

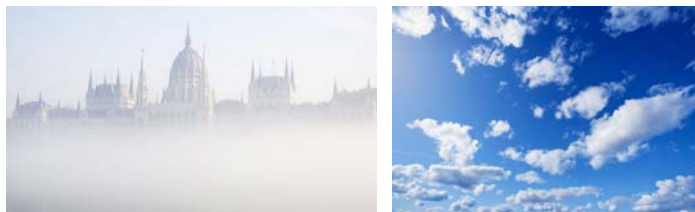


VÍZGŐZ TÁVOZÁSA A GÁZFÁZISBÓL

- kicsapódás felületeken: harmat ($T > 0$ °C),
dér, zúzmara és jégvirág ($T < 0$ °C)

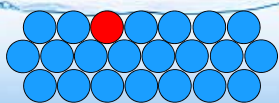
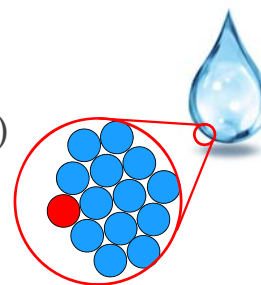


- kicsapódás a levegőben: cseppek (köd, felhő),
esetleg eső, hó, más csapadéktípusok



VÍZCSEPPEK A LÉGKÖRBEN

- mérete: 10–50 μm
- görbült felületek tulajdonságai: Kelvin-hatás
- vízcseppek párolgása vagy
- túltelítettség szükséges
 - kialakulása: sugárzásos hűlés (köd)
vagy az emelkedő légcella
(adiabatikus) kiterjedése (felhő)
- mértéke: több 100–1000x



LOKÁLIS TÚTELÍTETTSÉG:

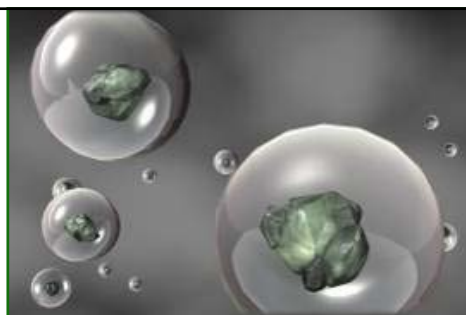


BÁLNÁK KILÉGZÉSE



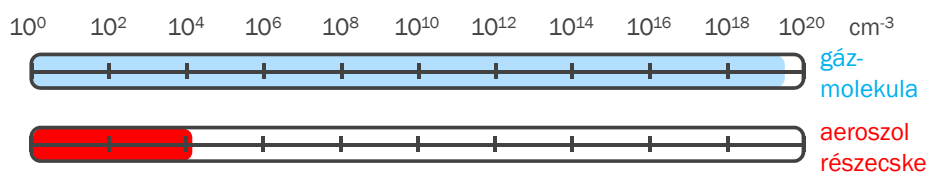
FELHŐCSEPPEK

- környezeti tútelítettség:
felhőkben max $S=2-3\%$
- speciális
aeroszol részecskék:
felhőkondenzációs magvak (CCN)
 - mérete: $d > 50-100$ nm
 - vízoldható kémiai vegyületek: NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,
poláros szerves molekulák, Raoult-hatás
- kondenzáció, oldatcsepp (és nem vízcsepp)





LÉGKÖRI AEROSZOL



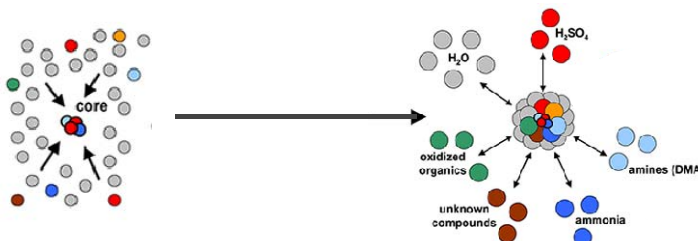
- méret: 2 nm – 100 μm
- részecskeszám: felületi/heterogén fázisú kémiai reakciók, optikai tulajdonságok, éghajlati, környezeti és egészségügyi hatások
- aprózódás, magashőmérsékletű közvetlen emisszió, légköri nukleáció (1. rendű fázisátmenet)

DIÉTÁS KÓLA ÉS MENTOS CUKORKA: HAB-SUGÁRKITÖRÉS MINT NUKLEÁCIÓ

- kóla: koffein, K-benzoát, aszpartám, oldott CO_2 gáz, +
- mentos: zselatin, gumiarábikum, +
- felületkémi hatás: sok apró lyuk a cukorkában, gyors és nagyszámú CO_2 buborék képződése (nukleáció) \Rightarrow habsugár



LÉGKÖRI NUKLEÁCIÓ MECHANIZMUSA



Klaszterképződés:

- túltelítettség, fotokémia
- együttes gócképződés: H_2SO_4 , NH_3 , $\text{R}_1\text{R}_2\text{NH}$, H_2O , HOM
- kritikus méret: 1.7 nm

Spontán növekedés:

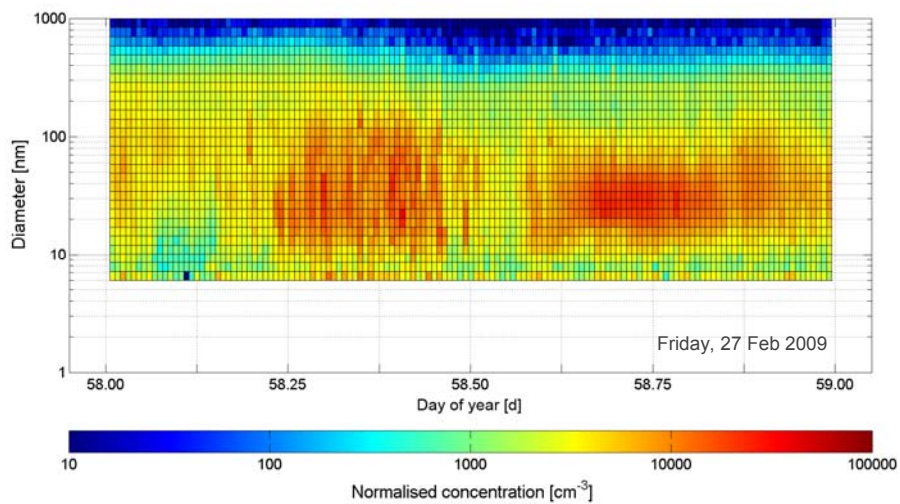
- autooxidáció, VOC
- részecskék keletkezése
- CCN, felhőcseppek



... ÉS KÖRNYEZETE

(animáció)

GÉPJÁRMŰ-FORGALOM EMISSZIÓJA



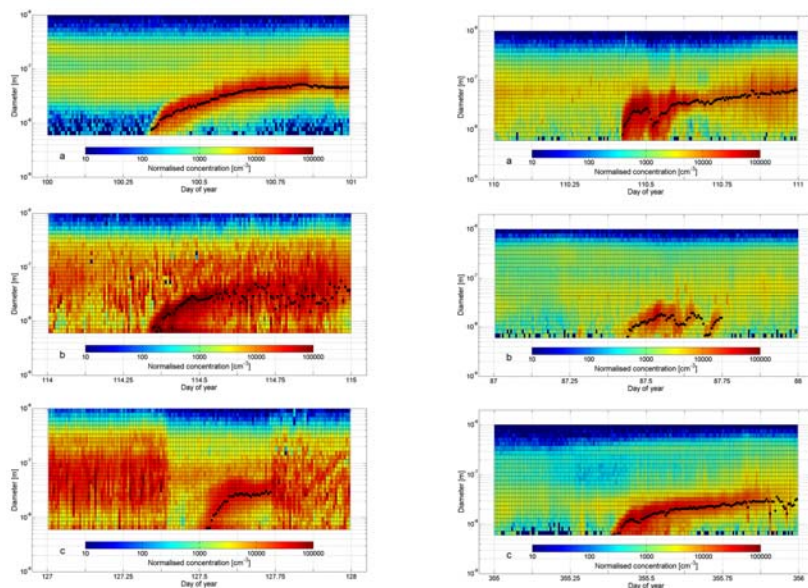
LÉGKÖRI NUKLEÁCIÓ

2012. ÁPRILIS 9.

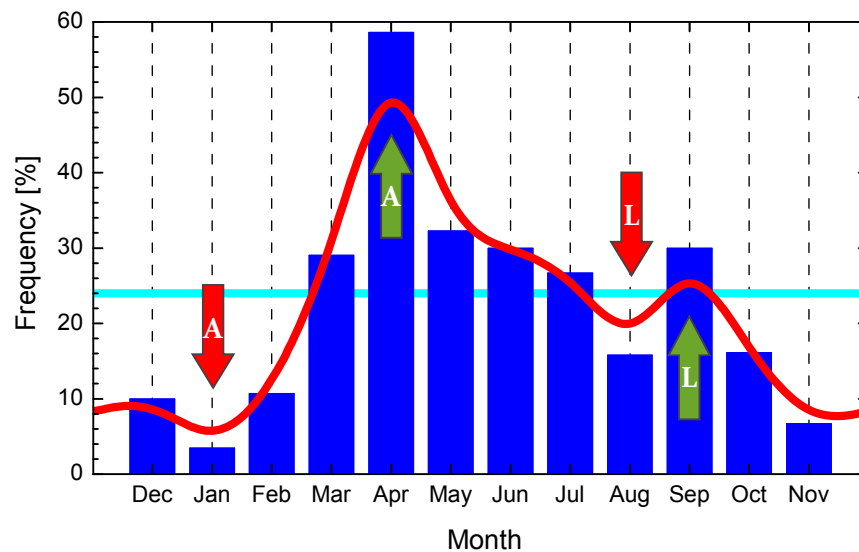
BUDAPEST, VÁROSI HÁTTÉR

(animáció)

BUDAPESTI BANÁNGÖRBÉK



NUKLEÁCIÓ RELATÍV GYAKORISÁGA

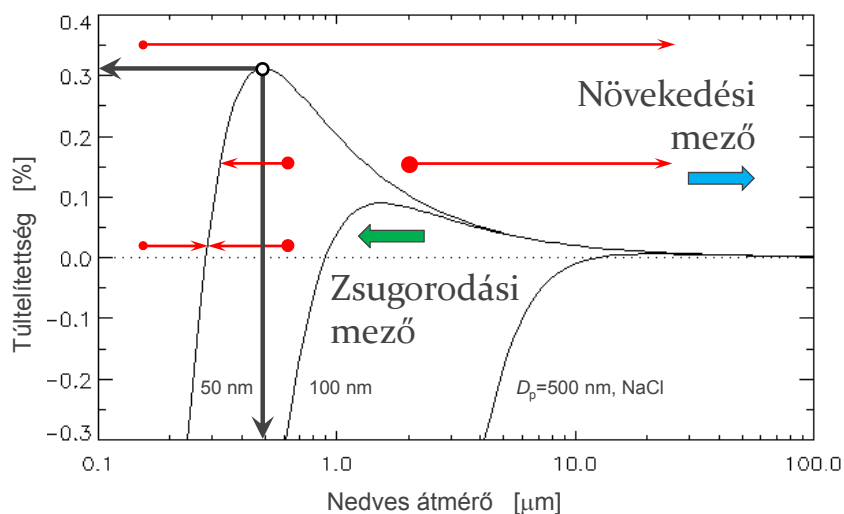


LÉGKÖRI NUKLEÁCIÓ ÉS JELENTŐSÉGE



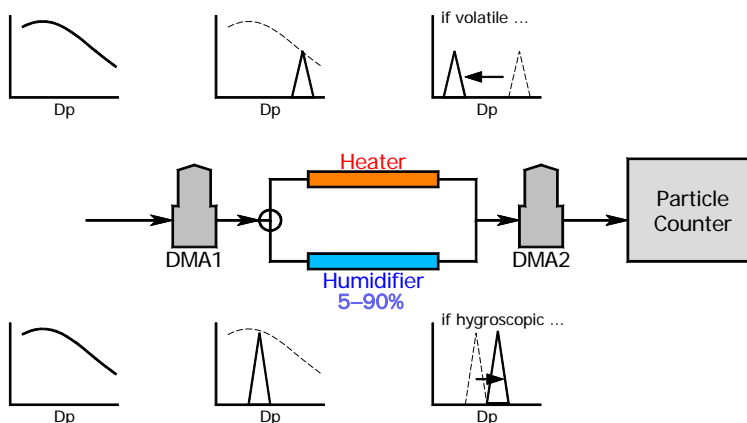
- Budapest: $f=24\%$,
 $J_6=5 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$, $GR=8 \text{ nm h}^{-1}$
- Kárpát-medence: konzisztens és térben koherens, kiterjedt, légköri jelenség
- járulék: városokban min 13–37%, illetve vidéken a részecskék döntő része

FELHŐCSEPPEK SORSA: Köhler-görbe

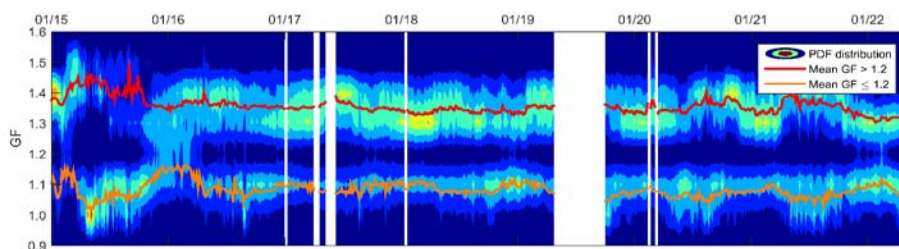


ha fennmarad a túltelítettség \Rightarrow cseppnövekedés,
 $d \approx 100 \mu\text{m} - 1 \text{ mm} \Rightarrow$ csapadék

HIGROSZKOPOS ÉS ILLÉKONYSÁGI TULAJDONSÁGOK

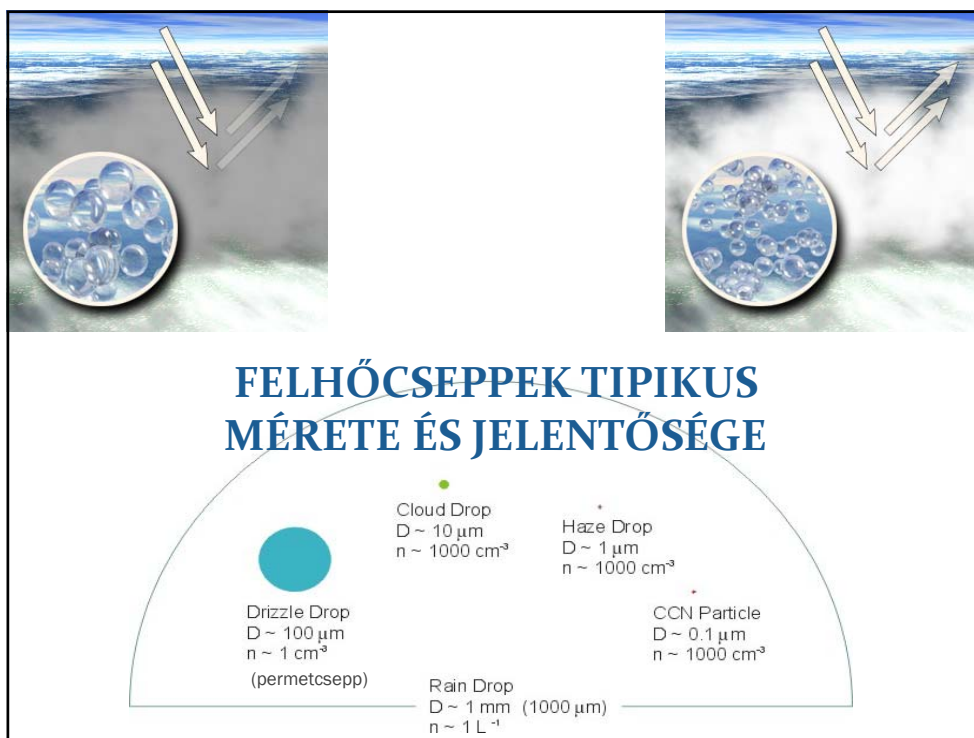
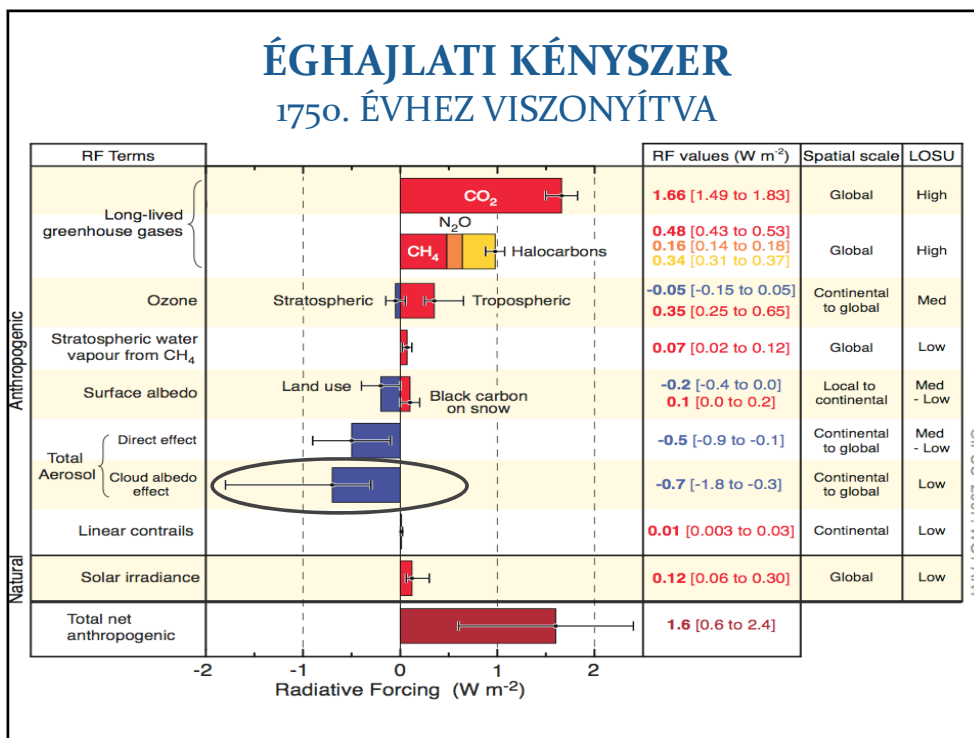


VÍZGŐZ-AEROSZOL KÖLCSÖNHATÁS



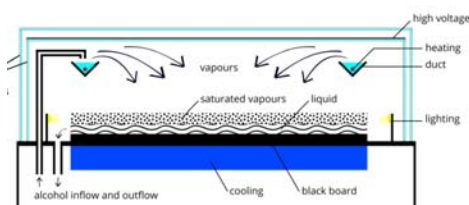
- RH=90%: hidrofób ($GF_H=1.06$, $f=69-41\%$),
hidrofil ($GF_H=1.42$)
- $T=270\text{ °C}$: kevésbé illékony ($GF_V=0.96$, $f=34-21\%$),
illékony ($GF_V=0.50$)
- 1) korom vagy szerves polimer mag CH burokkal,
2) oxidálódott szerves vegyületek és szervesetlen sók
belső keveréke

ÉGHAJLATI KÉNYSZER 1750. ÉVHEZ VISZONYÍTVA



ION INDUKÁLT NUKLEÁCIÓ

- Wilson-féle ködkamra:
túltelített izopropil alkohol nukleációja ionokon
- kozmikus sugárzás és a felhők, planetáris albedó,
éghajlatváltozás
- CERN:
CLOUD kísérlet
(<https://home.cern/about/experiments/cloud>)



ÖSSZEFOGLALÁS

- tiszta (részecskementes) levegőben
nem keletkeznek felhők és csapadék
- felhőkondenzációs magvak (CCN)
- CCN 50%-a légköri nukleációból származik,
kémiai tulajdonságok és kölcsönhatások
- nukleáció Budapesten:
 - $f=24\%$, $J_6=5 \text{ cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$
 - koncentráció növekmény $2.3\times$ a város peremén,
 $1.6\times$ a belvárosban
 - az összes részecske 37% és 13%-a
- a kémiai összetétel, a méret és a keveredési állapot
kapcsolata a CCN aktivitással, éghajlati jelentőség

**Nemes Nagy Ágnes/Balázs Árpád:
TAVASZI FELHŐK**

**Bodzavirágból, bodzavirágból
hullik a, hullik a sárga virágpó.
Főnt meg a felhők szállnak az égen,
bodzafehéren, bodzafehéren.**



**Szállj, szállj felhő,
pamacsos,
hullj le, te zápor,
aranyos,
hullj le, te zápor,
égi virágpó,
égen nyíló bodzavirágból.**



Készült az Eötvös Loránd Tudományegyetem,
EFOP-3.4.4-16-2017-00006 számú, „Belépő a tudás közösségébe,
MTMI szakok és pályák népszerűsítése a középiskolások körében”
című projektje keretében.

