

# **Fizyka Pogody i Klimatu**

## **Chmury**

**Szymon, Malinowski, Krzysztof Markowicz**

**Instytut Geofizyki**

**Uniwersytet Warszawski**

# Czym jest chmura?

Chmury są skupiskiem bardzo drobnych (średnica 2-100 mikrometrów) kropelek wody i/lub kryształków lodu. W zależności od składu mówimy o chmurach:

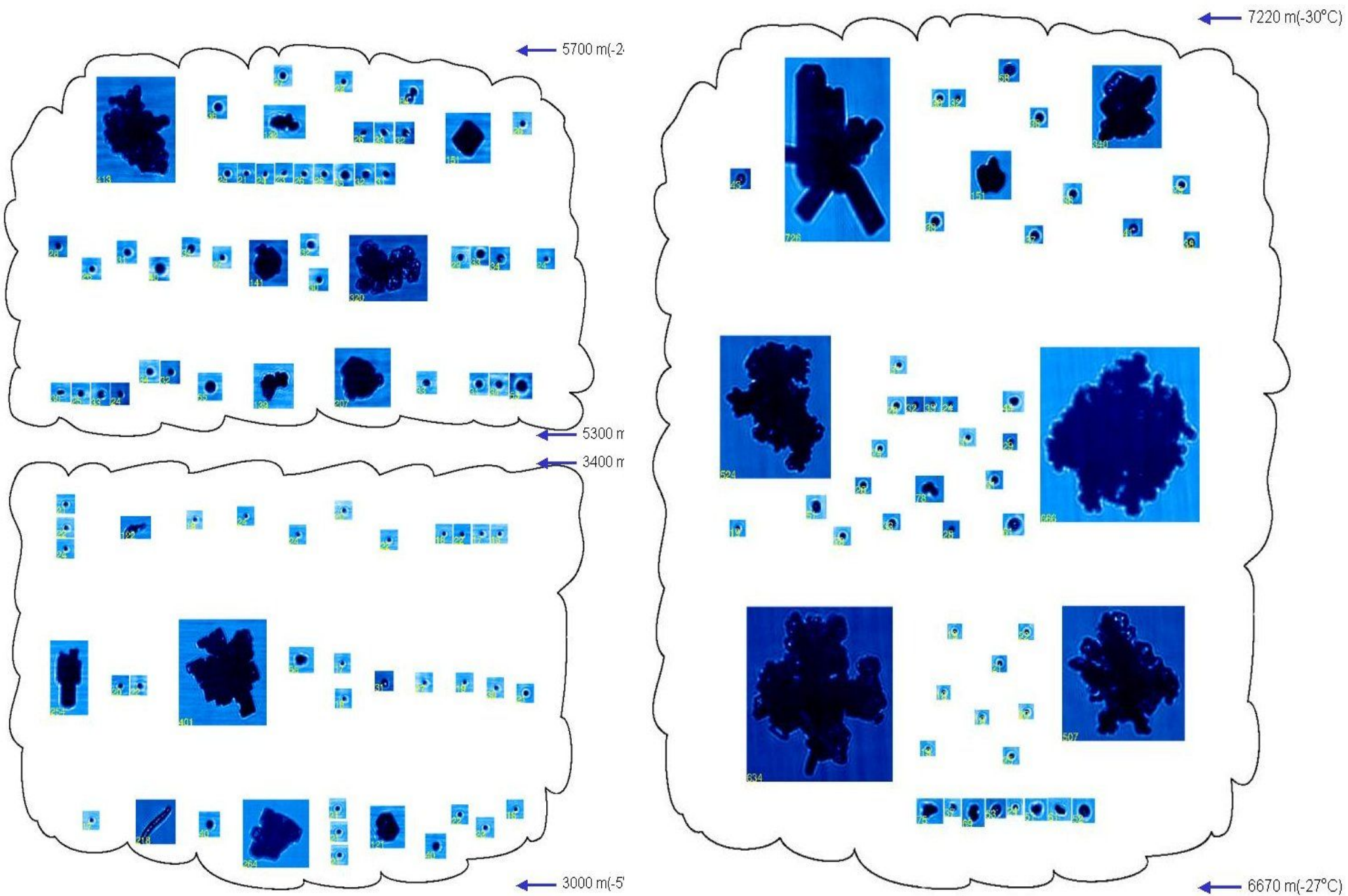
– ciepłych – składających się wyłącznie z kropeł wody (ang. warm clouds),

– lodowych – składających się wyłącznie z kryształków lodu (ang. ice clouds)

mieszanych – zawierających zarówno krople jak i kryształki (ang. mixed phase clouds).



Chmury powstają zawsze tam, gdzie temperatura powietrza ma niższą wartość niż temperatura punktu rosy lub punktu szronu. To umożliwia przemianę fazową – kondensację obecnej w powietrzu pary wodnej.



Cząstki chmurowe na różnych wysokościach zaobserwowane w warunkach naturalnych przyrządem CPI (Cloud Particle Imager, SPEC Inc.)

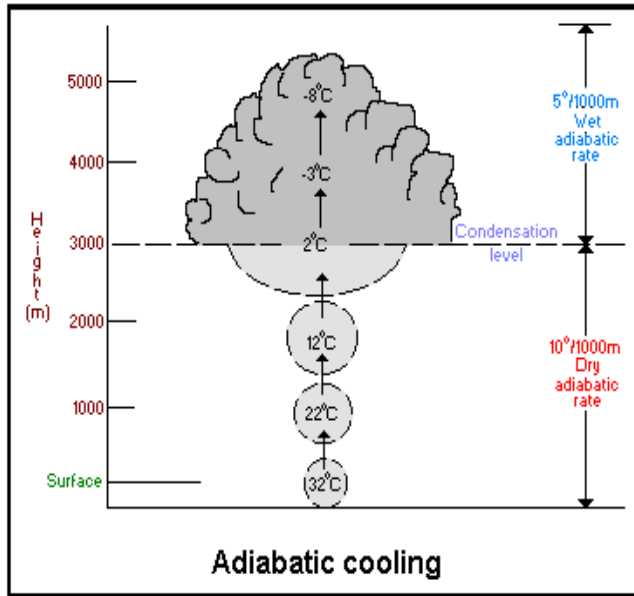


# Procesy fizyczne prowadzące do kondensacji:

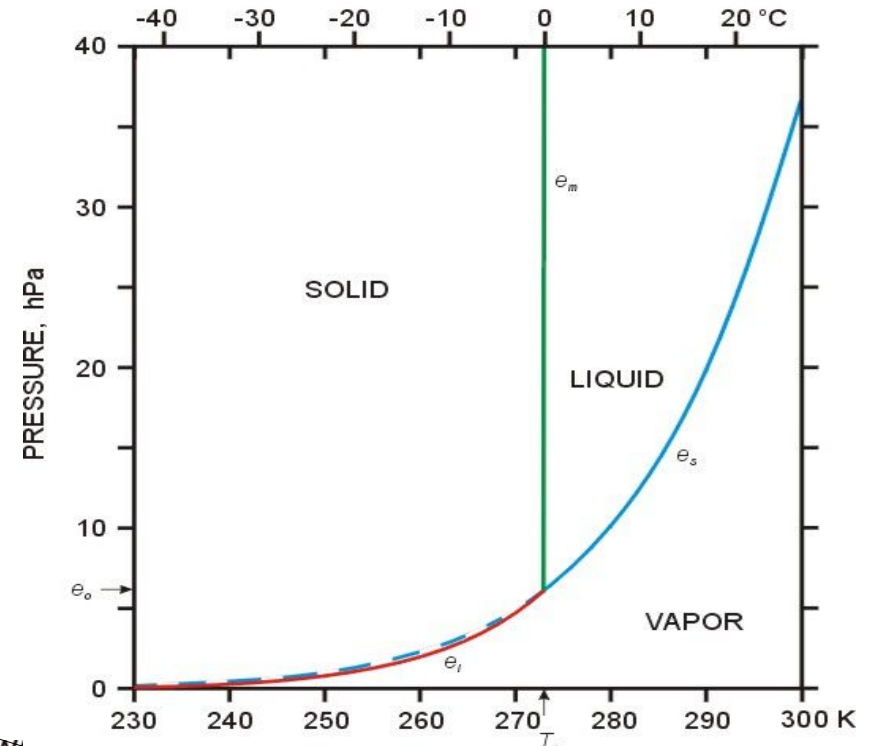
Rozprężanie adiabatyczne (np. w ruchach wstępujących)

Ochładzanie izobaryczne (radiacyjne, przez przewodnictwo);

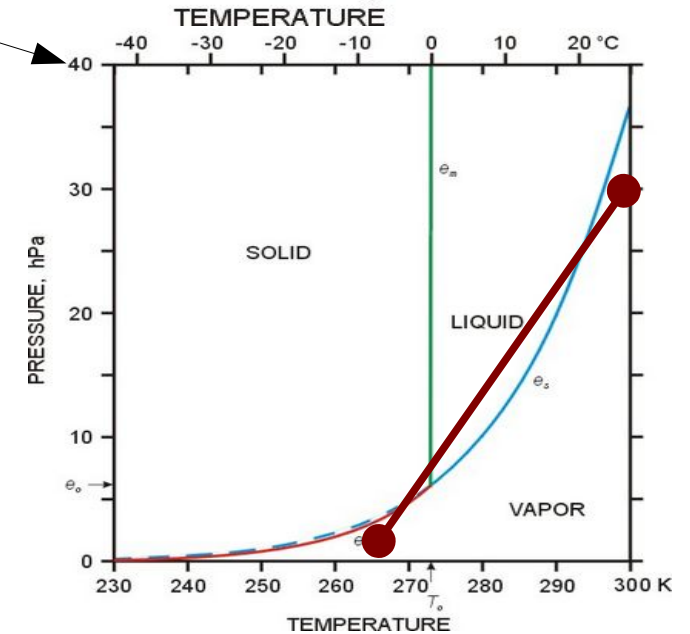
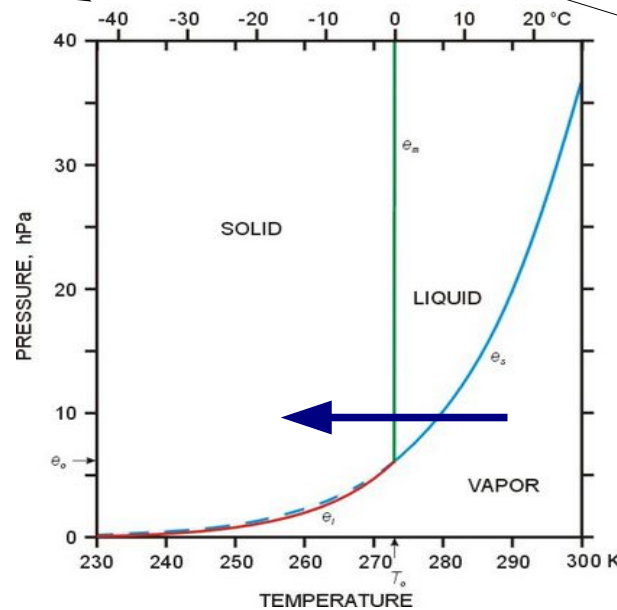
Mieszanie izobaryczne..



PHASE DIAGRAM OF WATER



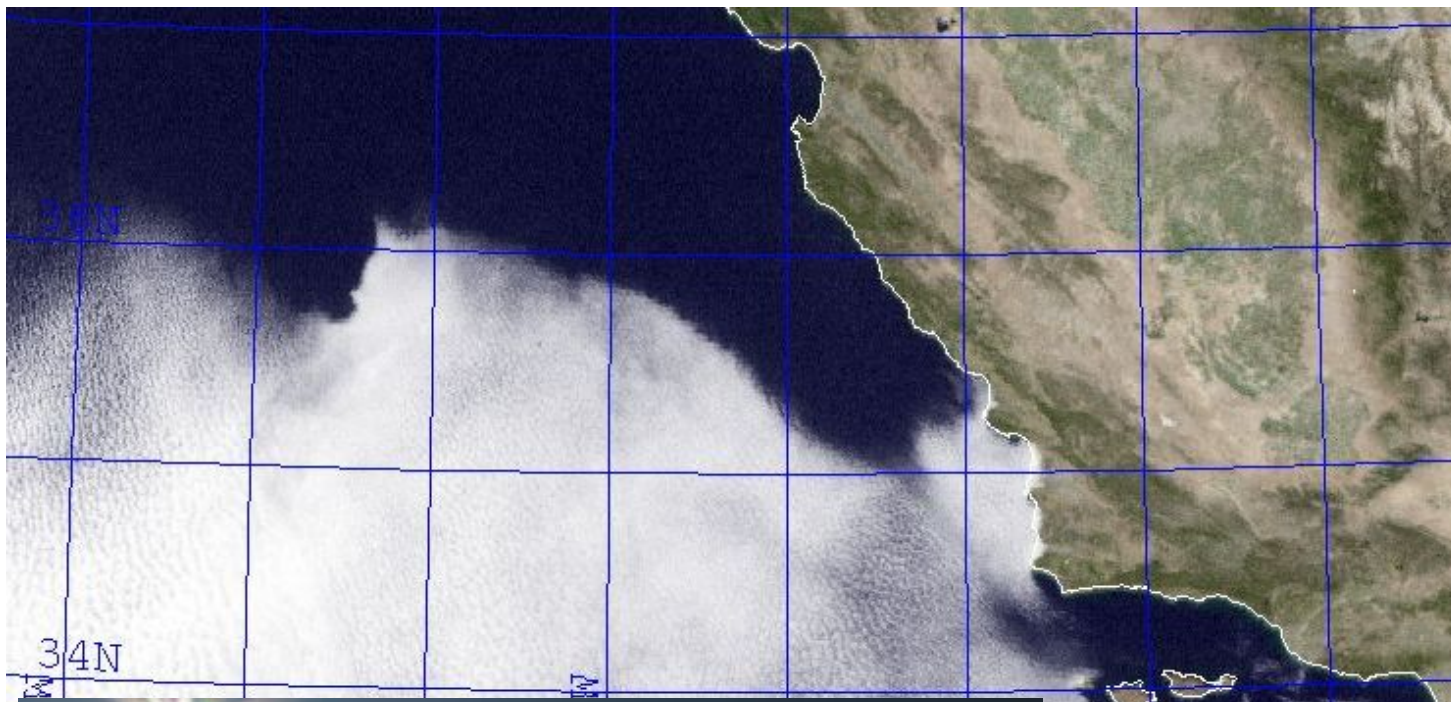
PHASE DIAGRAM OF W





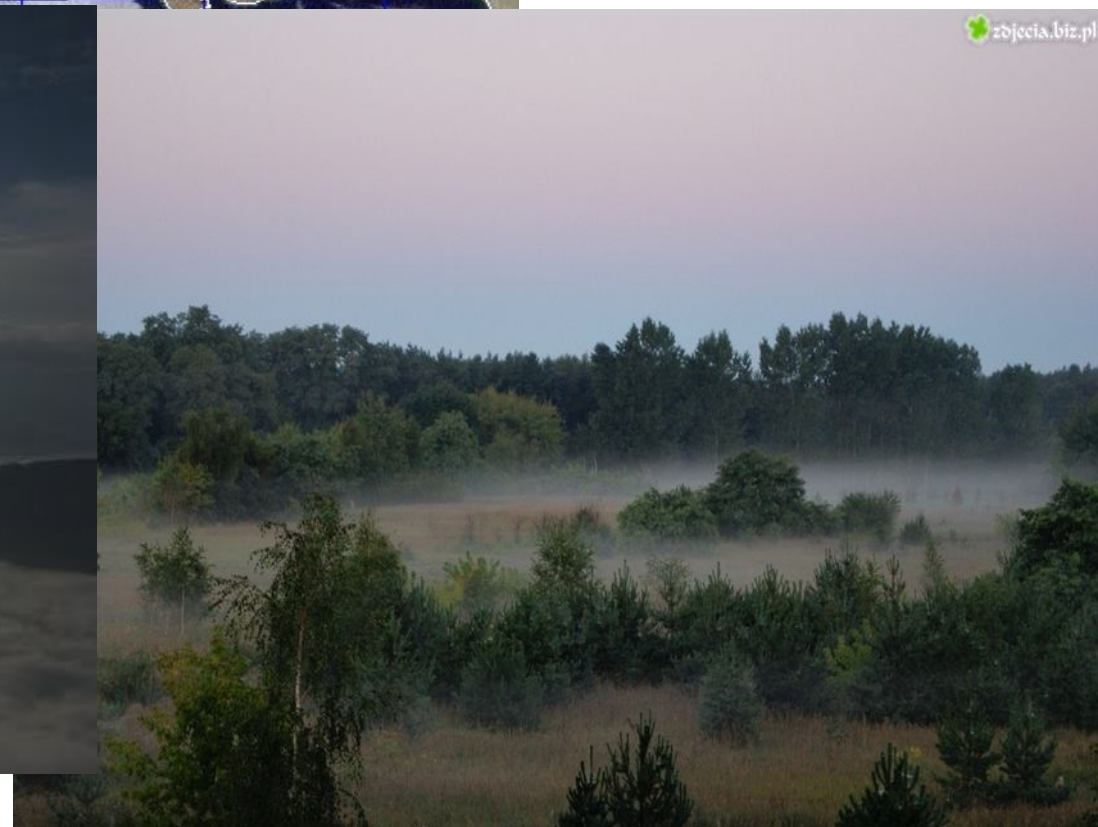
Formowanie się chmur wskutek adiabaty- cznego spadku ciśnienia.





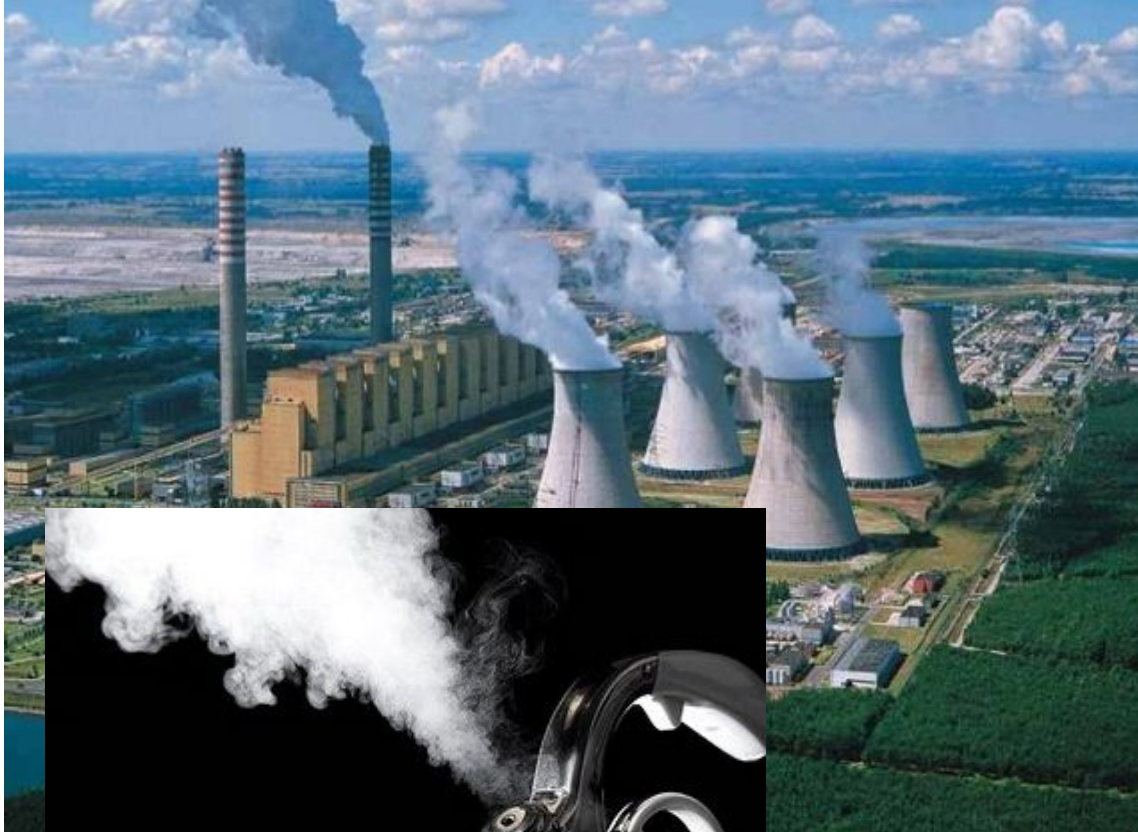
Powstawanie chmur  
wskutek ochładzania  
izobarycznego

(na ogół wskutek  
wypromieniowania w  
podczerwieni).



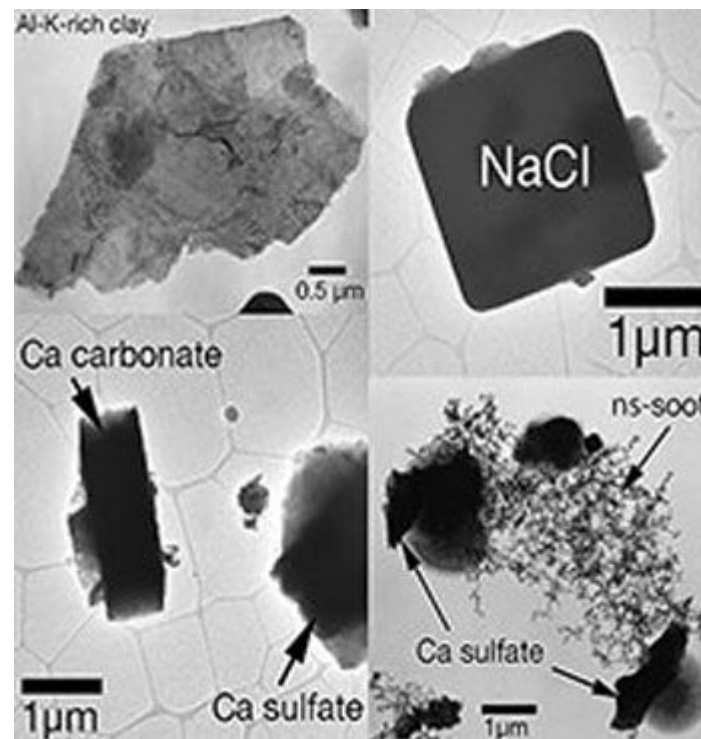
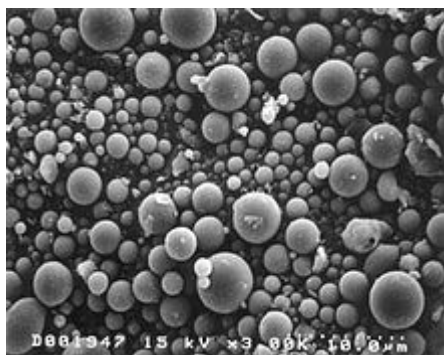
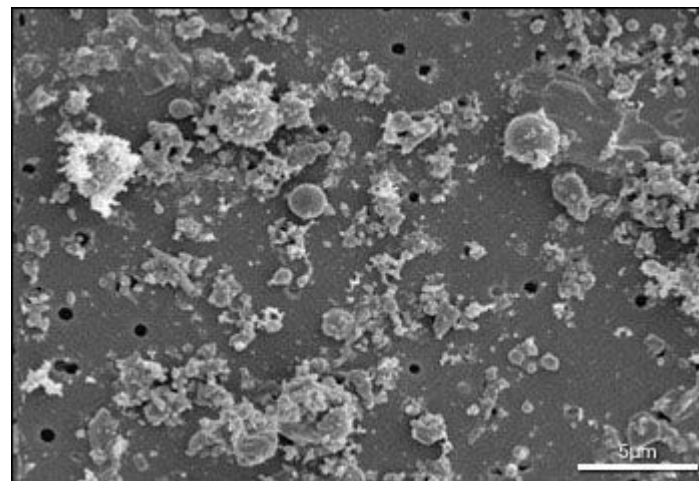
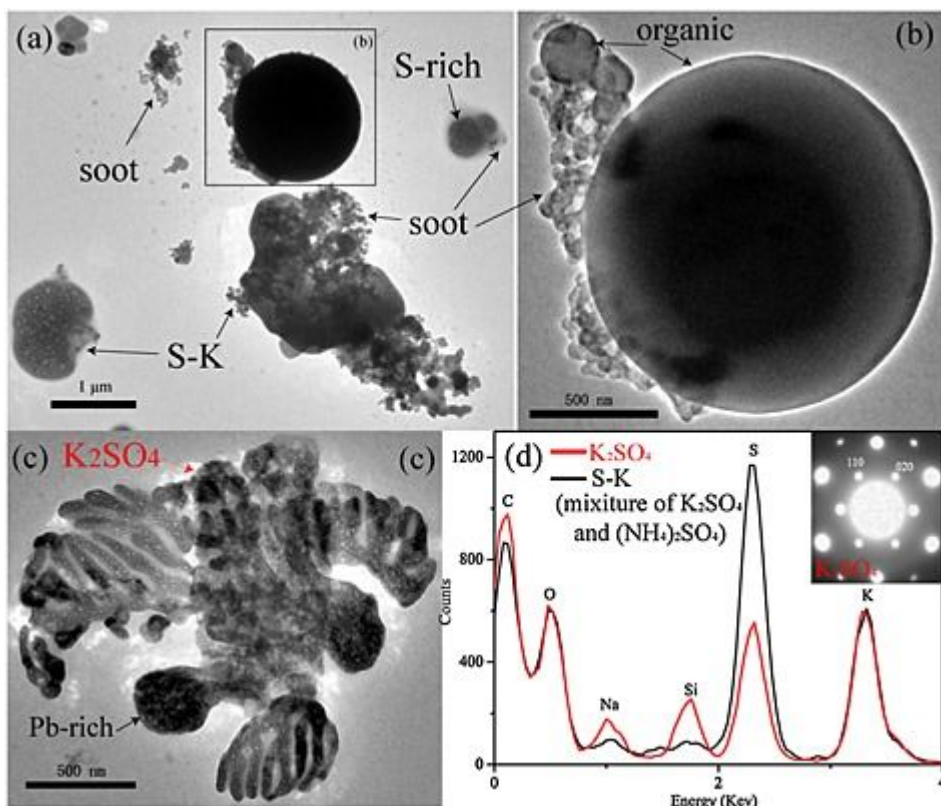


Powstawanie chmur wskutek mieszania izobarycznego dwóch mas powietrza o różnych temperaturach.



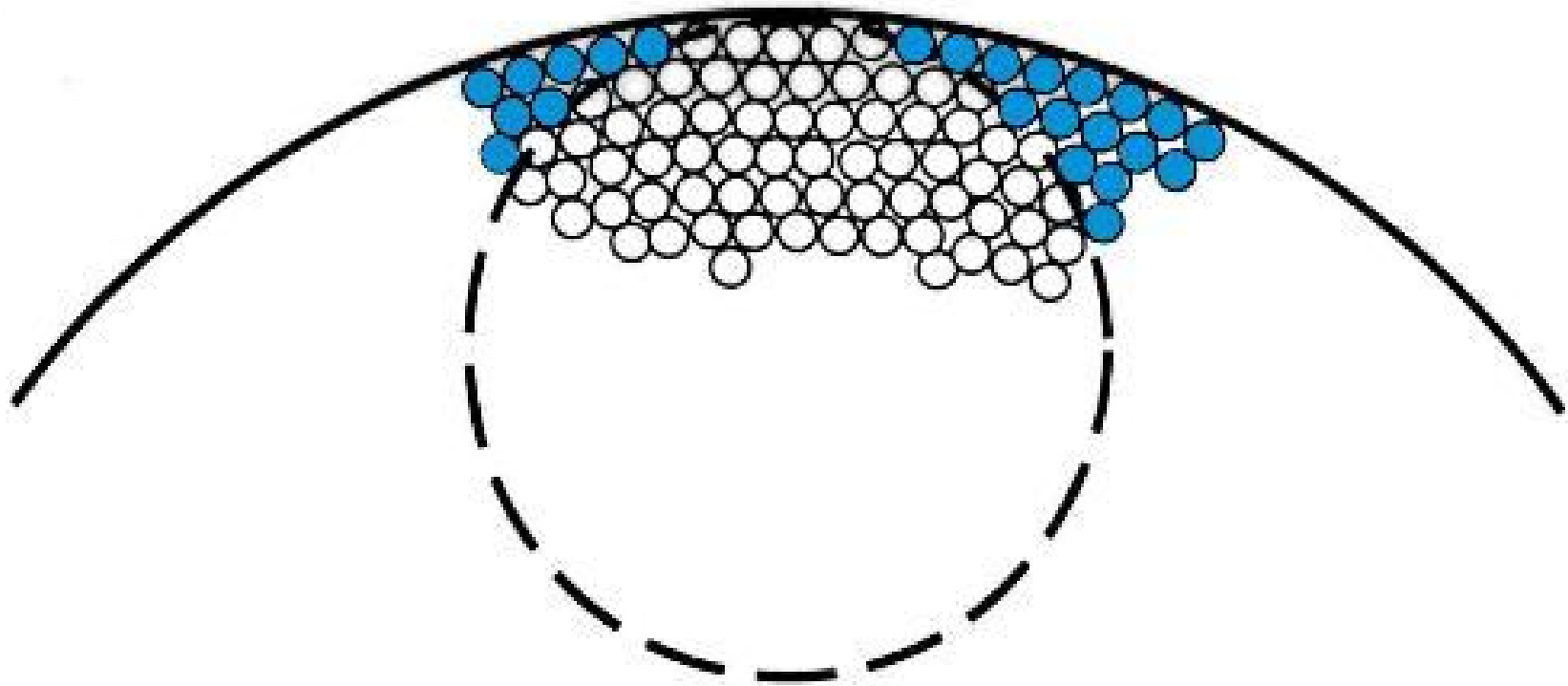


# Aerozole – na nich zachodzi kondensacja

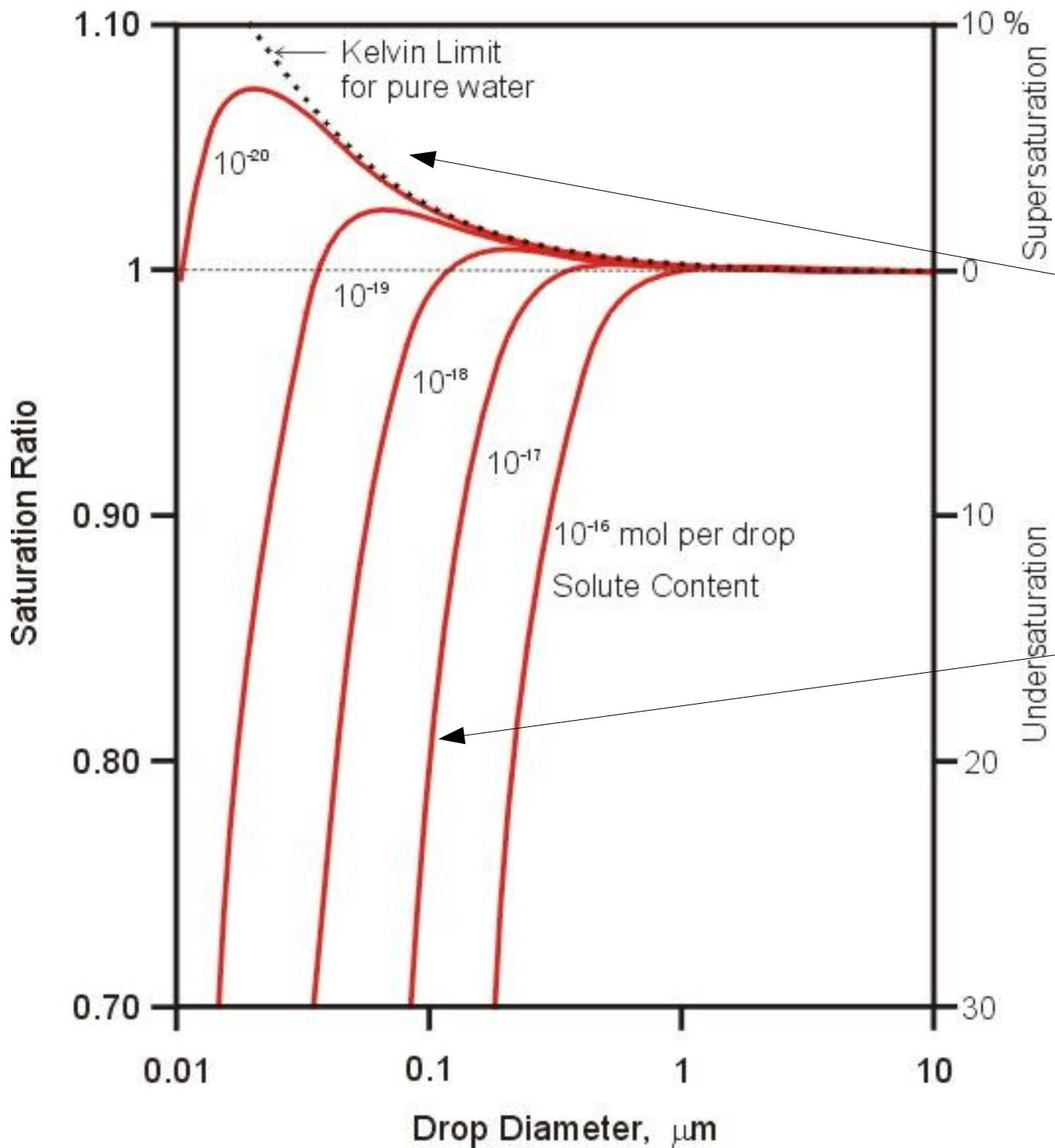


# EFEKT ZAKRZYWIENIA POWIERZCHNI KROPLI

## INTEPRETACJA MOLEKULARNA



# KOEHLER CURVES



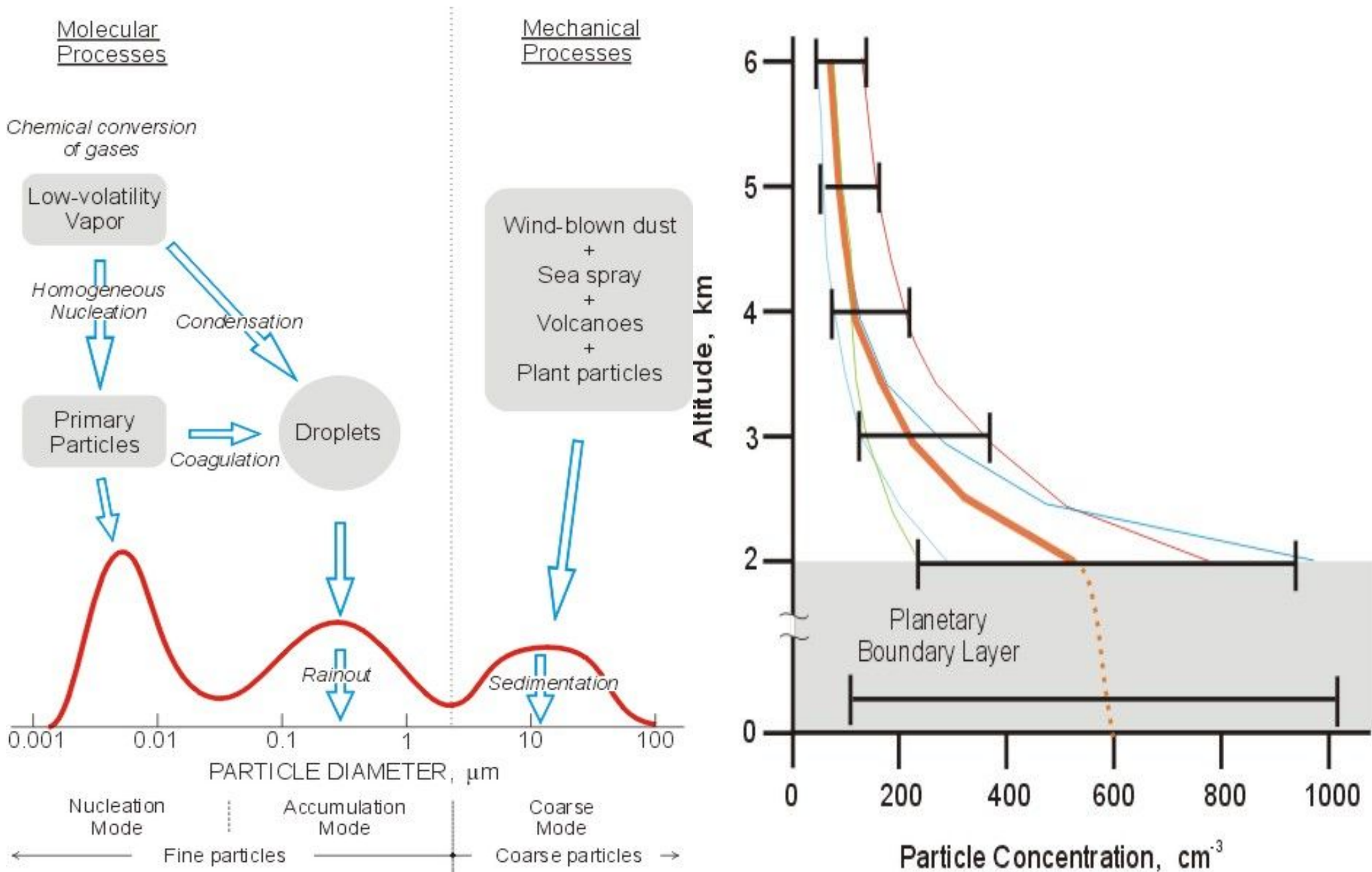
Kondensacja heterogeniczna: :

-efekt zakrzywienia powierzchni – utrudnia kondensację (podwyższają ciśnienie nasycenia pary)

-efekty higroskopowe (sole rozpuszczalne) – obniżają ciśnienie nasycenia pary.



# Aerozole – na nich zachodzi kondensacja.



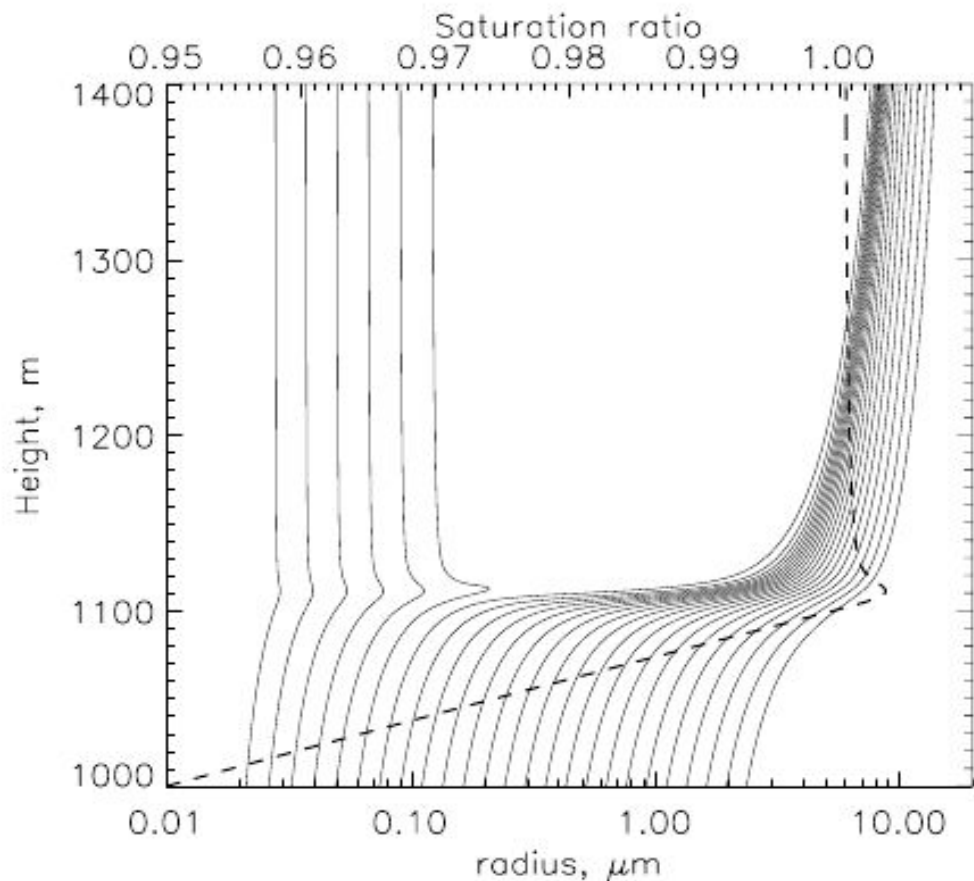


Fig. 4. Simulation showing the change in droplet radius with height in a simulation initialized with an ammonium sulphate aerosol with a geometric mean diameter of 140nm, a geometric standard deviation,  $\sigma$  of 1.7 and aerosol number concentration of  $300 \text{ cm}^{-3}$  (corresponding to a total mass loading of  $0.76 \mu\text{g m}^{-3}$ ). The simulation was started at an RH of 95% at 1000 m. Solid lines represent selected aerosol size classes. The dashed line is the saturation ratio.

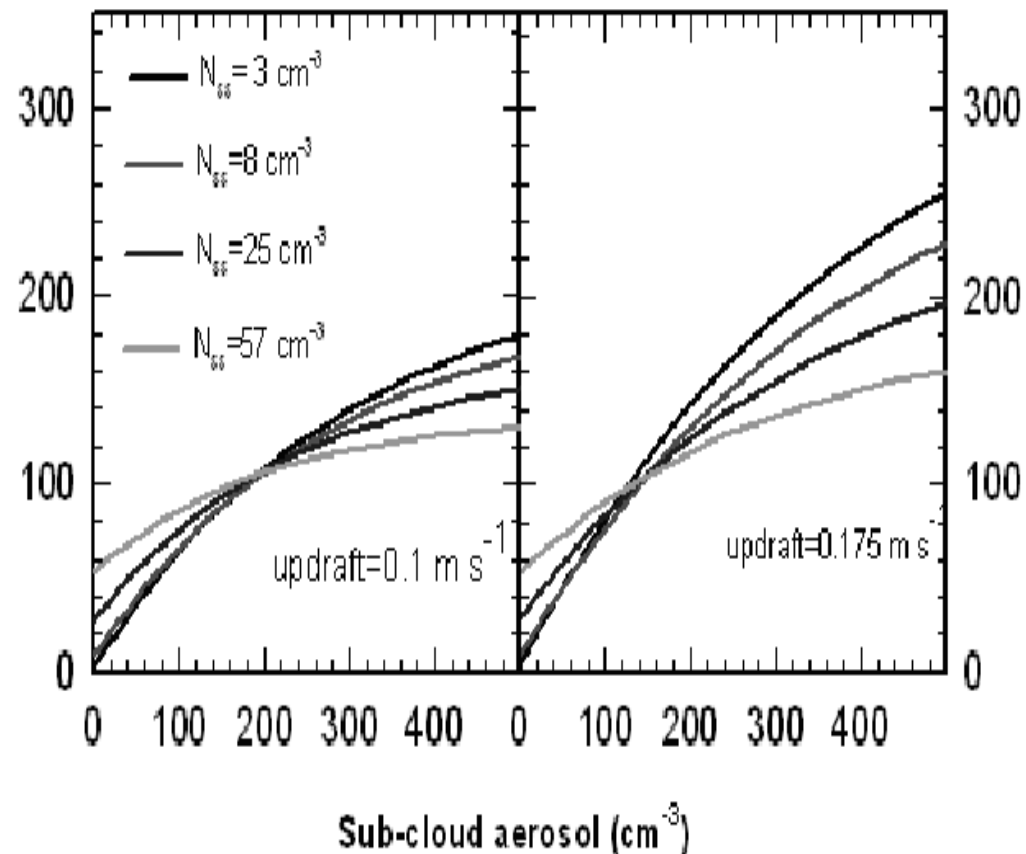


Fig. 5. Cloud droplet concentration as a function of sub-cloud aerosol where the sub-cloud aerosol comprises an external mix of sulphate and sea-salt CCN.

Activation of CCN at cloud base

Umowna granica między  
kropelkami chmury  
i kropelkami deszczu

$$r=100$$

$$v=70$$

Typowe jądro  
kondensacji

$$r=0,1$$

$$n=10^6$$

$$v=0,0001$$

Duże kropelki  
chmury

$$r=50$$

$$n=10^3$$

$$v=27$$

Typowa kropelka  
chmury

$$r=10$$

$$n=10^6$$

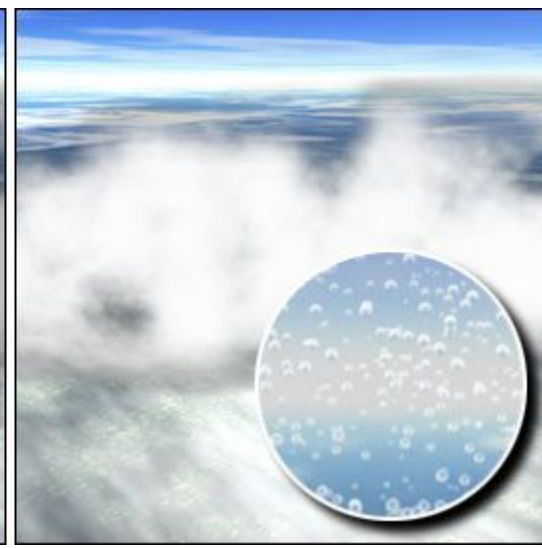
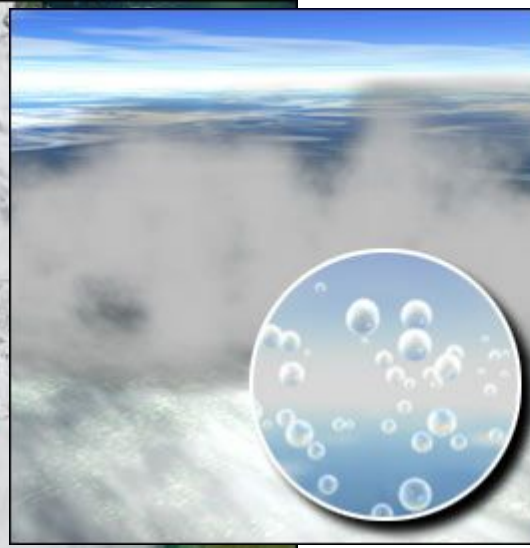
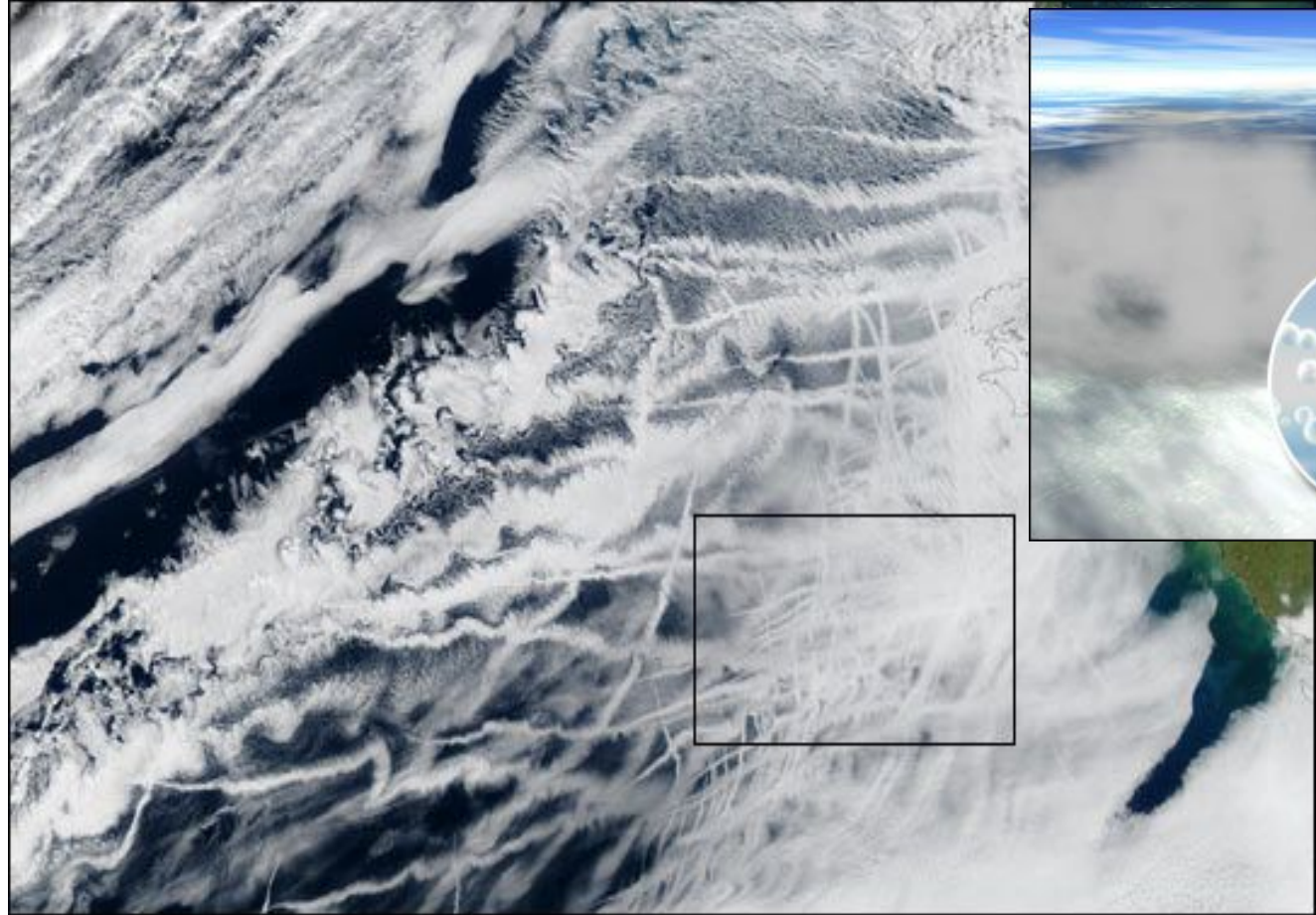
$$v=1$$

*r – promień w mikrometrach*  
*n – liczba cząstek w  $dm^3$*   
*v – prędkość opadania w cm/s*

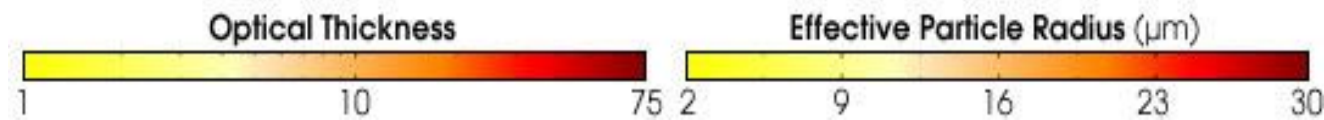
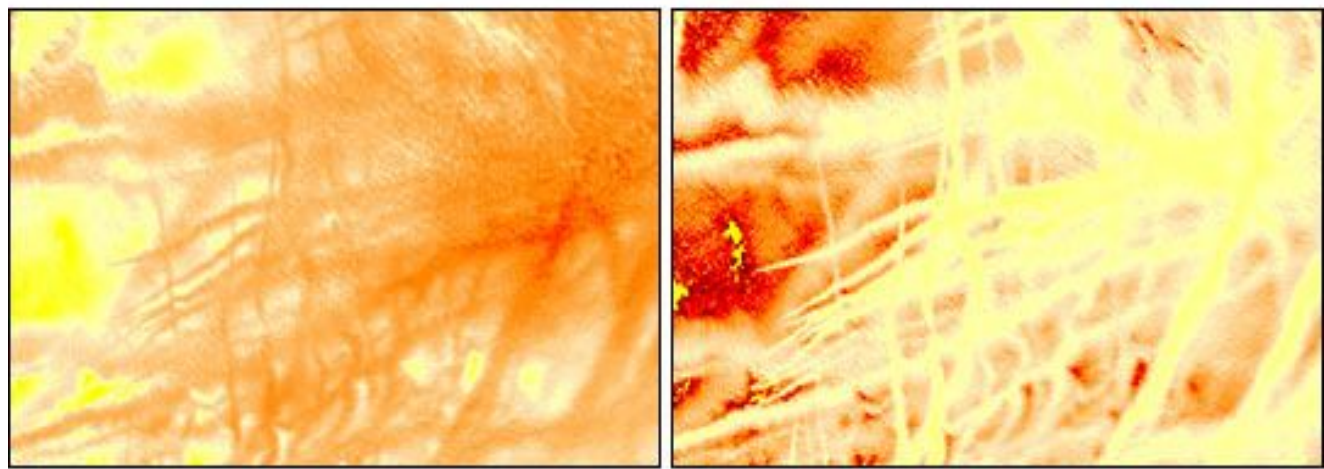
Typowa kropla deszczu  
 $r=1000, n=1, v=650$

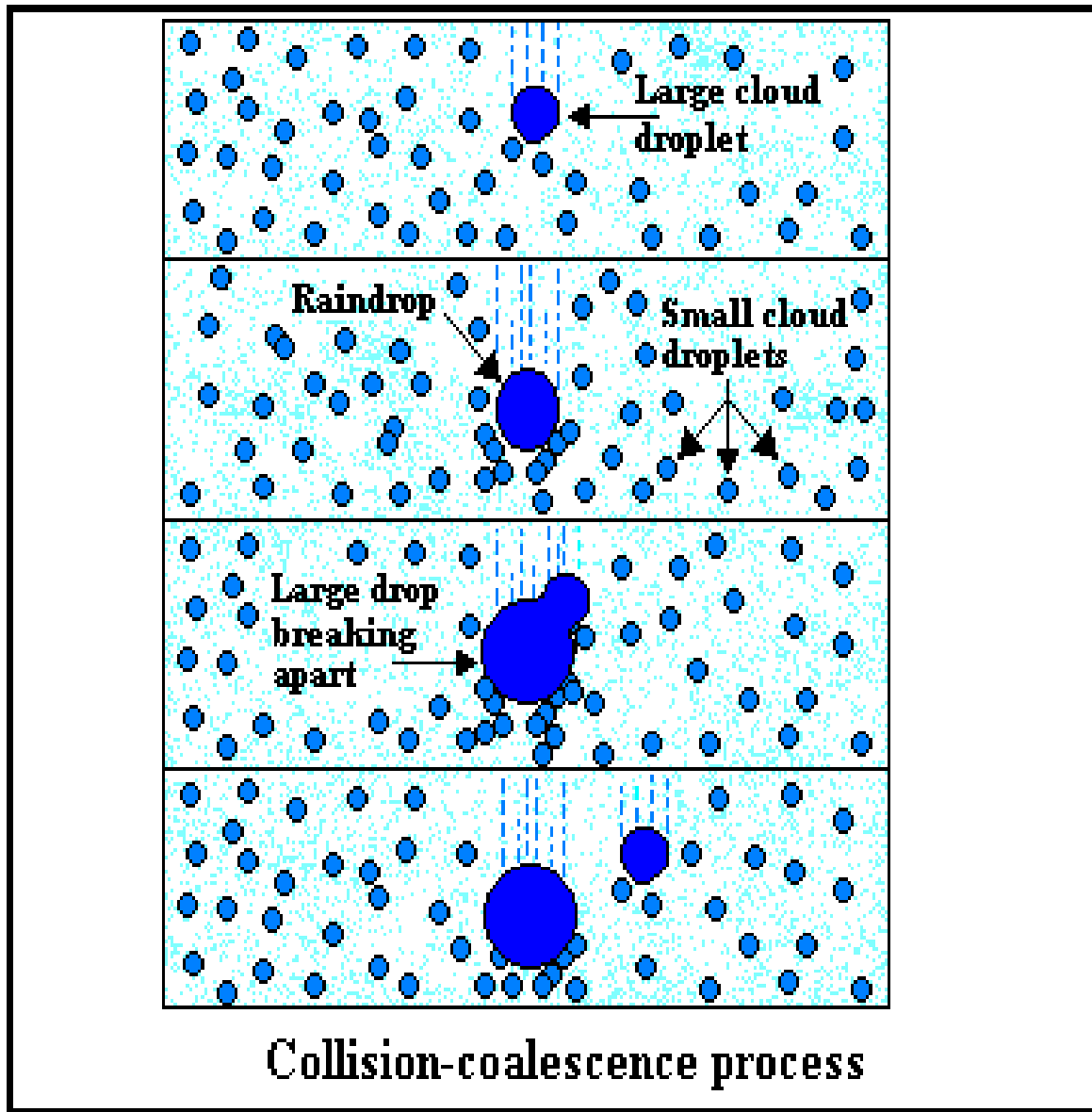
Typowe rozmiary, koncentracja i prędkość opadania  
jąder kondensacji, kropel chmury i kropel deszczu





Wpływ aerozolu na budowę chmur (rozmiar kropelek) i w konsekwencji na ich własności radiacyjne: tzw. pośrednie efekty aerozolowe - pierwszy (albedo) drugi (czas trwania).

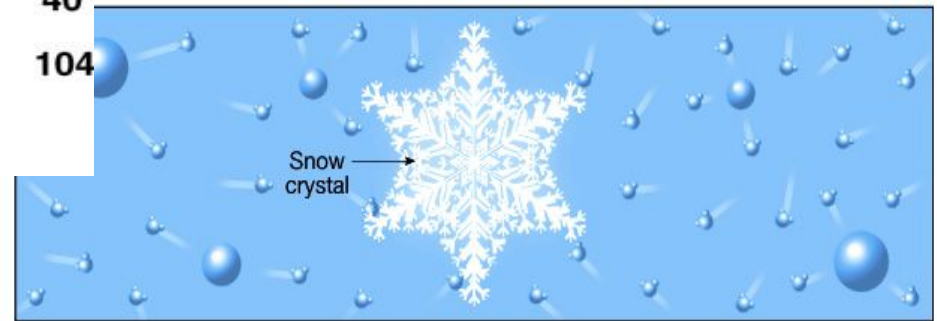
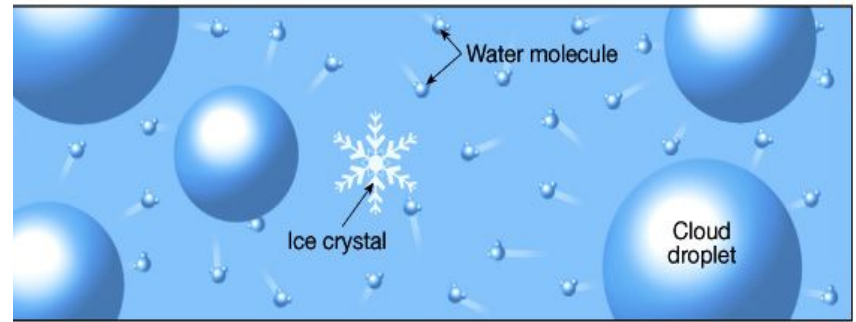
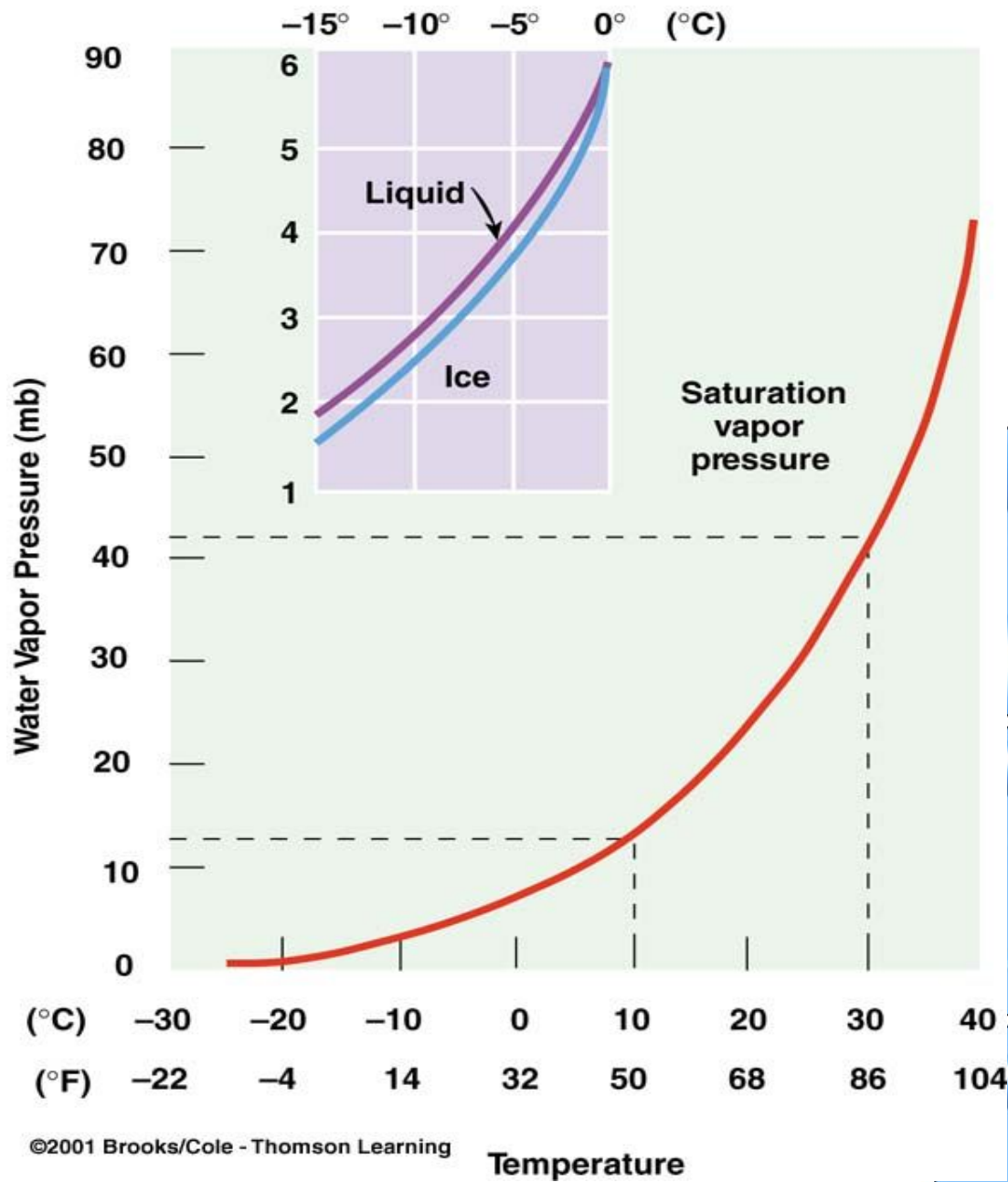




Masa typowej kropli deszczu jest MILION razy większa od masy kropli chmurowej powstałej w wyniku kondensacji.

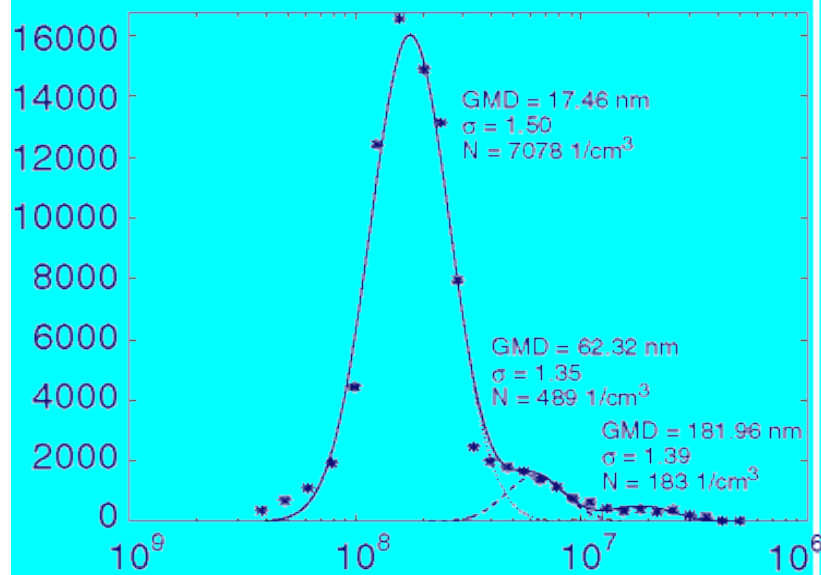
Takie krople opadowe mogą powstać tylko w procesie zderzeń i zlewania się kropli (collision coalescence), ale żeby mógł on zajść potrzebne są na początku krople o zróżnicowanych rozmiarach (różnych prędkościach opadania)!

# Inny mechanizm powstawania opadu: proces Bergerona (Wegenera, Findeisena)



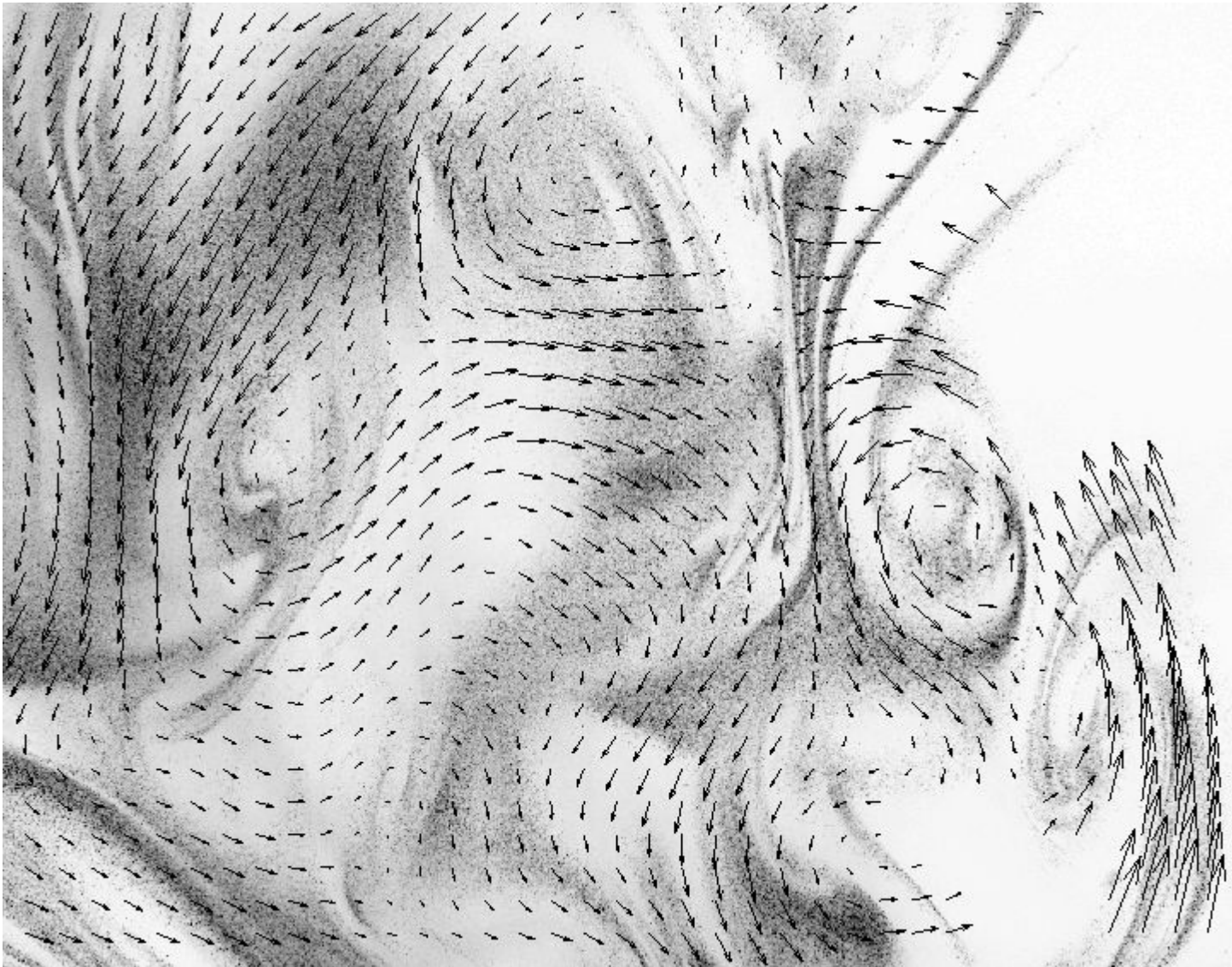


Hyytiälä 13.4.1996 15:39-15:49 p.m.



Jeszcze inny mechanizm:  
gigantyczne jądra  
kondensacji.



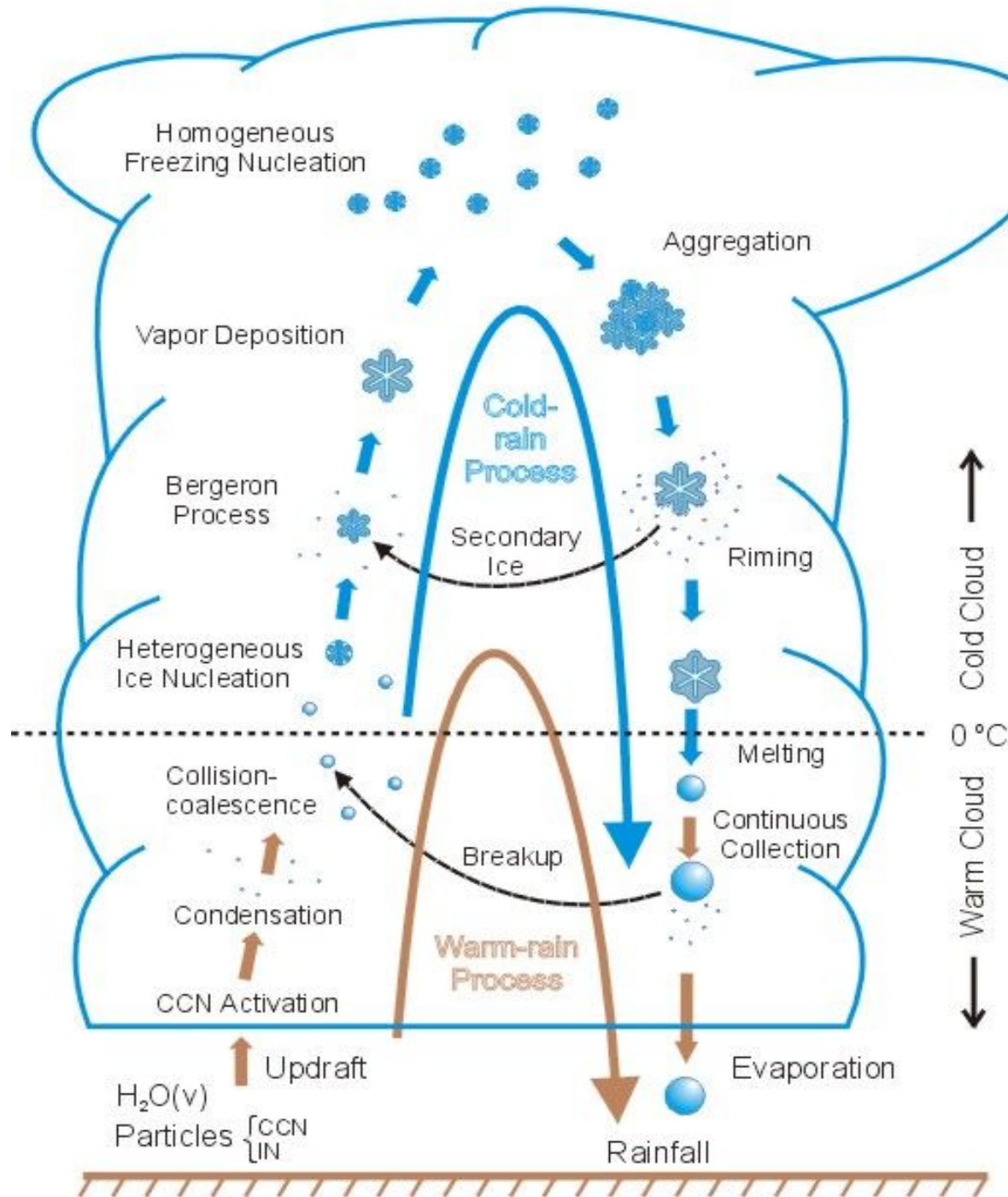


Jeszcze inne  
mechanizmy  
powstawania  
opadu  
związane z  
turbulencją:

preferential  
concentration,

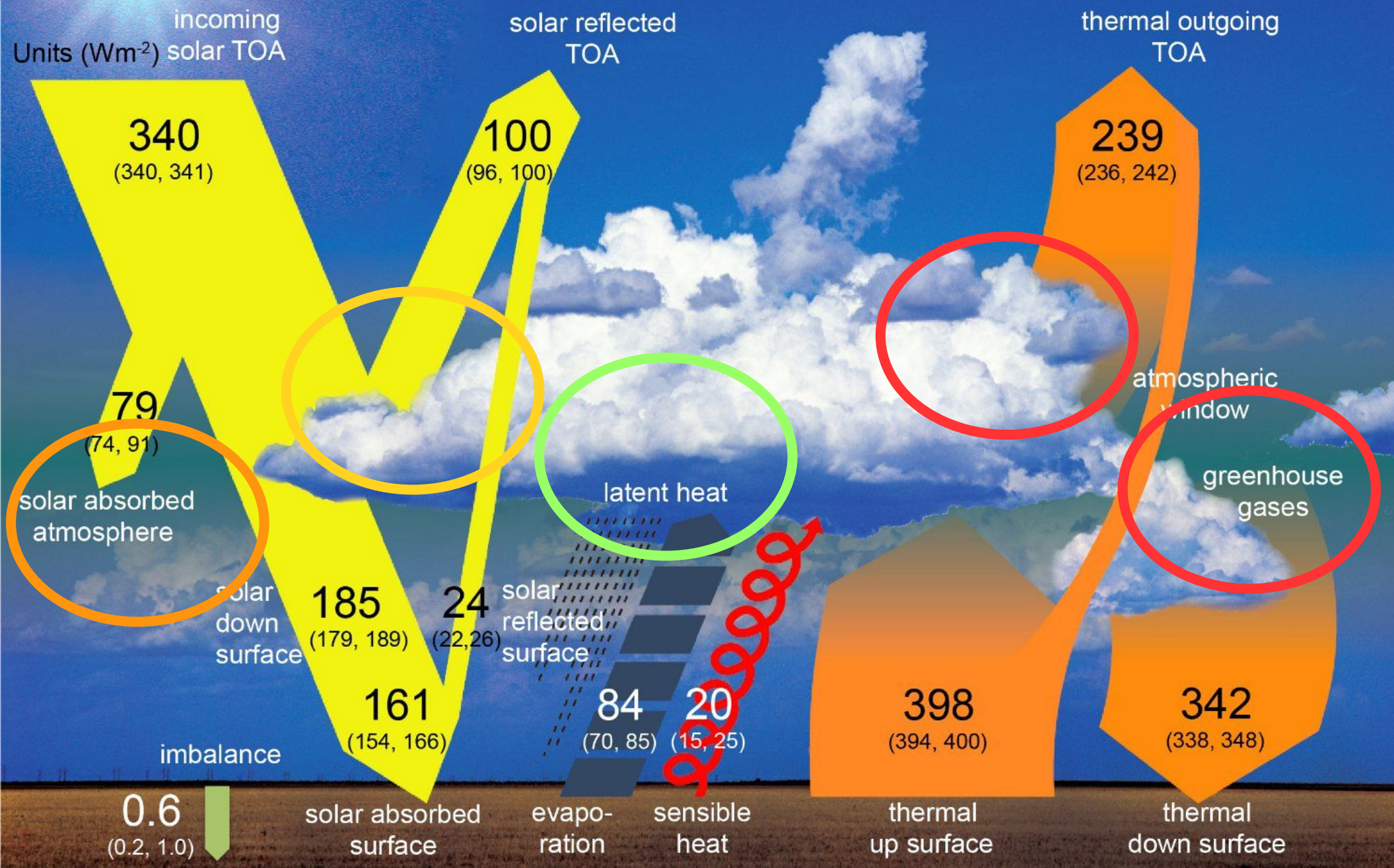
mieszanie  
jednorodne i  
niejednorodne.

# PRECIPITATION MECHANISMS



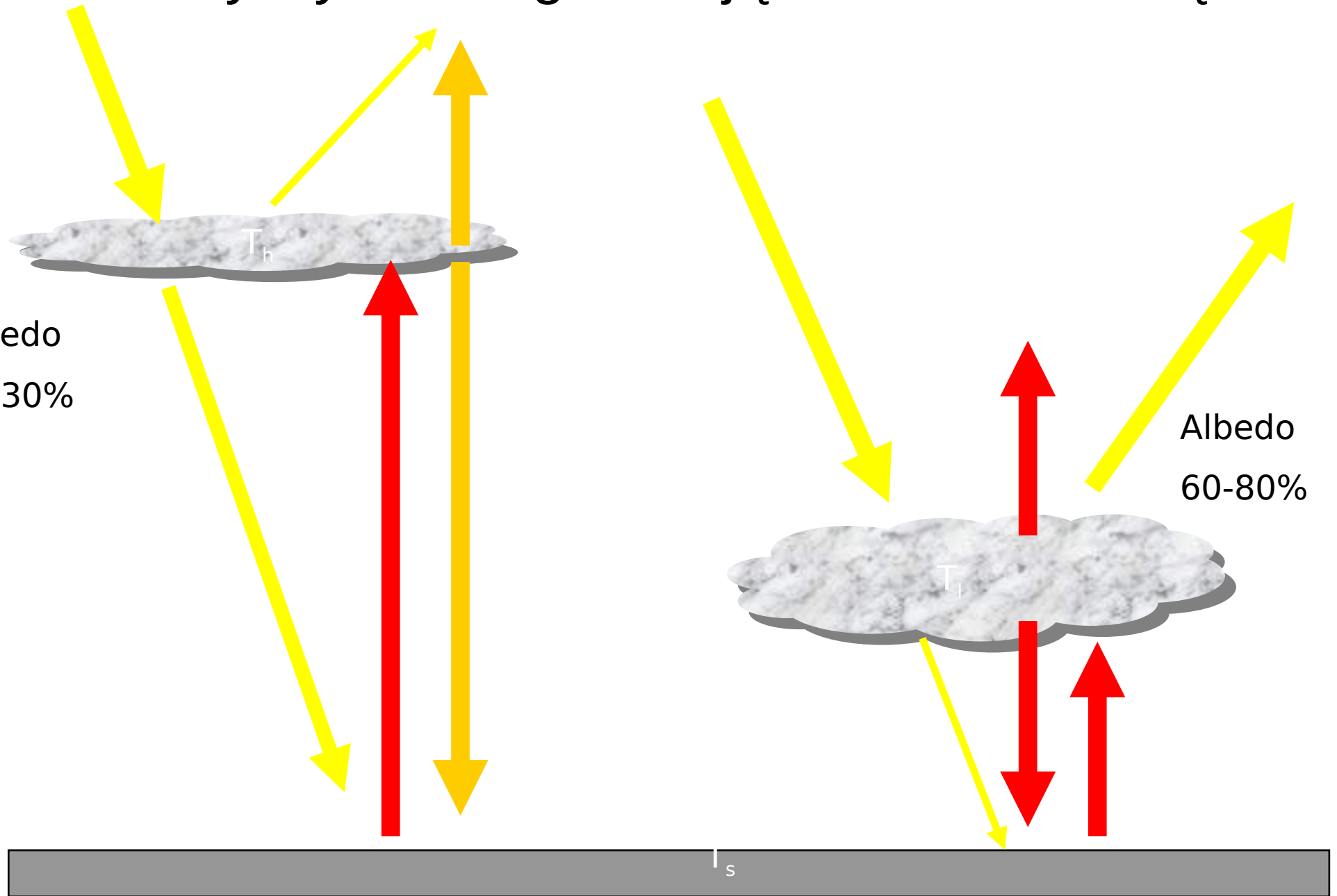
Mechanizmy opadowe





Uśredniony bilans energii systemu klimatycznego. Wartości w  $\text{W/m}^2$ .  
 W nawiasach zakres niepewności i zmienności.

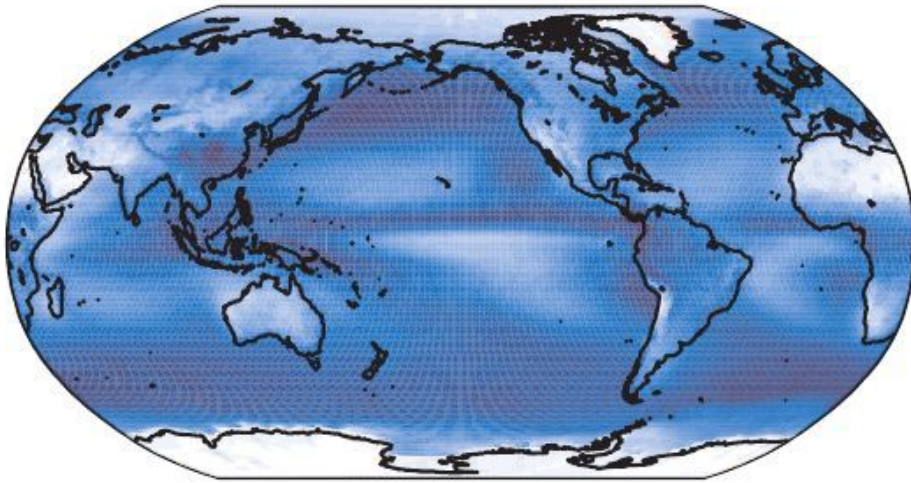
# Chmury wysokie ogrzewają a niskie chłodzą...



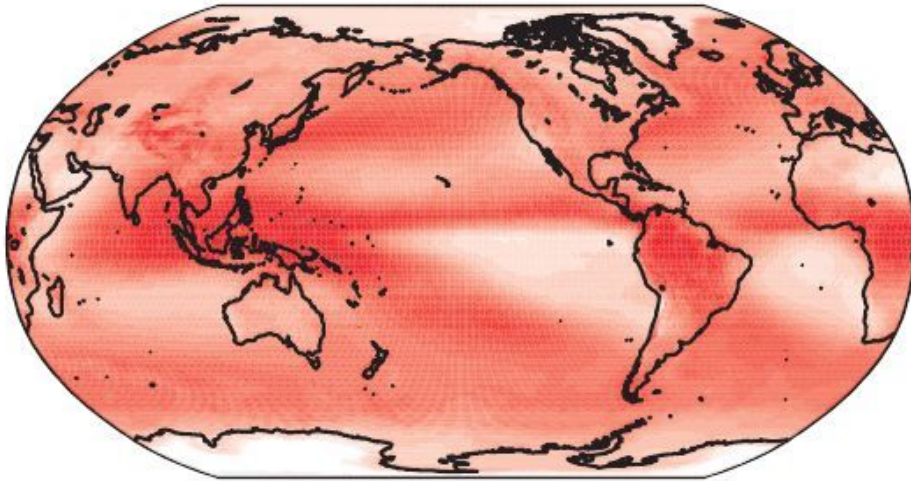
$$T_s \approx T_l \quad T_s \gg T_h$$



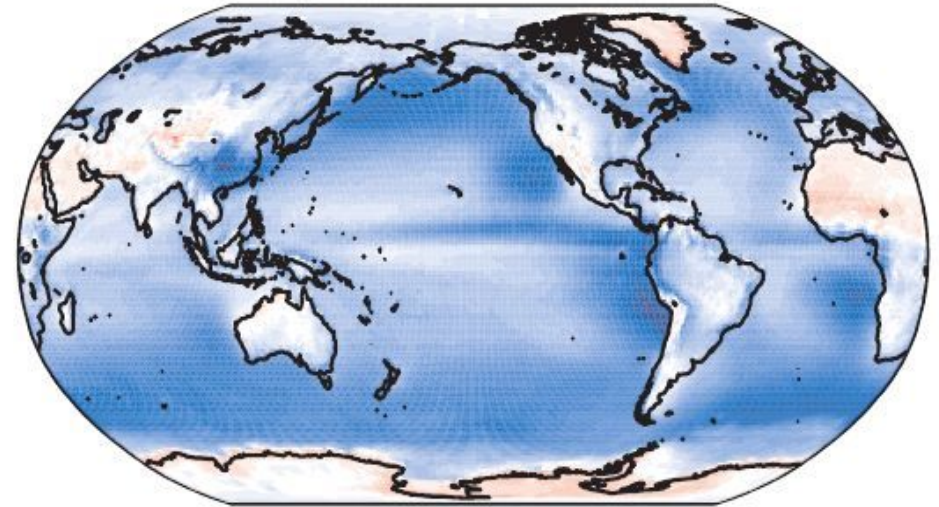
(a) Shortwave (global mean =  $-47.3 \text{ W m}^{-2}$ )



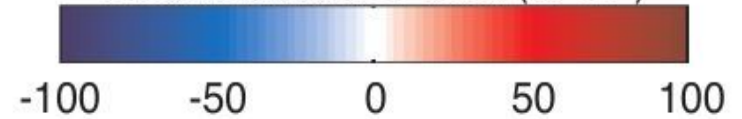
(b) Longwave (global mean =  $26.2 \text{ W m}^{-2}$ )



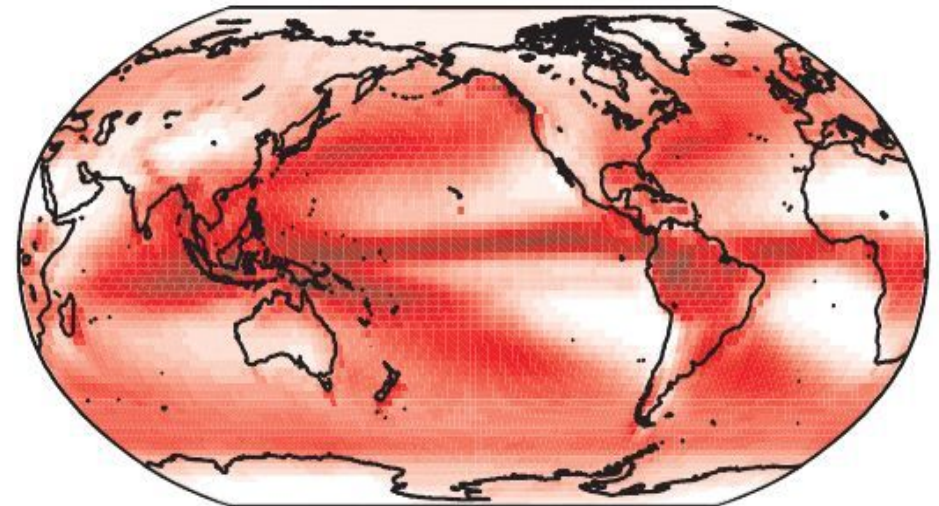
(c) Net (global mean =  $-21.1 \text{ W m}^{-2}$ )



Cloud Radiative Effect ( $\text{W m}^{-2}$ )



(d) Precipitation (global mean =  $2.7 \text{ mm day}^{-1}$ )



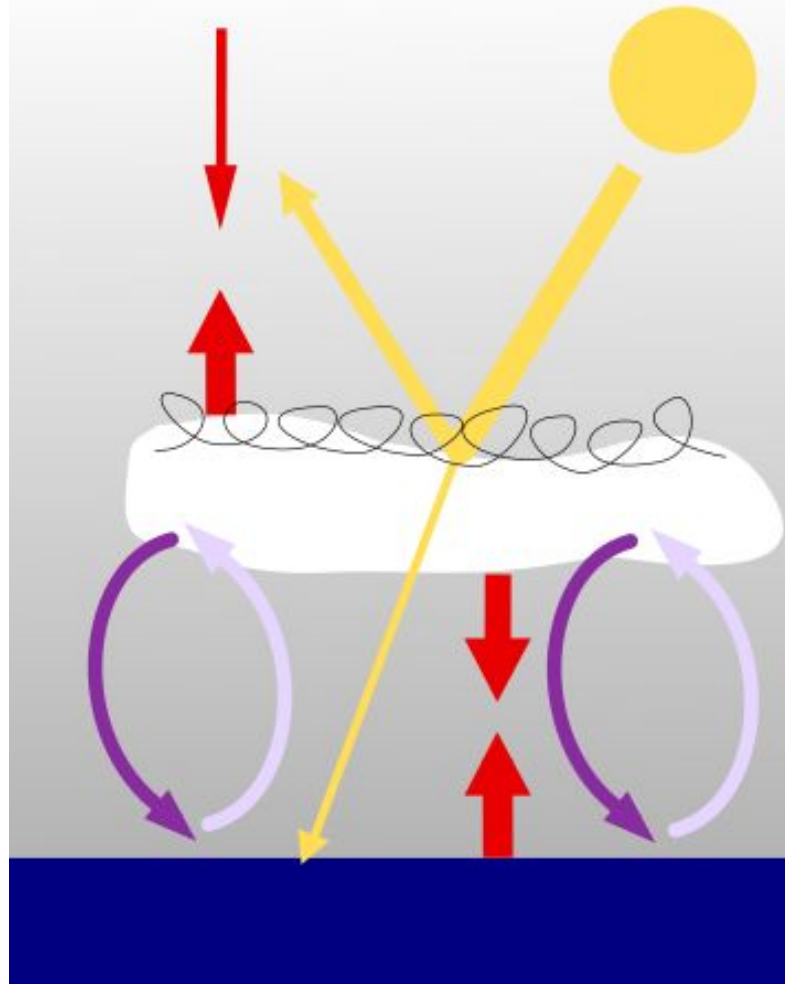
( $\text{mm day}^{-1}$ )



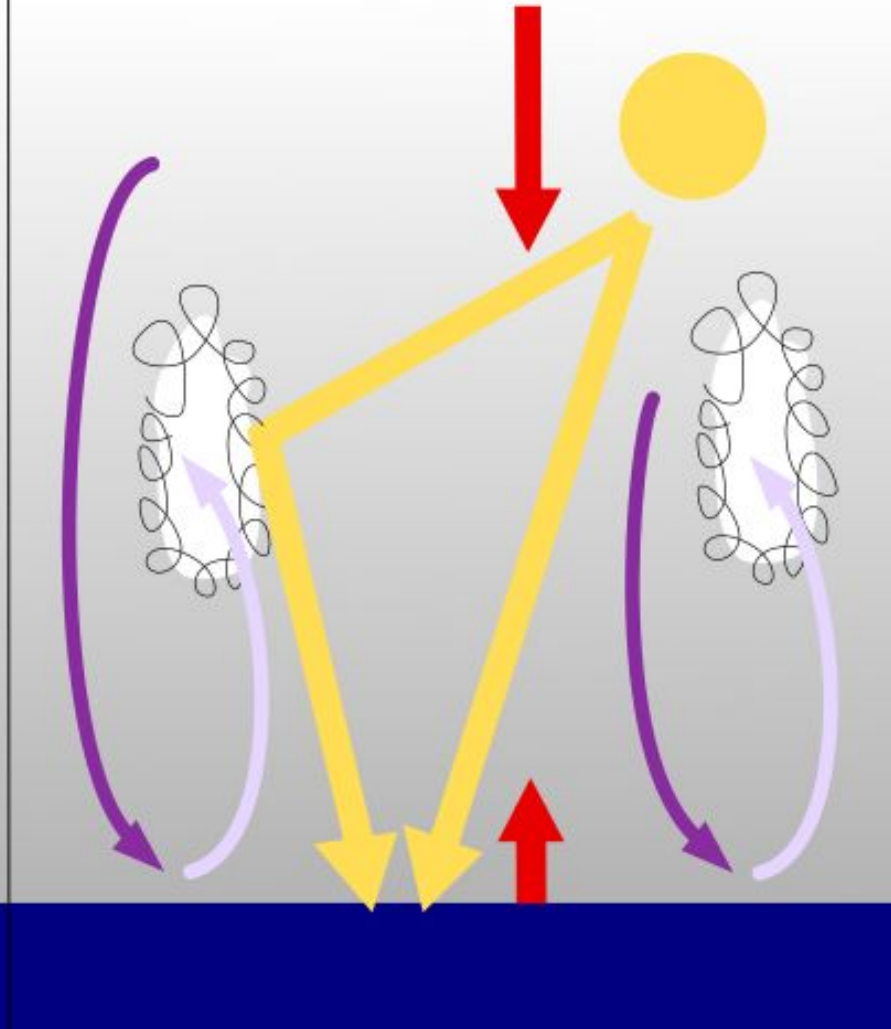
Chmury i ich rola w procesach radiacyjnych i klimatycznych



400 ppm CO<sub>2</sub>



1600 ppm CO<sub>2</sub>



Schemat zmian w bilansie energii i własnościach morskiej warstwy granicznej atmosfery nakrytej chmurą stratocumulus w sytuacji, gdy koncentracja CO<sub>2</sub> w atmosferze wzrosła z wartości obecnych (ok. 400 ppm) do ok. 1600 ppm. (przyszłe stulecie w scenariuszu Biznes-jak-zwykle) Proste żółte linie ze strzałkami schematycznie pokazują bilans promieniowania słonecznego, czerwone – promieniowania podczerwonego (cieplnego). Fioletowe strzałki ilustrują transport konwekcyjny (mieszanie wskutek konwekcji) w dolnych warstwach atmosfery: pokazują, że przy konwekcji stratocumulusowej wymiana pary wodnej i wody ograniczona jest do płytkiej warstwy pokrytej chmurami, w przeciwieństwie do sytuacji z konwekcją cumulusową, gdzie mieszanie i transport pary wodnej z powierzchni oceanu obejmuje znacznie głębszy obszar..

# „Wybielanie” chmur stratocumulus dla schładzania planety?

