

Metody dálkové detekce

RNDr. Milan Šálek

Český hydrometeorologický ústav

salek@chmi.cz

Osnova předmětu

- # Úvod
- # Základy fyziky oblaků a srážek
- # Základy fyziky elektromagnetického záření, šíření elmg. vln v atmosféře.
- # Meteorologické družice
- # Radary a jejich použití v meteorologii (detekce a odhad srážek, měření větru)
- # Detekce a identifikace významných povětrnostních jevů
- # Integrace měřících metod

Předběžný program a místa konání přednášek

- # 25. 2.: nebude
- # 4.3. Základy nauky o záření v atmosféře (ve vztahu k metodám dálkové detekce)
- # Výuka bude stále ve stejné učebně Z6, případnou změnu včas oznámím

Předběžný program a místa konání přednášek

- # 23. 3.: Základy radarové meteorologie (Brandlova)
- # 30. 3.: Základy radarové meteorologie, odhady srážek (ČHMÚ)

- # Adresa ČHMÚ, pobočky Brno: Kroftova 43
- # Spojení: Trolejbus 36, případně tram 3, 11, zastávka Sochorova, potom ulicemi Maničky a Navrátilova

Výukové materiály a používané programy pro cvičení

Literatura:

- *Řezáčová a kol, 2007: Fyzika oblaků a srážek, Academia, Praha*
- *Bednář, J., 1989. Pozoruhodné jevy v atmosféře. Optika, akustika a elektřina atmosféry. Akademia, Praha, 236 s.*

Výukové materiály a používané programy pro cvičení (pokr.)

- *Meischner, P. (Ed.) et al., 2003. Weather Radar: Principles and Advanced Applications. Springer monograph series "Physics of Earth and Space Environment", 337 p.*
- *Salek, M., et al., 2004. Radar techniques for identifying precipitation type and estimating quantity of precipitation. Document of COST-717, http://www.smhi.se/cost717/doc/WDF_01_200407_1.pdf*

- *Další materiály (prezentace)*

Cvičení:

- gnuplot, popř. EXCEL nebo jiný tabulkový kalkulátor

Metody dálkové detekce

- # podle *Meteorologického slovníku* jsou podmnožinou sondáže ovzduší (do které patří i aerologická měření)
- # <Definice> Pozorování a měření objektů na zem. povrchu a v atmosféře bez přímého fyzického kontaktu měřících zařízení s nimi.</Definice>
Angl. termín: *remote sensing*
- # Rozdělení:
 - pasívní (zařízení pouze zpracovává přijatý signál)
 - aktivní (zařízení signál též vysílá)

Metody dálkové detekce

Hlavní využití v meteorologii:

- součást „klasického“ monitoringu ovzduší, významná především v oblastech s nedostatkem „staničních“ měřících systémů
- základní výzkum (fyzika oblaků a srážek)

Nejdůležitější výhody metod dálkové detekce:

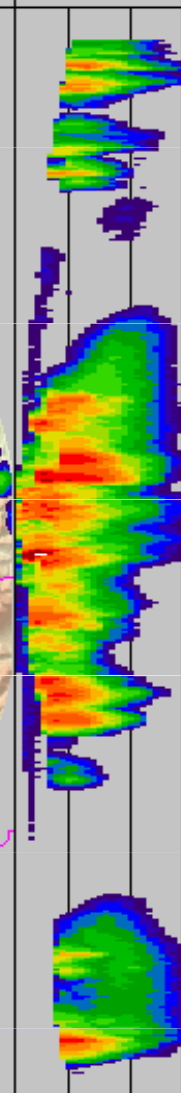
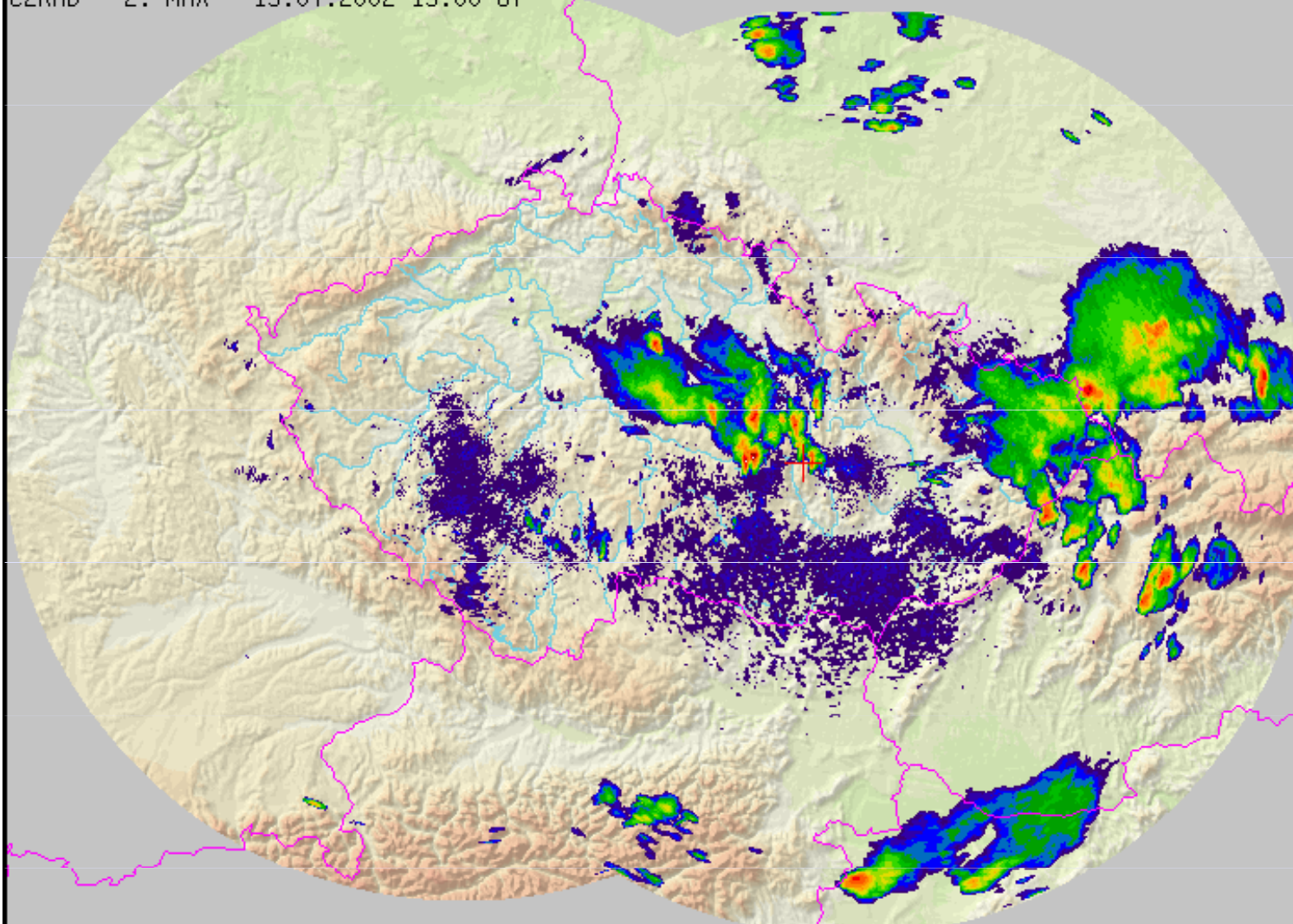
- aktuálnost měření (dostupnost dat většinou v řádu minut)
- prostorová i časová rozlišovací schopnost měření

Vývoj konvektivních bouří z meteorologické družice

CHMI Radar
Department



CZRAD - Z: MAX - 15.07.2002 15:00 UT



Every

- 15.07.2002 13:50 ▲
- 15.07.2002 13:40
- 15.07.2002 13:30
- 15.07.2002 13:20
- 15.07.2002 13:10
- 15.07.2002 13:00
- 15.07.2002 12:50
- 15.07.2002 12:40
- 15.07.2002 12:30
- 15.07.2002 12:20
- 15.07.2002 12:10
- 15.07.2002 12:00 ▼

LOAD (156 / 156)

dBZ	°C
60.0	-90.0
56.0	-80.0
52.0	-70.0
48.0	-60.0
44.0	-50.0
40.0	-40.0
36.0	-30.0
32.0	-20.0
28.0	-10.0
24.0	0.0

Navigation controls: < << || >> > ANIM: 1 s/img LAST: +2 s AUTO UPDATE Do not update

ORO col UND riv PDUS RAD LIGHTNING NWP none OVR none

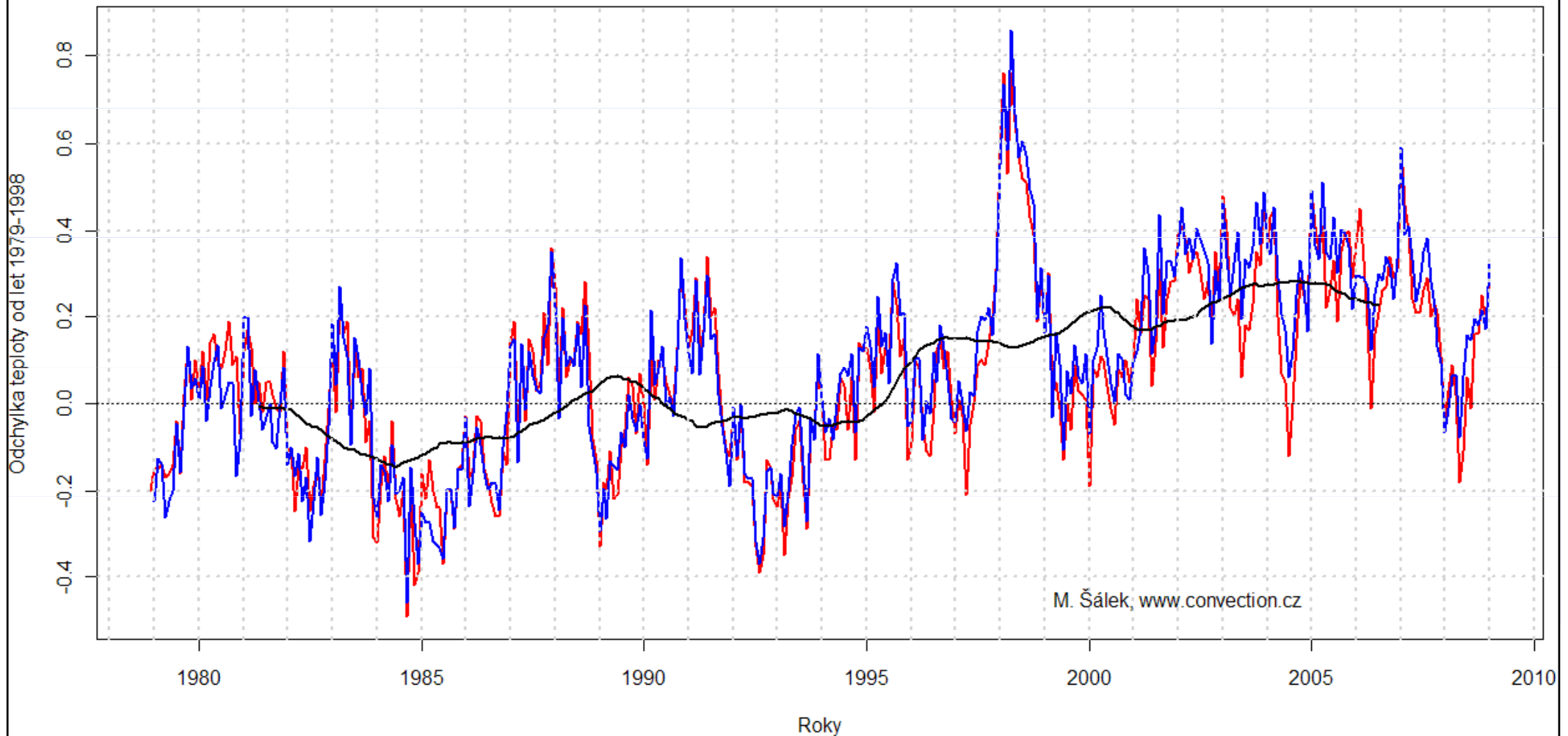
NAVIG. red LON. 16.432 LAT. 49.549 Choose predefined position

CG neg
+ CG pos
CC

Studium změn klimatu

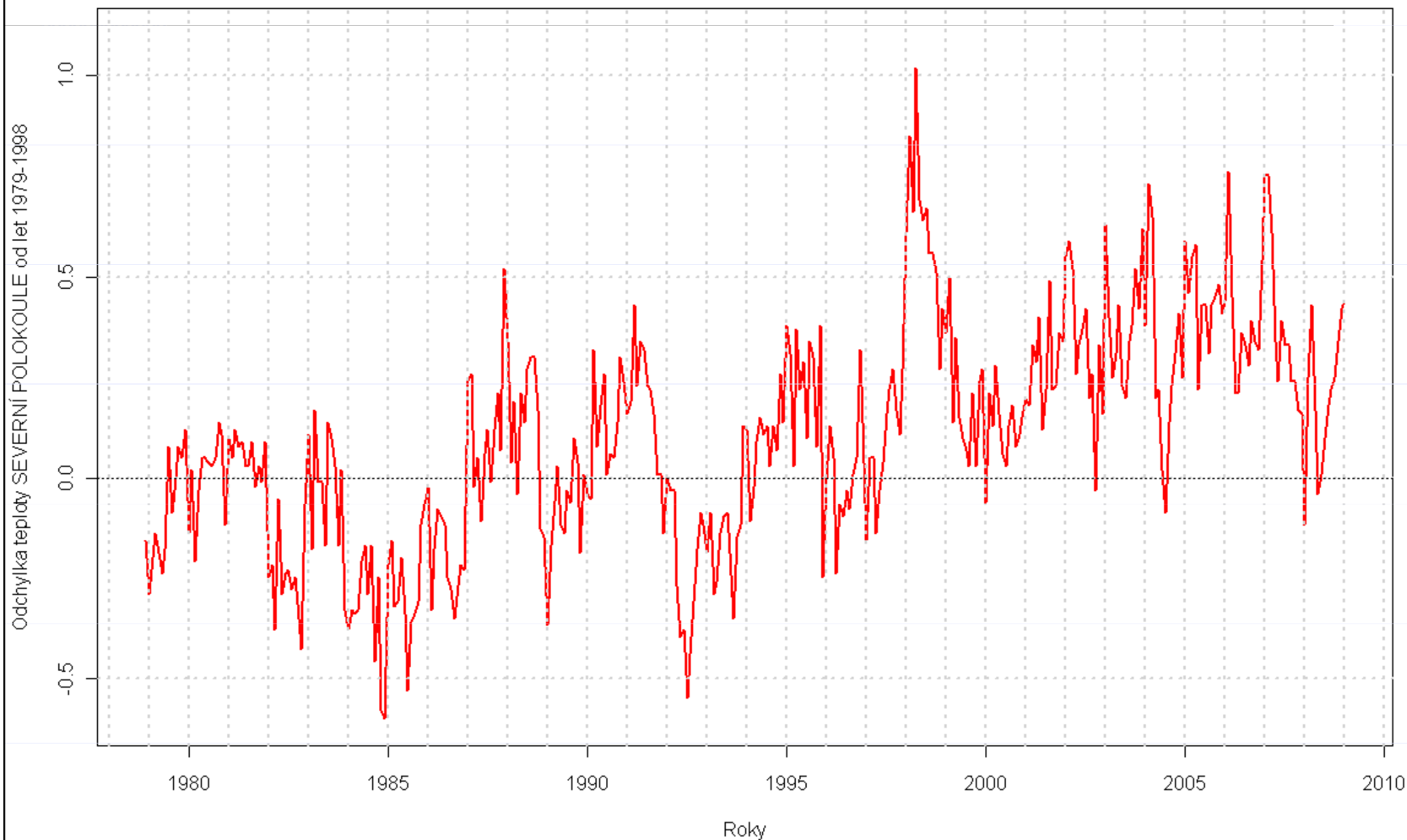
(Advanced) Microwave Sounding Unit, družice NOAA

Odchyly teploty spodní troposféry od průměru let 1979-1998 z družic NOAA/MSU, algoritmus UAH (červeně) a RSS (modře), 1979-2009/1 s 5letým klouzavým průměrem údajů UAH



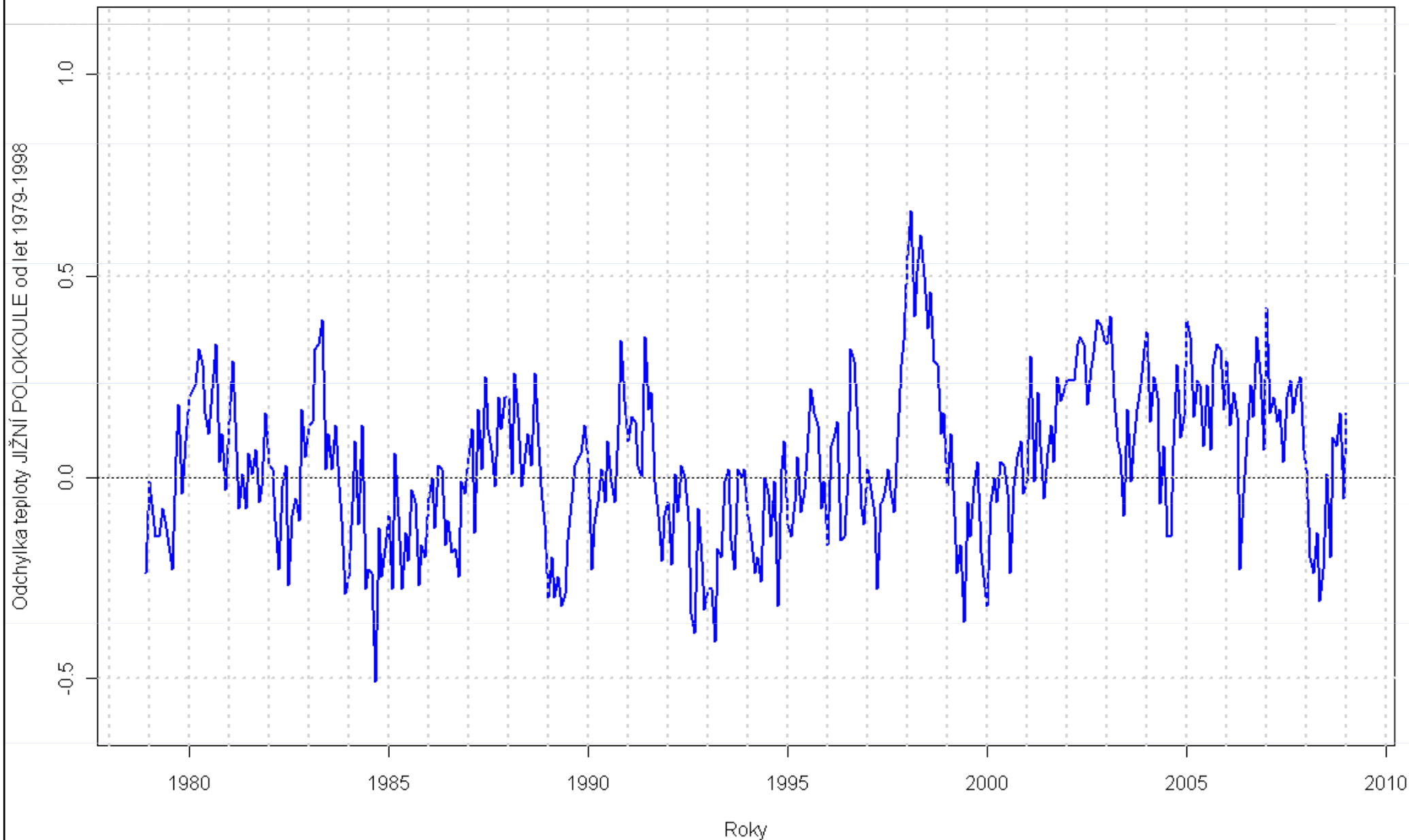
Průměrná teplota spodní troposféry severní polokoule

Odchyly teploty spodní troposféry **SEVERNÍ POLOKOULE** od průměru let 1979-1998 z družic NOAA/MSU, algoritmus UAH



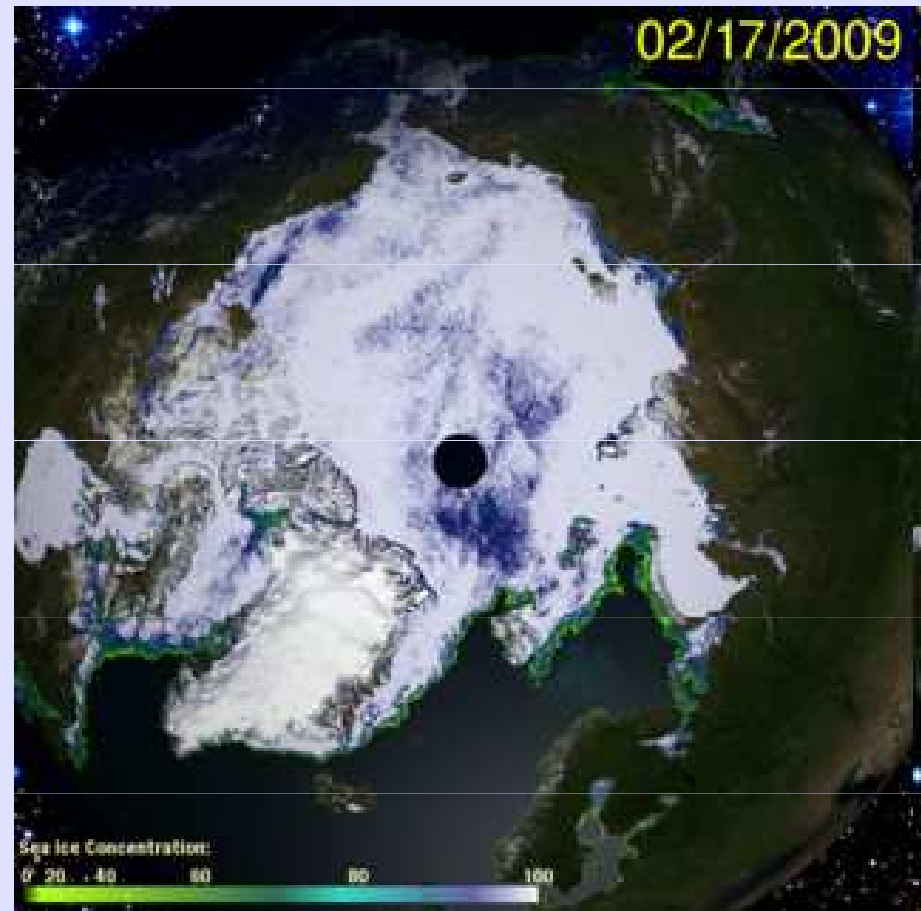
Průměrná teplota spodní troposféry jižní polokoule

Odchyly teploty spodní troposféry JIŽNÍ POLOKOULE od průměru let 1979-1998 z družic NOAA/MSU, algoritmus UAH



Monitoring mořského ledu

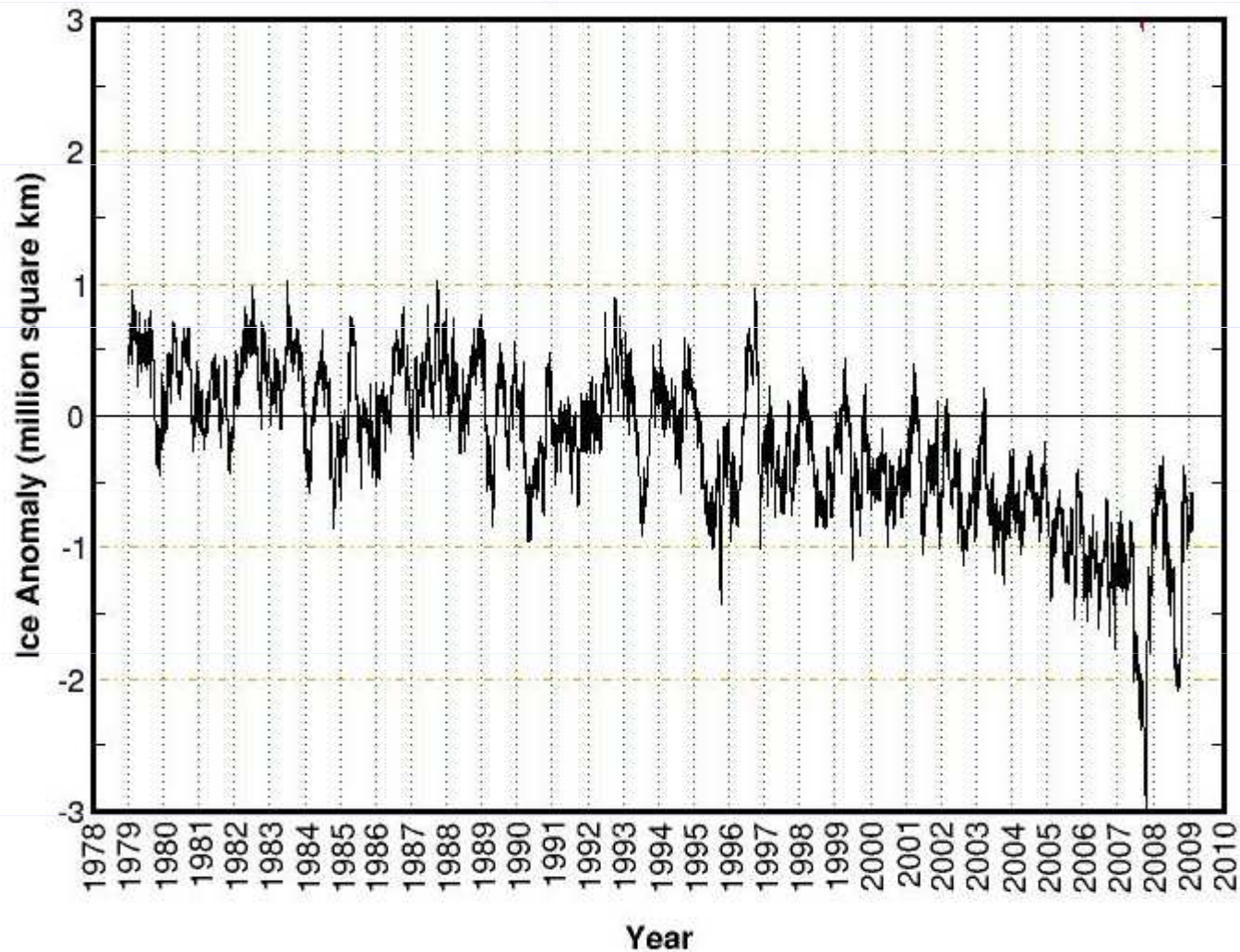
Pomocí senzoru SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), umístěného na vojenských družicích F1-F15, lze získat informace o koncentraci mořského ledu



Vývoj rozsahu mořského ledu v Arktidě (University of Illinois)

Northern Hemisphere Sea Ice Anomaly

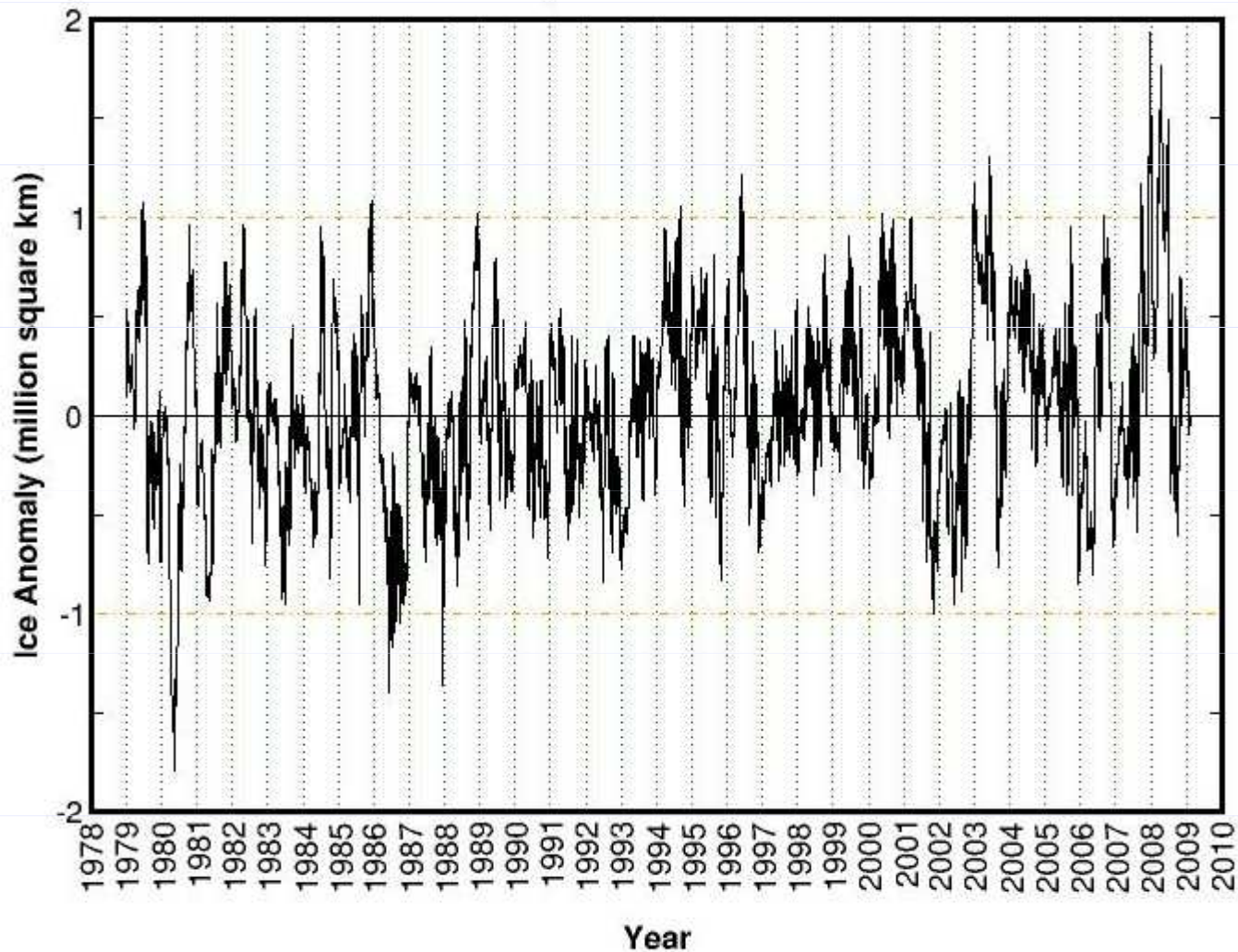
Anomaly from 1978-2000 mean



Vývoj rozsahu mořského ledu u Antarktidy

Southern Hemisphere Sea Ice Anomaly

Anomaly from 1979-2000 mean



Historická zmínka

- # poměrně mladý obor – počátek v polovině 20. století
- # první meteorologické družice – 60. léta, první met. radary – 50. léta, u nás 60.-70. léta
- # vývoj těchto metod svázán s celkovým rozvojem techniky (často vojenské ...)
- # v posledních 20. letech je významný vliv informačních technologií

Kapitoly z fyziky atmosféry

Vlhkost vzduchu

- # Parametry:
- # (parciální) tlak (napětí) vodní páry e
- # napětí nasycení tlaku vodní páry E
- # relativní vlhkost: $r=e/E$
- # spec. vlhkost: $q=0.622e/(p-e)$
- # poměr směsi: $w=0.622e/(p-0.378.e)$
- # Tlak nasycené vodní páry nad vodou E_{wv} :
 - tlak vodní páry, která je ve stavu termodynamické rovnováhy s rovným povrchem čisté vody za dané teploty a tlaku vzduchu.

Vlhkost vzduchu (pokr.)

Tlak nasycené vodní páry nad ledem E_{iv} :

- tlak vodní páry, která je ve stavu termodynamické rovnováhy s rovným povrchem čistého ledu za dané teploty a tlaku vzduchu
- přibližné vztahy:

$$E_{wv} = E_{wv}^0 10^{\frac{8.5t}{273.16+t}}$$

$$E_{iv} = E_{iv}^0 10^{\frac{9.7t}{273.16+t}}$$

$$E_{wv}^0 = E_{iv}^0 = 6.11 [hPa]$$

Základy fyziky oblaků a srážek

Srážky:

- horizontální
- *vertikální*

Vznik vertikálních srážek:

- dosažení stavu nasycení, případně přesycení vzduchu vodní parou ochlazením vzduchu na (a pod) teplotu rosného bodu
 - (zřejmě okrajový) vliv mísení vzduchových hmot

Příčina ochlazení vzduchu

- izobarické ochlazení (většinou vyzařování)
- **výstupné pohyby**
 - velkoprostorové
 - konvektivní



Oblačnost vznikající izobarickým ochlazením

- # vznik podinverzní, případně inverzní oblačnosti (St, mlha), která se během dne může rozpustit
- # většinou není příčinou významných srážek

Vazba typu výstupných pohybů na druh oblačnosti

- # velkoprostorové výstupné pohyby: především Ci, Cs, As, Ns
- # konvekce (výsledek archimedovských vztlačových sil v atmosféře): Cu, Cb
- # poznámka: Termodynamické rozdělení srážek nemusí být vždy jednoznačné

Kondenzace vodní páry, kondenzační jádra

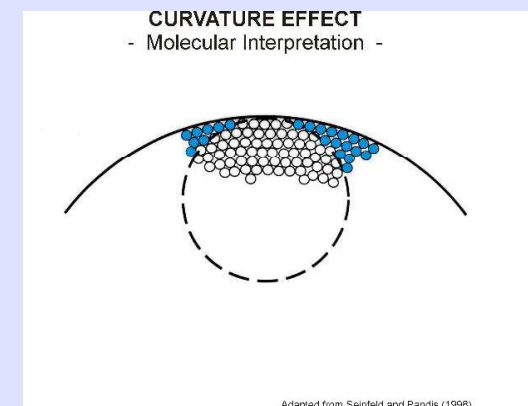
- # vznik kapiček vody spontánním spojováním molekul v. páry je statisticky nepravděpodobné
- # v reálné atmosféře: kondenzace okamžitě po dosažení nasycení
- # klíčový význam kondenzačních jader
 - velikost $10^{-8} - 10^{-6}$ m

$$e_{sr} = e_{s\infty} \exp\left(\frac{A}{r}\right)$$

A konst.

e_{sr} tlak nasyc. v. páry nad kapičkou o poloměru r

$e_{s\infty}$ tlak nas. v. páry nad rovinným vodním povrchem



Kondenzace vodní páry, kondenzační jádra (pokr.)

- # mnohé aerosolové částice jsou tvořeny rozpustnými látkami (především mořské soli)
- # kapičky jsou roztokem určité látky
- # Raoultův zákon pro disoc. roztoky:

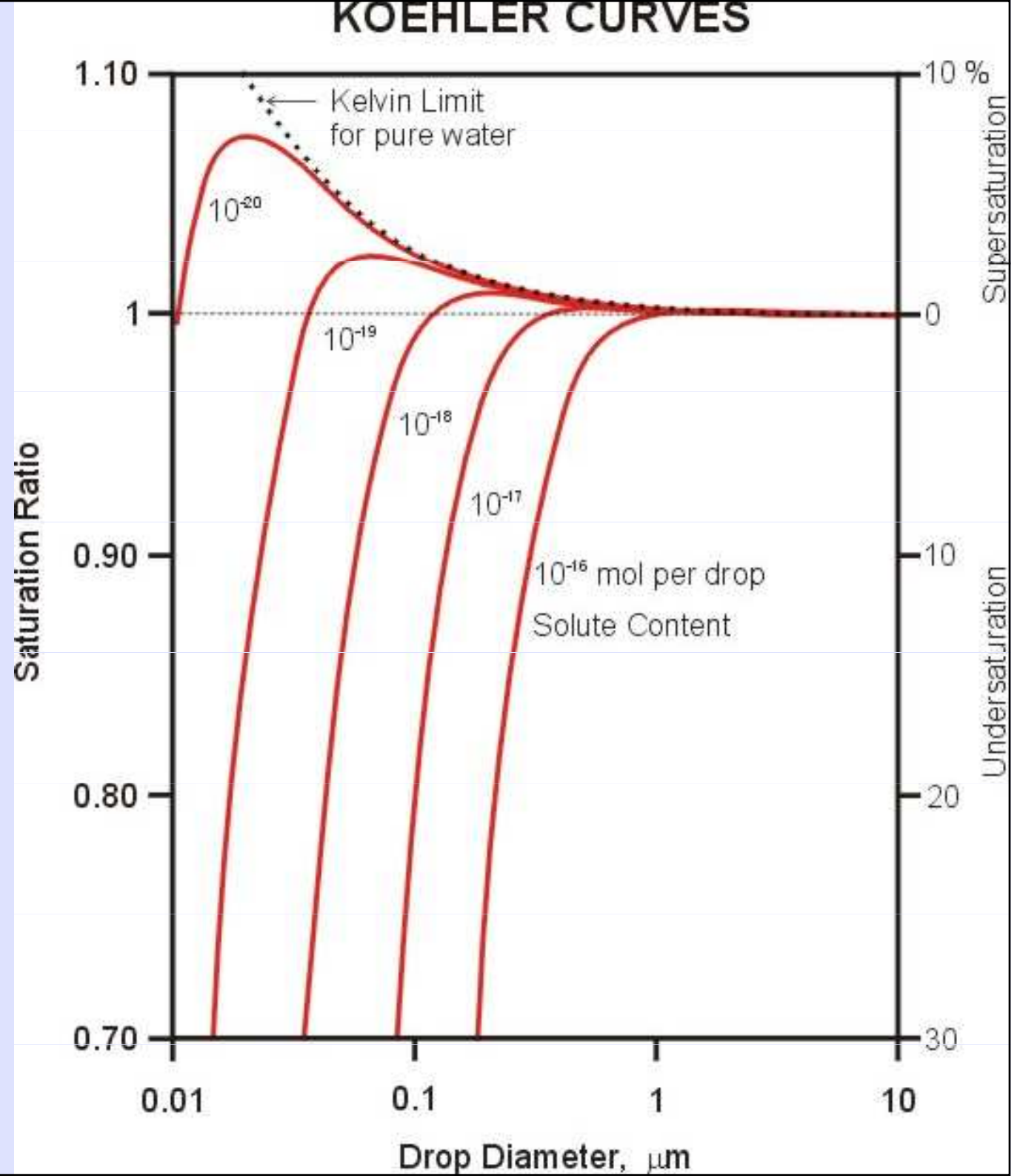
$$e'_s = e_s \left(\frac{n}{n + kn'} \right)$$

- # e_s tlak nasyc. v. páry nad čistou vodou
- # e'_s tlak nasyc. v. páry nad roztokem, obsahujícím v n kilogrammmolekulách vody n' kilogrammmolekul rozpuštěné látky
- # k van't Hoffův faktor závislý mj. na disoc. látce

Kondenzace vodní páry, kondenzační jádra (pokr.)

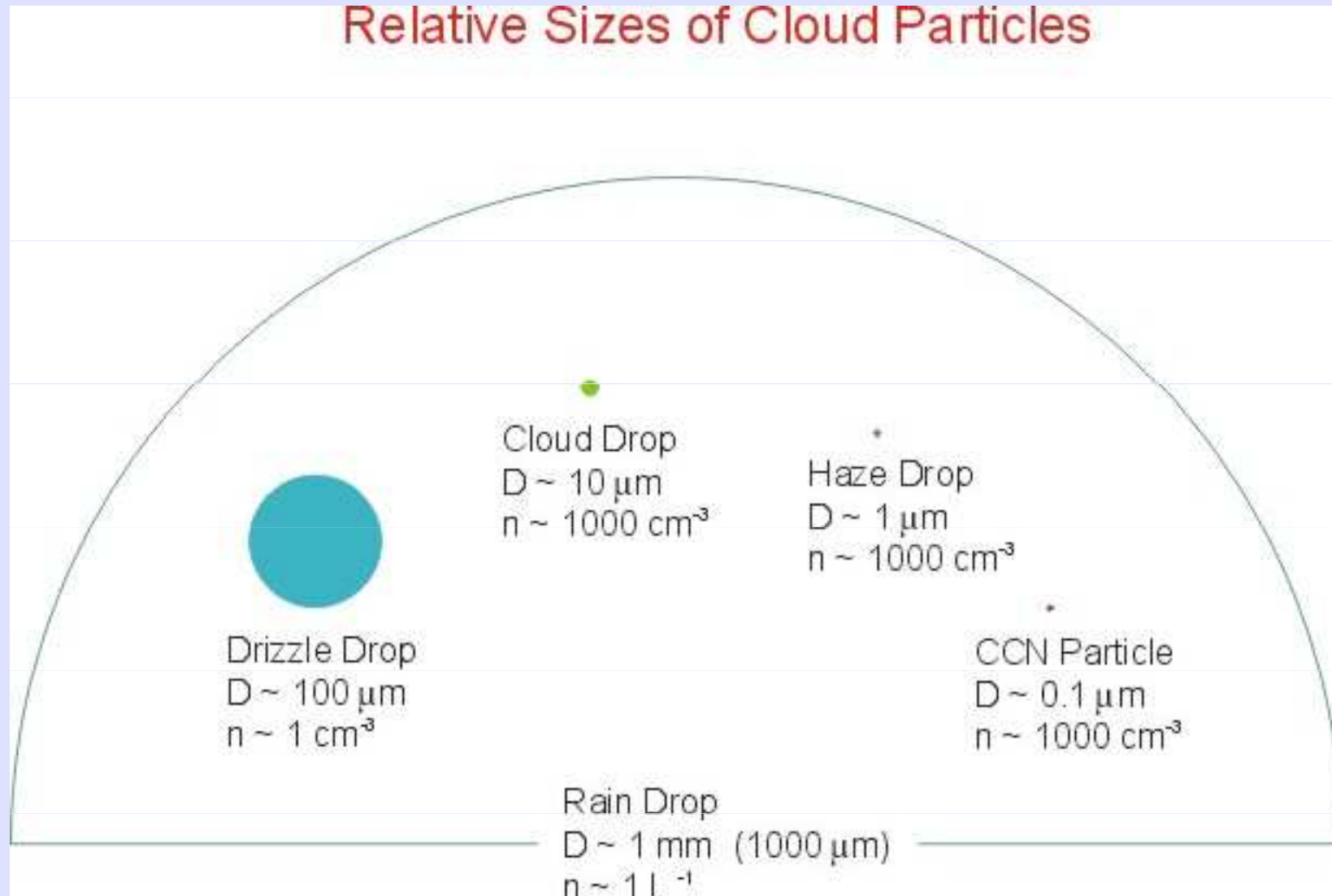
- # vliv elektrického náboje (snižuje napětí nasycení v. páry především u kapiček do $r=10^{-6}$ m)
- # vznik el. náboje: absorbování částice s el. nábojem, vznik el. nábojů zejm. v bouřkových oblacích

Nasycení /
přesycení v.
páry nad
kapičkou
roztoku



Velikosti kapiček

Relative Sizes of Cloud Particles



Koalescence v oblacích

Narůstání v. kapek:

- kondenzace
- koalescence (splývání)

Koalescence:

- spontánní (Brownův pohyb) - nevýznamná
- **gravitační** (při dostatečném „rozdílení“ velikosti kapek)
- elektrostatická
- turbulentní
- hydrodynamická (zhuštění proudnic u souhlasně se pohybujících kapek)

Vznik ledových částic v oblacích

Mrznutí vodních kapiček:

- vodní kapičky zůstávají v kapalně fázi při až do -42 st. C.
- úloha krystalizačních (ledových) jader

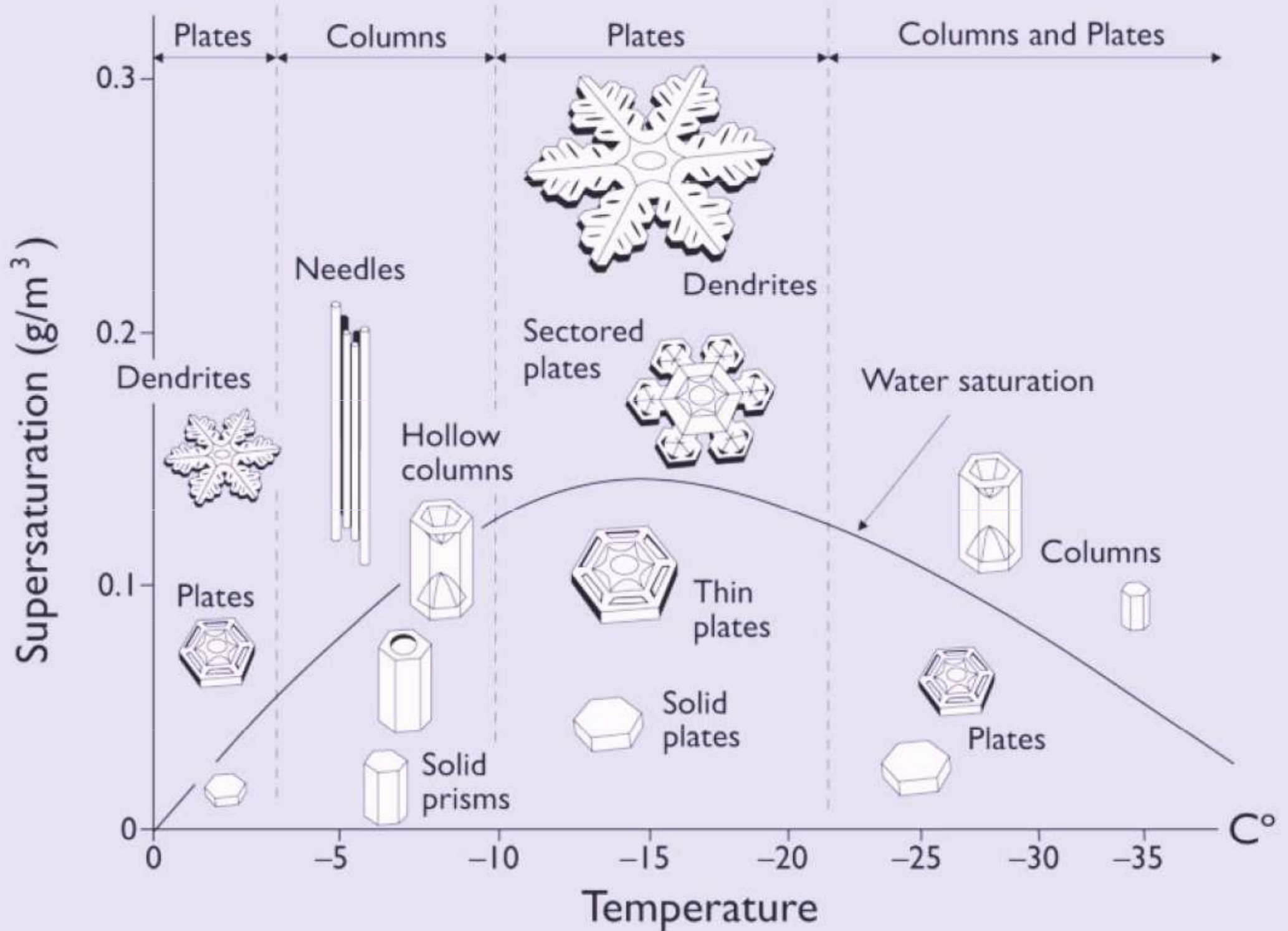
Ledové částice v oblacích:

- jednotlivé led. částice: -5°C
- vzrůst s poklesem teploty, avšak počet kapiček je obvykle výrazně vyšší do teplot -30 až -40°C

Přímá sublimace (depozice) v atmosféře je krajně nepravděpodobnou příčinou vzniku ledových částic (nikoliv narůstání)

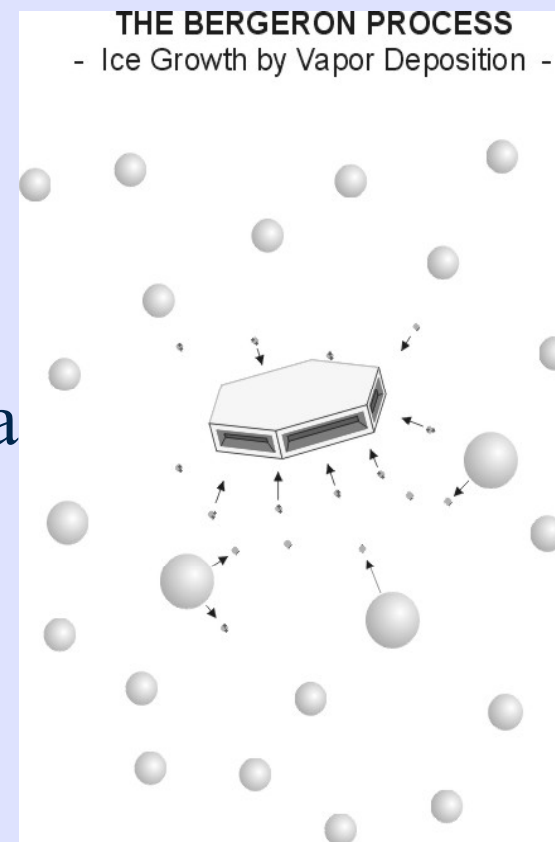
Tvary ledových krystalků

- # sloupek
- # destička
- # dendrit
- # Závislost na teplotě:
 - 0 až -5°C : převládají segmenty šestibokých destiček, dendrity
 - -5 až -10°C : sloupky, tenké jehlice
 - -10 až -25°C : šestiboké destičky
 - kolem -14°C : dendrity
 - -25 až -40°C : sloupky, složitější agregáty



Teorie vzniku srážek

- # spontánní koalescence je nepravděpodobnou příčinou vzniku srážek
- # Bergeronova-Findeisenova teorie:
 - tlak nasycené vodní páry nad ledem je nižší => narůstání ledových krystalků na úkor ledových kapiček, příp. mrznutí kapiček ledu na krystalcích ledu (*ozrnění*, angl. *riming*)
 - tento mechanismus vysvětluje vznik vert. srážek v mírných šířkách
 - předpokladem je tzv. *koloidní nestabilita*



Bergeronova-Findeisenova teorie

EFFECT OF PHASE DIFFERENCE

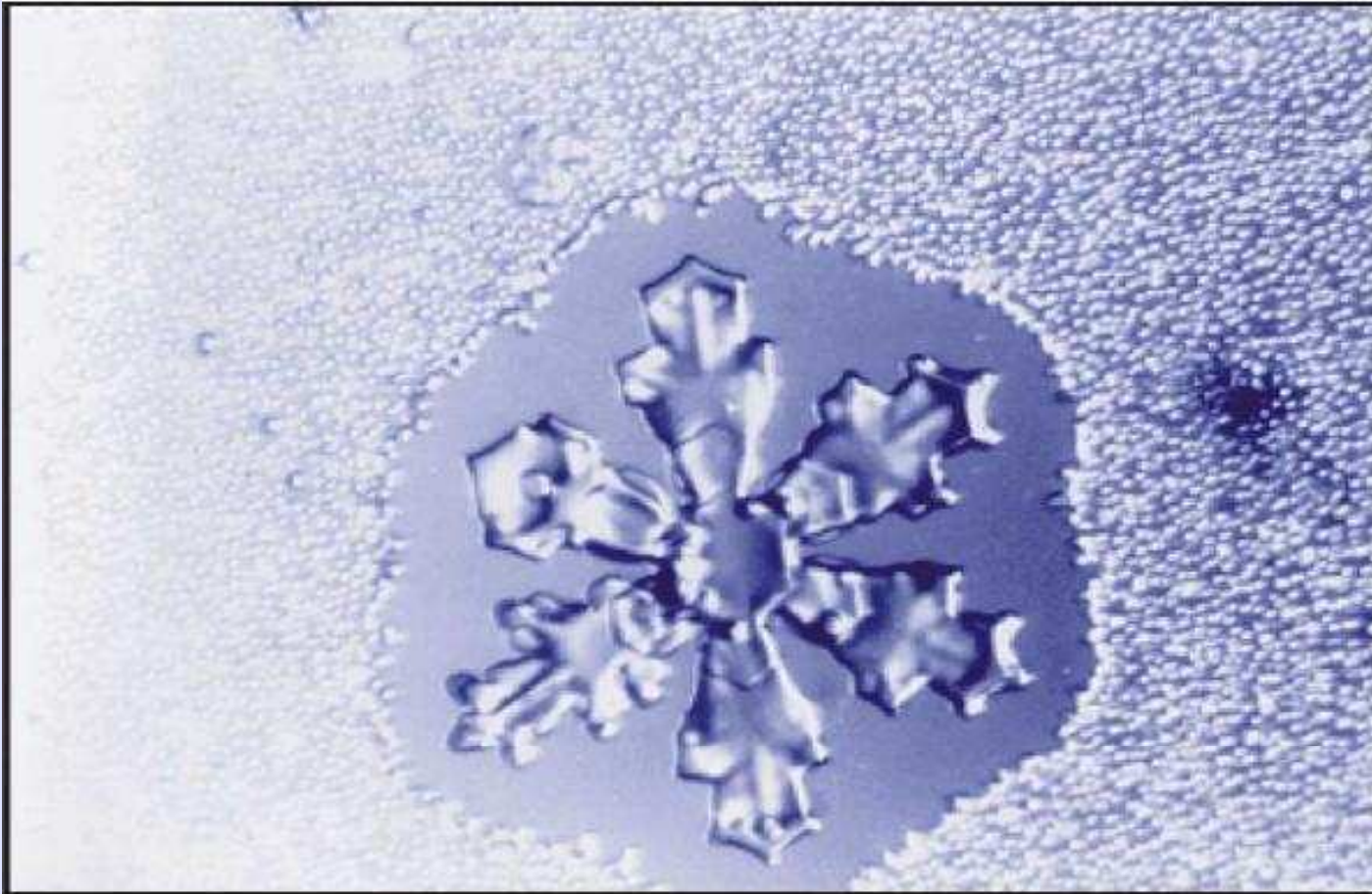
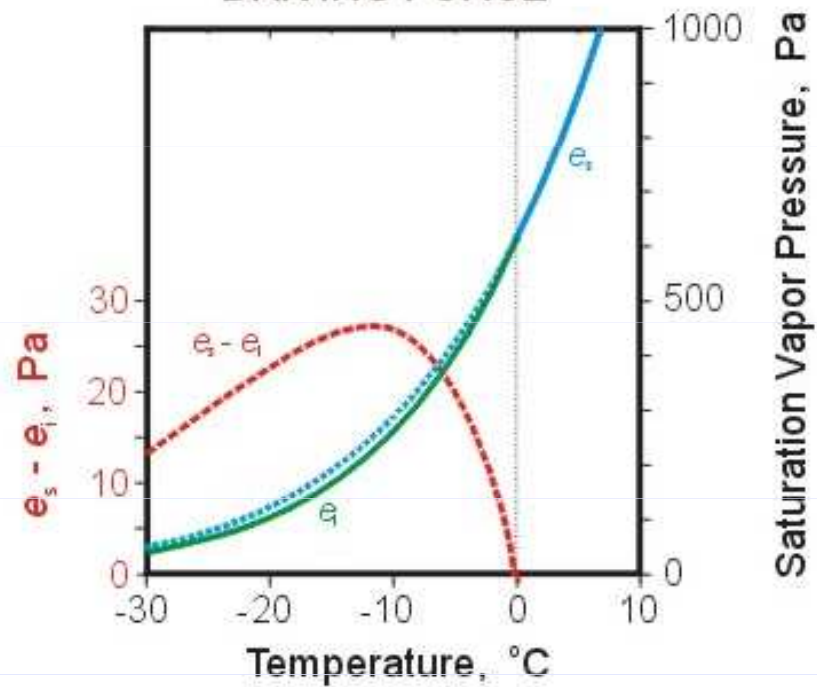
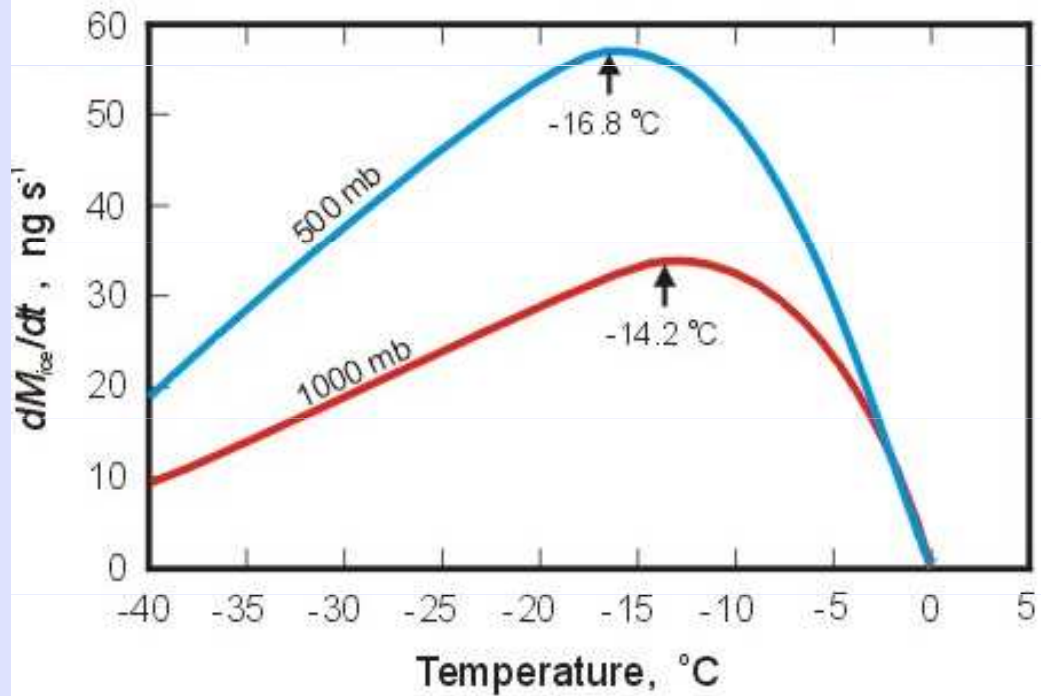


Photo by R. Pitter

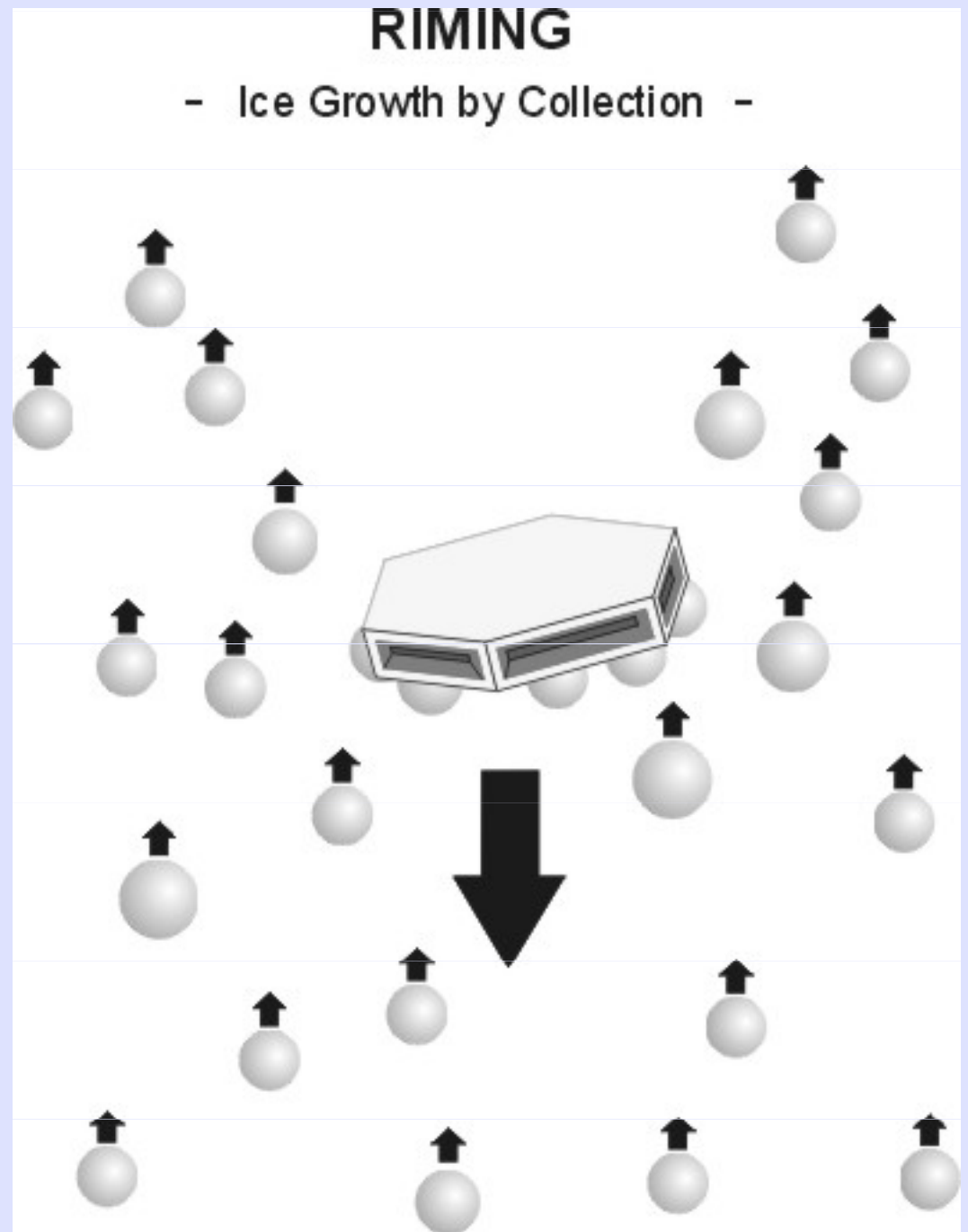
DRIVING FORCE



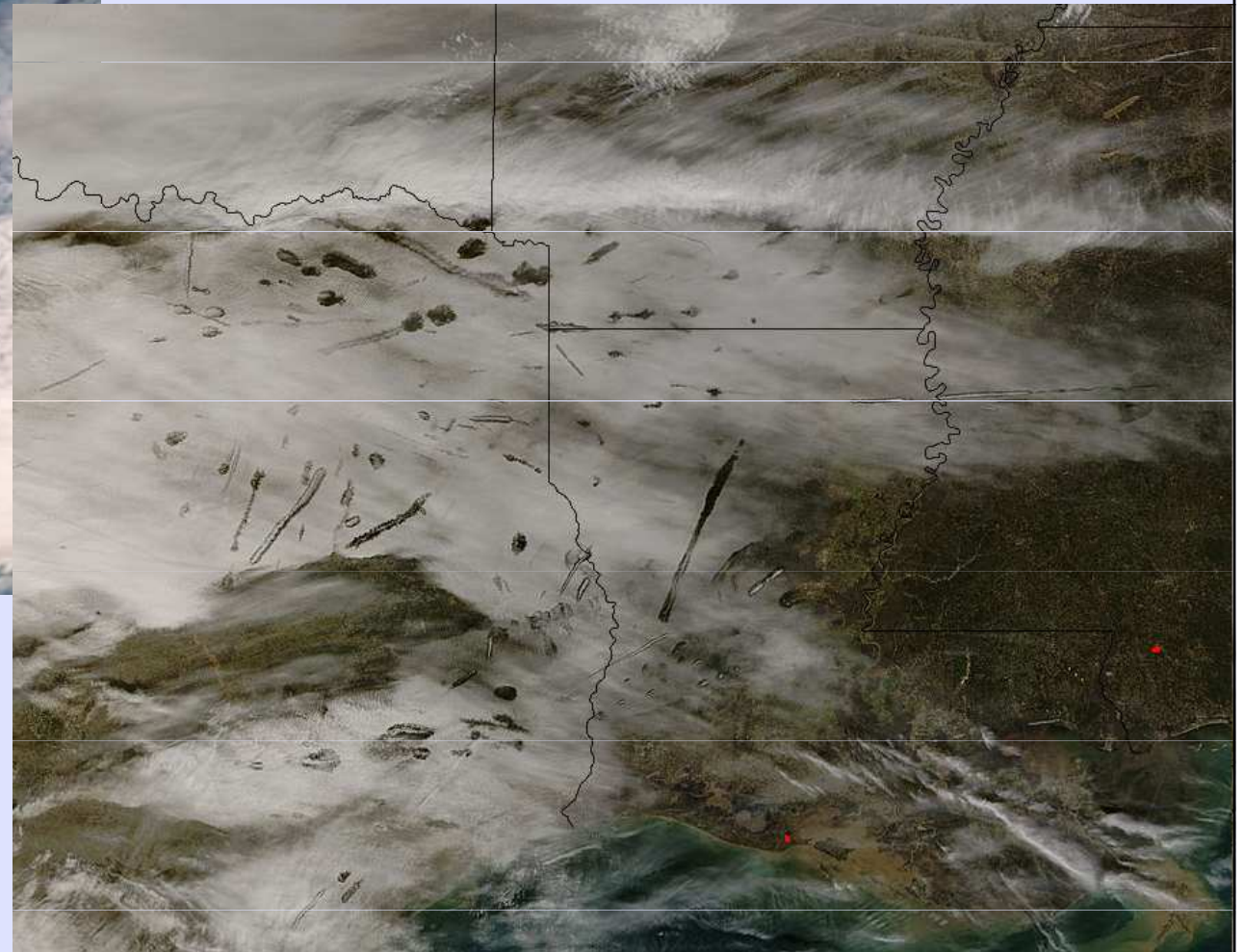
ICE GROWTH RATES AT LIQUID WATER SATURATION



Riming – „ozrnění“



'Hole-punch' – neobvyklý důsledek koloidní instability



Příčina: Emise z letadel
(kondenzační sledy –
„contrails“)

Teorie vzniku srážek (pokr.)

- # v tropech: intenzivní srážky z „teplých“ konvekčních oblaků (oblaka bez podstatné ledové fáze)
- # **koalescenční teorie vzniku srážek:**
 - obří kond. jádra (10^{-6} m a větší), zřejmě tvořené mořskými solemi => kapičky „větší než obvyklé“, tudíž začíná „pracovat“ gravitační koalescence
 - kapičky padají dolů, narůstají a rozpadávají se, mohou být dále unášeny nahoru výstupnými pohyby (v tropech jsou konvektivní bouře symetričtější)
 - oslabení výstupného proudu – vypadávání srážek

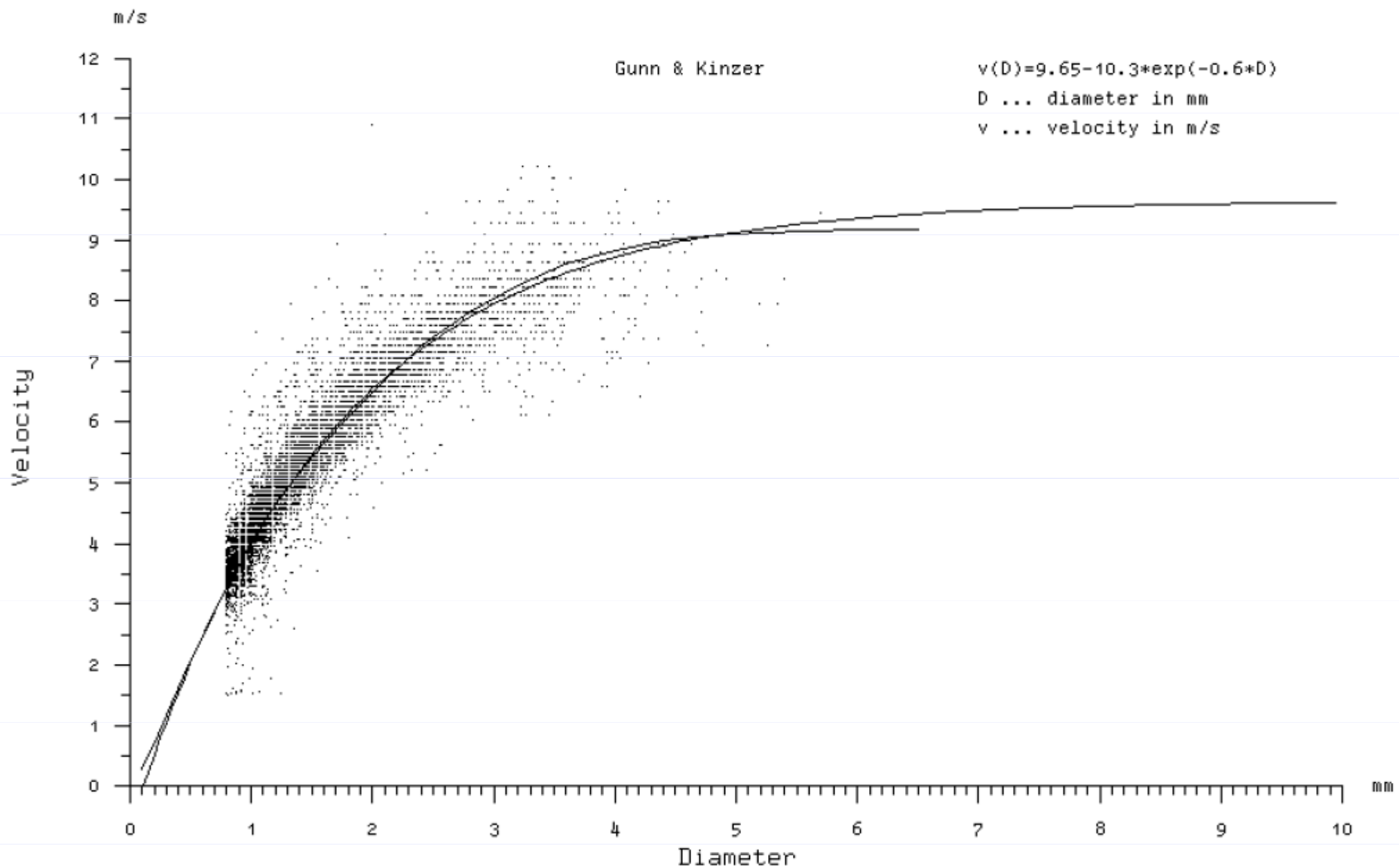
Teorie vzniku srážek (pokr.)

- # další koalescenční teorie vzniku srážek z „teplých“ vodních oblaků je založena na předpokladu, že vtahování okolního suššího vzduchu na vrcholu Cb i po stranách výstupného proudu umožňuje „zploštění“ spektra kapiček a vytvoření „obřích“ kapek
- # Tyto procesy se mohou objevit i mimo tropické šířky

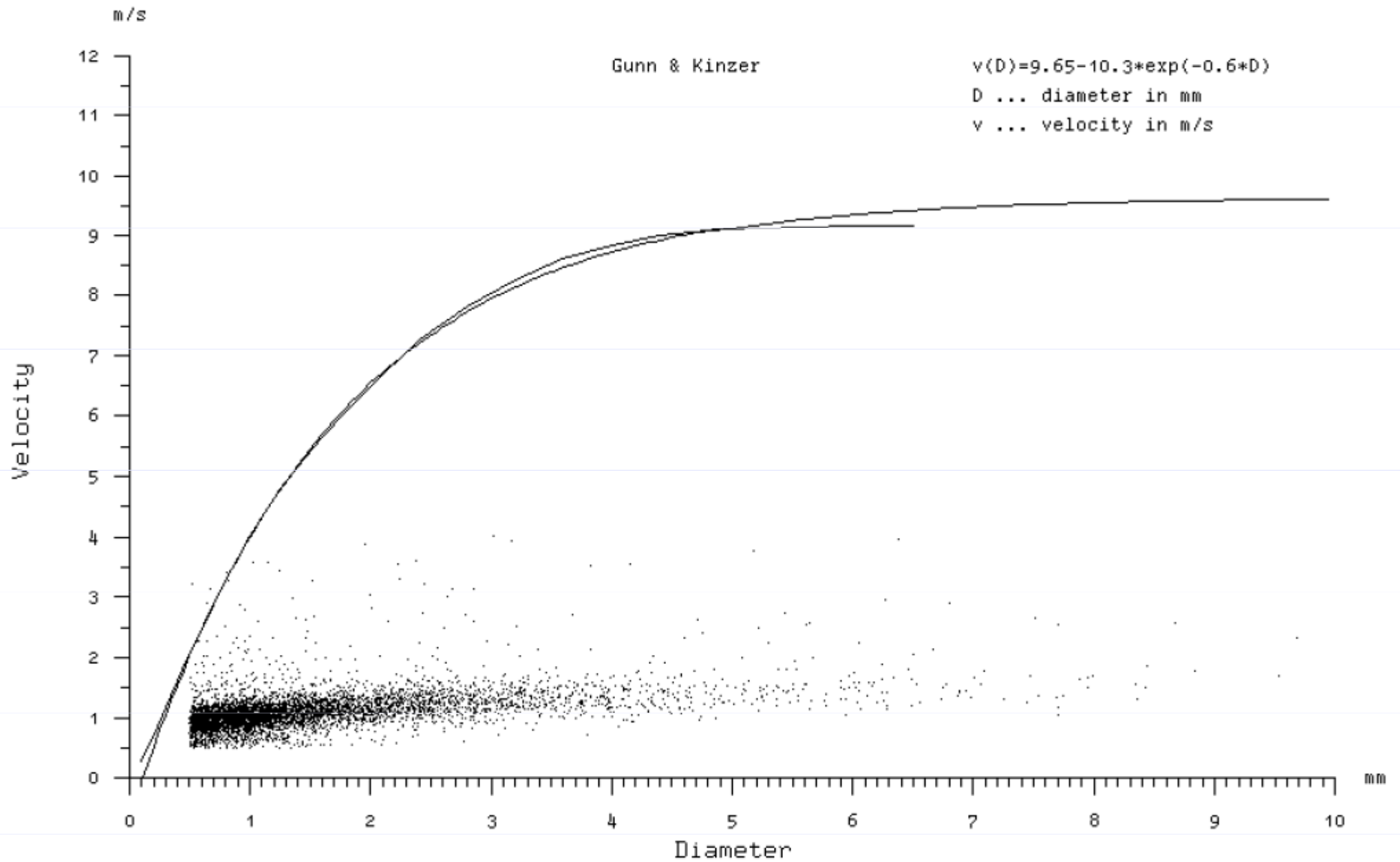
Pádová rychlost srážkových elementů

- # Závislá na fázi a velikosti částic a tlaku vzduchu
- # Déšť: při zemi do cca 9 m/s, typicky kolem 4-5 m/s (při průměru kapky cca 1-1.5 mm)
- # Sníh: při zemi do cca 1-2 m/s

Vertical velocity versus Diameter



Vertical velocity versus Diameter



Tvar kapky deště při pádu

Beard and Chuang (1987)

Equilibrium Axis Ratios (computed)

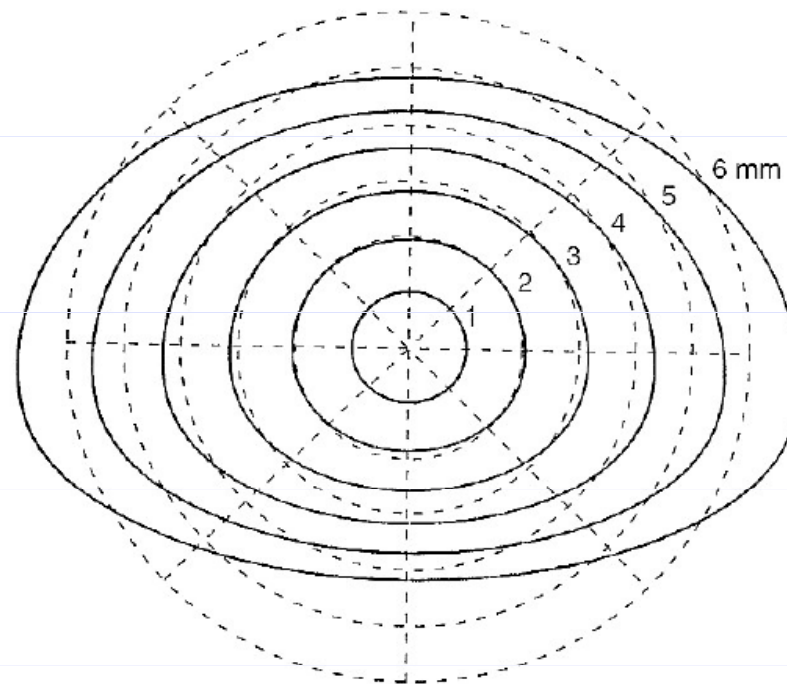


Fig. 7.1. Equilibrium drop shapes for drop diameters of 1–6 mm. From Beard and Chuang (1987).

BC2001

Dashed= D_{eq}

Solid= D

Deformation of Water Drops In the Air

Electro-static forces within the molecule are able to maintain the spherical shape against external forces.

Drop Size
.14 mm

Characteristic Shape

Actual Movement



click at right for more on electro-static forces in a water molecule.

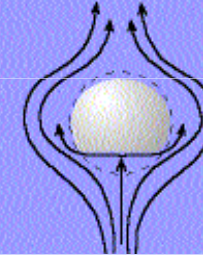
.50 mm

A very slight shortening of the vertical axis and the drop is an "oblate spheroid", the vertical axis is about 98% of the horizontal axis.

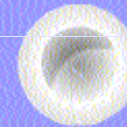


Flattening of bases begins

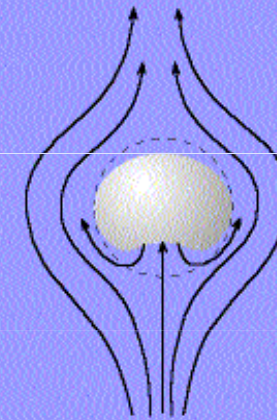
1.4 mm



Concavity of the flattened base begins.

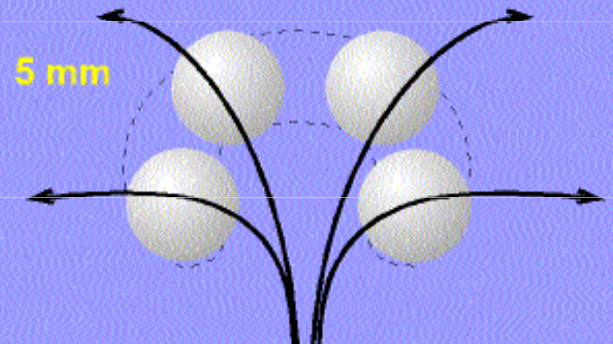


2 mm



At 5mm the force of the air through which it is falling causes the drop to break up.

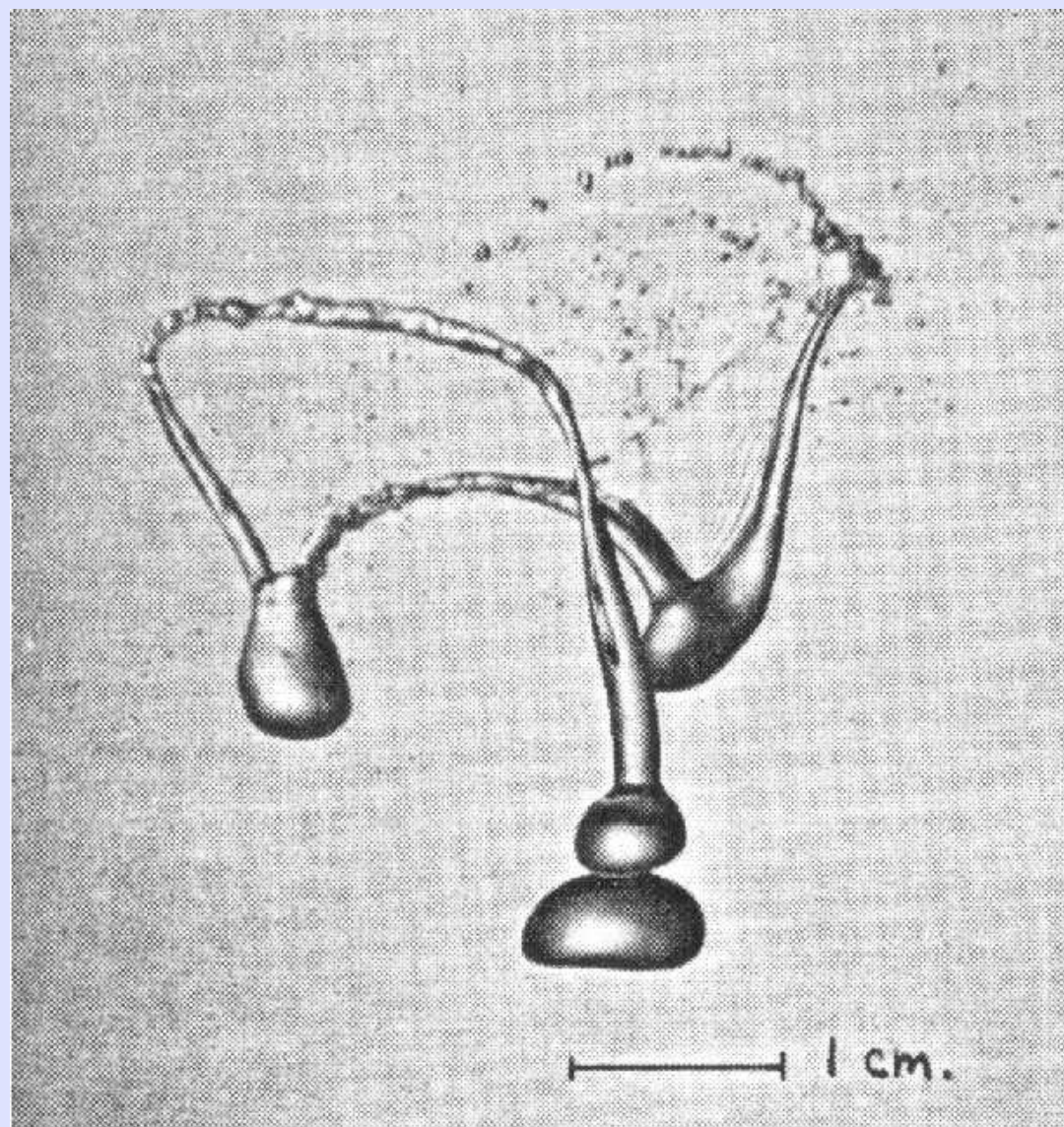
5 mm



Arrow Length Proportional to Rate of Fall

Kapka dosahuje maximálního průměru kolem 5mm; při dosažení či překročení tohoto průměru se rozpadá

Rozpad kapky při pádu



Ovlivňování srážek

- # umělé srážky:
- # infikování oblaku kondenzačními a krystalizačními jádry
- # aplikace AgI
- # V současné době: potlačování ničivých krupobití (obřích krup)
 - Předpoklad: aplikací AgI do vtoku vzduchu do Cb vede k urychlení vzniku většího počtu menších krup
 - V praxi: Francie, Chorvatsko, USA, Řecko ...

Příklad umělé infekce oblačnosti



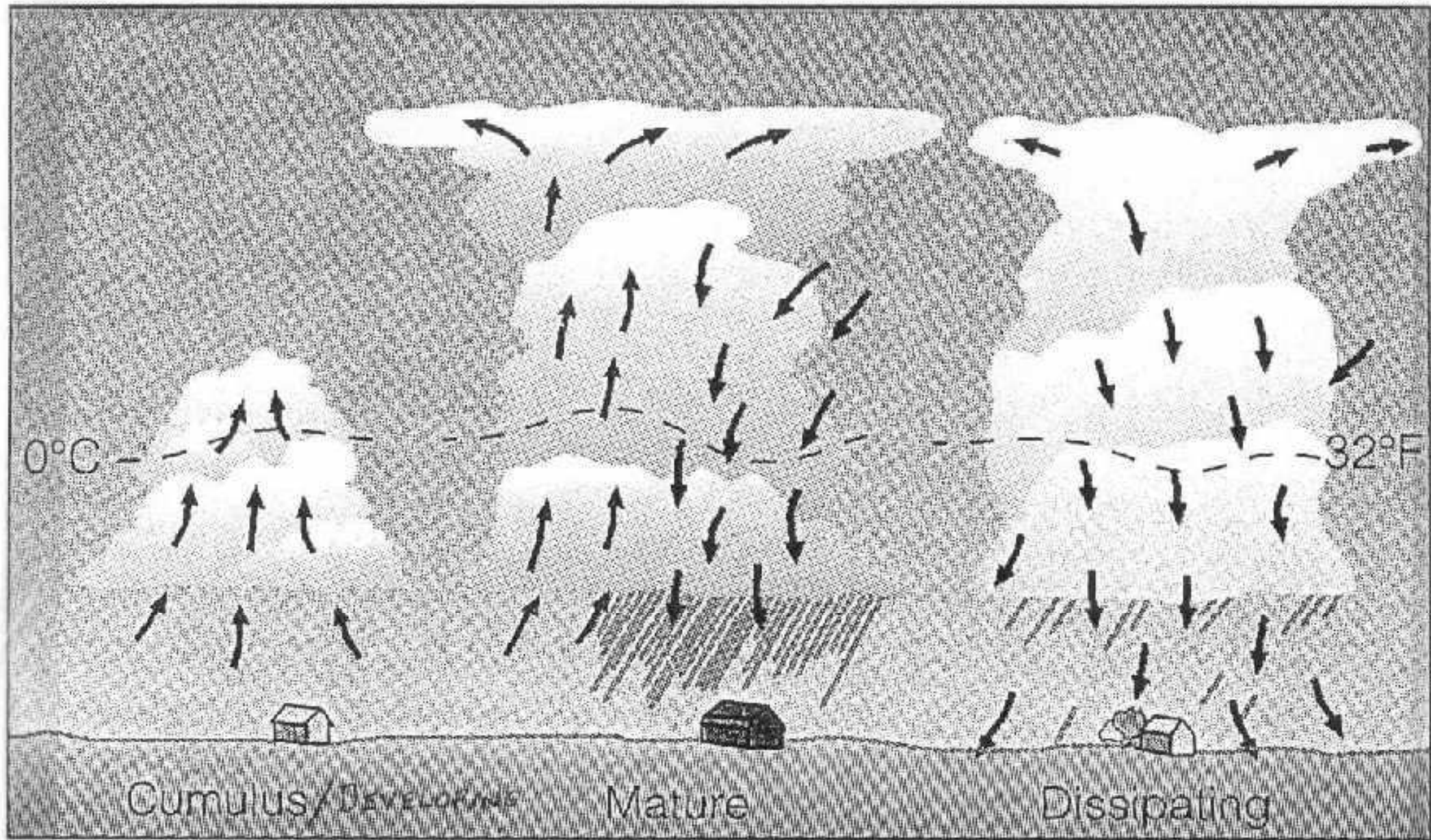
Konvektivní (konvekční) oblačnost

Příčina:

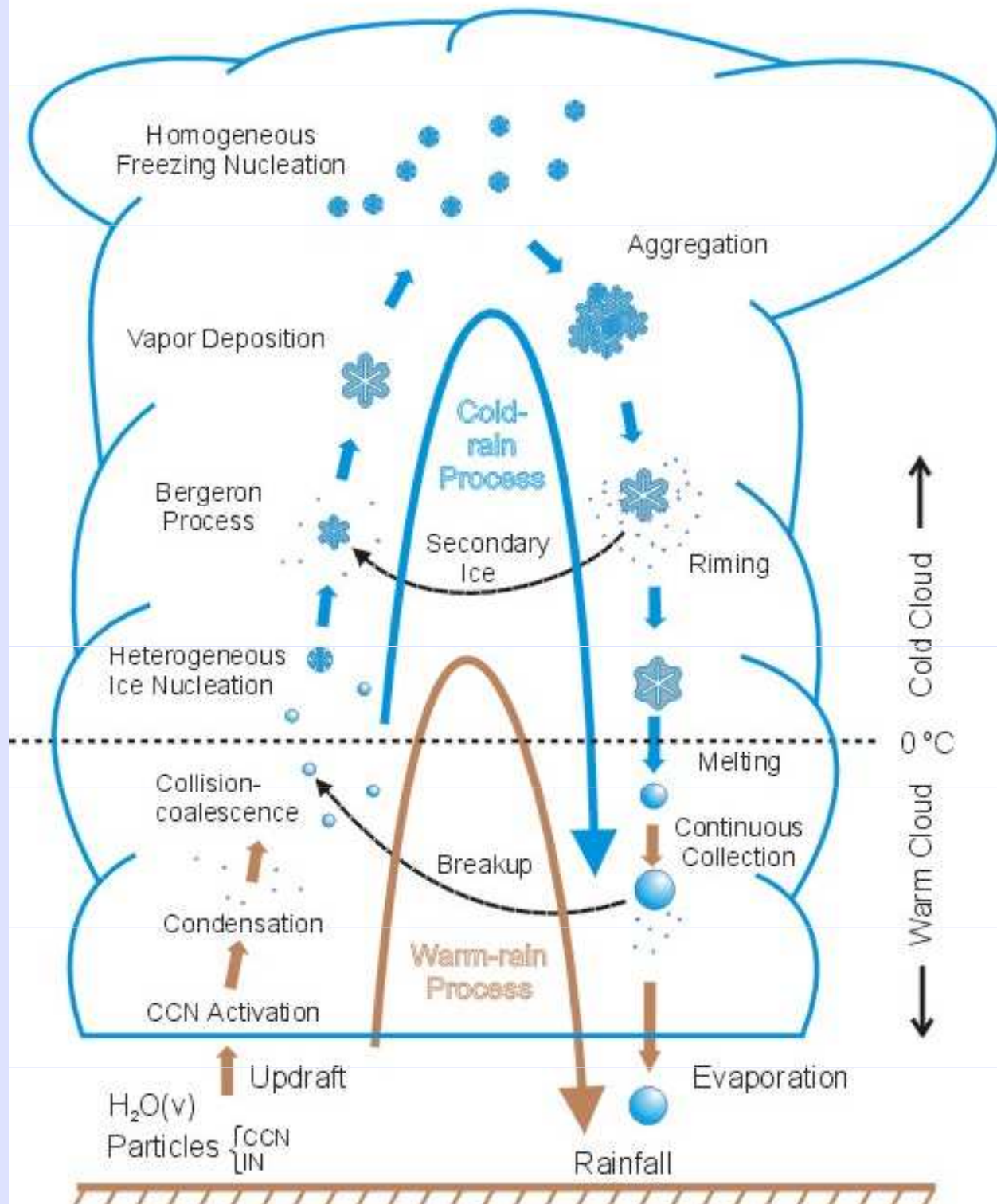
- archimedovské vztlakové síly
- podmíněná (příp. potenciální) instabilita

Tvar konvekční oblačnosti:

- za ideálních podmínek symetrický tvar (šestiúhelníkové Bénardovy buňky)
- v reálné atmosféře vlivem stříhu větru asymetrický tvar+proces



PRECIPITATION MECHANISMS



Úkoly pro cvičení

- # Úkol č. 1. Nakreslete závislost tlaku nasycené vodní páry na teplotě vzduchu v rozmezí -40 až 0 st. C. nad ledem a nad vodou a vhodně znázorněte jejich rozdíl. Při jakých teplotách je rozdíl nejvyšší? Použijte Magnusův vzorec.

$$E_{wv} = E_{wv}^0 10^{\frac{8.5t}{273.16+t}}$$

$$E_{iv} = E_{iv}^0 10^{\frac{9.7t}{273.16+t}}$$

$$E_{wv}^0 = E_{iv}^0 = 6.11[hPa]$$

Úkoly pro cvičení

- # Úkol č. 2. Nakreslete závislost teploty nasyceného vzduchu (tj. teploty rosného bodu) na tlaku nasycené vodní páry v rozmezí 0.2 až 6.11 hPa nad ledem a nad vodou a vhodně znázorněte jejich rozdíl. Použijte opět Magnusův vzorec. Odvod'te z něj závislost $t_{\text{nasys}}=f(E)$.