UNIWERSYTET WARSZAWSKI

CHMURY Z BLISKA

Szymon Malinowski

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

NAUKA O KLIMACIE
DLA SCEPTYCZNYCH

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:

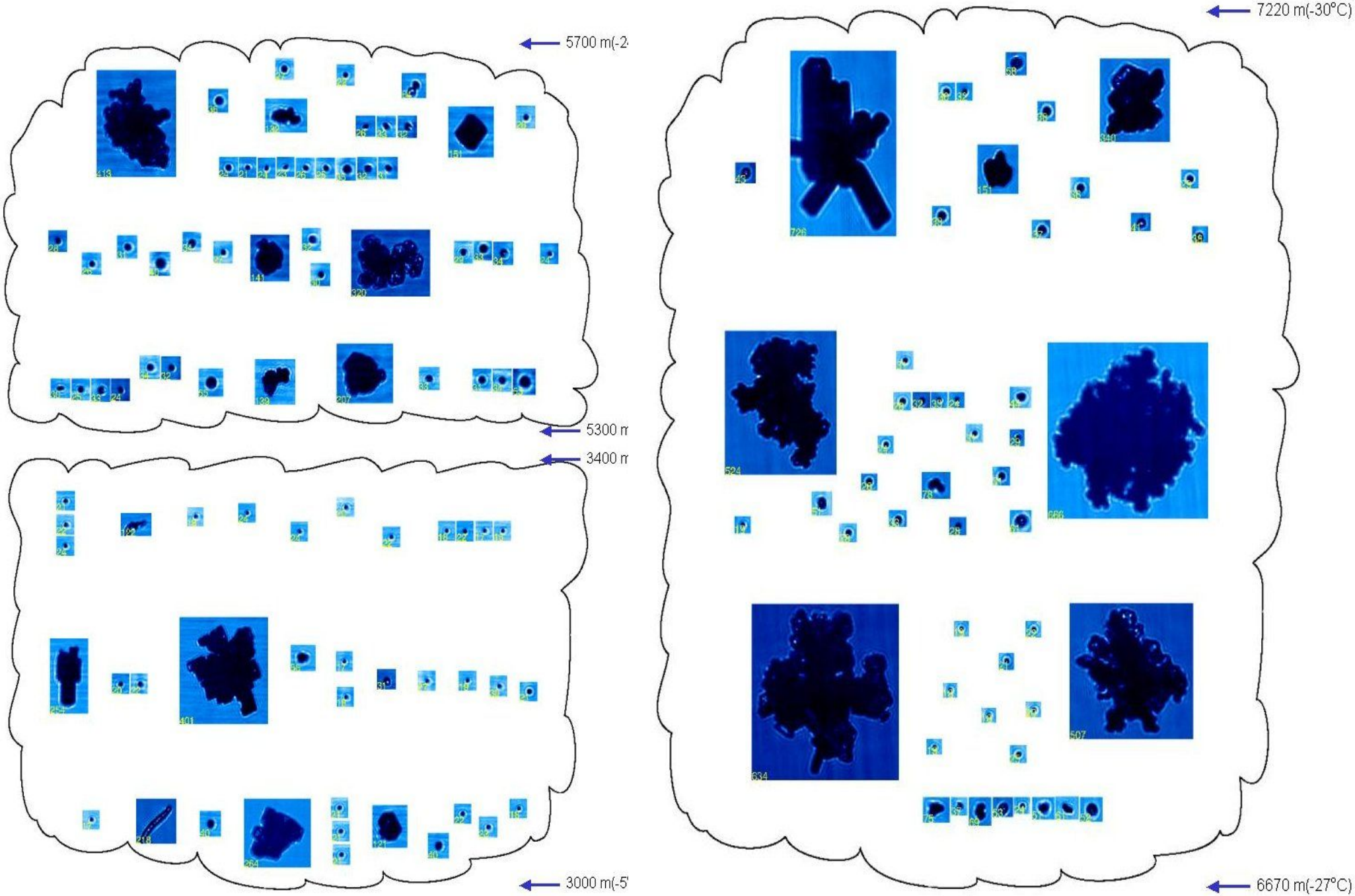
– ciepłych – składających się wyłącznie z kropel wody (ang. warm clouds),

– 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.



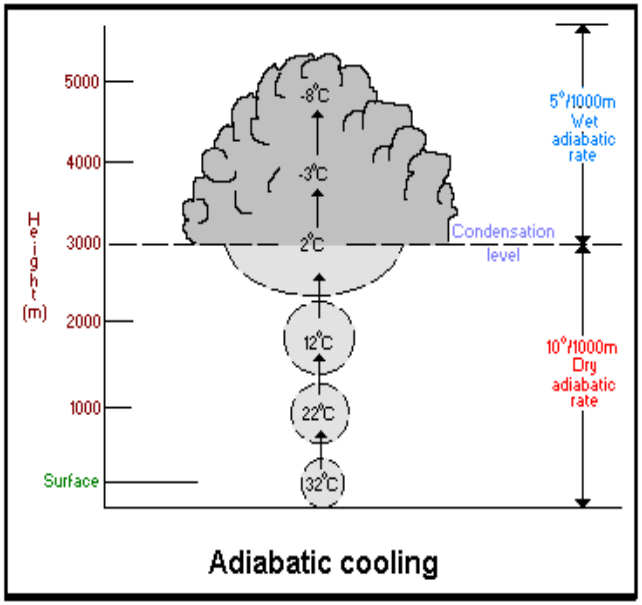
Cząstki chmurowe na różnych wysokościach zabserwowane w warunkach naturalnych przyrządem CPI (Cloud Particle Imager, SPEC Inc.)

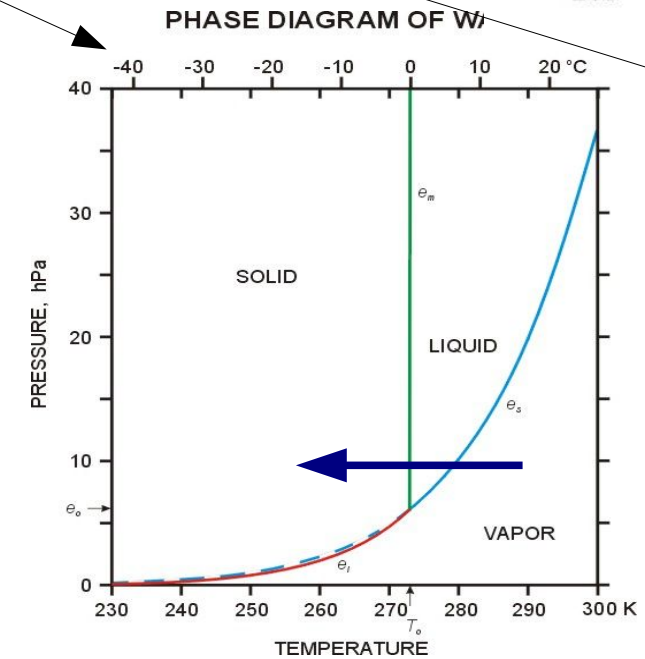
Procesy fizyczne prowadzące do kondensacji:

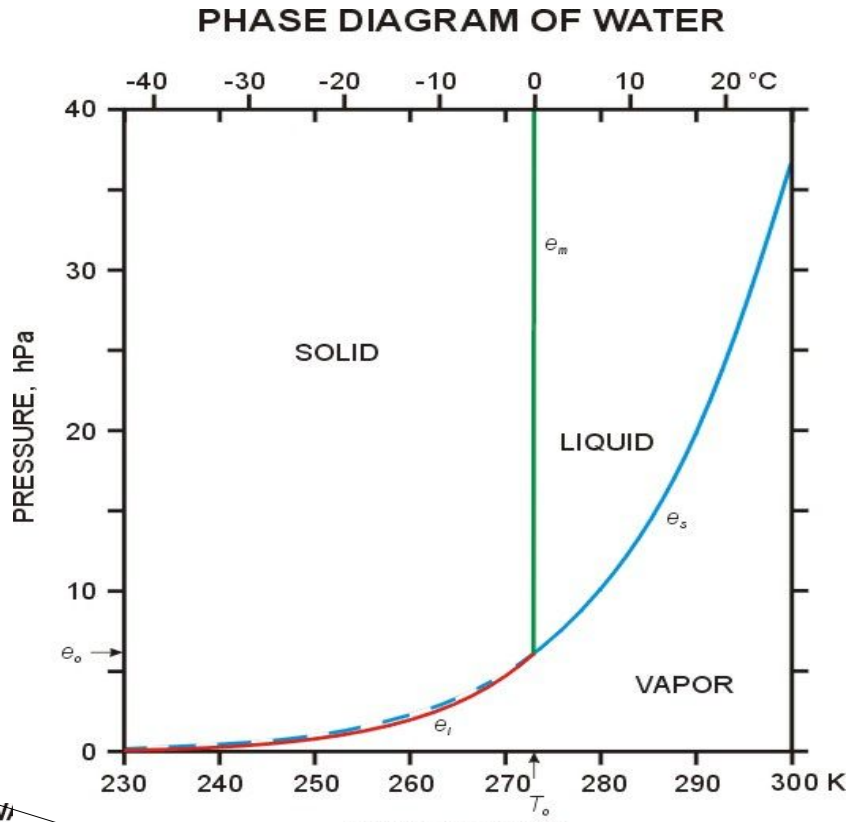
Rozprężanie adiabatyczne (np. w ruchach wstępujących)

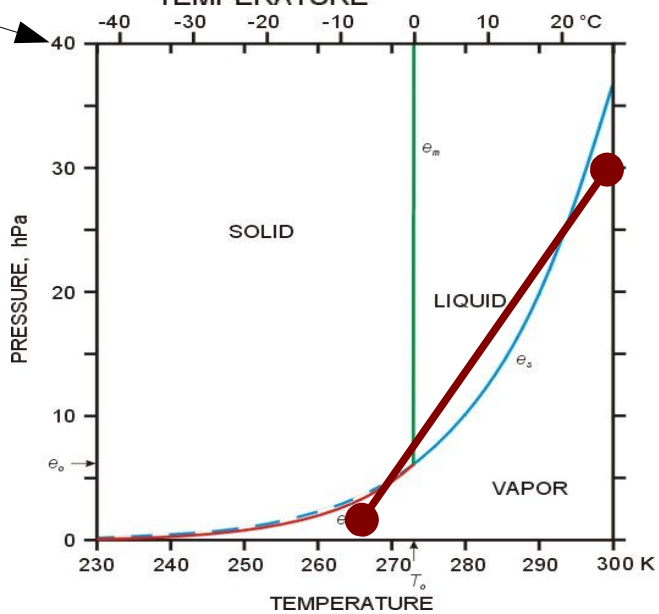
Ochładzanie izobaryczne (radiacyjne, przez przewodnictwo);

Mieszanie izobaryczne..

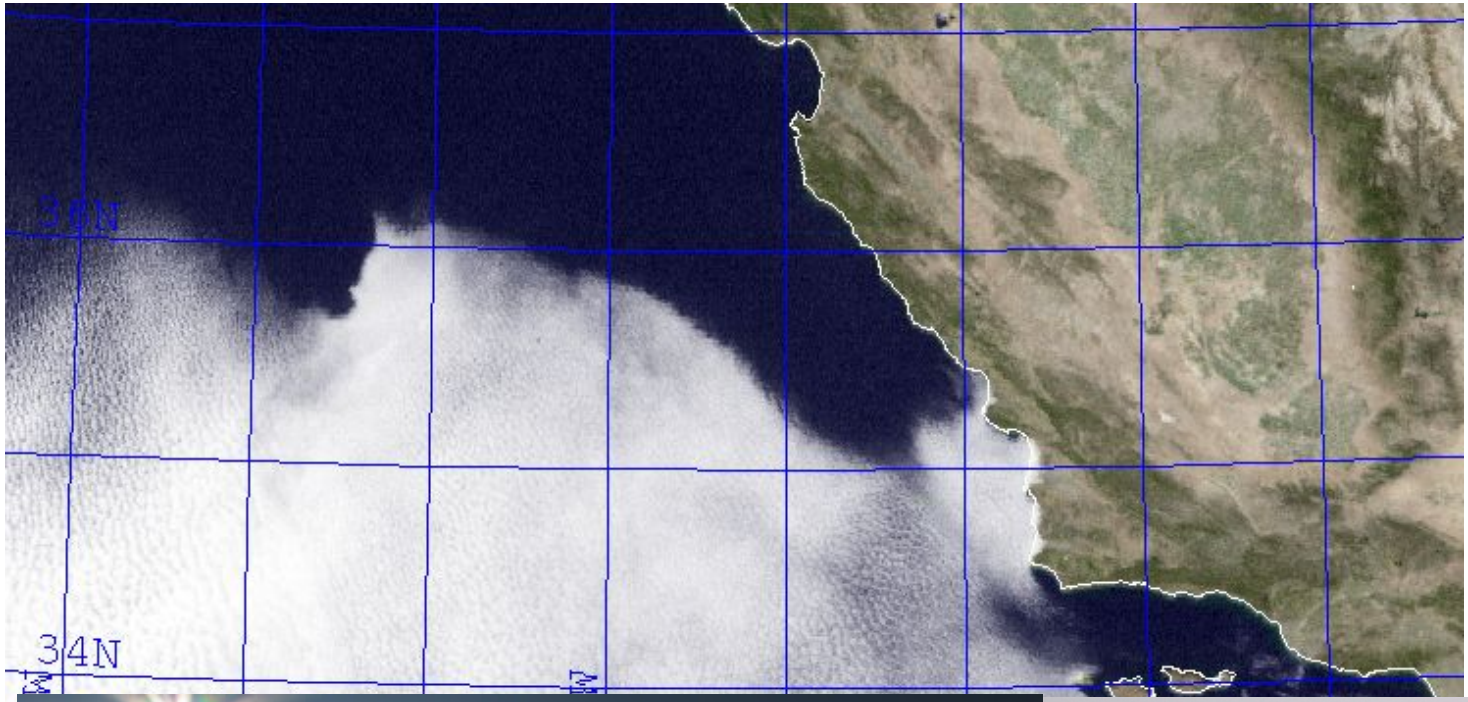








Formowanie się chmur wskutek adiabaty-cznego spadku ciśnienia.

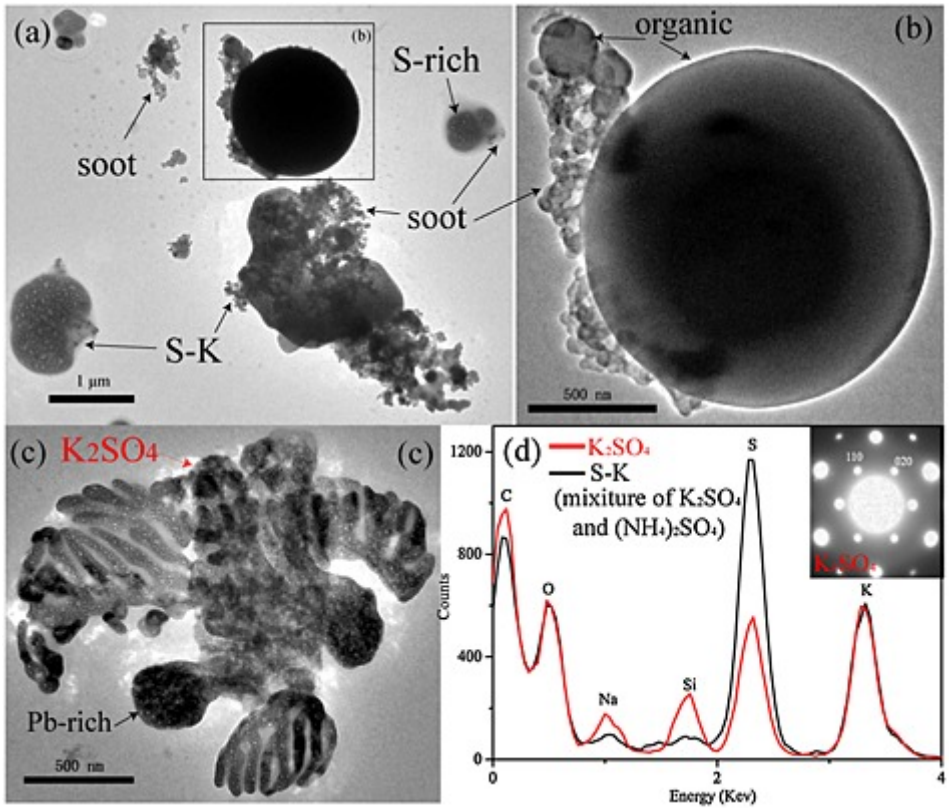


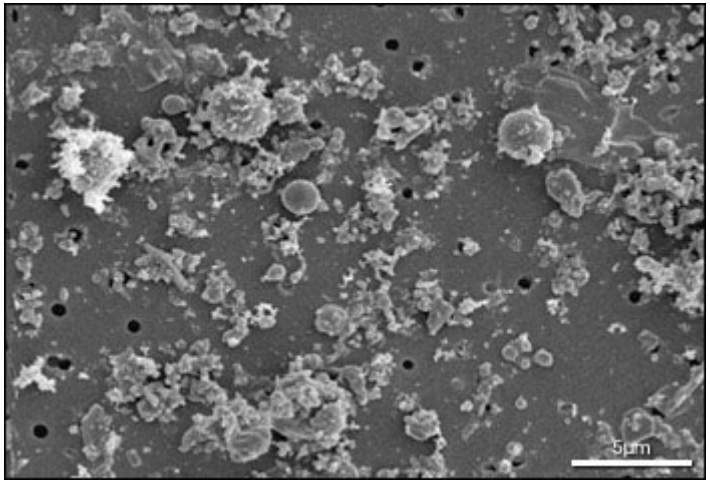
Powstawanie chmur
wskutek ochładzania
izobarycznego

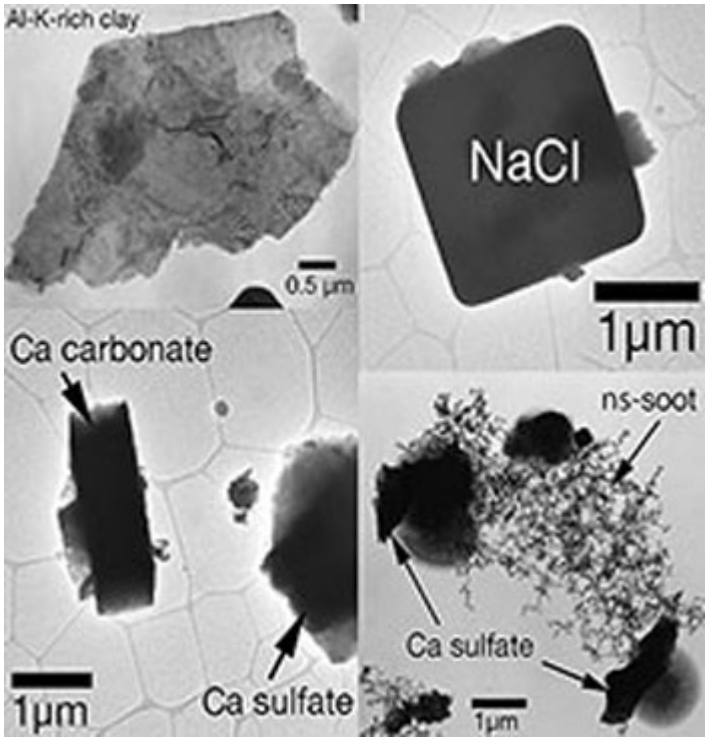
(na ogół wskutek
wypromieniowania w
podczerwieni).

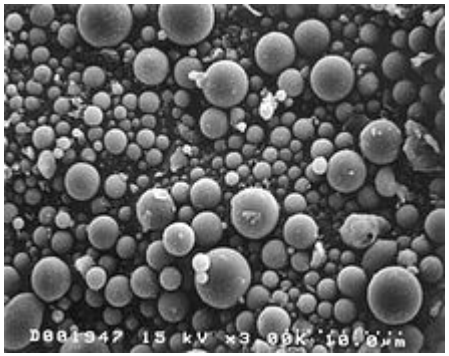
Powstawanie chmur wskutek mieszania izobarycznego dwóch mas powietrza o różnych temperaturach.

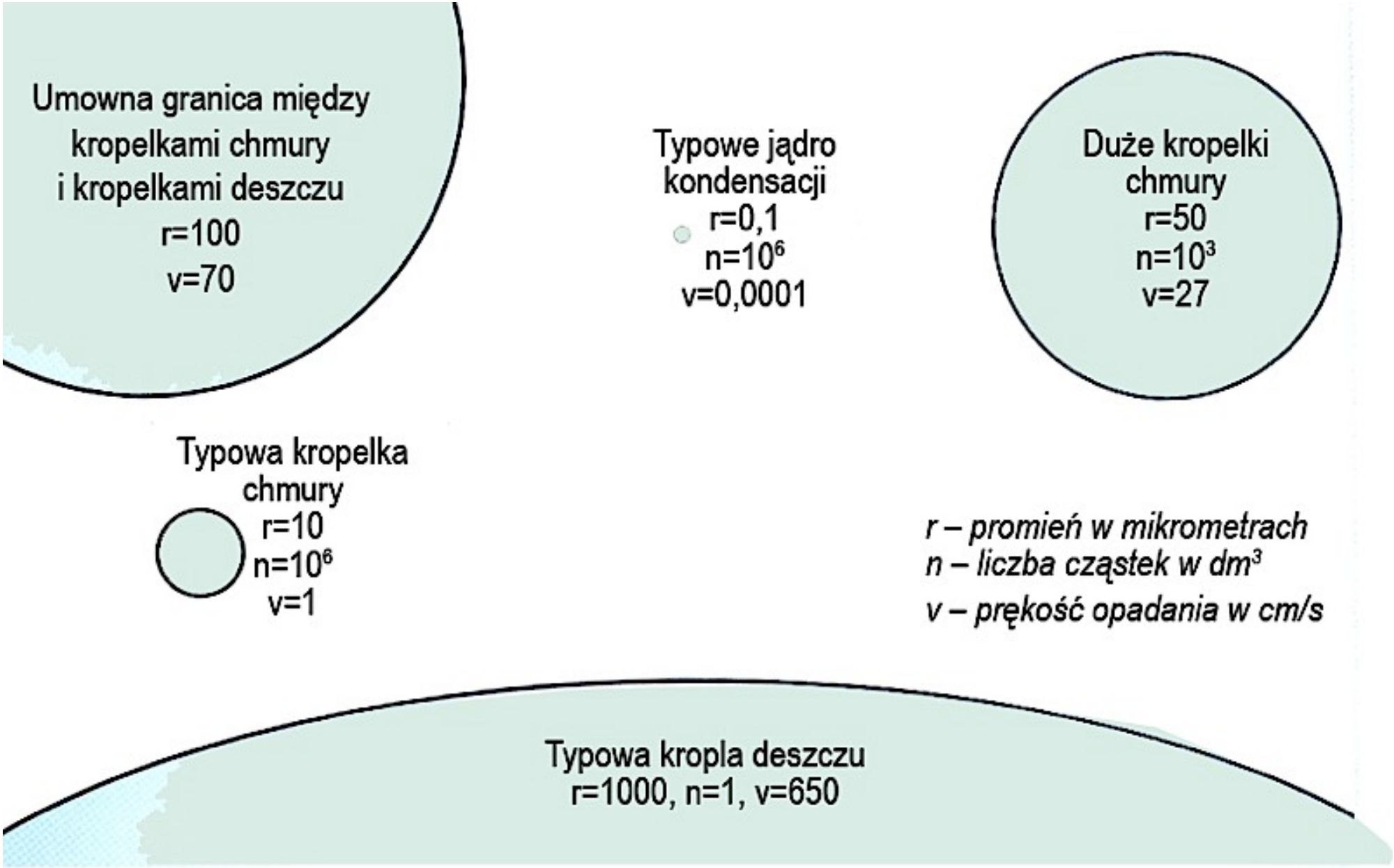
Aerozole – na nich zachodzi kondensacja



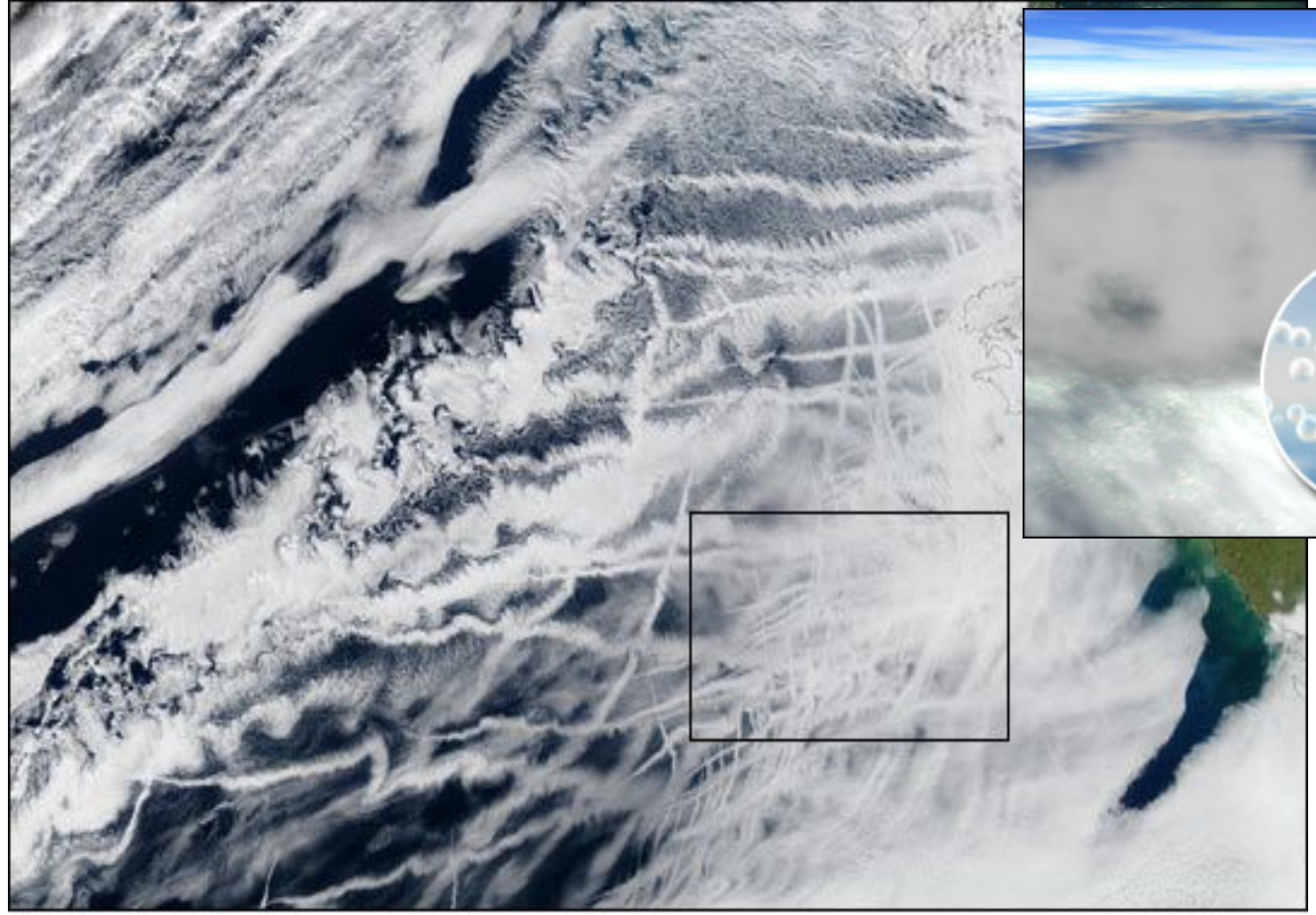




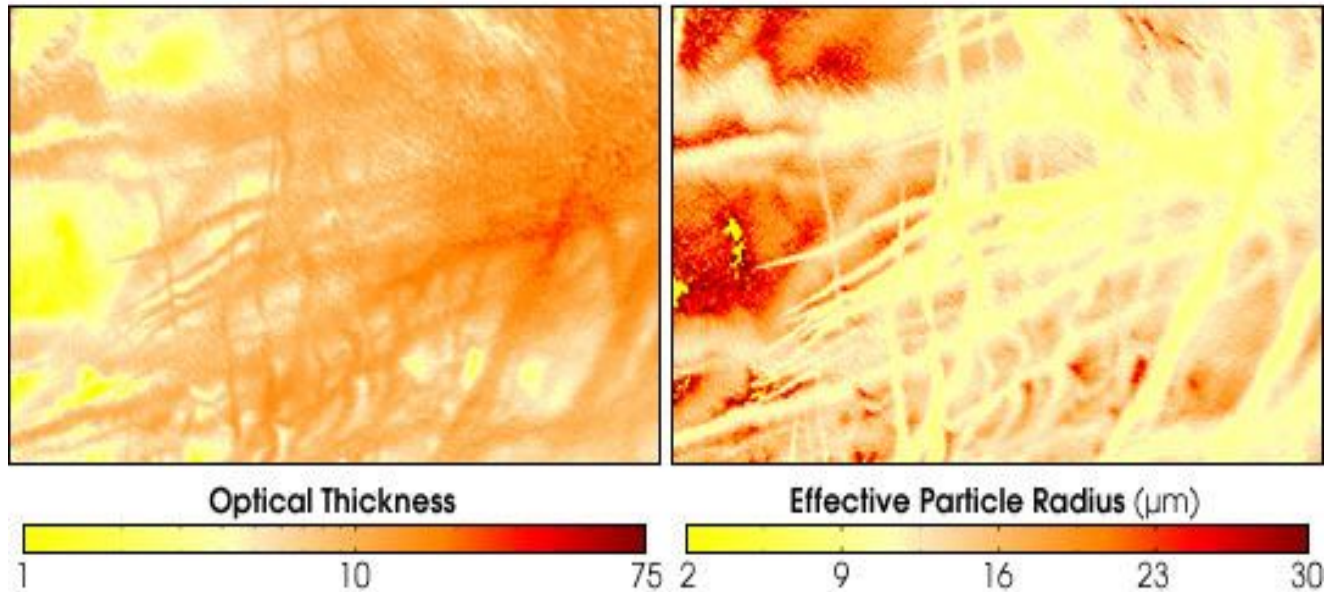


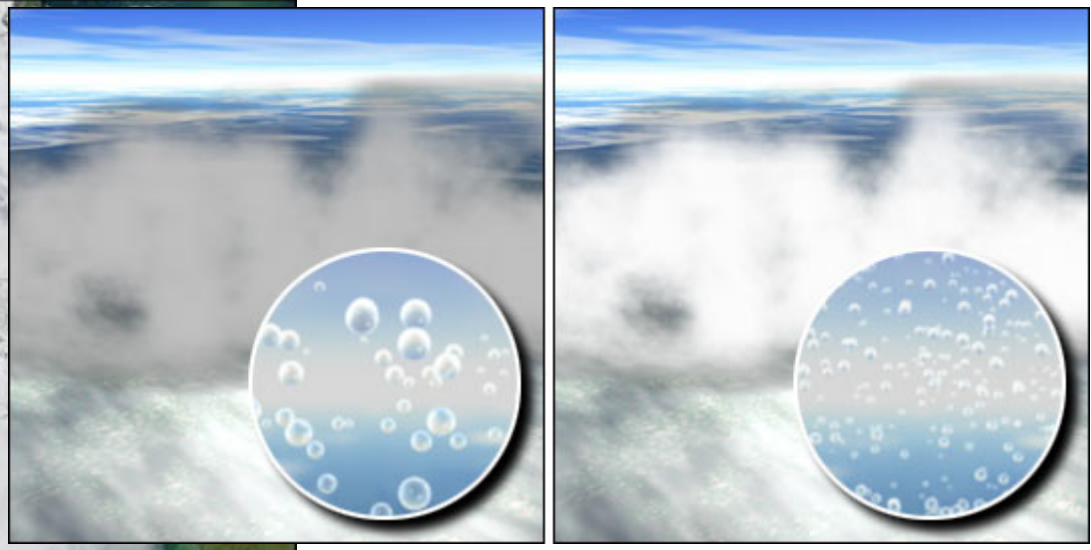


Typowe rozmiary, koncentracja i prędkość opadania
jąder kondensacji, kropel chmury i kropel deszczu

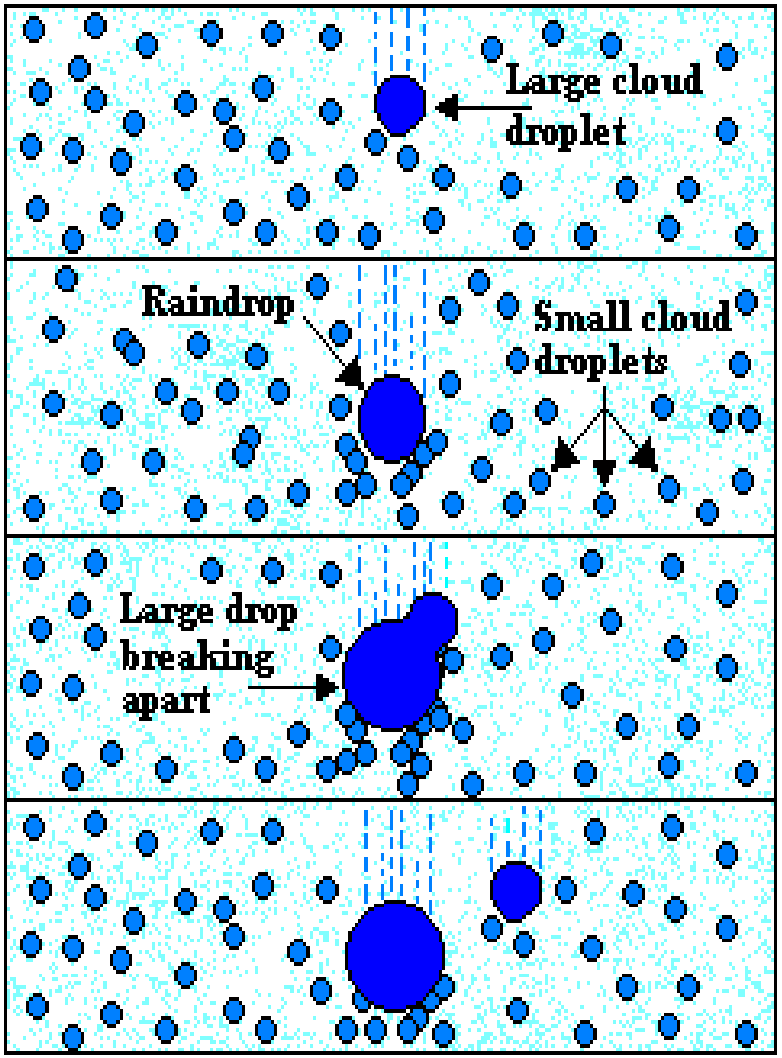


True Color





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

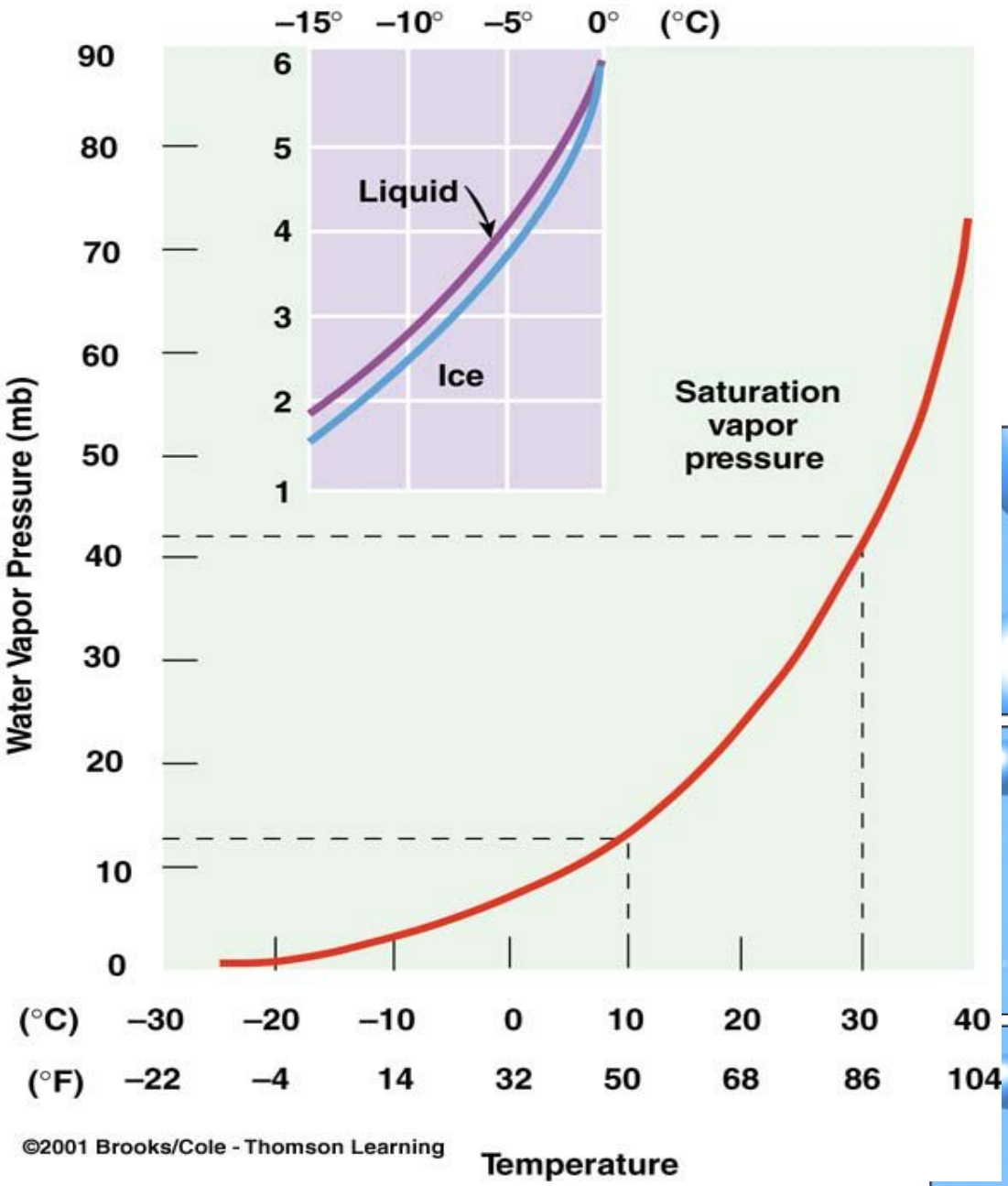


Collision-coalescence process

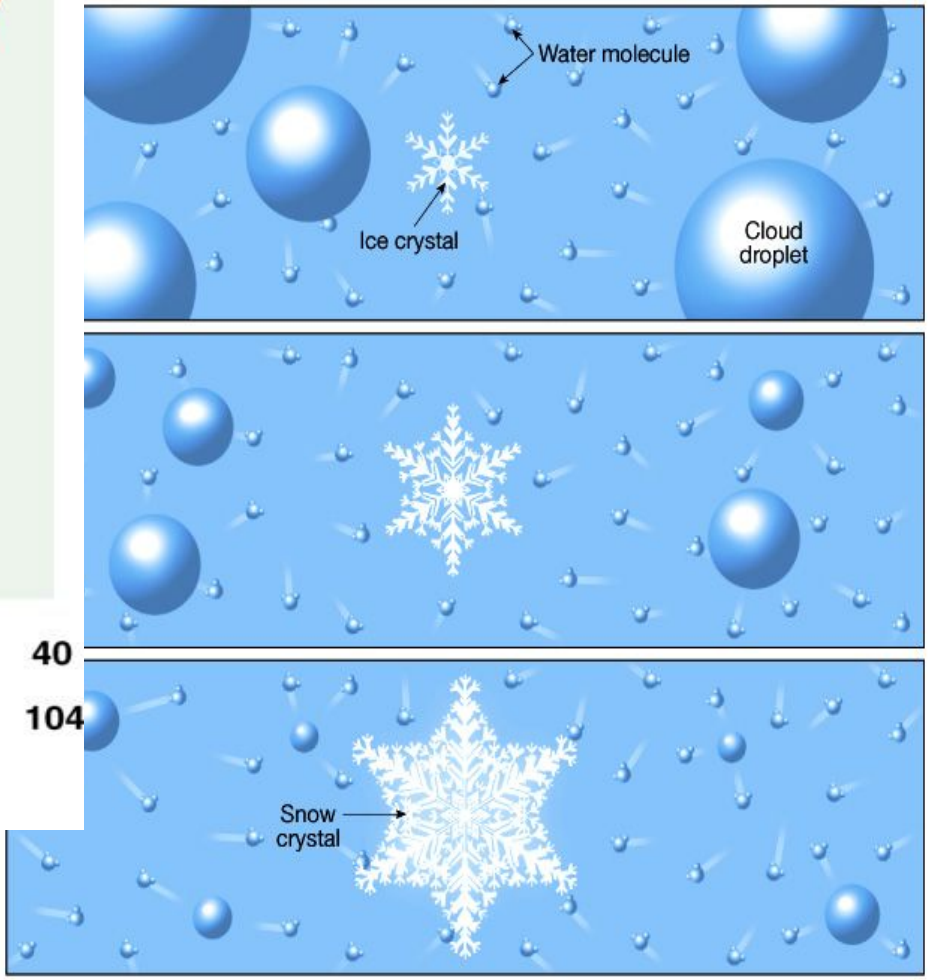
Masa typowej kropli deszczu jest MILION razy większa od masy kropli chmurowej powstałej w wyniku kondensacji.

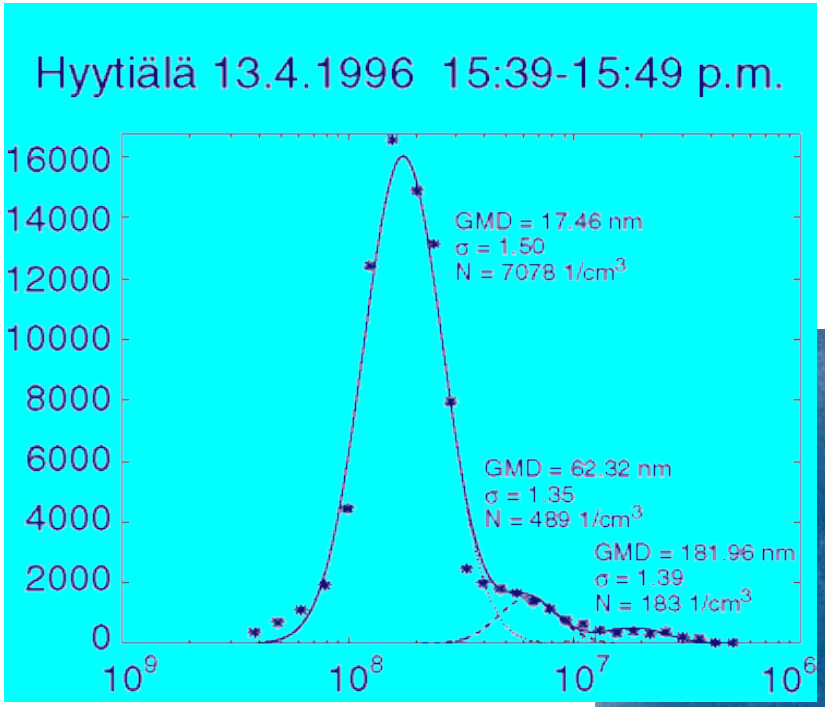
Takie krople opadowe mogą powstać tylko w procesie zderzeń I zlewania się kropli (collision coallescence), ale żeby mógł on zajść potrzebne są na początku krople o zróżnicowanych rozmiarach (rożnych prędkościach opadania)!

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

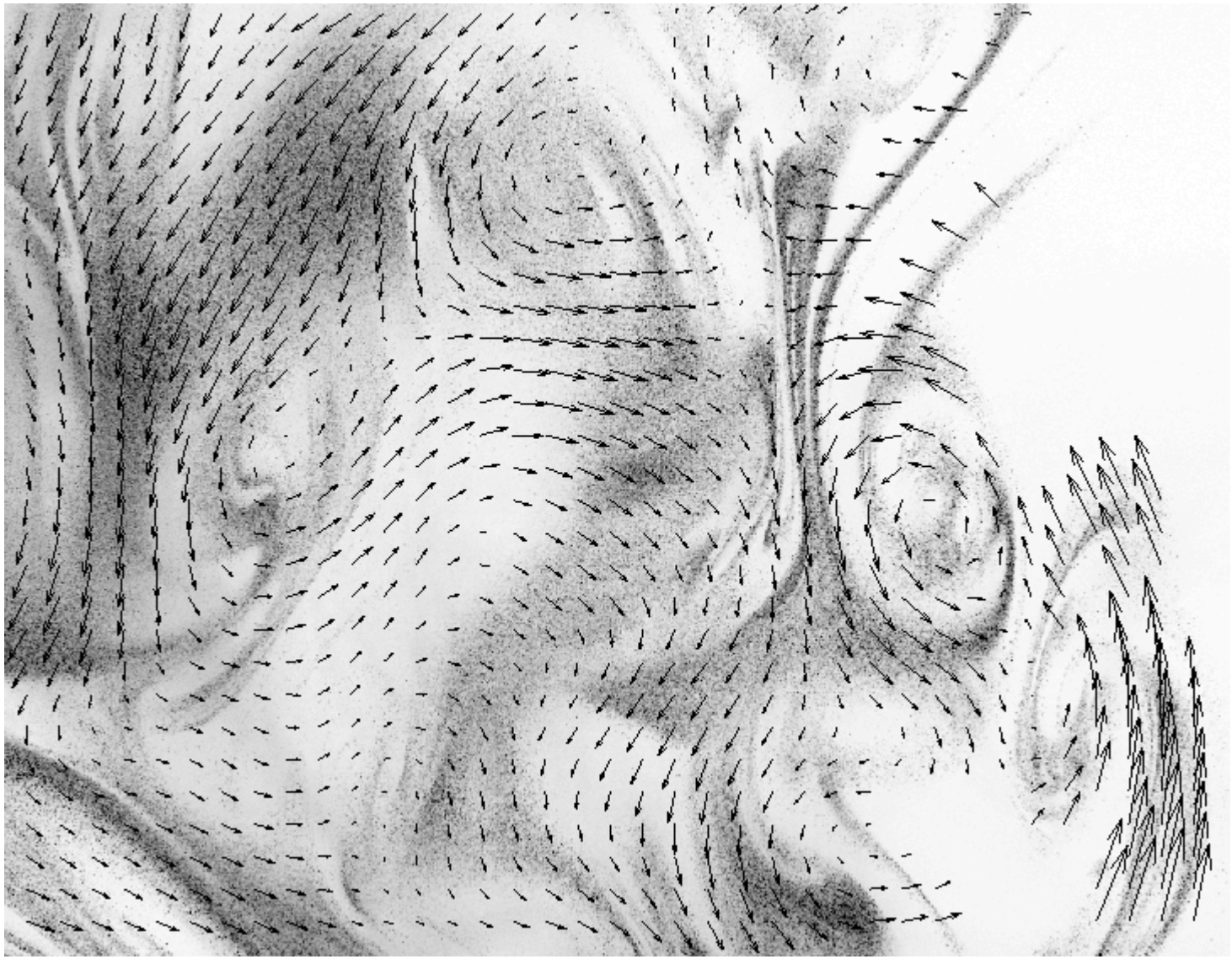


©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning





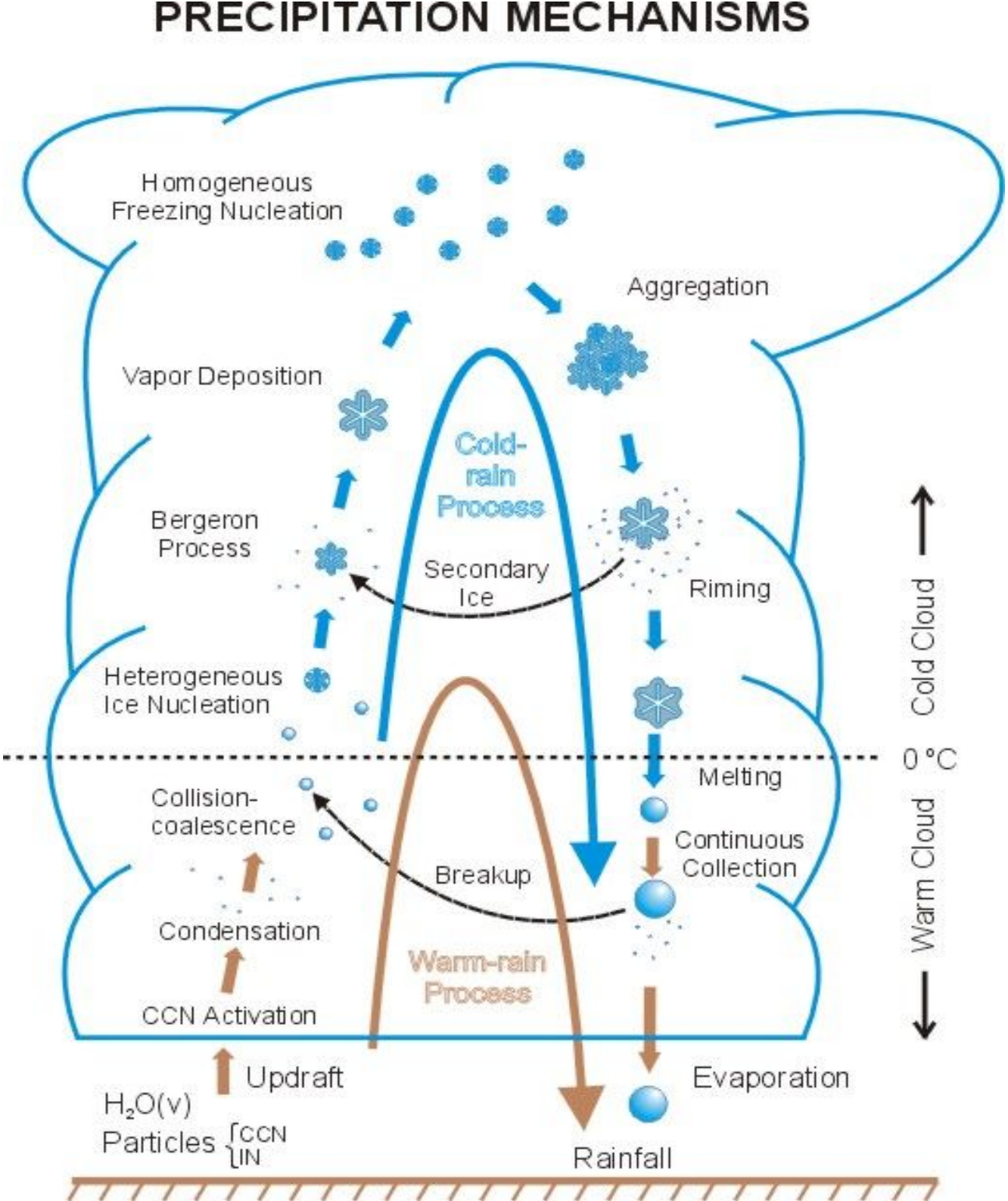
Jeszcze inny mechanizm: gigantyczne jądra kondensacji.



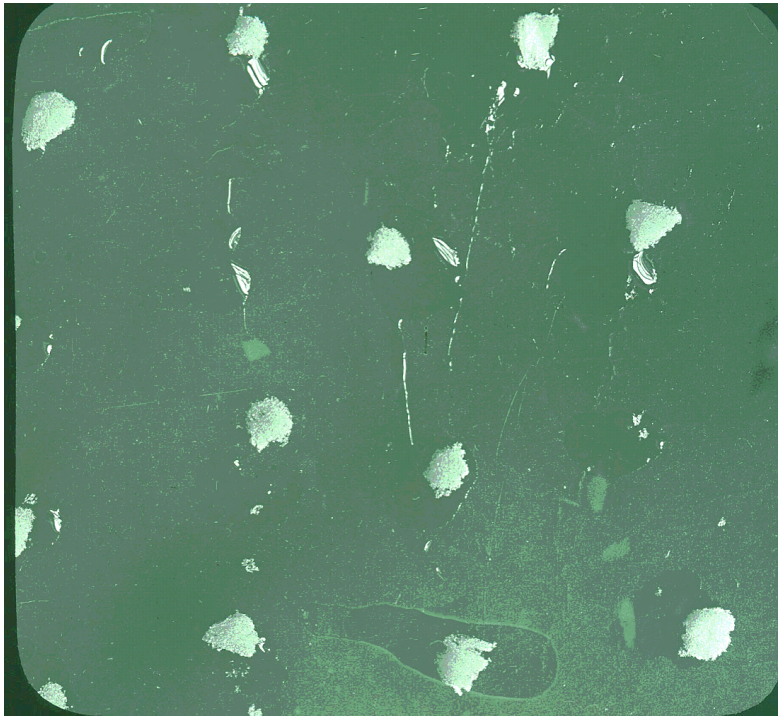
Jeszcze inne mechanizmy powstawania opadu związane z turbulencją:

preferential concentration,

mieszanie jednorodne i niejednorodne.

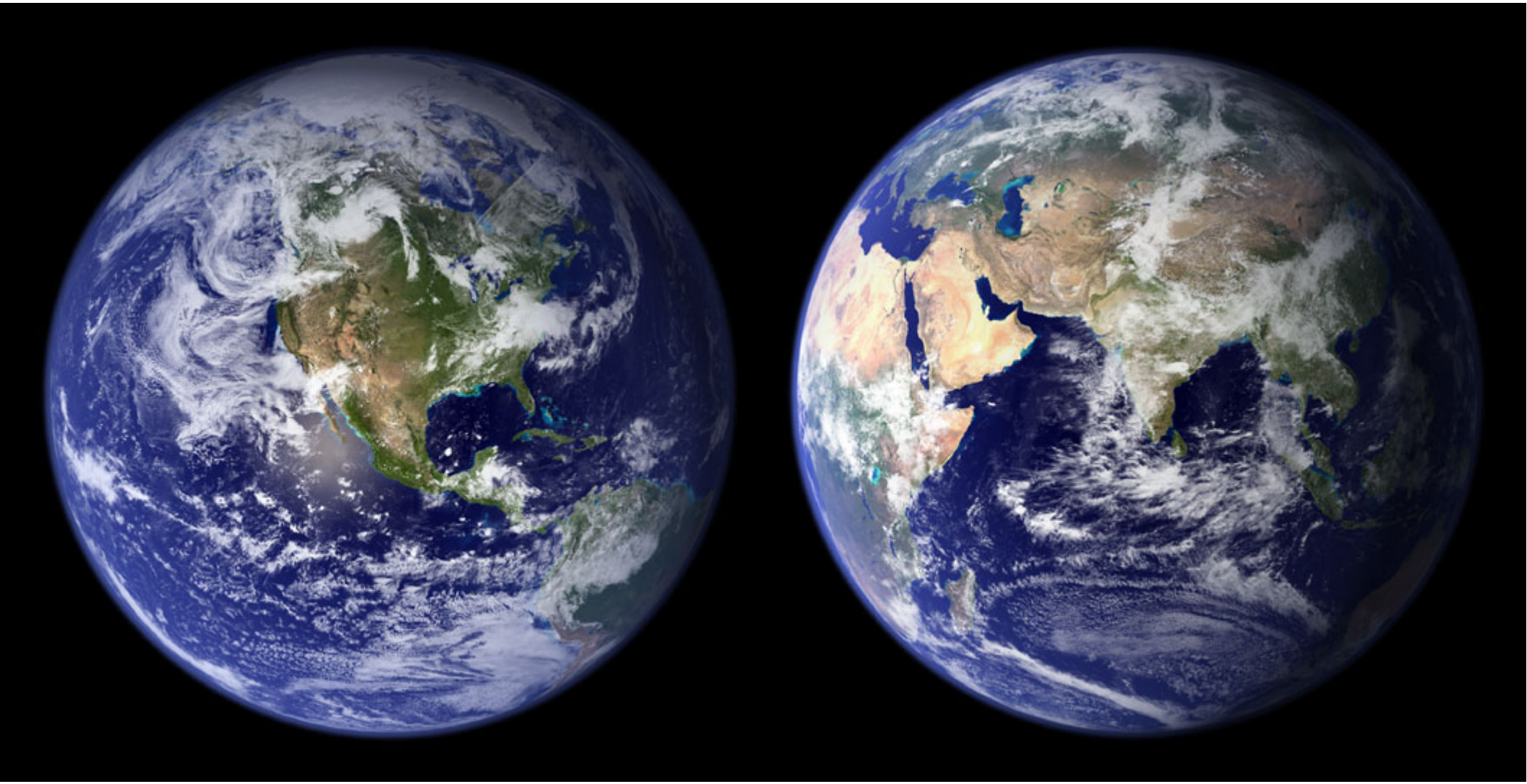


Mechanizmy opadowe

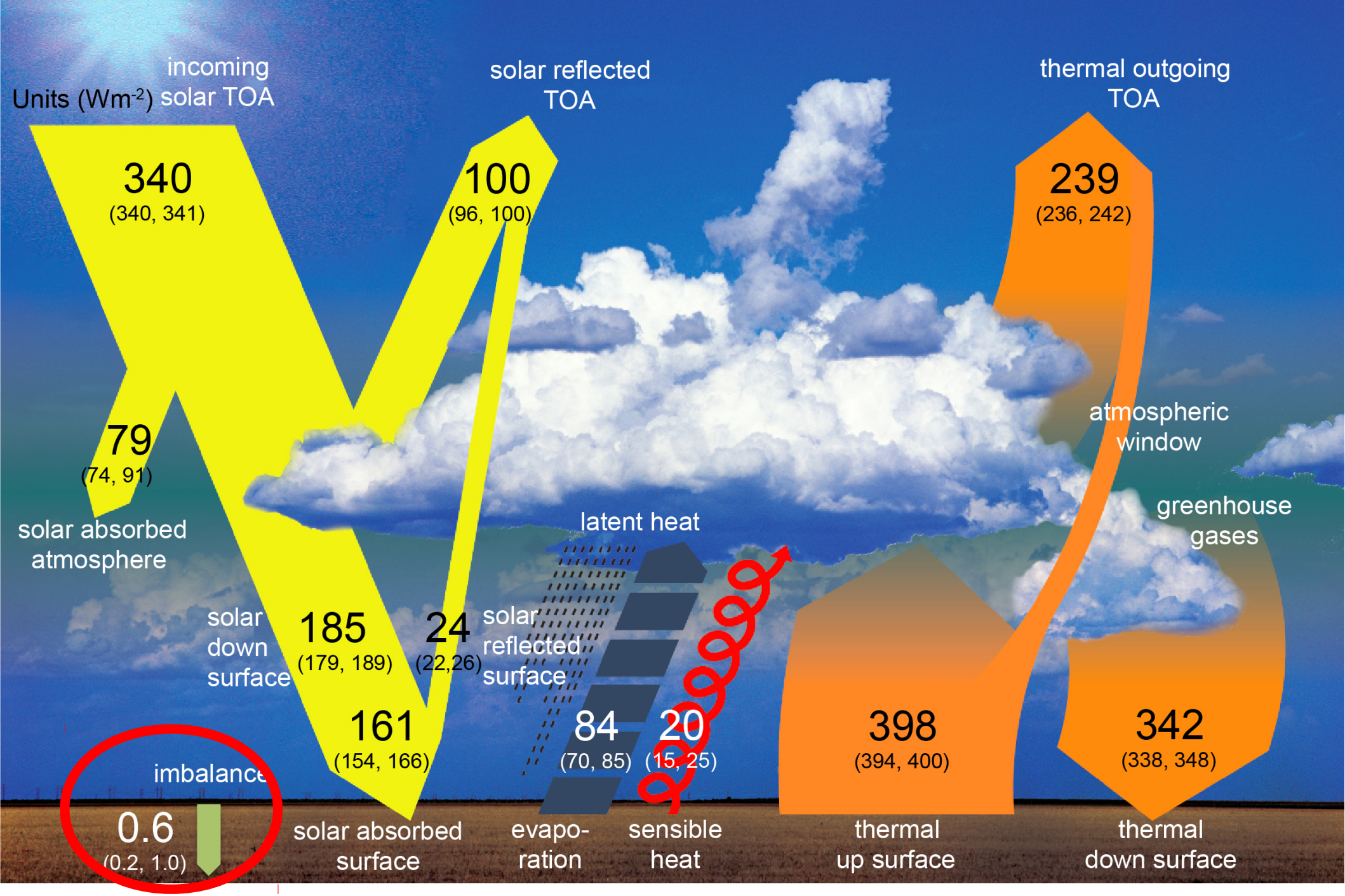


I co z tego wynika :)

CHMURY I BŁĘKITNA PLANETA



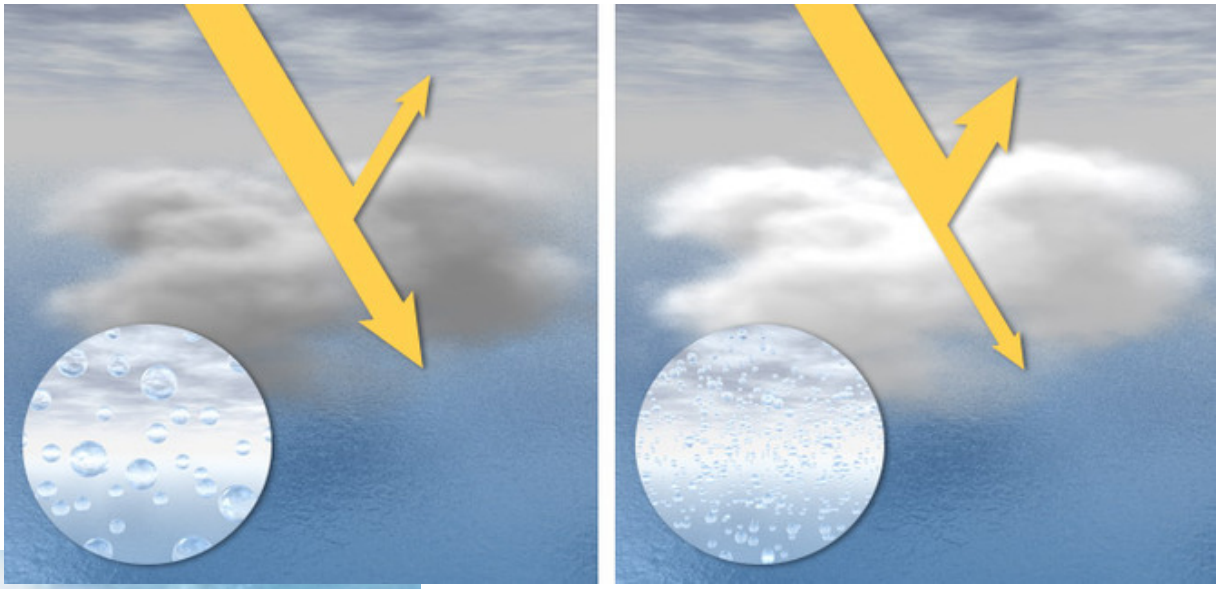
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/BlueMarble/

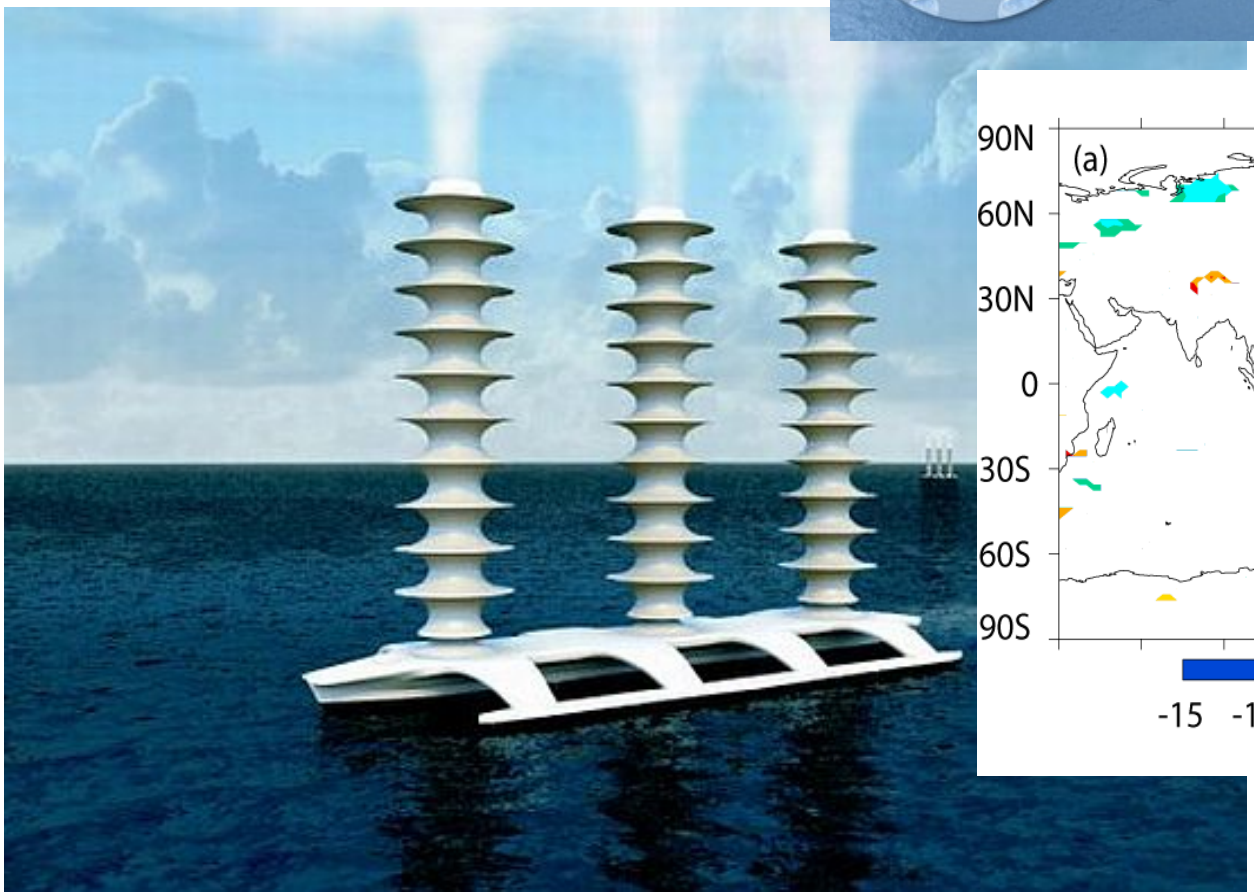


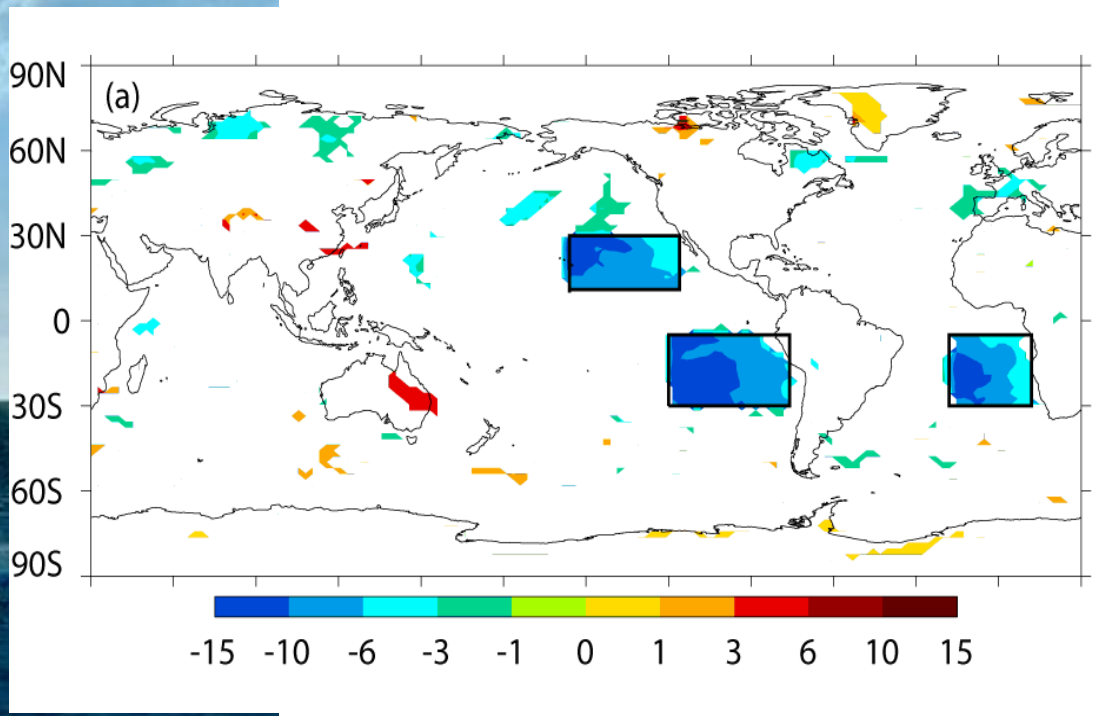
Uśredniony bilans energii systemu klimatycznego. Wartości w W/m^2.
W nawiasach zakres niepewności i zmienności.

https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

„Wybielanie” chmur stratocumulus dla schładzania planety?

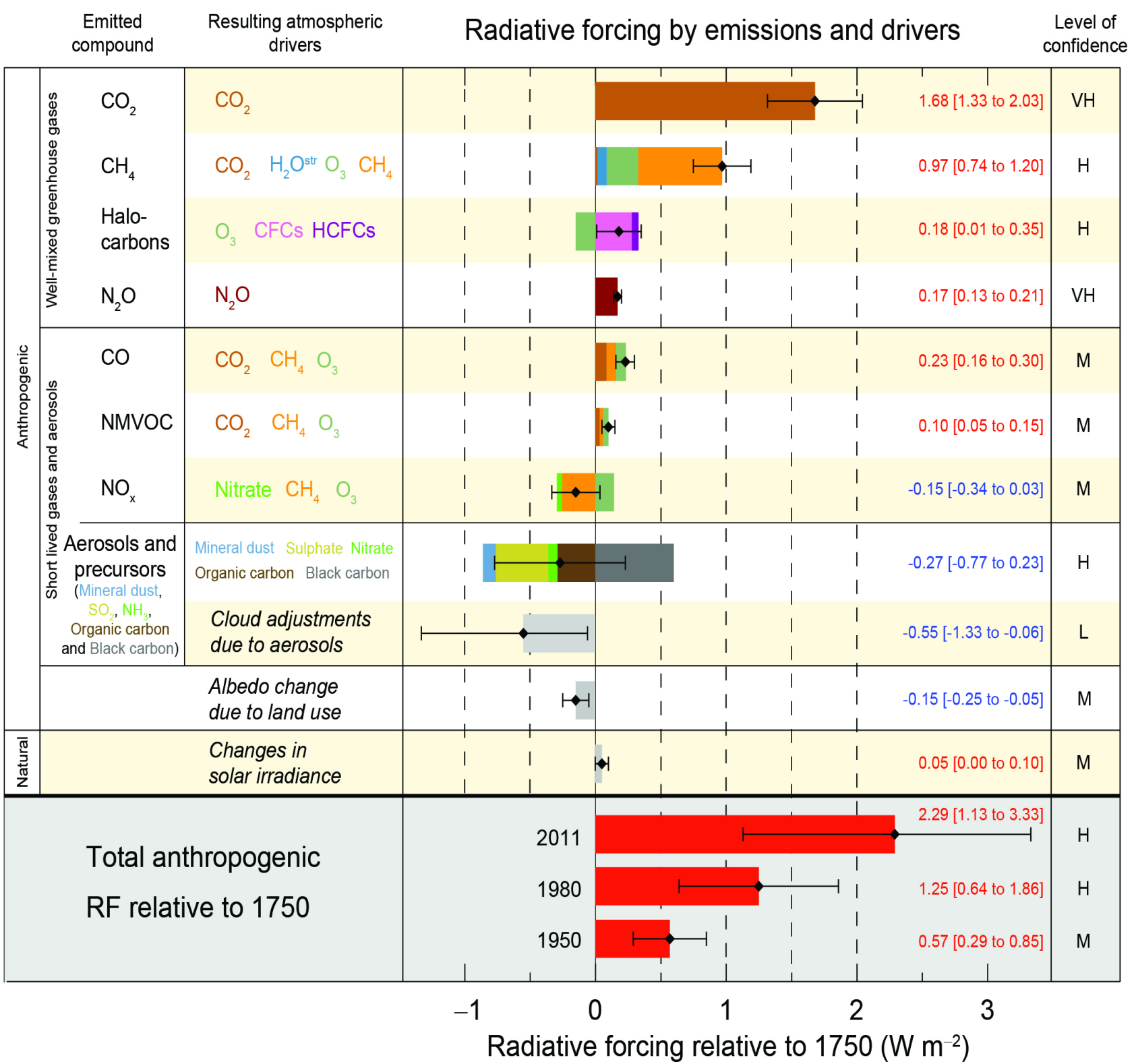




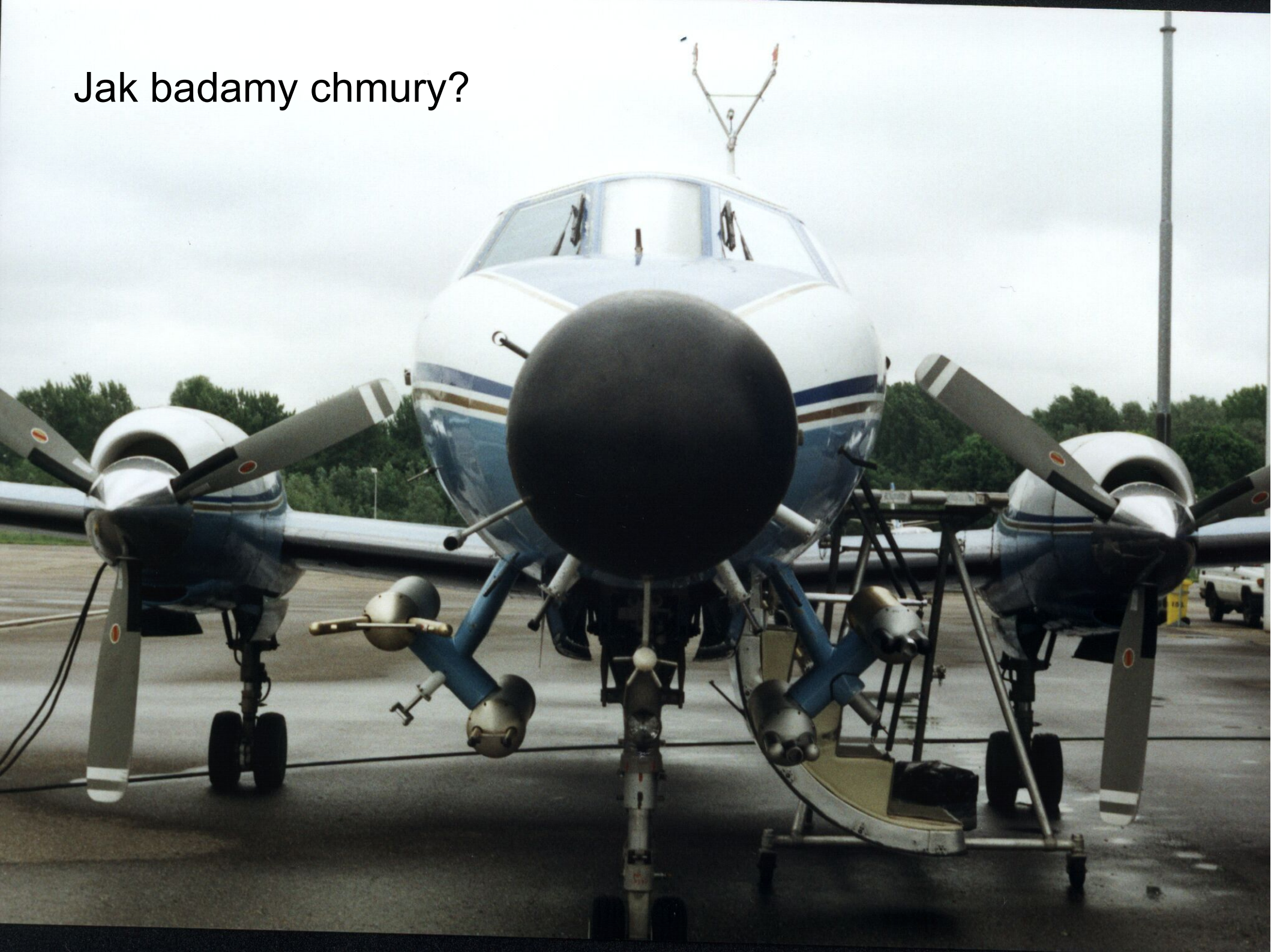


Wymuszanie radiacyjne:

jak zmieniły się strumienie promieniowania w systemie klimatycznym od 1750r. wskutek zmian składu atmosfery, zmian albedo, zmian w dopływie promieniowania słonecznego.



Jak badamy chmury?



UFT-F
PVM
FFSSP

Kampania pomiarowa – badanie mieszania chmur z otoczeniem

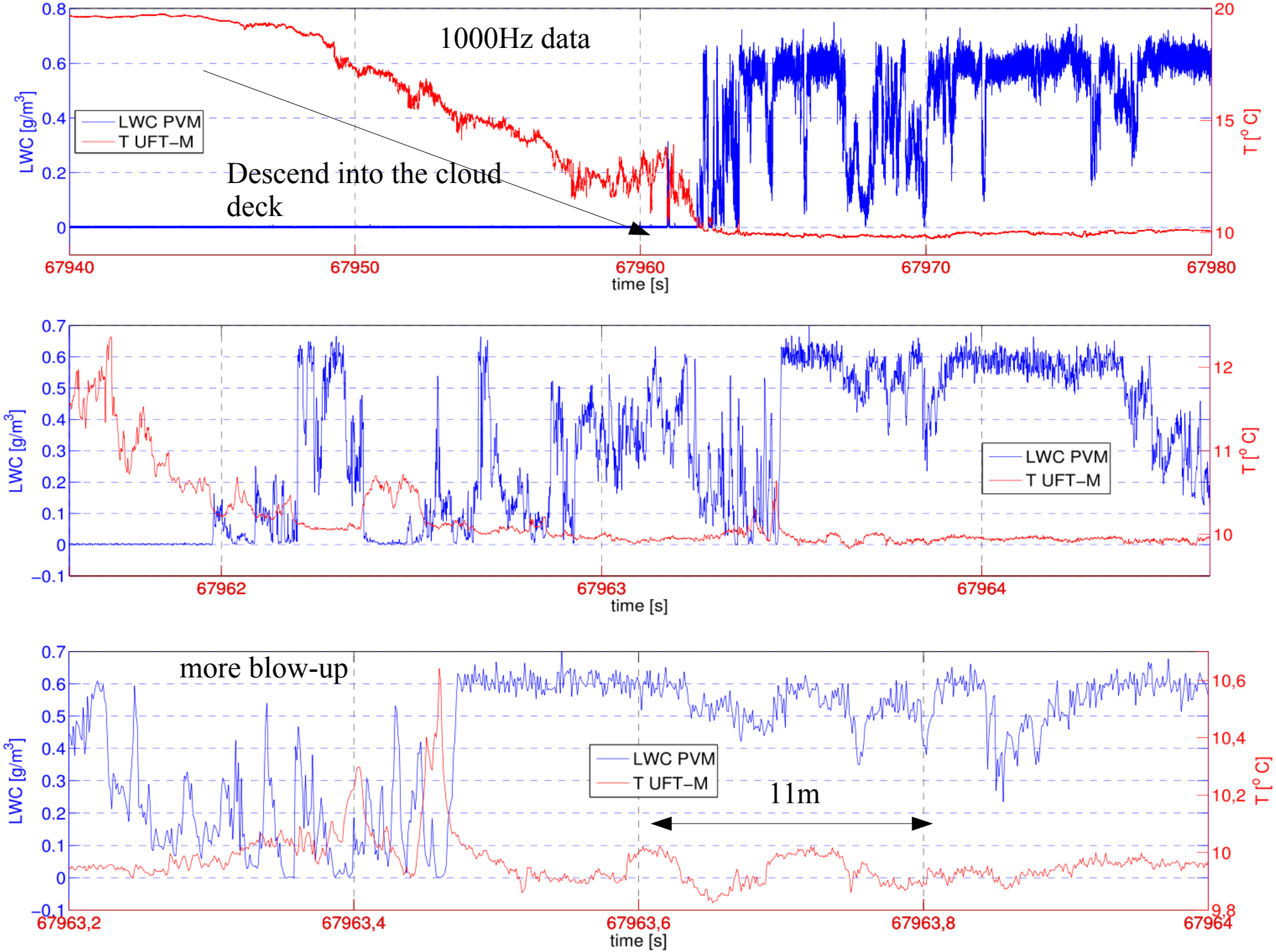
POST – Physics of Stratocumulus Top, California, 2008

aerozole (jądra kondensacji)

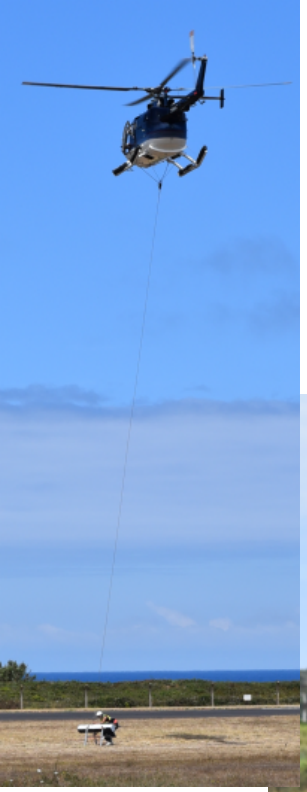
mikrofizyka

temperatura, wilgotność, zawartość wody, turbulencja,

krople


1000Hz data
Descend into the cloud deck
LWC PVM
T UFT–M
LWC [g/m3]
T [°C]
time [s]
more blow-up
11m

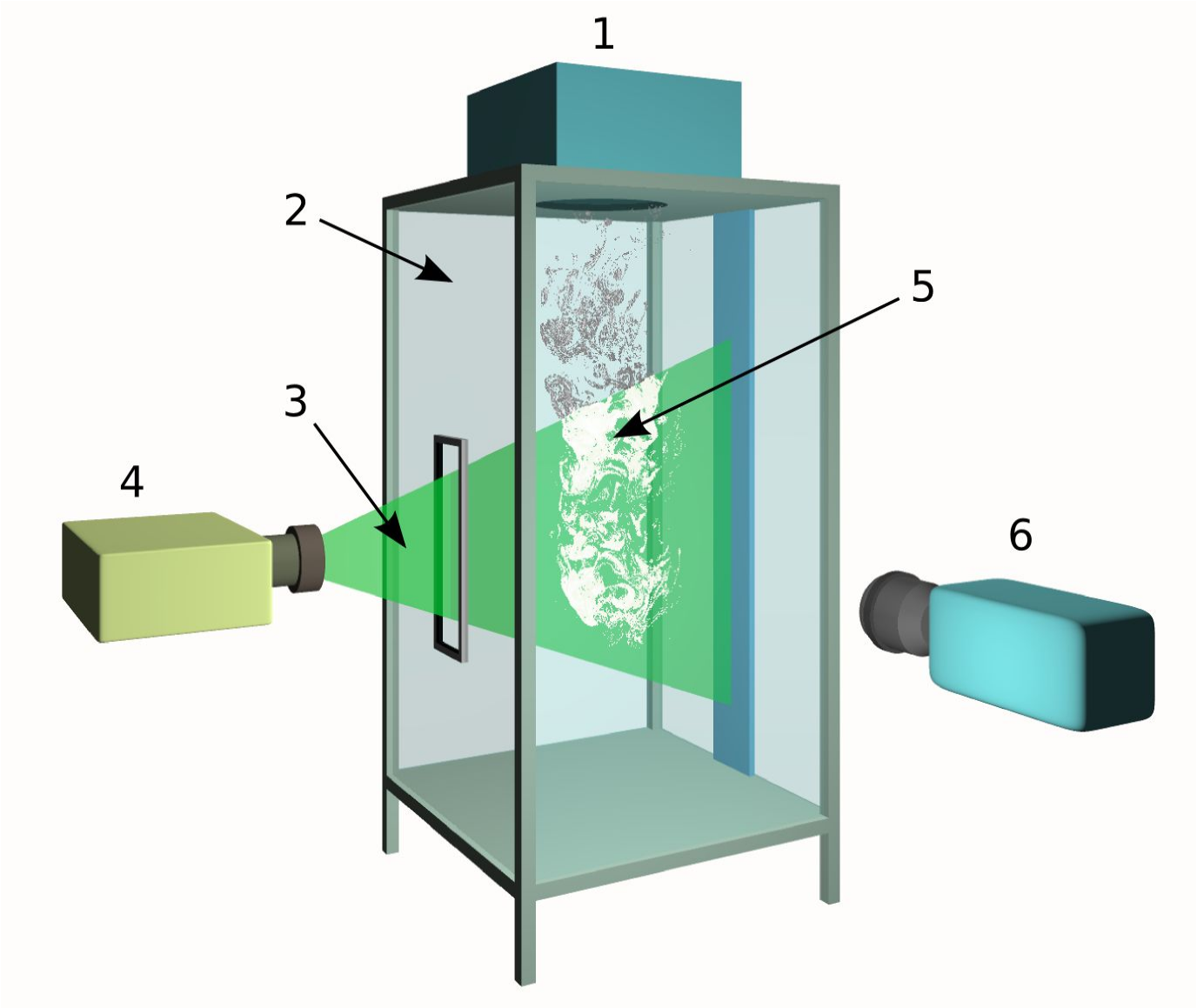
Niektóre systemy pomiarowe na pokładzie ATR-42 SAFIRE. 1) pomiar rozmiarów kropelek chmurowych, 2) pomiar koncentracji CO2, CH4 i H20 3) pomiary promieniowania, 4) pojemnik PMS na przyrządy, 5) pomiary chemiczne, 6) lidar aerozolowy, 7) woda chmurowa, 8) termometry, higrometry, ciśnieniomierze, turbulencja



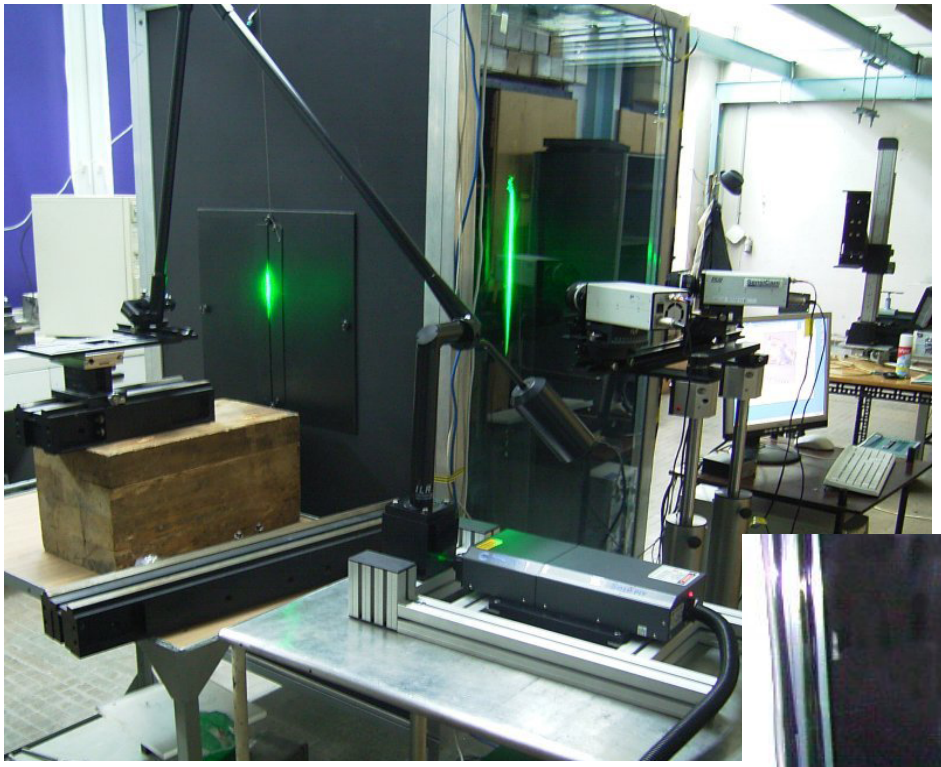
ACTOS

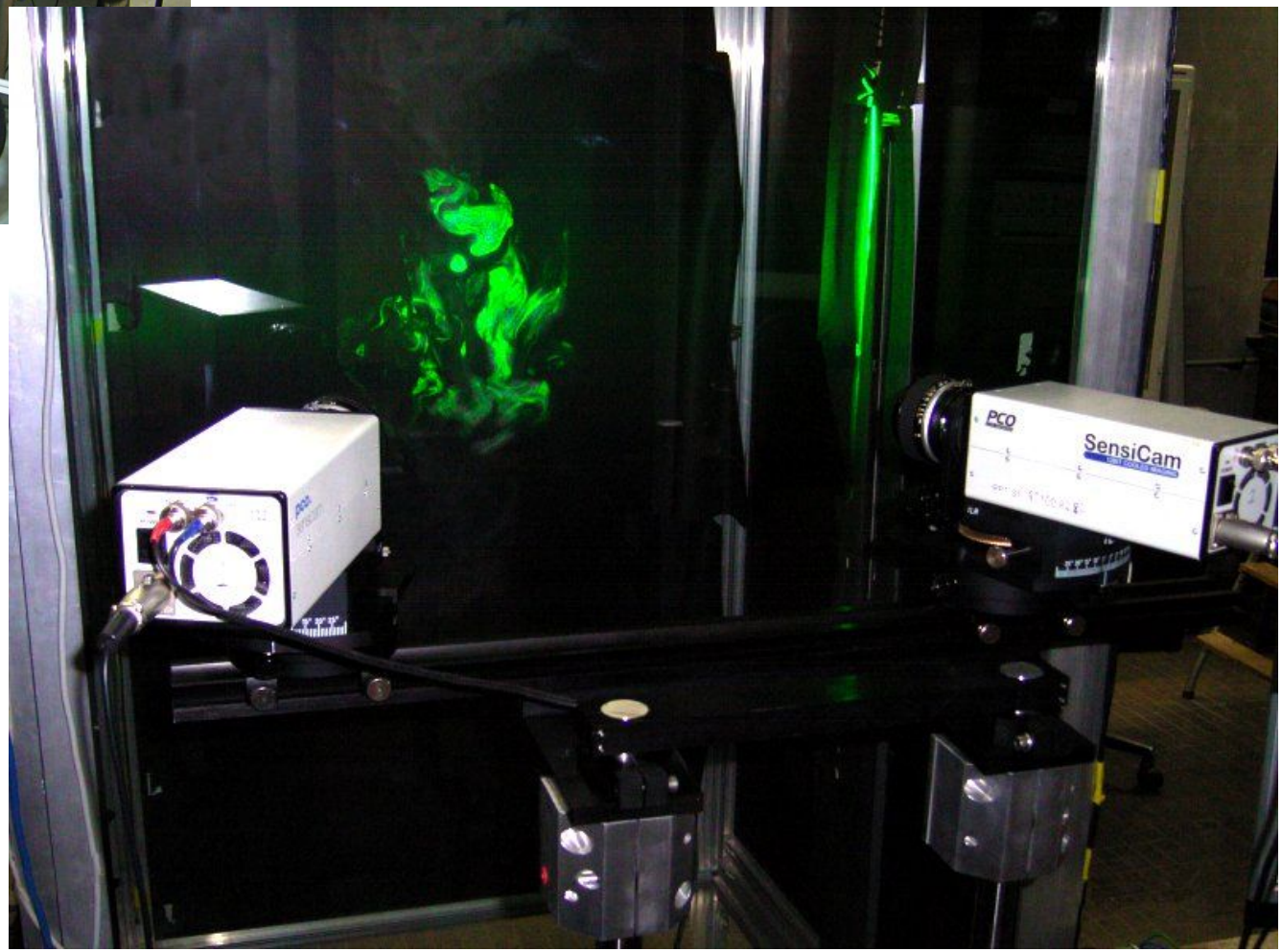
Komora chmurowa:

Tak badamy kropelki I procesy chmurowe w laboratorium.



Schemat układu pomiarowego.
1 – generator chmury; 2-komora; 3 – płaszczyzna światła; 4 – laser impulsowy, 5 – chmura, 6 - kamera.



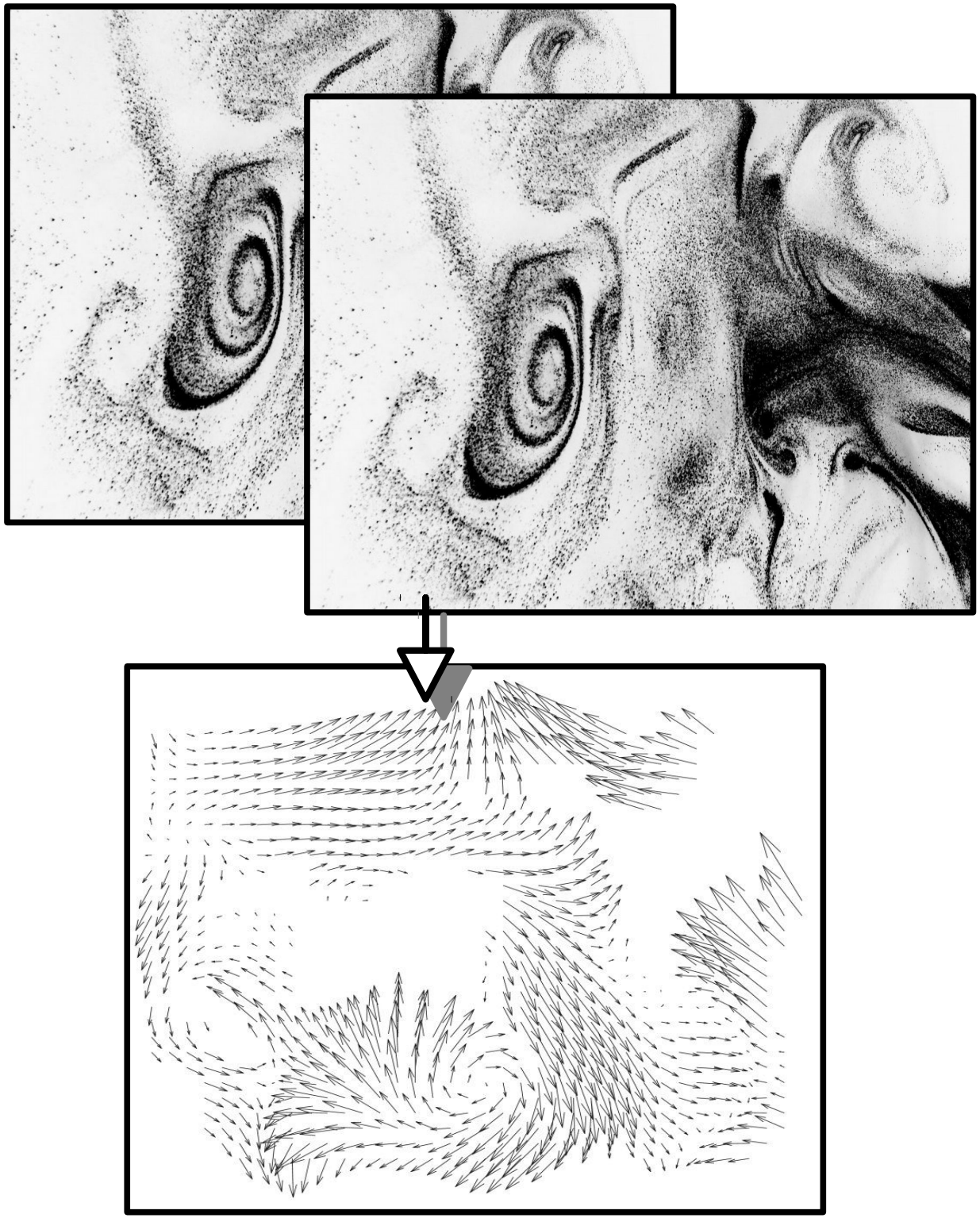

pco
SensiCam

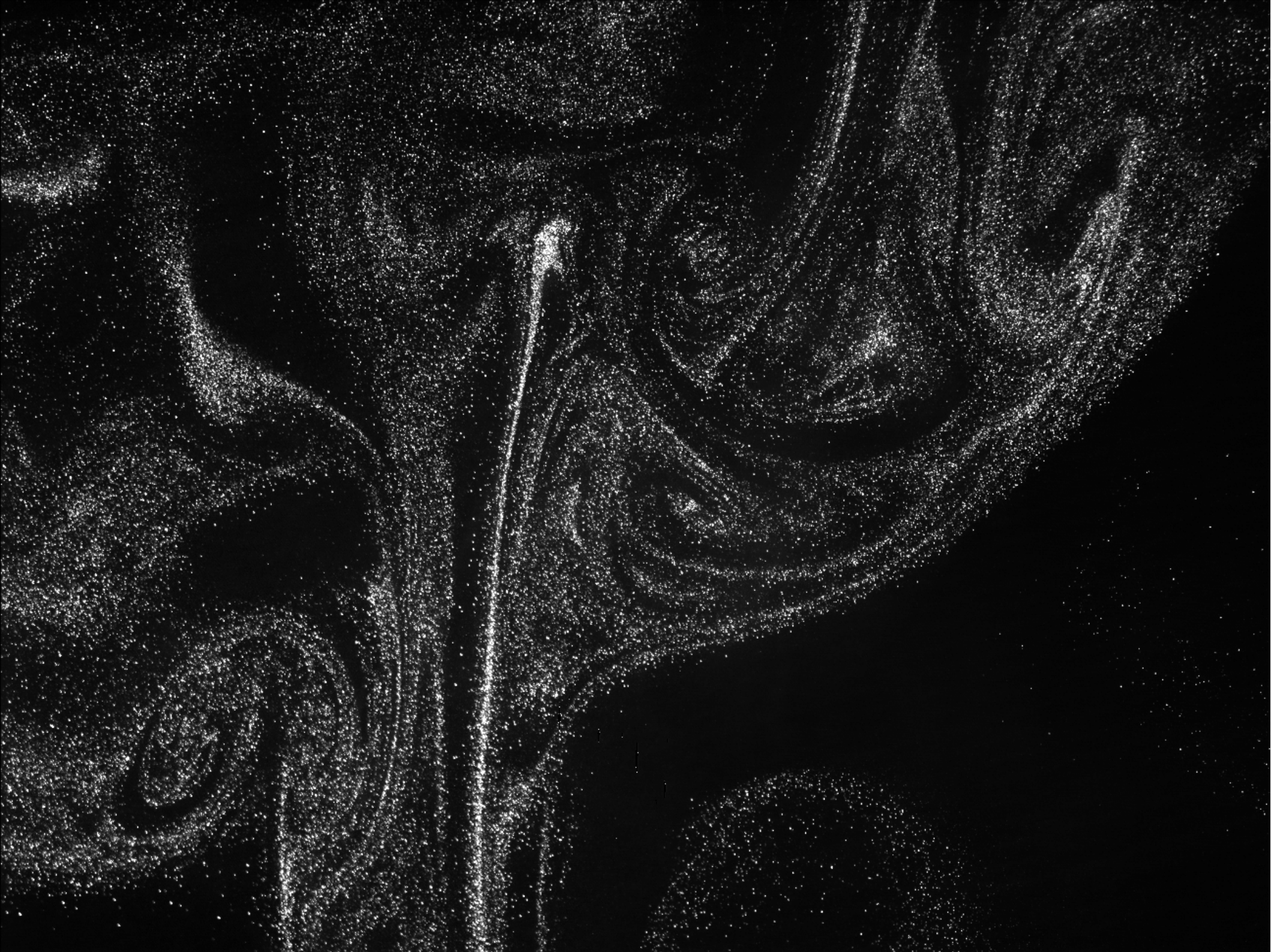
PIV – Particle Imaging Velocimetry

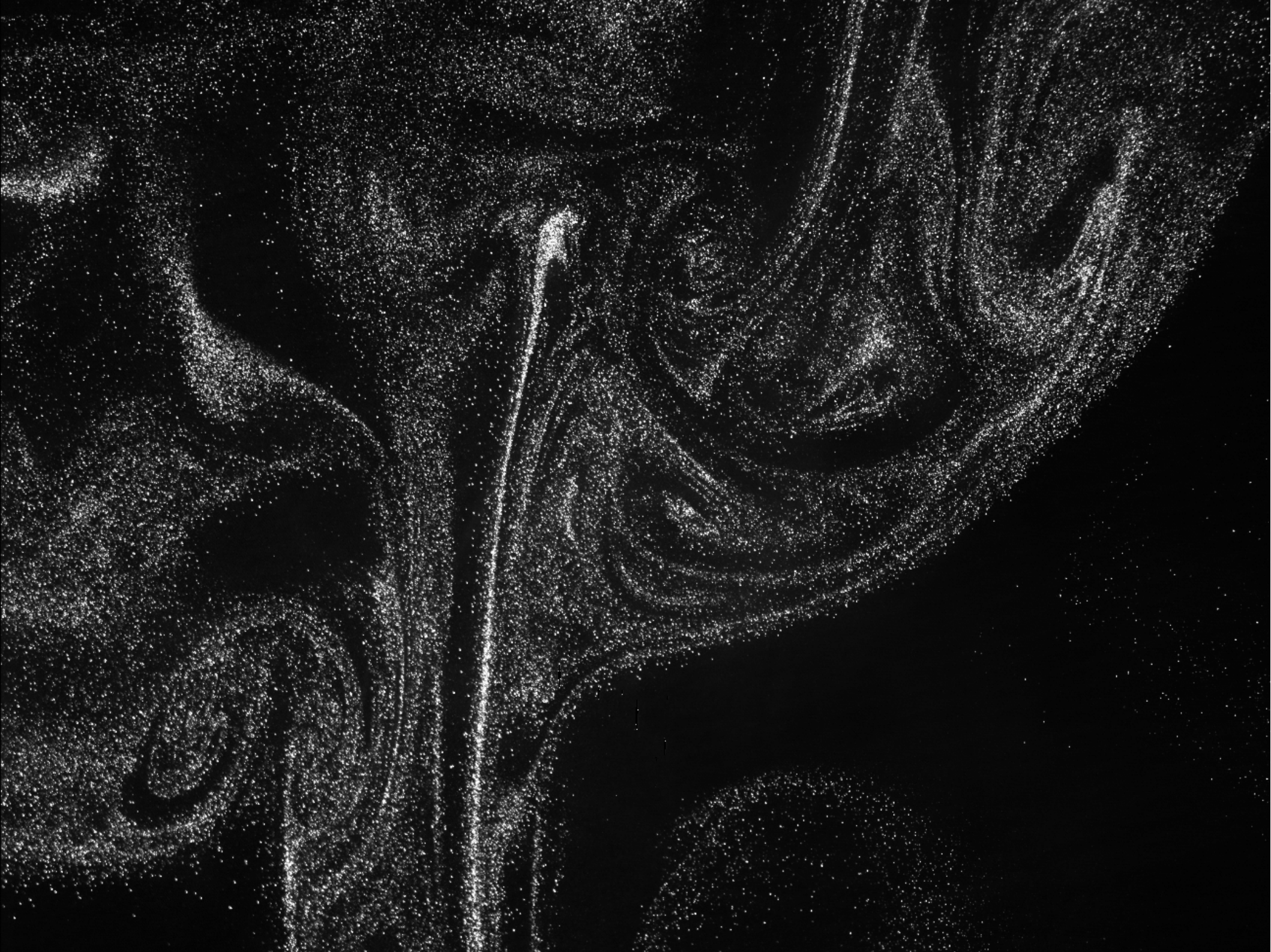
Zasada: wykonujemy dwie fotografie w znanym odstępie czau.

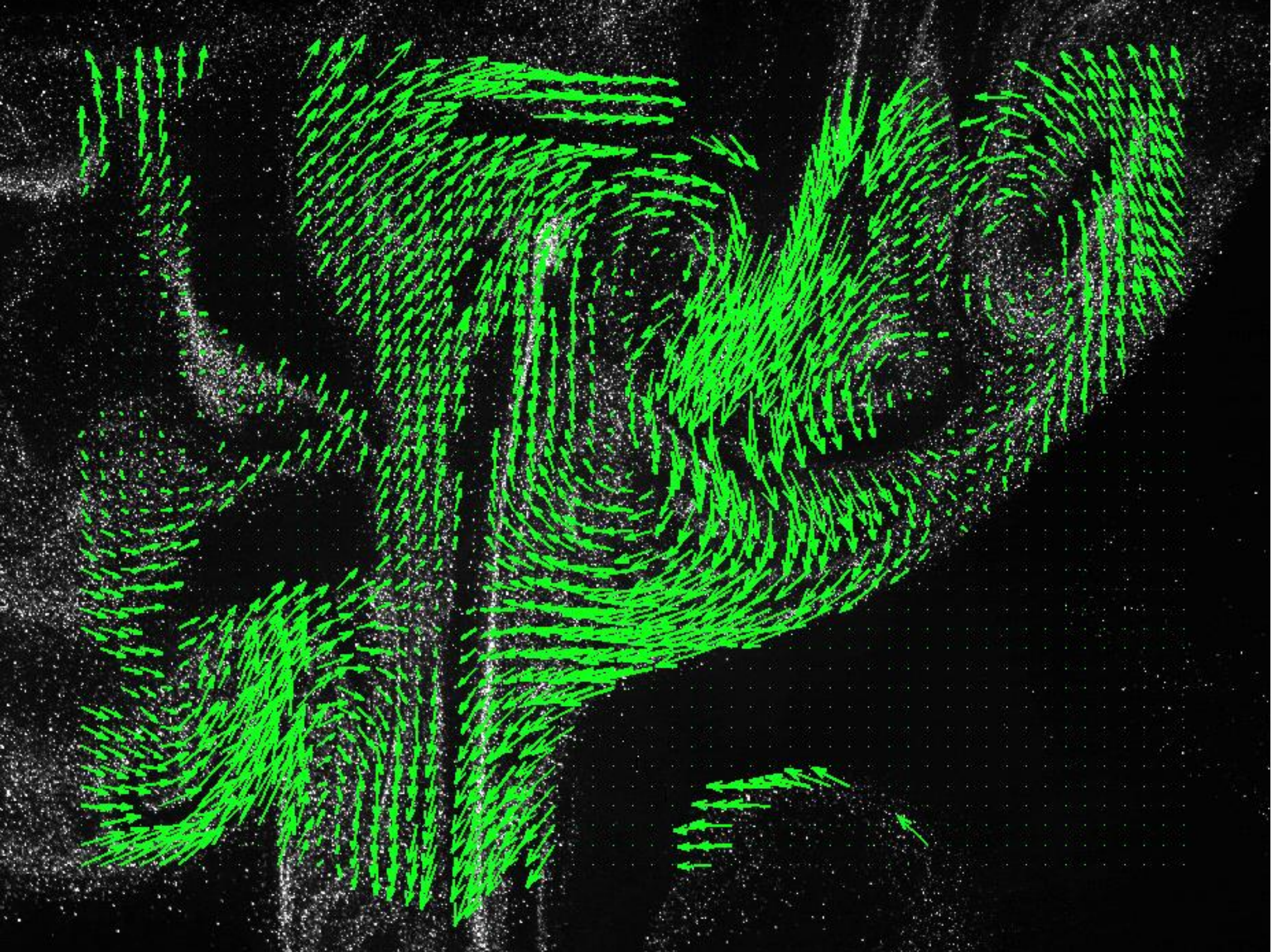
.

Badając przesunięcie wzorów możemy określić prędkość przepływu.









SYMULACJE NUMERYCZNE CHMUR

$$B \equiv g\left[\frac{T - T_0}{T_0} + \varepsilon(q_v - q_{v_0}) - q_c\right],$$

Equations for dynamics, thermodynamics and microphysics (droplets)

$$D/Dt \equiv \partial/\partial t + \mathbf{v} \cdot \nabla$$

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla\pi + \mathbf{k}B + \nu\nabla^2\mathbf{v},$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0,$$

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{L}{c_p}C_d + \mu_T\nabla^2 T,$$

$$\frac{Dq_v}{Dt} = -C_d + \mu_v\nabla^2 q_v,$$

$$\frac{Dq_c}{Dt} = C_d.$$

$$\frac{D^*f}{D^*t} = -\frac{\partial}{\partial r}\left(f\frac{dr}{dt}\right) + \eta,$$

$$D^*/D^*t \equiv \partial/\partial t + (\mathbf{v} - \mathbf{k}v_t) \cdot \nabla$$

$$C_d = \int f\frac{dm}{dt}\,dr,$$

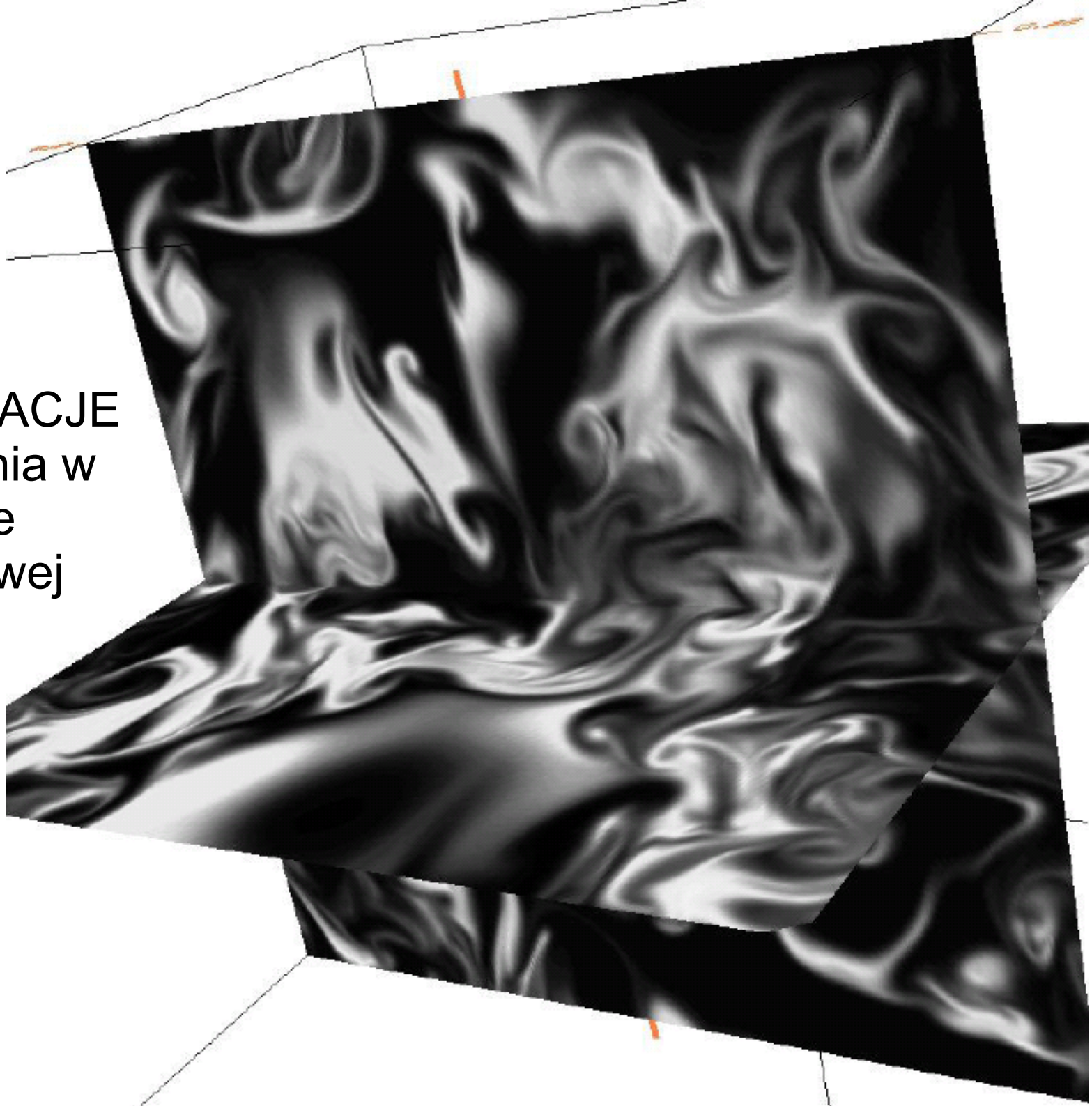
Non-standard symbols:

π – normalized pressure fluctuation
C_d – condensation rate
q_v, q_c – specific humidity, liquid water content

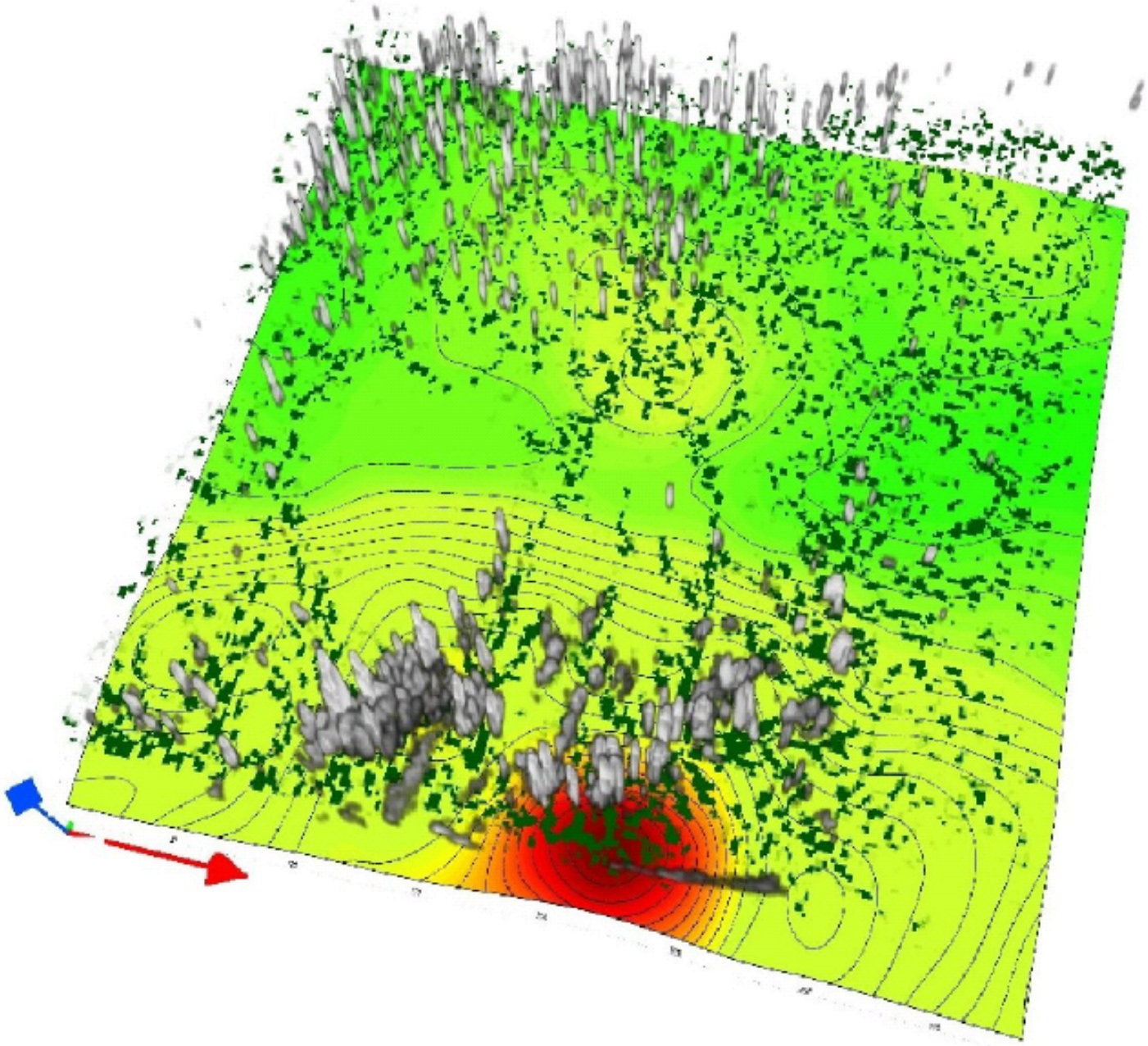
B – normalized buoyancy

Andrejczuk et al., 2004,
Abdrejczuk et al., 2006
Malinowski et al., 2008,
….

SYMULACJE mieszania w komorze chmurowej

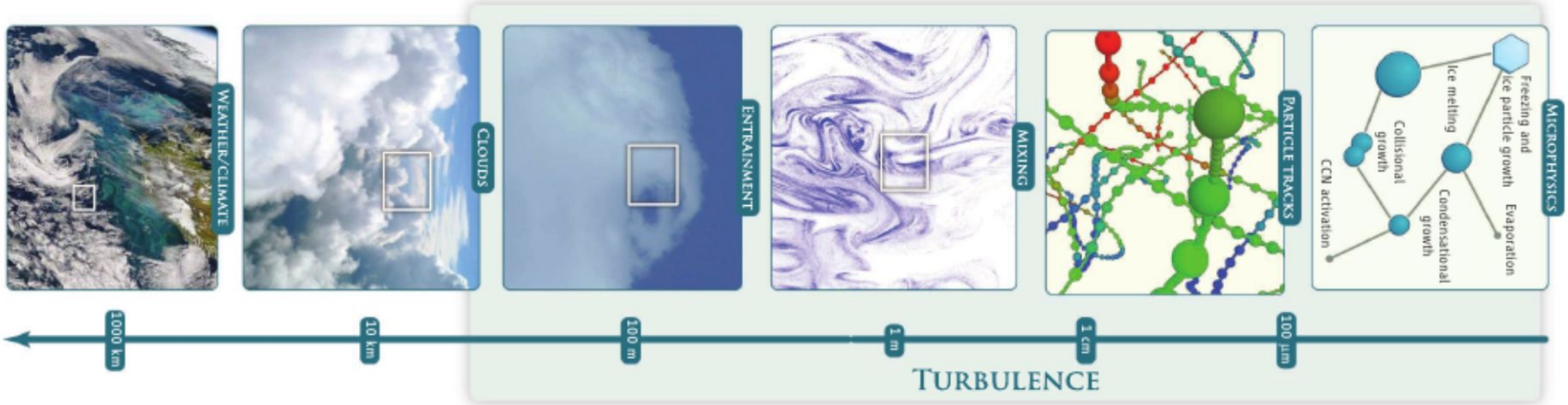


Symulacja zachmurzenia nad południową polską obliczona na komputerze BlueGene.



PODSUMOWANIE:

CREDIT: (MICROPHYSICS) F. STRATMANN; (TRAJECTORIES) E. BODENSCHATZ, *SCIENCE* MAGAZINE TABLE OF CONTENTS, 10 FEBRUARY 2006; (MIXING) S. MALINOWSKI, (ENTRAINMENT AND CLOUD) R. A. SHAW; (GLOBAL) NASA EARTH OBSERVATORY



Chmura to proces fizyczny: zawiesina kropelek i kryształków lodu powiązana skomplikowanymi oddziaływaniami z przepływem wokół, promieniowaniem w atmosferze...

Procesy chmurowe obejmują ogromny zakres skal, nie da się zrozumieć chmur patrząc tylko na wybrane skale i oddziaływania,,,

Dopiero dziś, łącząc techniki badań w atmosferze, badań laboratoryjnych, symulacji numerycznych jesteśmy na skraju zrozumienia tego jak „działają” chmury...

Bodenschatz, Malinowski, Shaw, Stratmann.,
„Can we understand clouds without turbulence?” Science, 2010.

Dziękuję za uwagę.
Patrzmy w niebo w drodze do domu.
Tam są chmury....