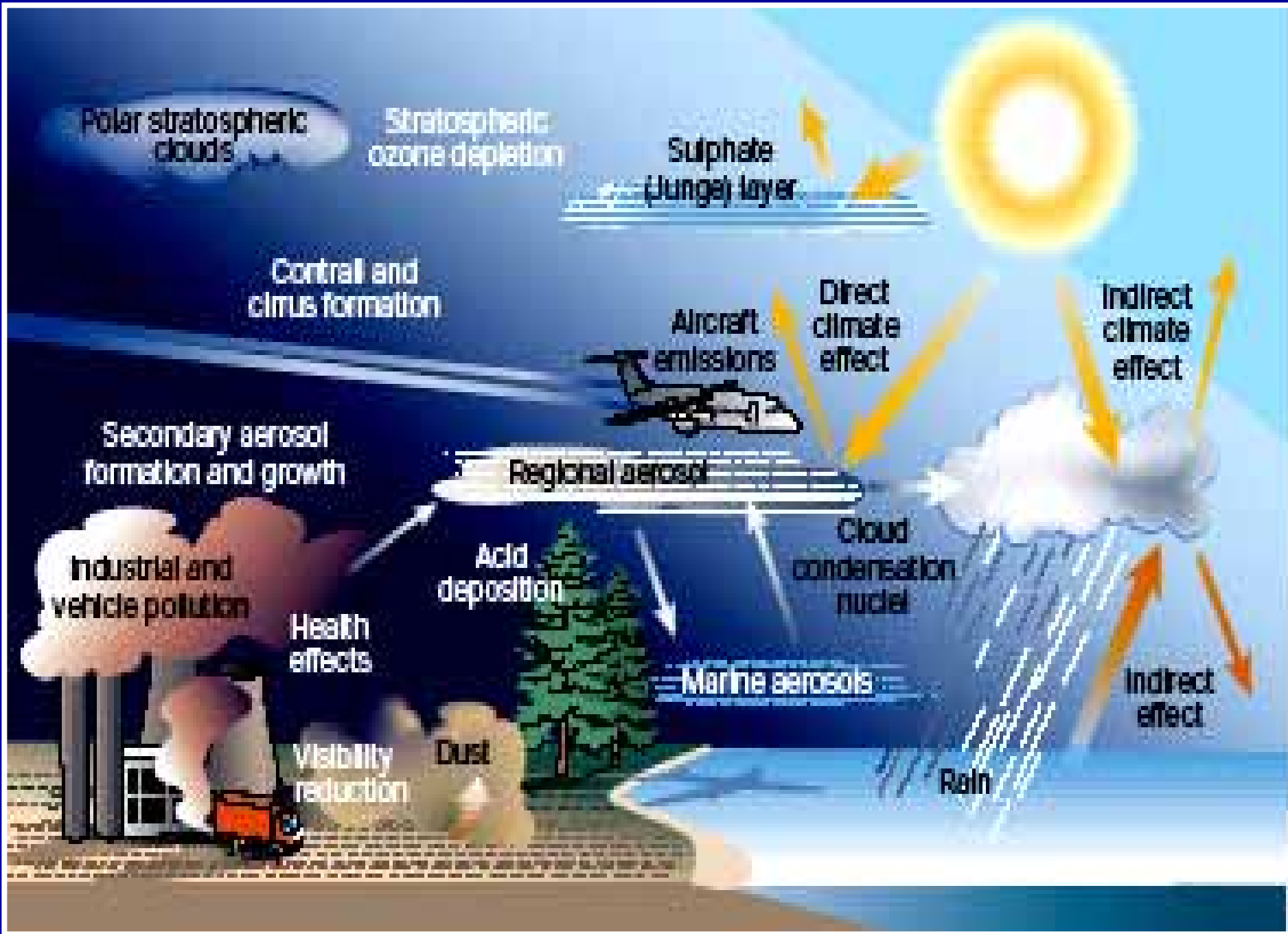


Obecně - vznik aerosolů (kondenzace, nukleace)

Vladimír Ždímal

*Laboratoř chemie a fyziky aerosolů
Ústav chemických procesů AV ČR*





Jak aerosoly vznikají?

- Přírodní procesy - $2/3$ hmoty (dnešní odhad)
(Kiehl a Rodhe, 1995 - 3040 Tg/rok)
 - vulkanická činnost
 - vítr (písečné a prachové bouře, mořský příboj, transport bioaerosolů)
 - požáry
 - kosmický prach
- Lidská činnost - $1/3$ hmoty
(1995 - 450 Tg/rok) - v obydlených oblastech převažuje
 - spalovací procesy – tepelné elektrárny, spalovny odpadu, doprava
 - více toxické
- Primární a sekundární aerosoly

Kondenzace

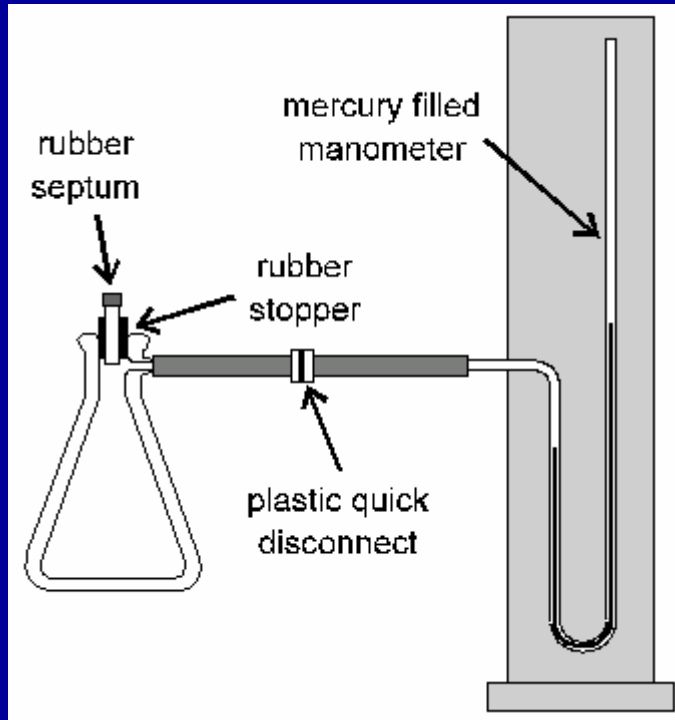
- Nejdůležitější proces produkce aerosolových částic v přírodě
- Smog - reakce v plynné fázi - gas-to-particle conversion
- Probíhá v přesycené páře
- Kondenzační jádra
- Mraky - při expanzi, nebo vertikálním promícháním

Kondenzace

- Kroky kondenzačního procesu:
 - Vytvoření přesyceného stavu
 - **Nukleace - vznik stabilních zárodků nové fáze:**
 - homogenní
 - heterogenní
 - Kondenzační růst
 - Procesy stárnutí

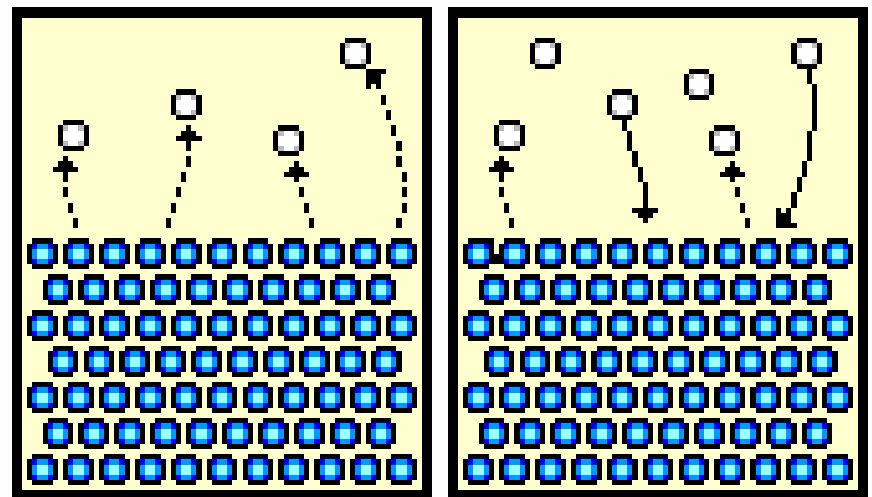
Tlak nasycených par (látky při dané teplotě)

Jak se měří?



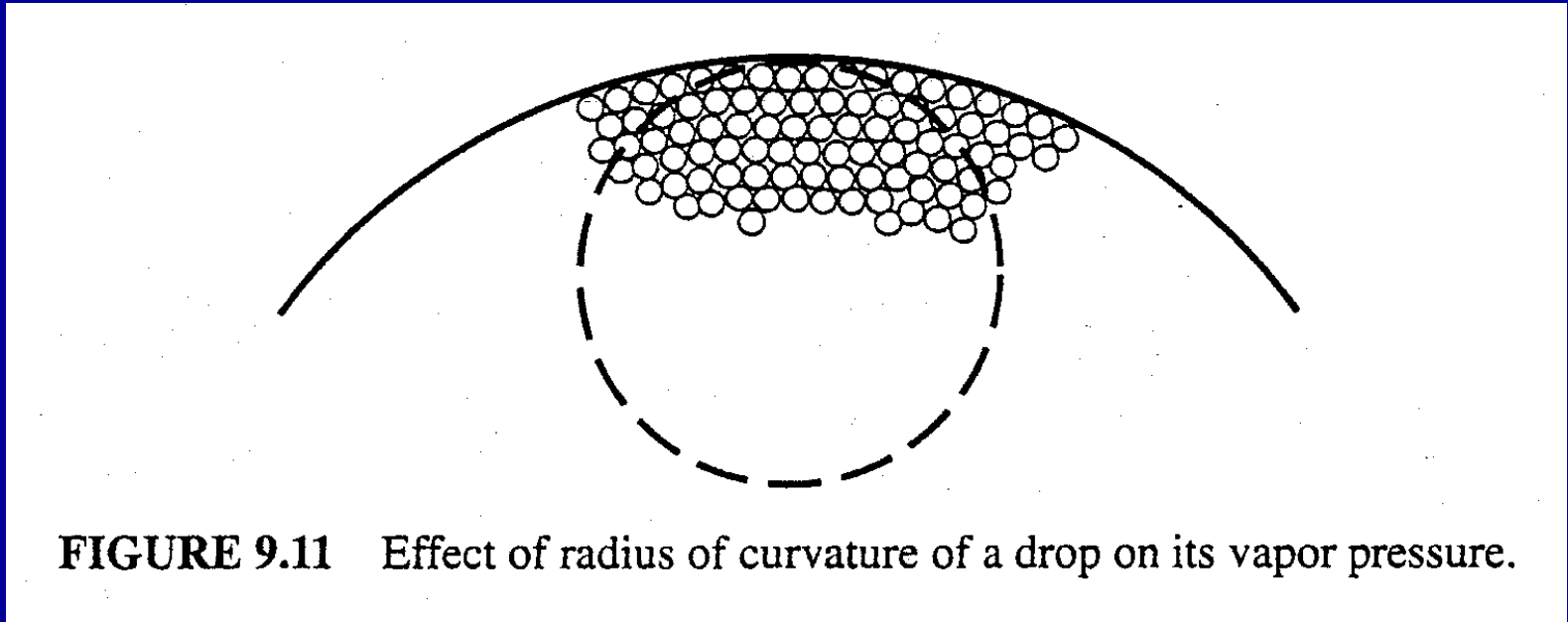
vypařování

rovnovážný stav



- Gas molecules
- Liquid molecules

Vliv poloměru křivosti na p^{eq}



Tlak páry nad zakřiveným povrchem je větší než nad rovným. Molekuly v povrchové vrstvě drženy slaběji, snáze uniknou z povrchu.

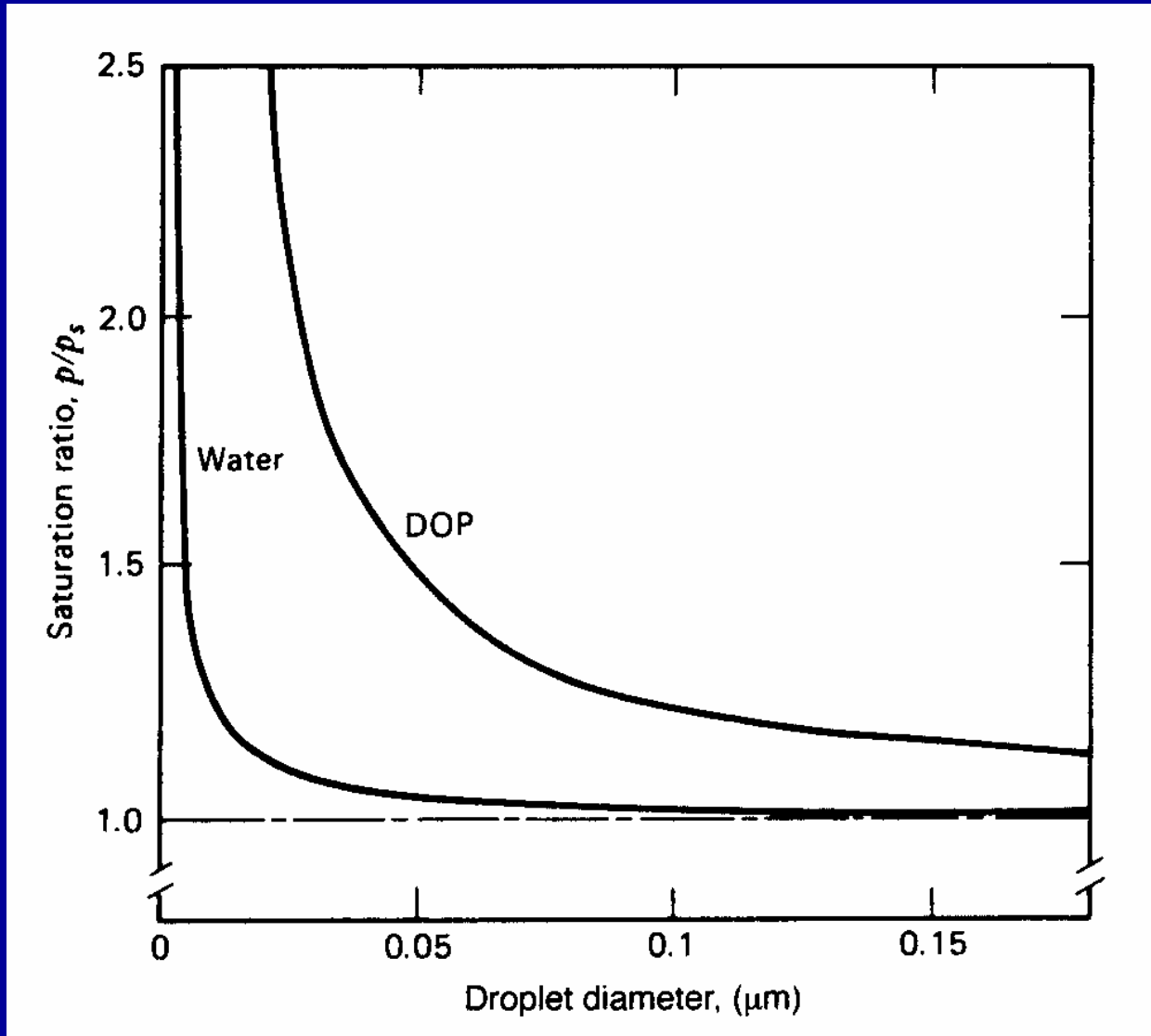
Kelvinův jev

- Zvýšení tlaku sytých par nad zakřiveným povrchem
- Kelvinova (Gibbs-Thomsonova rovnice)

$$S = \frac{P_{d^*}^{eq}}{P_{\infty}^{eq}} = \exp\left(\frac{4\gamma M}{\rho R T d^*}\right)$$

- Kelvinův rozměr d^* - rovnovážný rozměr kapky
- Pro kapku vody menší než 100 nm

Kelvinův jev



Vytvoření přesyceného stavu

- Parciální tlak páry P
- Tlak nasycených par (rovnovážná tenze) - Clapeyronova rovnice P^{eq}
- Přesycení (poměr nasycení) S
 - adiabatickou expanzí
 - neizotermní difúzí
 - směšováním
 - vznikem nové málo těkavé složky

$$S = \frac{P}{P^{eq}}$$

Mlžná komora (Wilson, 1912)



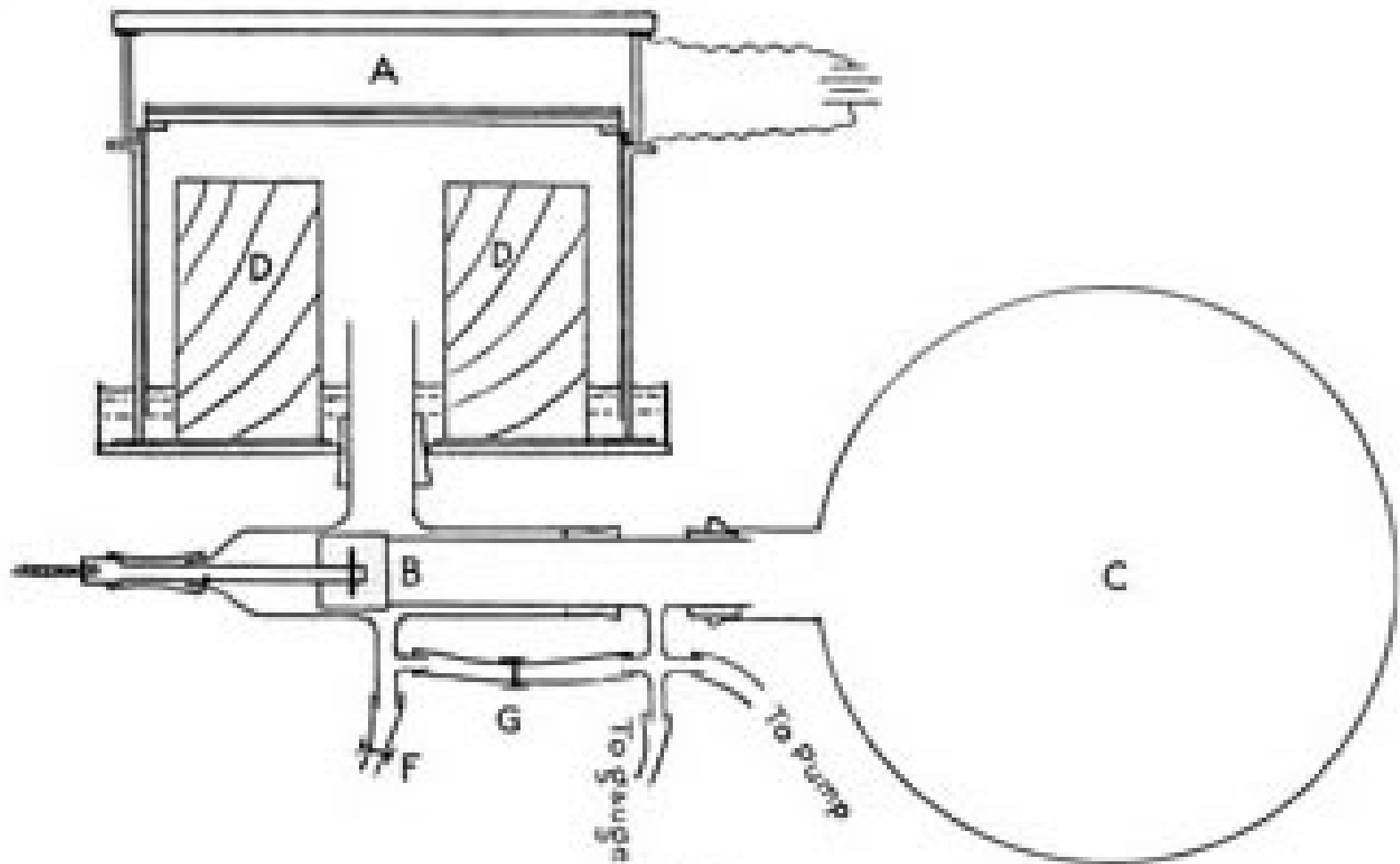


FIG. 1.

A diagram of Wilson's apparatus. The cylindrical cloud chamber ('A') is 16.5cm across by 3.4cm deep.

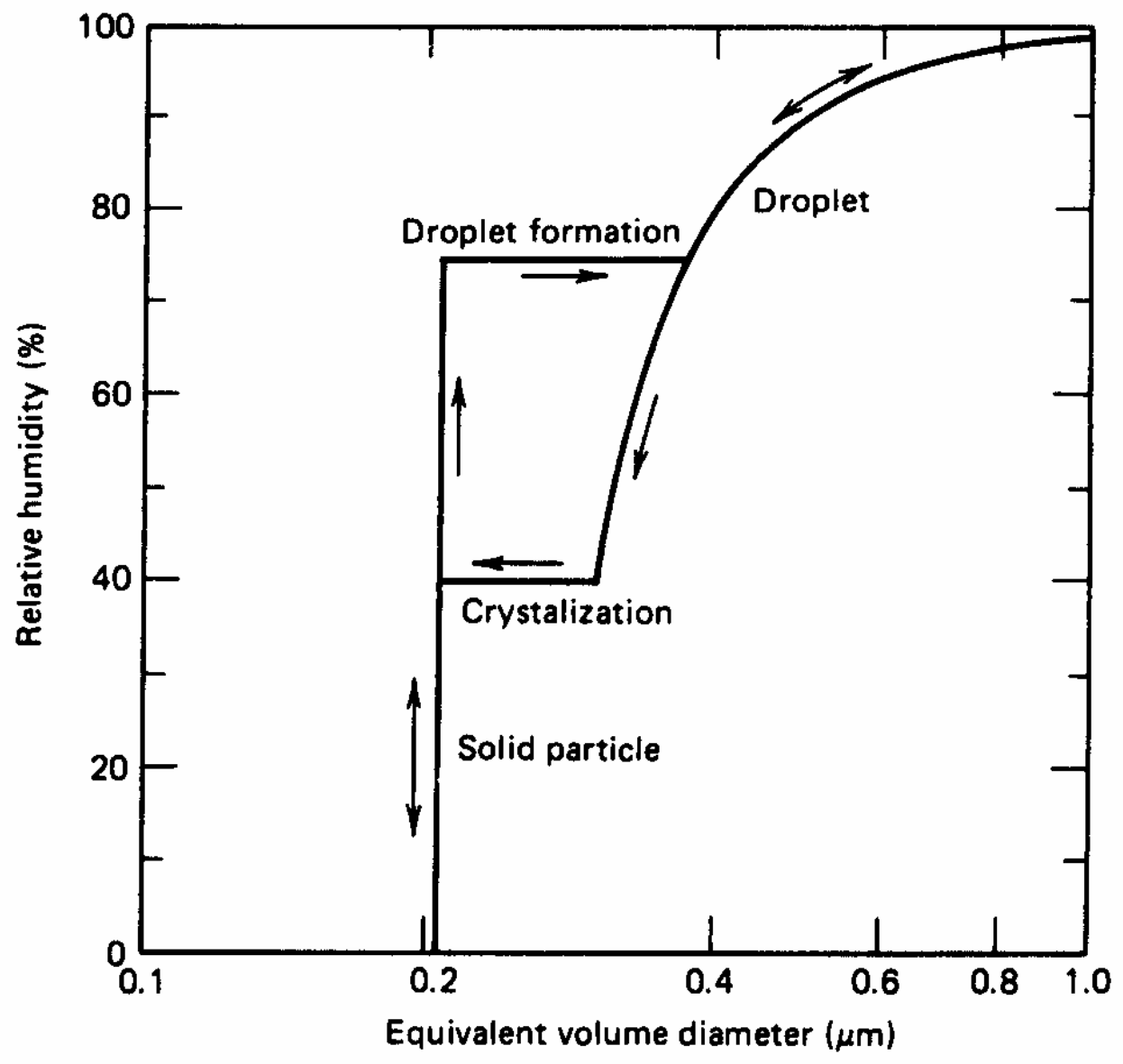
Heterogenní kondenzace

- Při nízkých hodnotách S
- V přírodě - primární mechanismus – koncentrace CCN řádově 100-1000 $\#/cm^3$
- Na iontech - ne tak často - využila se při studiu produktů jaderného štěpení
- Na nerozpustných zárodcích - závisí na mnoha parametrech

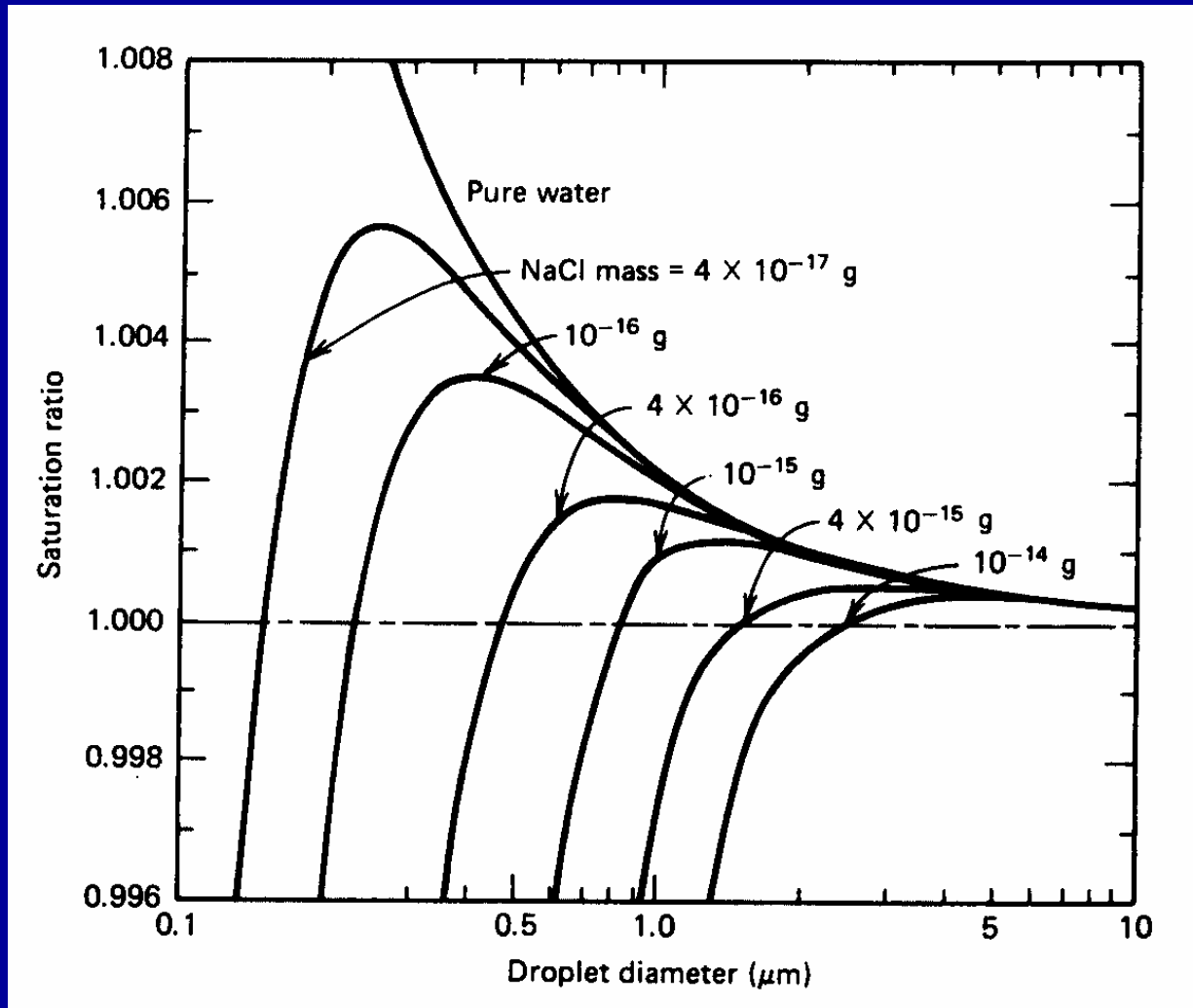
Heterogenní kondenzace

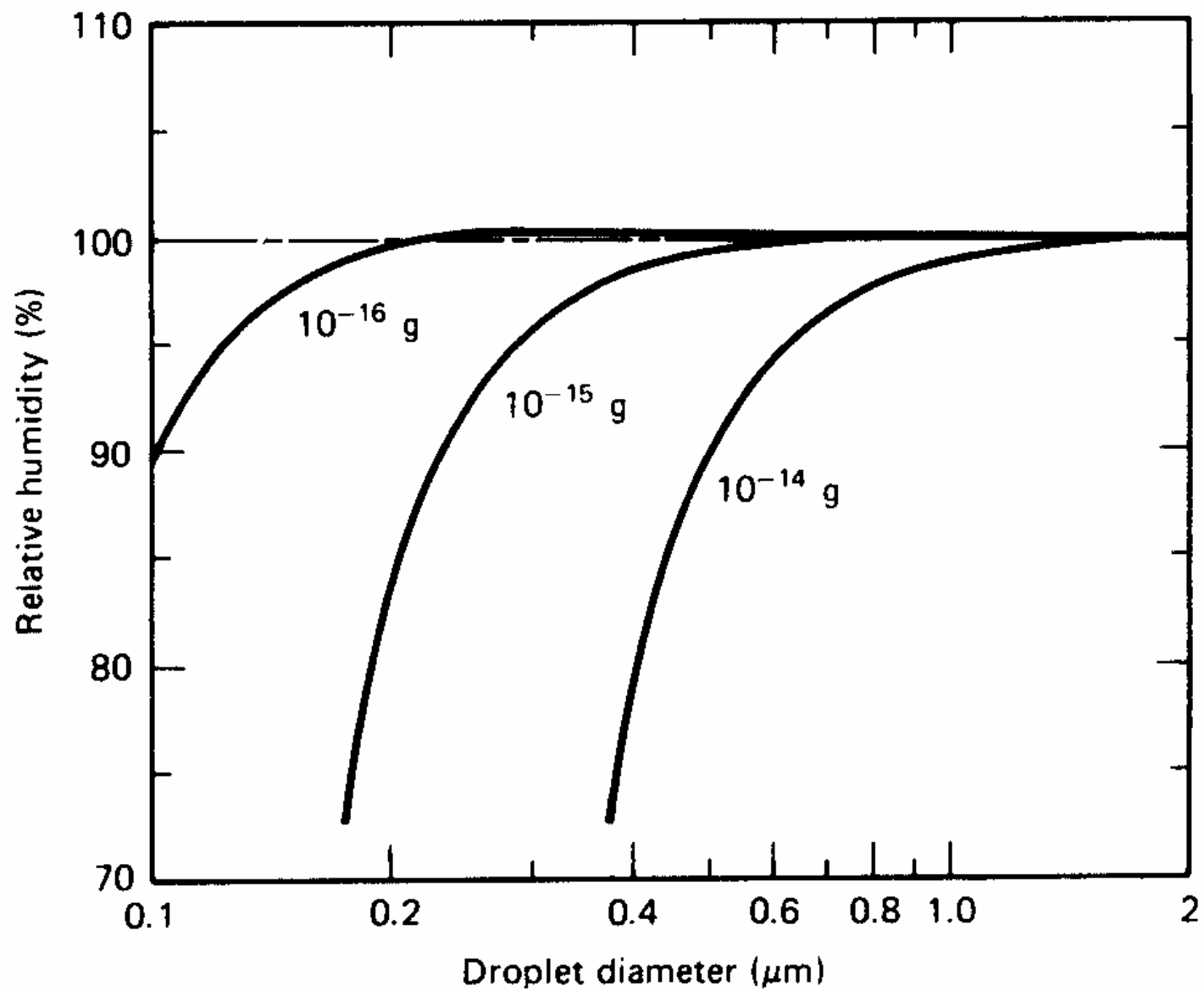
- Nejčastěji - rozpustné zárodky - NaCl
- snižuje rovnovážnou tenzi
- dva protichůdné mechanismy:
 - Kelvinův efekt
 - zvýšení koncentrace soli při vypařování vody

$$S = \frac{P_{d_p}^{eq}}{P_{\infty}^{eq}} = \left(1 + \frac{6imM_w}{M_s \rho \pi d_p^3} \right)^{-1} \exp\left(\frac{4\gamma M}{\rho R T d_p} \right)$$



Kapka s rozpuštěnou solí





Přesycení potřebná pro nukleaci v různých případech

- *Heterogenní nukleace* na krystalcích rozpustných solí – pára na počátku nemusí být ani nasycená, k růstu pak *stačí minimální přesycení*
- Nukleace na částicích prachu – stačí relativně nízká přesycení
- *Nukleace na iontech* – potřebuje vyšší hodnoty *přesycení* - (voda v expanzní komoře $S=4$)
- *Homogenní nukleace* – nutno *vysoké přesycení* (voda v expanzní komoře $S=8$)

Závěry

- K nukleaci v přírodě nejčastěji dochází na již existujících aerosolových částicích
- Pravděpodobnost nukleace na iontech je podstatně nižší, ještě méně pravděpodobná je nukleace homogenní
- Ve znečištěné atmosféře mohou vlivem UV záření vznikat fotochemickými reakcemi nízkotěkavé složky tehdy mohou přesycení dosahovat i hodnot potřebných pro homogenní nukleaci