

O lagranżowskiej reprezentacji mikrofizyki aerozolu, chmur i opadu w numerycznych modelach przepływów atmosferycznych

Sylwester Arabas
Uniwersytet Jagielloński

Zebranie Zespołu Fizyki Środowiska AGH
13 grudnia 2022 r.

Sylwester Arabas

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuw)

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuw)

- ▶ praca poza nauką:

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuw)
- ▶ praca poza nauką:
 - ▶ 2015–2017: Chatham Financial, Kraków

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuw)

- ▶ praca poza nauką:
 - ▶ 2015–2017: Chatham Financial, Kraków
 - ▶ 2017–2018: AETHON Engineering, Ateny

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuw)

- ▶ praca poza nauką:
 - ▶ 2015–2017: Chatham Financial, Kraków
 - ▶ 2017–2018: AETHON Engineering, Ateny

- ▶ powrót na uczelnie:

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuw)
- ▶ praca poza nauką:
 - ▶ 2015–2017: Chatham Financial, Kraków
 - ▶ 2017–2018: AETHON Engineering, Ateny
- ▶ powrót na uczelnie:
 - ▶ 2018–2021: postdok na WMil UJ (FNP „POWROTY”)

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfuf)

- ▶ praca poza nauką:
 - ▶ 2015–2017: Chatham Financial, Kraków
 - ▶ 2017–2018: AETHON Engineering, Ateny

- ▶ powrót na uczelnie:
 - ▶ 2018–2021: postdok na WMil UJ (FNP „POWROTY”)
 - ▶ 2021–2022: postdok na U. Illinois Urbana-Champaign

Sylwester Arabas

- ▶ alma mater – fuw.edu.pl:
 - ▶ MSc (2008) mikrofizyczne pomiary lotnicze chmur
 - ▶ PhD (2013) modelowanie mikrofizyki chmur
 - ▶ adiunkt (–2015): inżynieria oprogramowania CFD (github.com/igfufw)

- ▶ praca poza nauką:
 - ▶ 2015–2017: Chatham Financial, Kraków
 - ▶ 2017–2018: AETHON Engineering, Ateny

- ▶ powrót na uczelnie:
 - ▶ 2018–2021: postdok na WMil UJ (FNP „POWROTY”)
 - ▶ 2021–2022: postdok na U. Illinois Urbana-Champaign
 - ▶ 2022–2024: grant NCN „SONATA” w Krakowie

Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Oddziaływania aerozol – chmury – opad: wybrane procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja

Oddziaływania aerozol – chmury – opad: wybrane procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja

- ▶ zderzenia pomiędzy kropełkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropełkach

Oddziaływania aerozol – chmury – opad: wybrane procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja

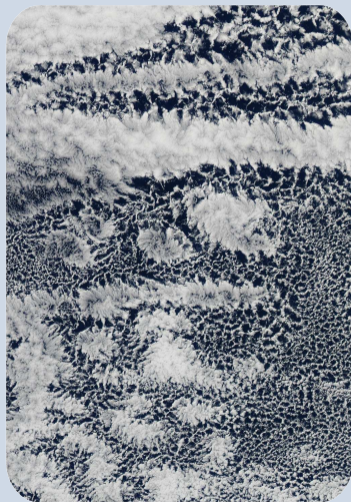
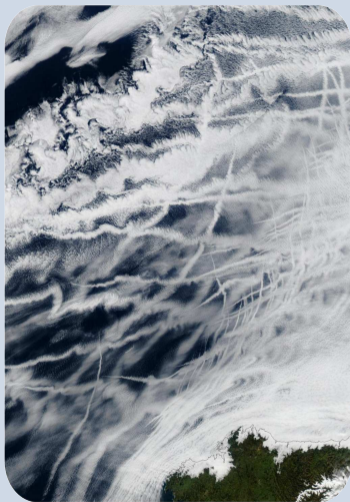


- ▶ zderzenia pomiędzy kropełkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropełkach

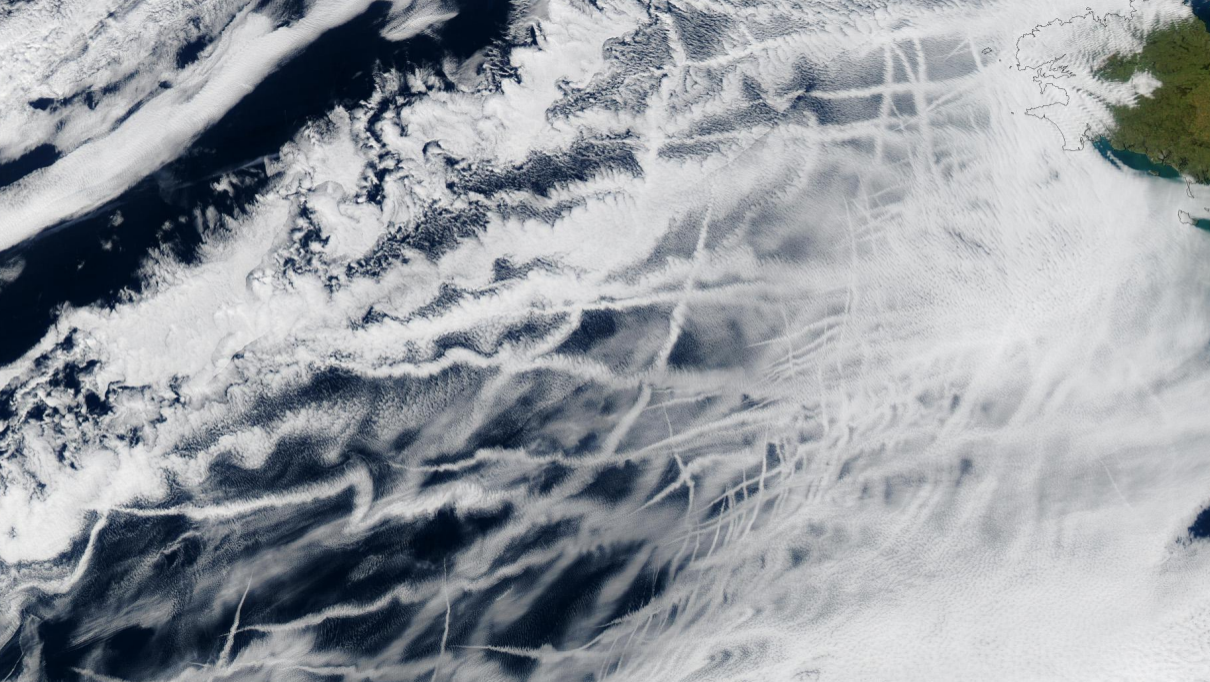


- ▶ opad
- ▶ wmywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: przykłady

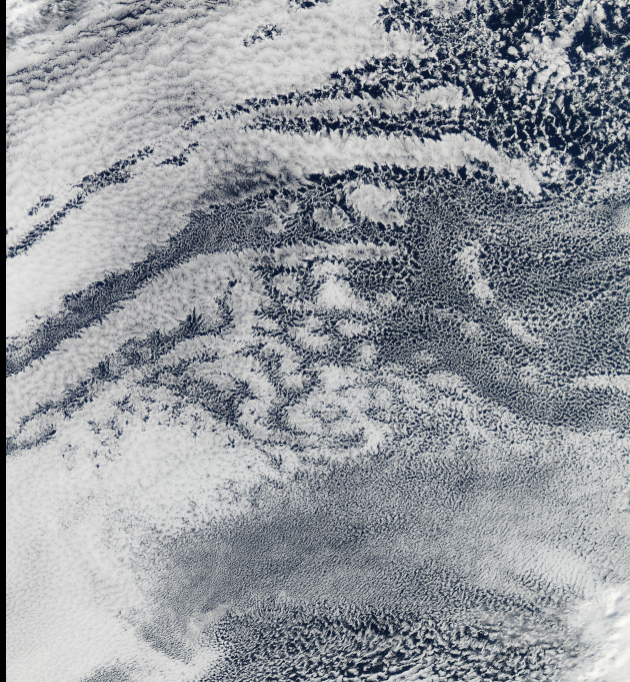


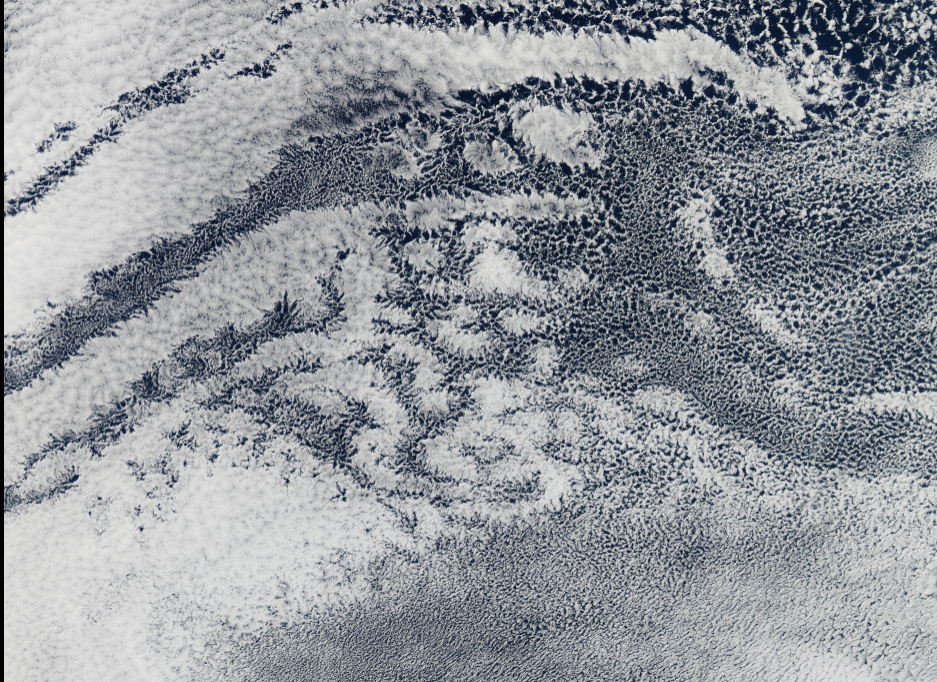
źródło: NASA (27 I 2003 – Zatoka Biskajska; 17 IV 2010 – Pacyfik u wybrzeży Peru)

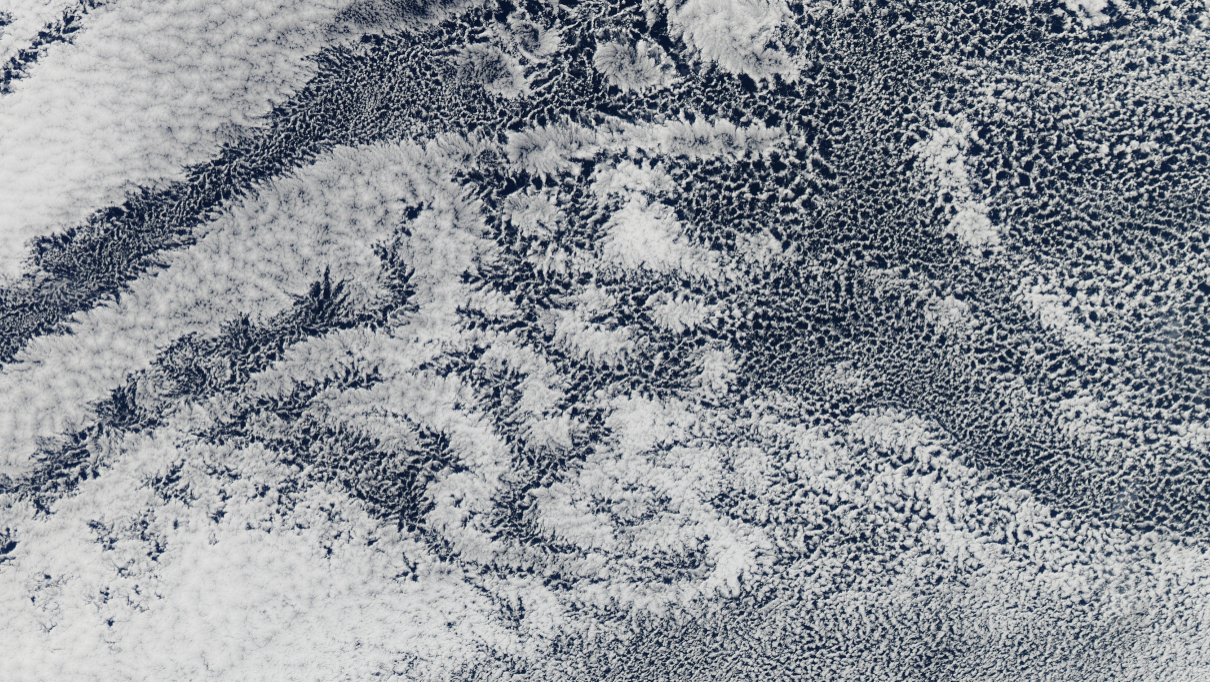


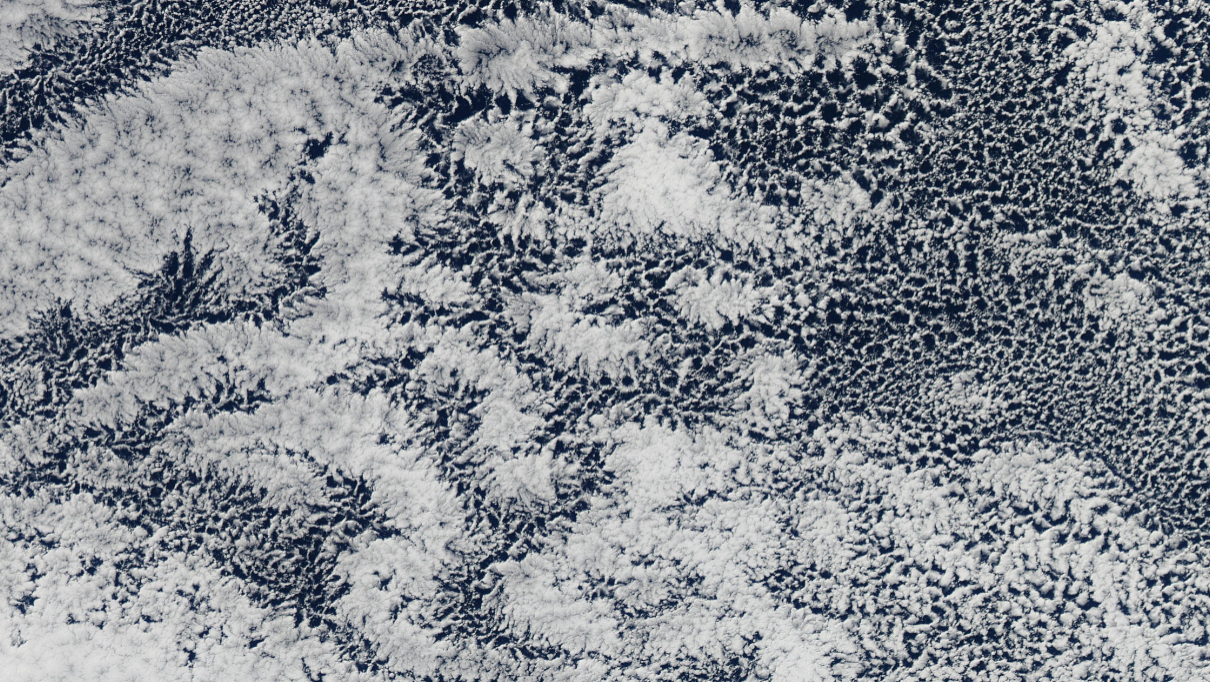


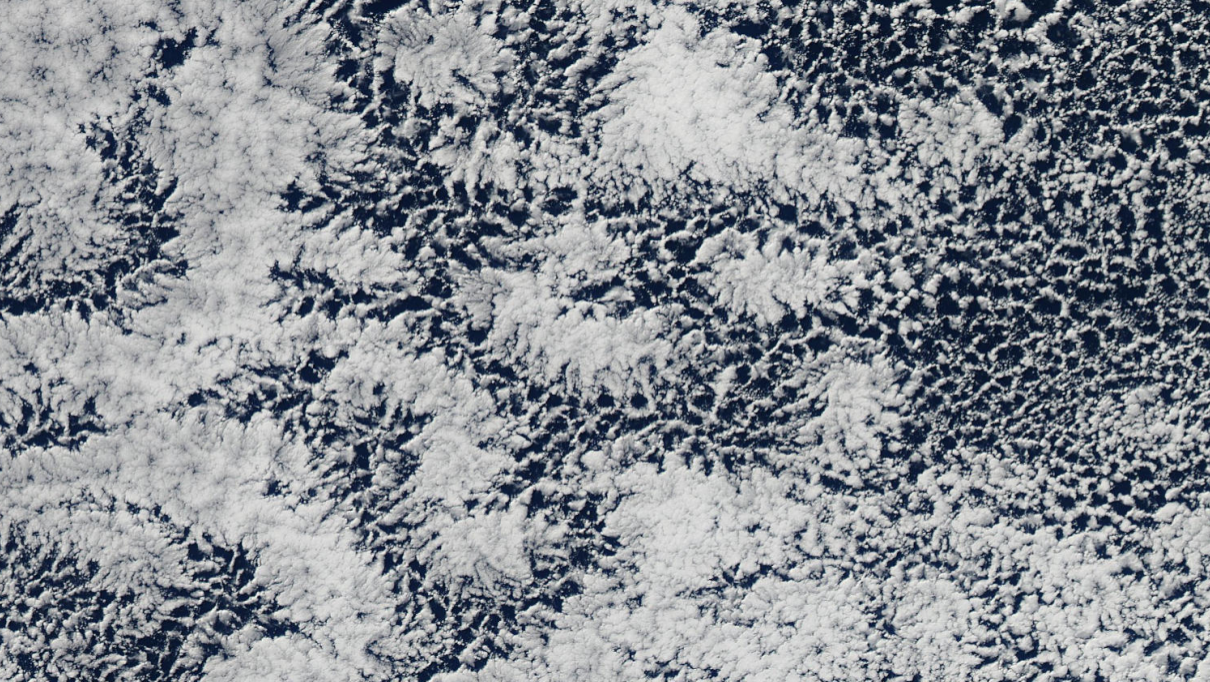
źródło: NASA

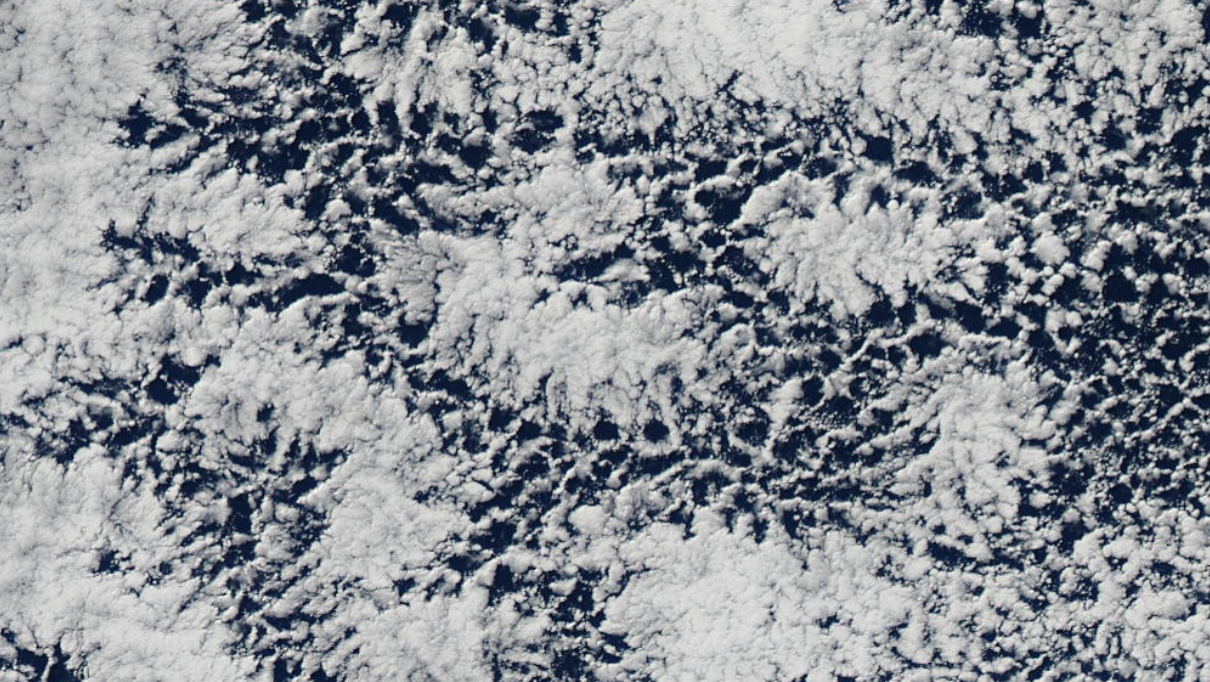




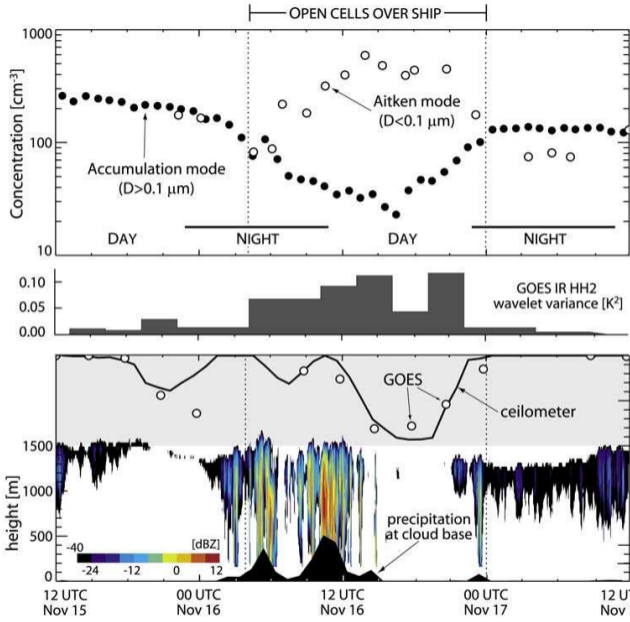












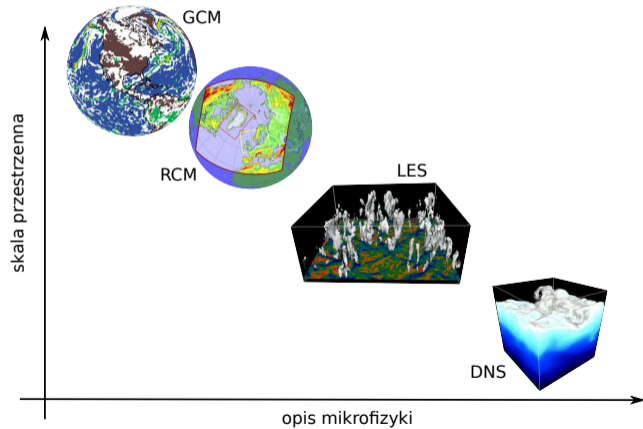
Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Plan prezentacji

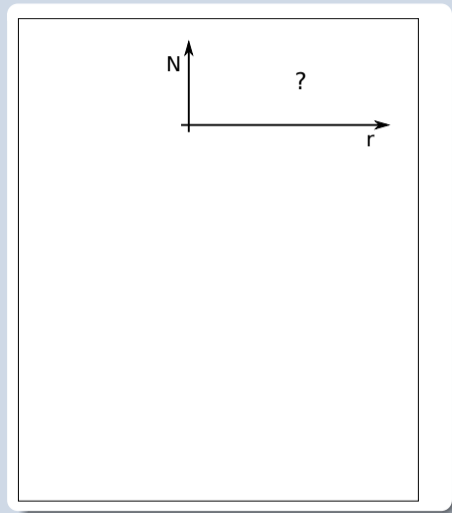
- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Reprezentacja mikrofizyki a skala modeli



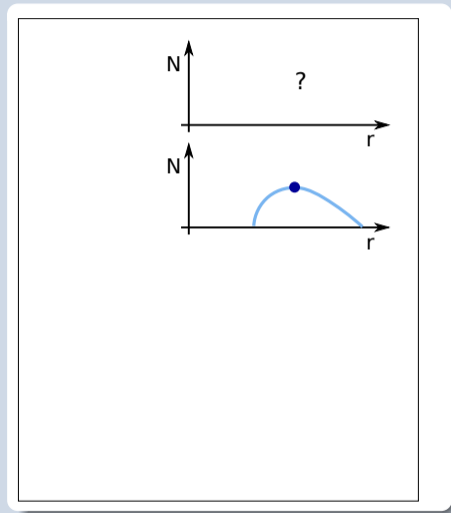
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)



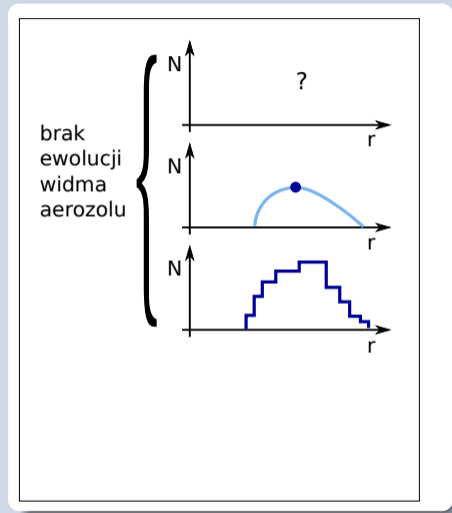
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy



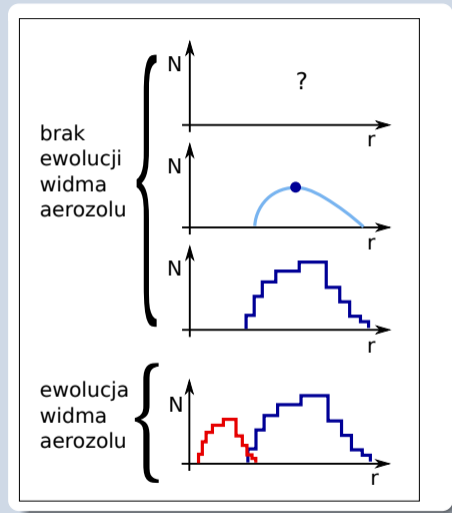
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy jednowymiarowy (bin)



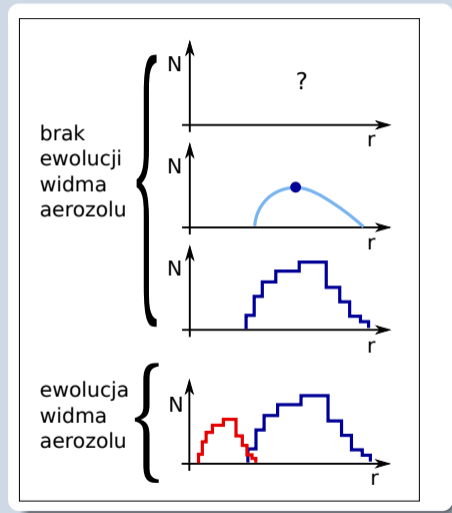
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy jednowymiarowy (bin)
- ▶ opis widmowy wielowymiarowy
 - ▶ realizacja eulerowska
 - ▶ realizacja lagranżowska



Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy jednowymiarowy (bin)
- ▶ opis widmowy wielowymiarowy
 - ▶ realizacja eulerowska
 - ▶ **realizacja lagranżowska**

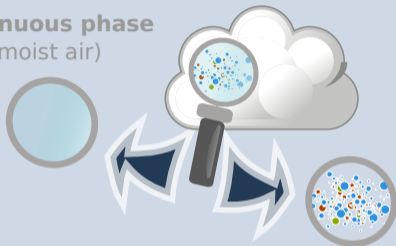


μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski



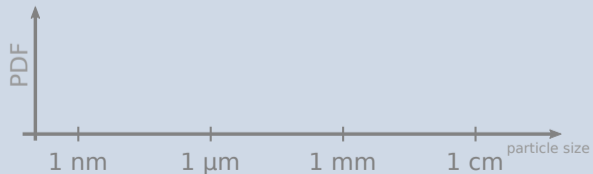
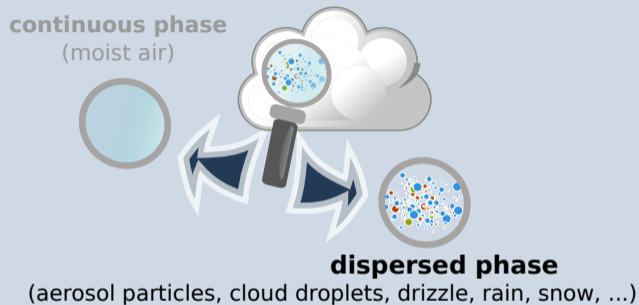
μ-fizyka: opis eulerowski a lagranżowski

continuous phase
(moist air)



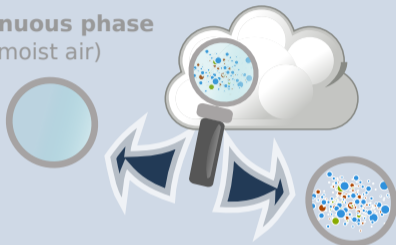
dispersed phase
(aerosol particles, cloud droplets, drizzle, rain, snow, ...)

μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski



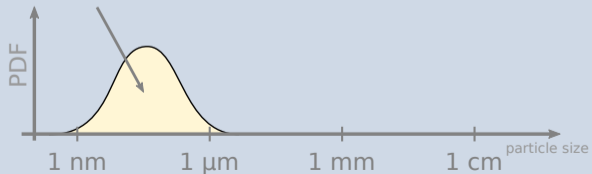
μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski

continuous phase
(moist air)



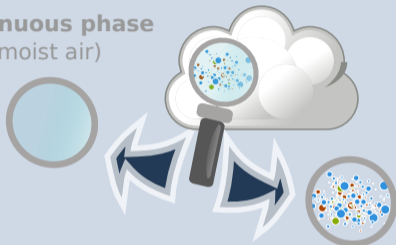
dispersed phase

(aerosol particles, cloud droplets, drizzle, rain, snow, ...)



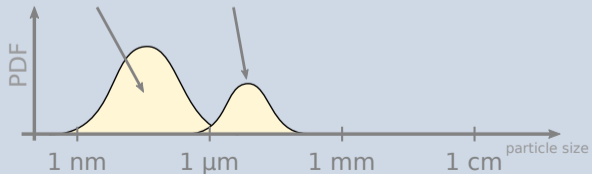
μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski

continuous phase
(moist air)



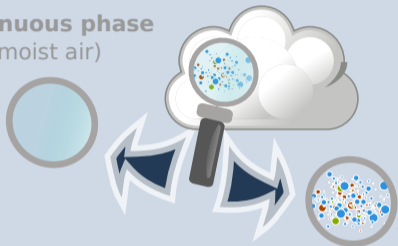
dispersed phase

(aerosol particles, cloud droplets, drizzle, rain, snow, ...)

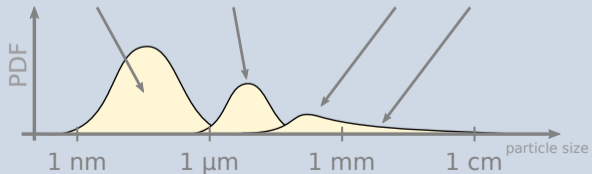


μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski

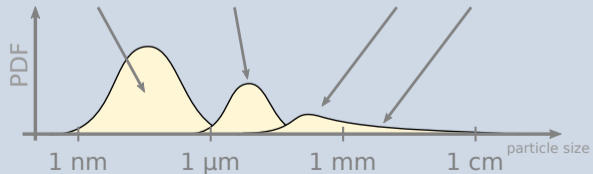
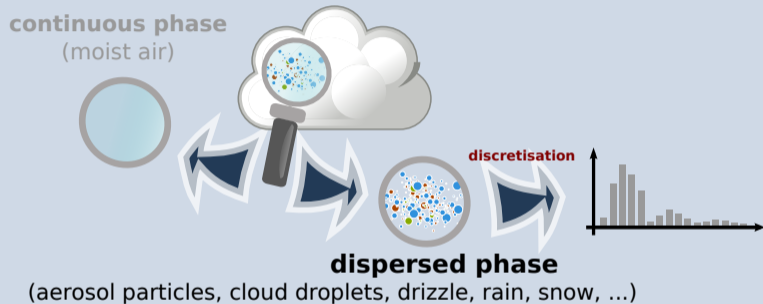
continuous phase
(moist air)



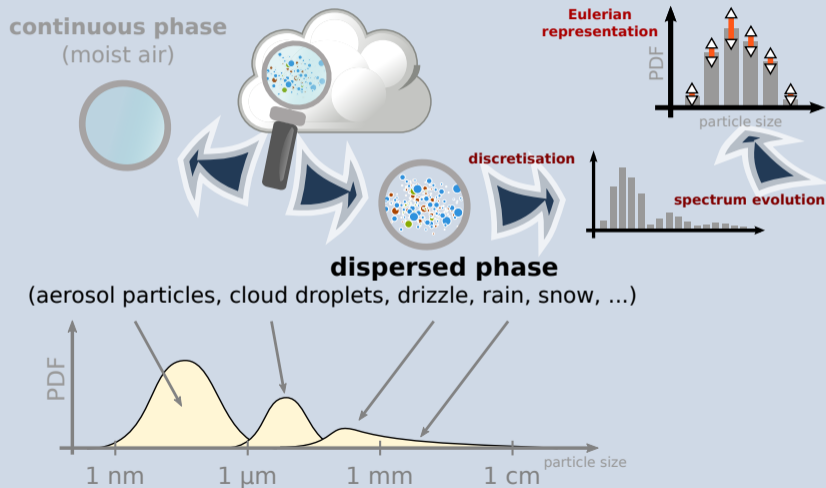
dispersed phase
(aerosol particles, cloud droplets, drizzle, rain, snow, ...)



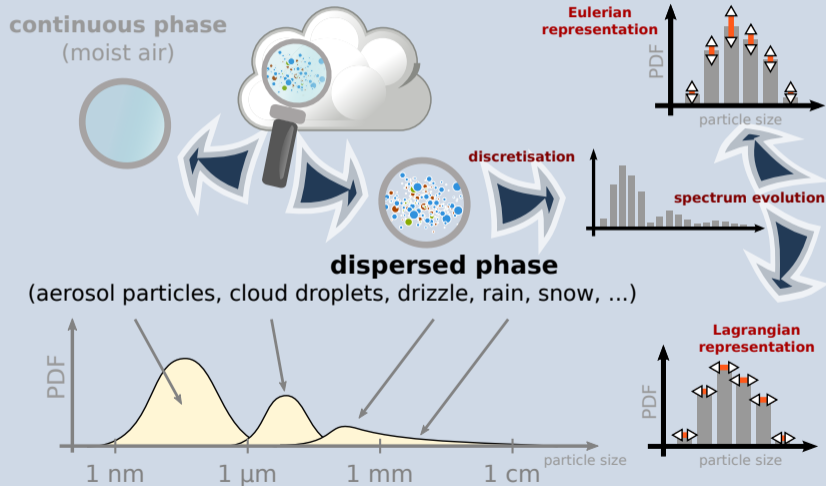
μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski



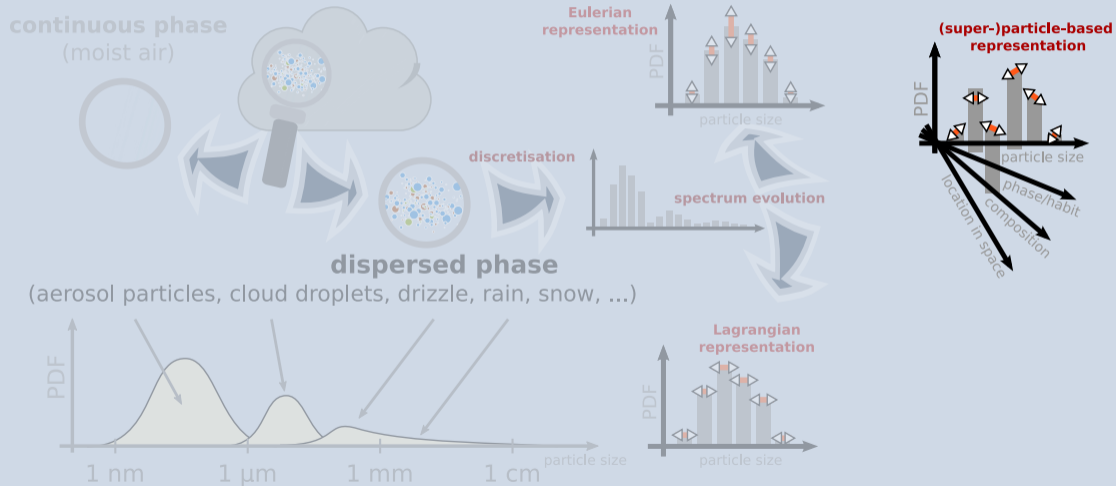
μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski



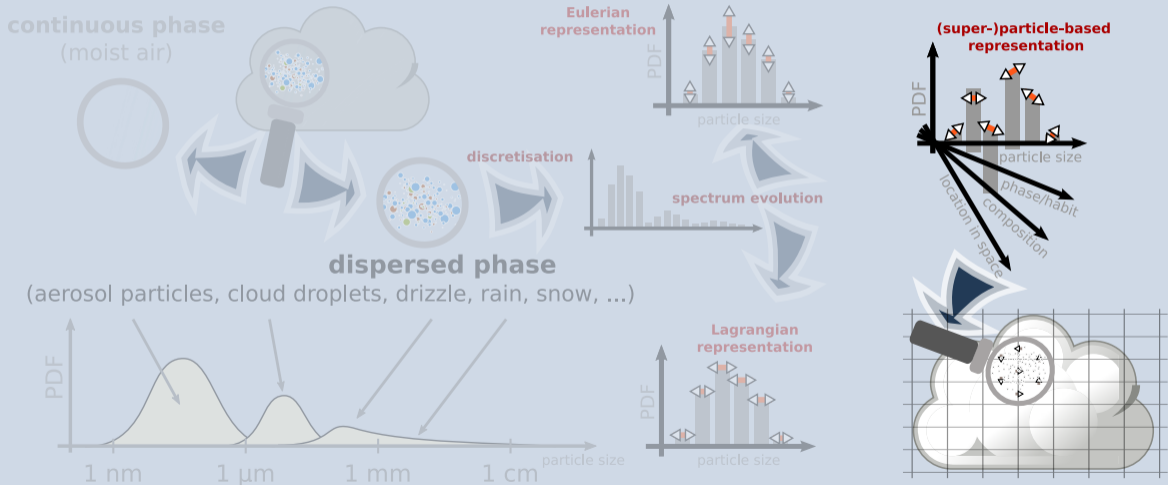
μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski



μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski

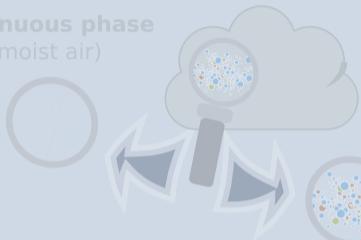


μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski



μ -fizyka: opis eulerowski a lagranżowski

continuous phase
(moist air)

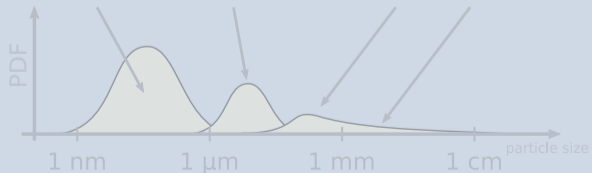


discretisation

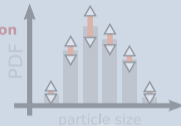


dispersed phase

(aerosol particles, cloud droplets, drizzle, rain, snow, ...)



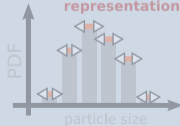
Eulerian representation



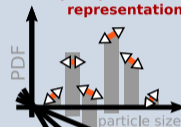
spectrum evolution



Lagrangian representation



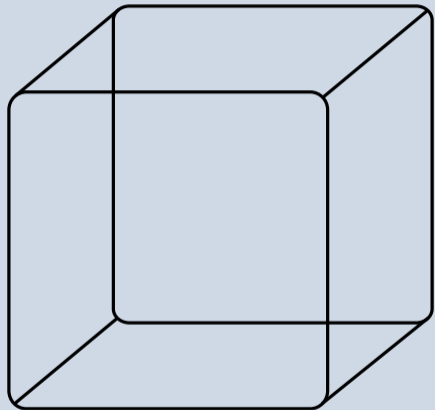
(super-)particle-based representation



location in space
composition
phase/habit



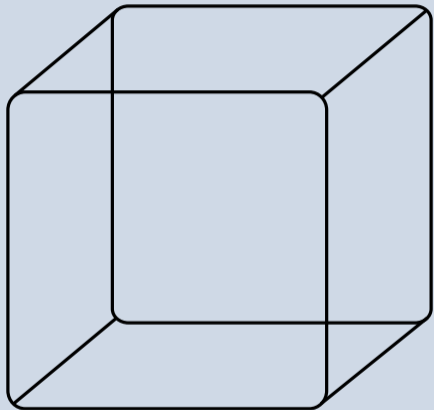
Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku



W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki



Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku

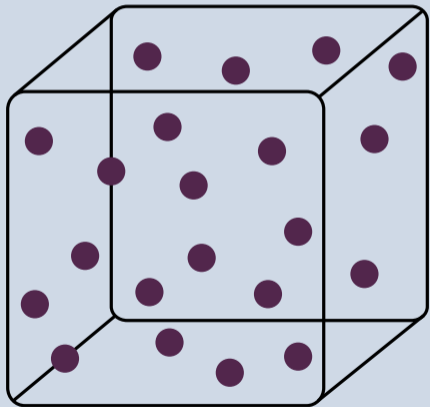


W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:



Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku

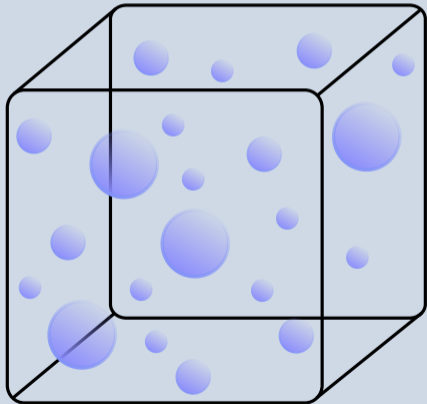


W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie

Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku

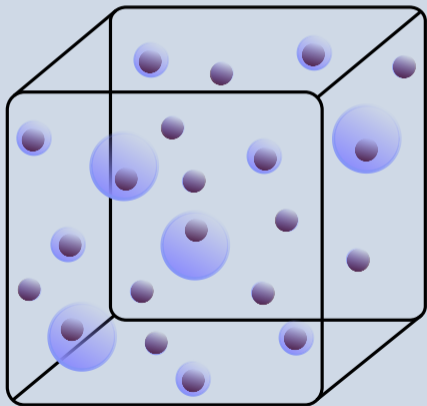


W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokrzy

Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku

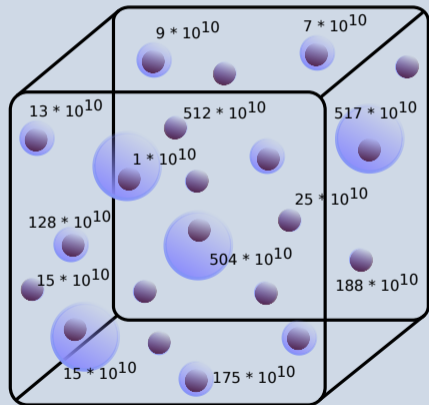


W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy

Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku

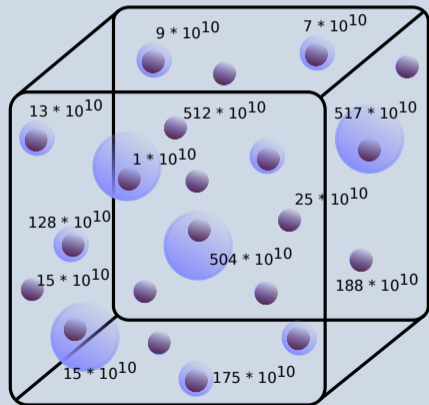


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność

Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku

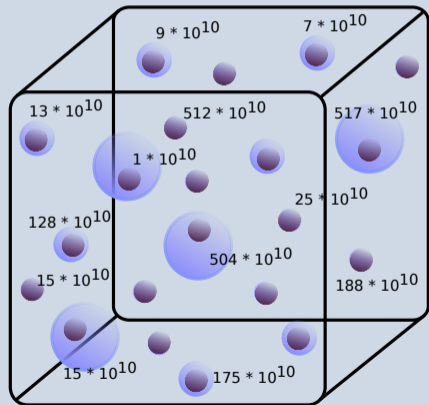


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność
- ▶ ...

Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku



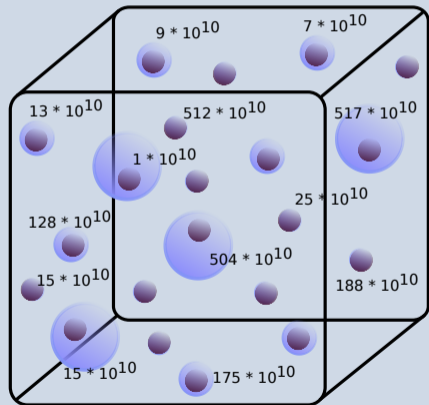
W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność
- ▶ ...

Łatwość dodawania kolejnych atrybutów

Lagranżowski opis mikrofizyki krok po kroku



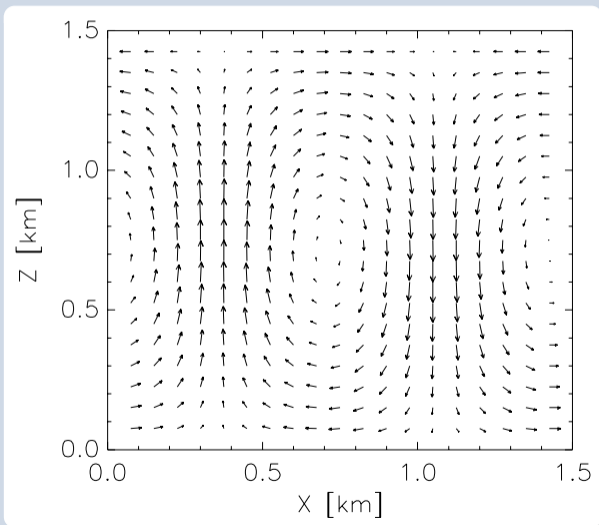
W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność
- ▶ ...

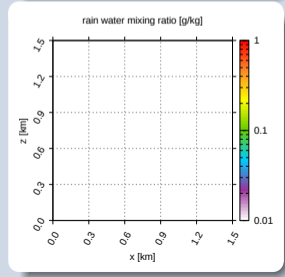
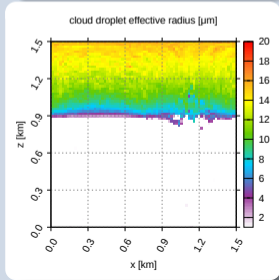
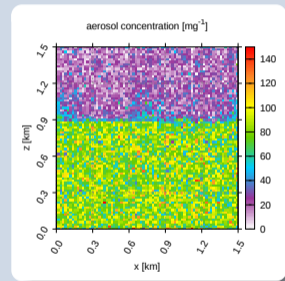
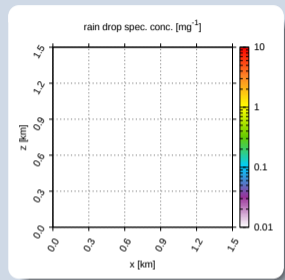
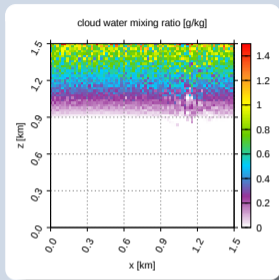
Łatwość dodawania kolejnych atrybutów
(np. przy opisie reakcji chemicznych czy procesów zależnych od składu izotopowego)

przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

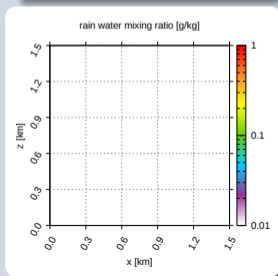
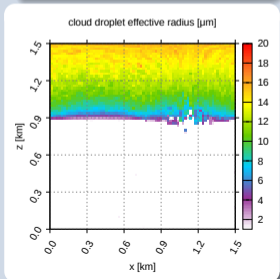
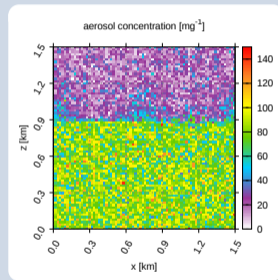
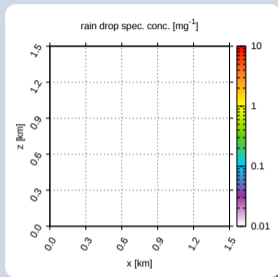
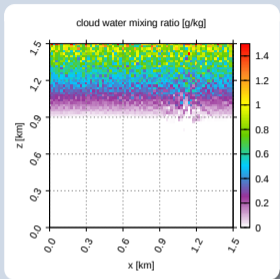


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

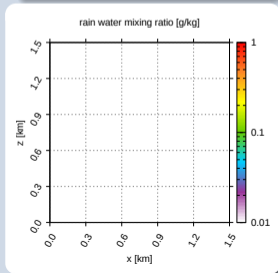
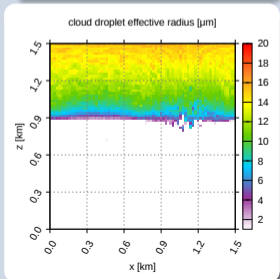
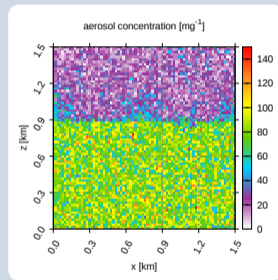
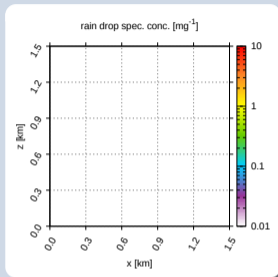
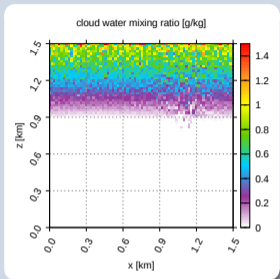
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX



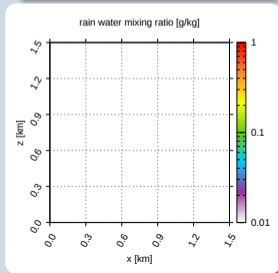
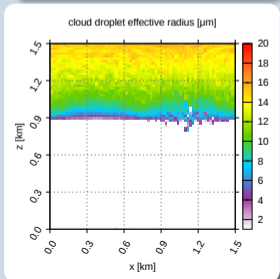
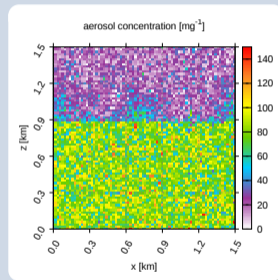
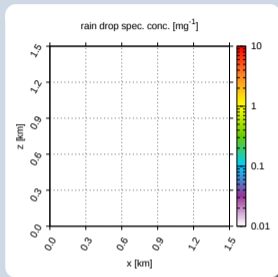
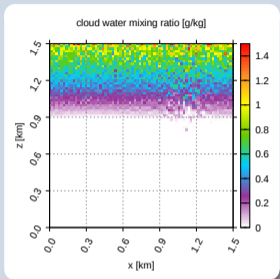
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



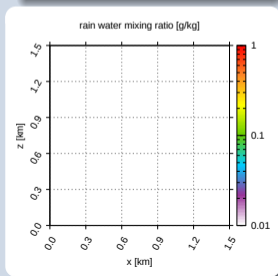
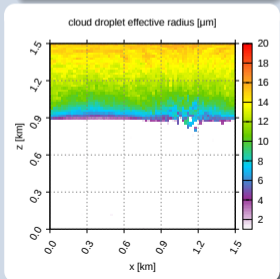
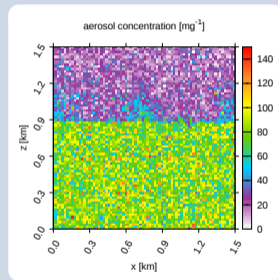
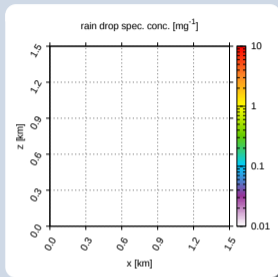
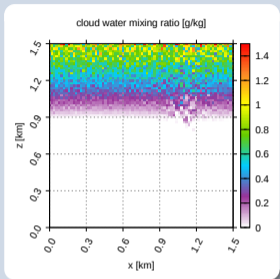
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



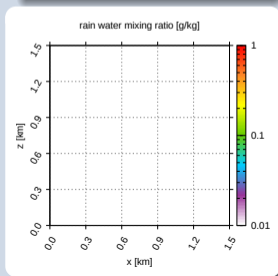
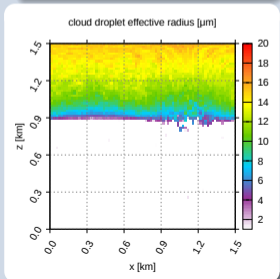
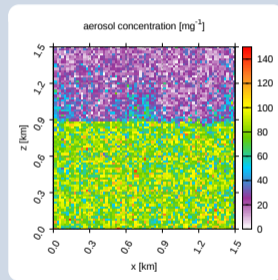
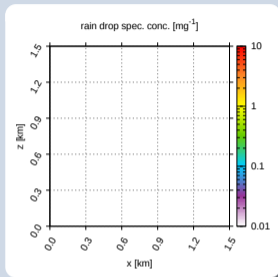
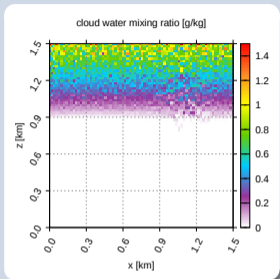
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

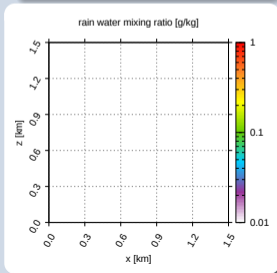
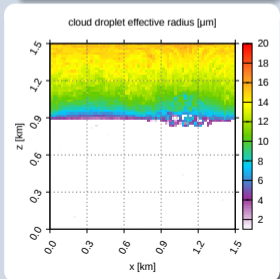
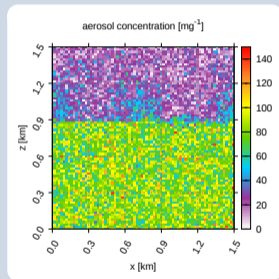
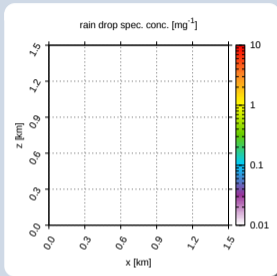
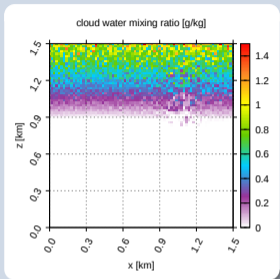


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

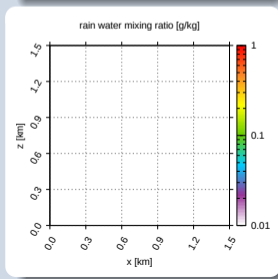
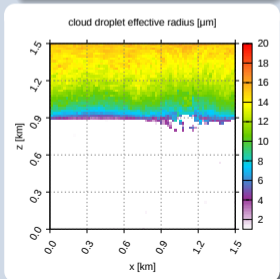
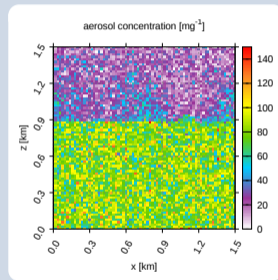
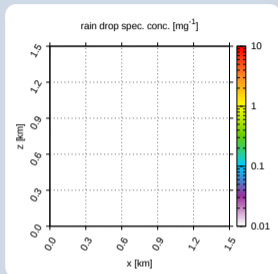
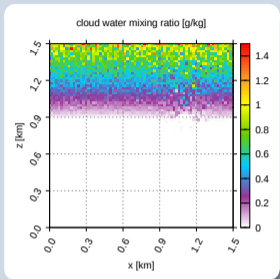


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

XX

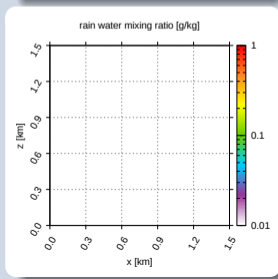
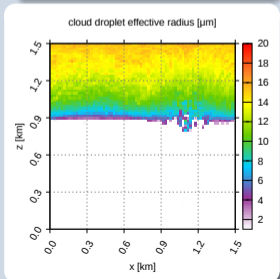
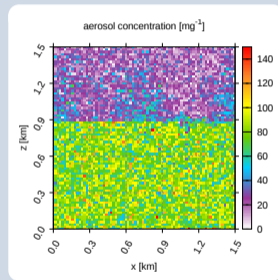
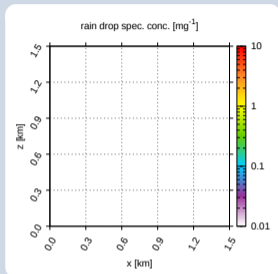
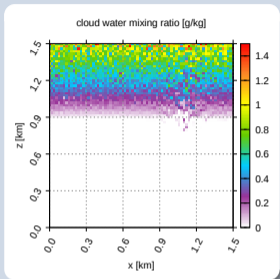


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

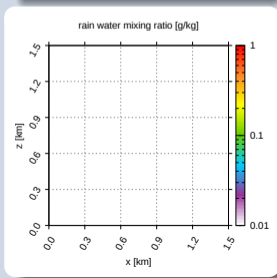
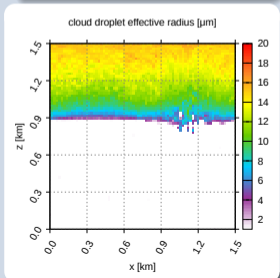
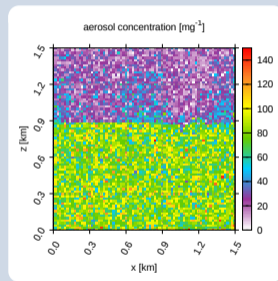
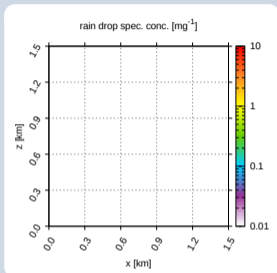
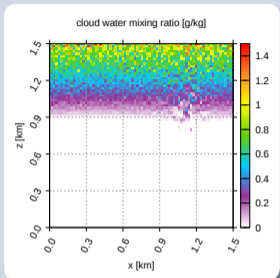


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

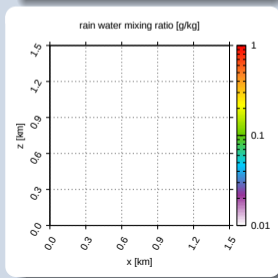
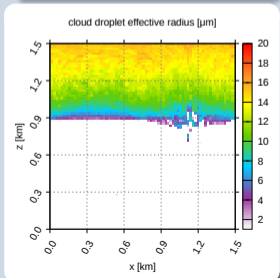
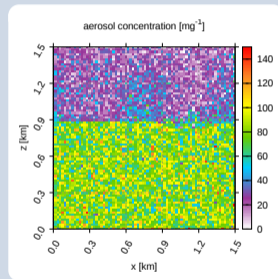
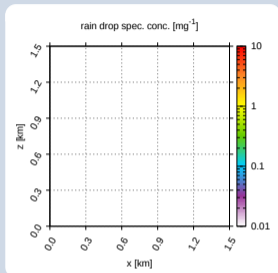
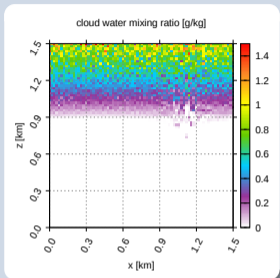
XX



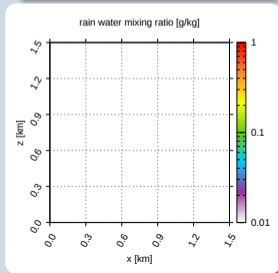
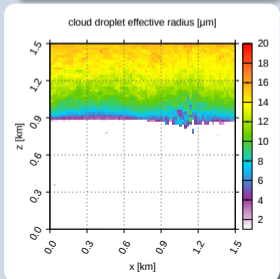
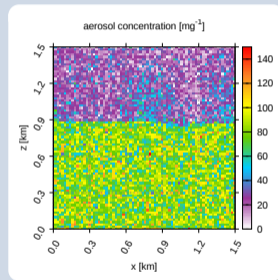
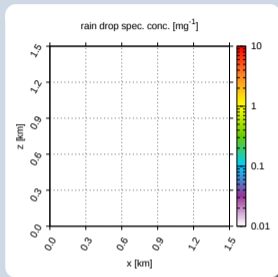
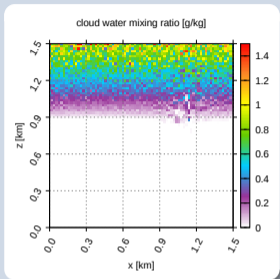
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



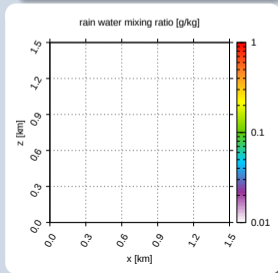
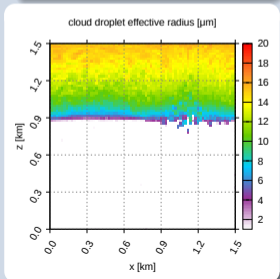
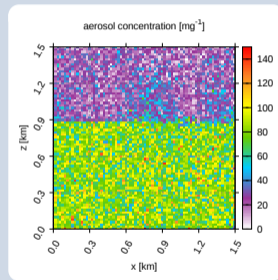
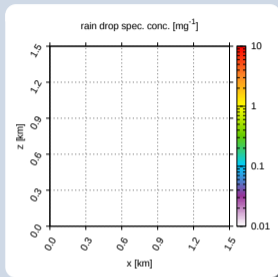
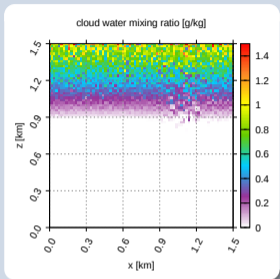
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

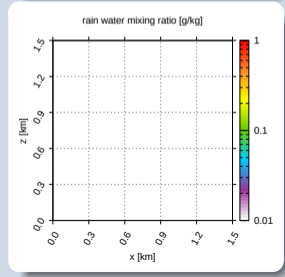
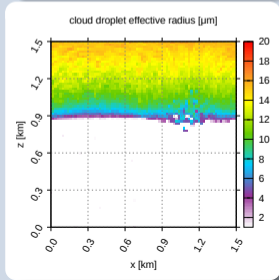
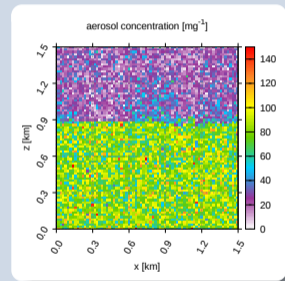
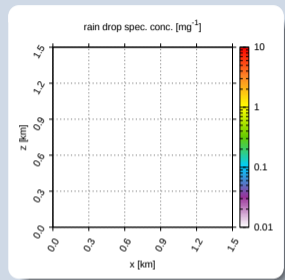
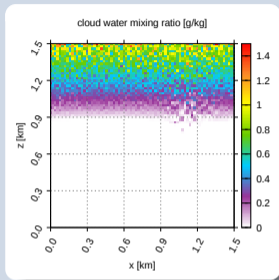


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



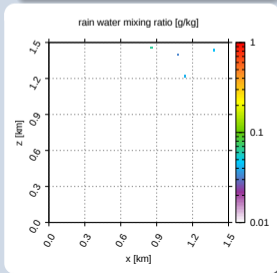
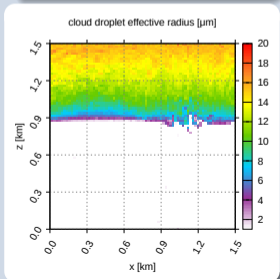
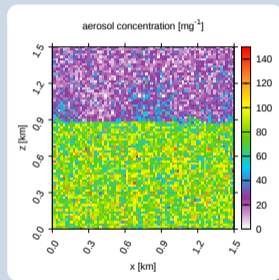
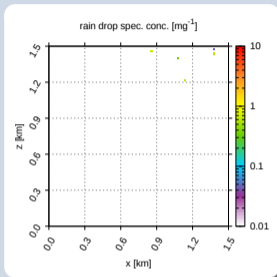
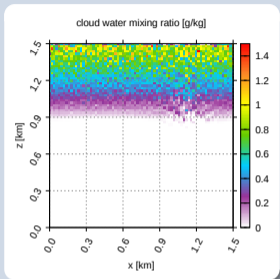
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

XX



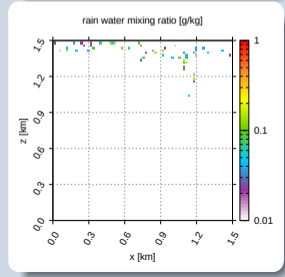
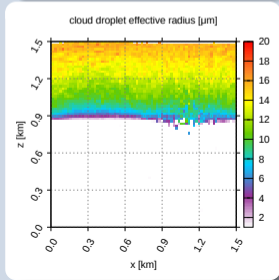
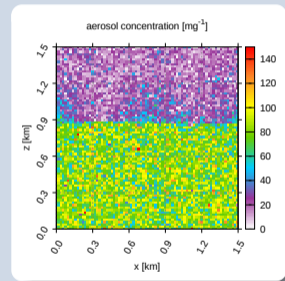
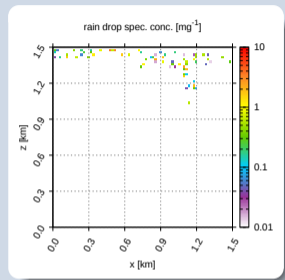
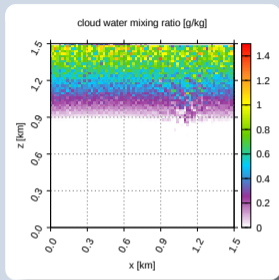
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

XXO



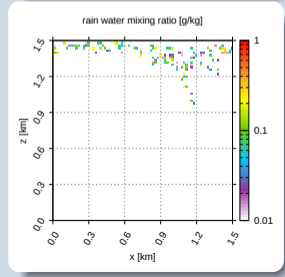
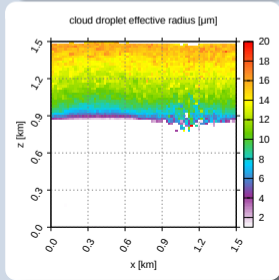
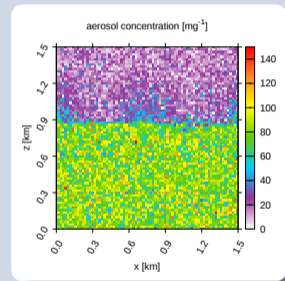
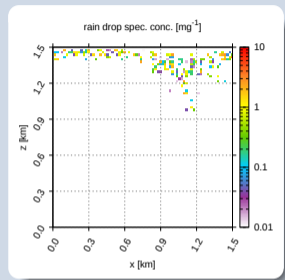
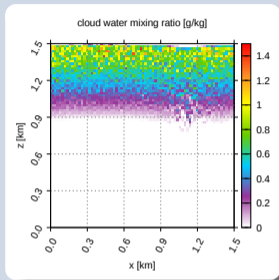
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

XXO



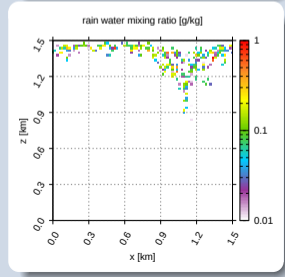
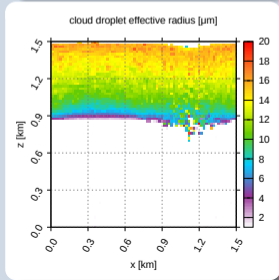
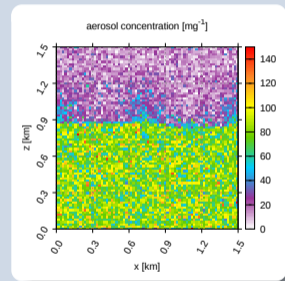
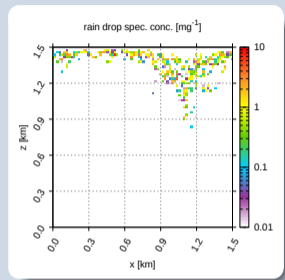
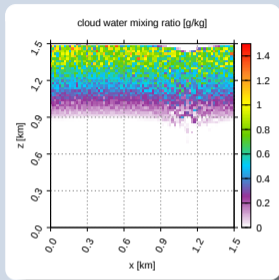
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

XXOOO

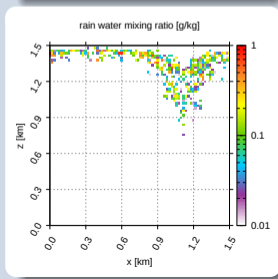
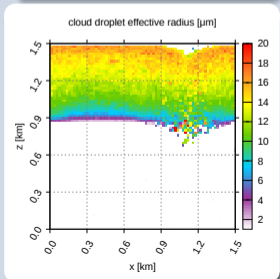
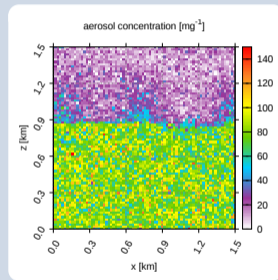
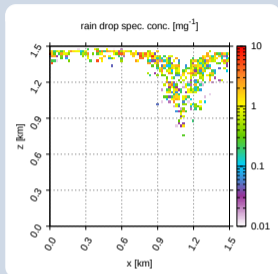
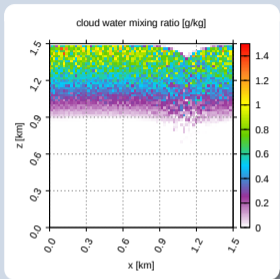


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

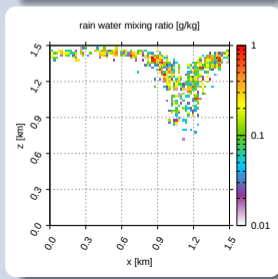
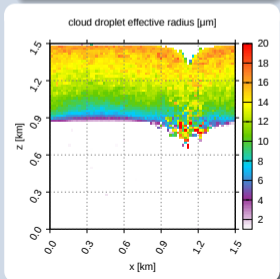
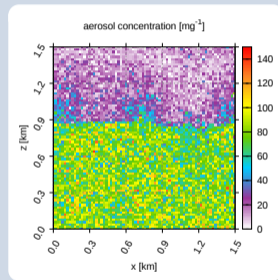
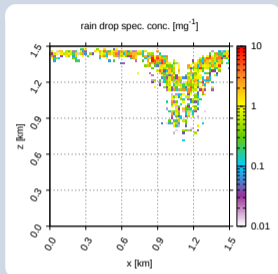
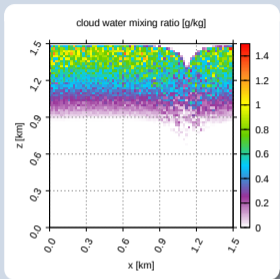
XXOOOO



przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

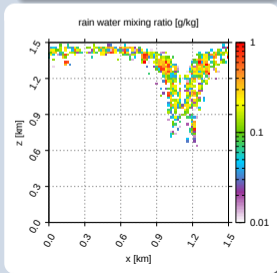
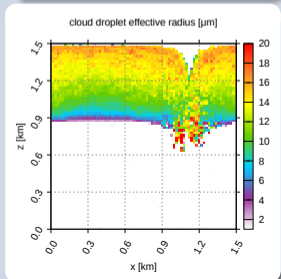
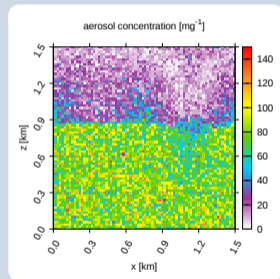
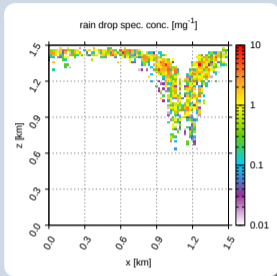
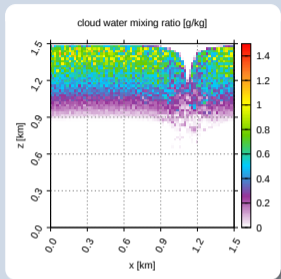


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

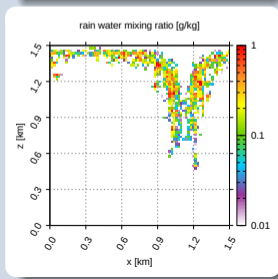
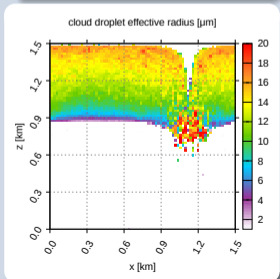
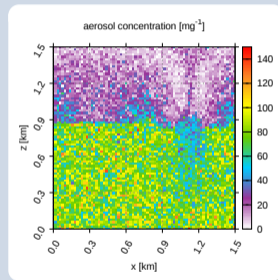
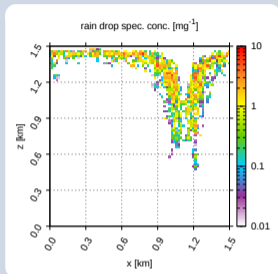
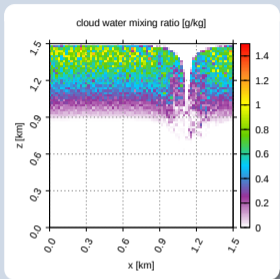


przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)

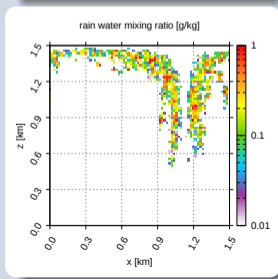
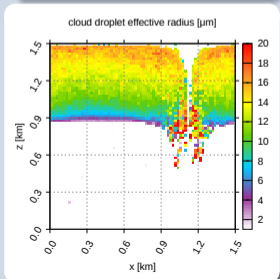
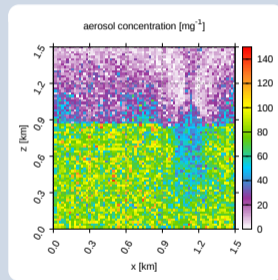
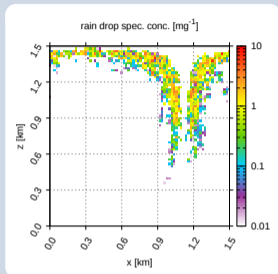
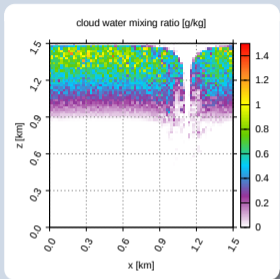
XX



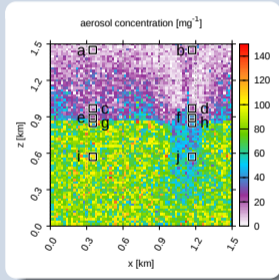
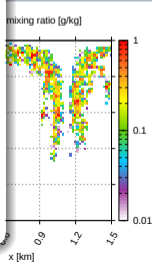
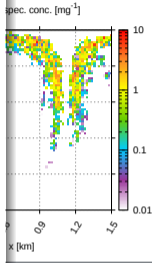
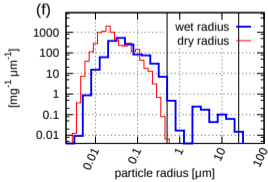
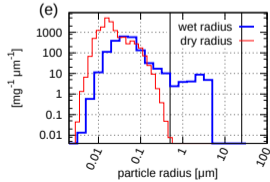
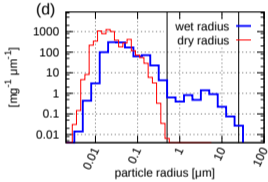
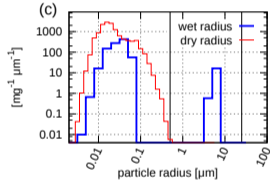
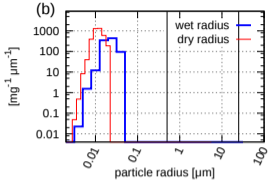
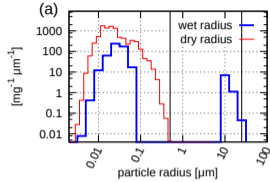
przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



przykładowa symulacja (2D, mikrofizyka lagranżowska, zadany przepływ)



widma rozmiarów cząstek



XXXXXXXXXXXXXOOOOOOOO

Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt
- ▶ każdej reprezentującej ξ cząstek (aerozolu/chmury/opadu)

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt
- ▶ każdej reprezentującej ξ cząstek (aerozolu/chmury/opadu)
- ▶ prawdopodobieństwo zderzenia i -tej i j -tej super-kropelki:

$$P_{ij} = \max(\xi_i, \xi_j) \cdot E(r_i, r_j) \cdot \pi(r_i + r_j)^2 \cdot |v_i - v_j| \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V}$$

gdzie r – promień kropli, $E(r_i, r_j)$ – wsp. wychwytu, v – prędkości kropeł

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt
- ▶ każdej reprezentującej ξ cząstek (aerozolu/chmury/opadu)
- ▶ prawdopodobieństwo zderzenia i -tej i j -tej super-kropelki:

$$P_{ij} = \max(\xi_i, \xi_j) \cdot E(r_i, r_j) \cdot \pi(r_i + r_j)^2 \cdot |v_i - v_j| \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V}$$

gdzie r – promień kropli, $E(r_i, r_j)$ – wsp. wychwytu, v – prędkości kropeł

- ▶ dwie (spójne) możliwości reprezentacji zderzeń w symulacji Monte-Carlo:
 - ▶ część z ξ cząstek (określona przez P_{ij}) zderza i łączy się co Δt
 - ▶ $\min(\xi_i, \xi_j)$ kropeł zdarza się i łączy raz na wiele (określone przez P_{ij}) Δt
→ stała liczba super-kropelek (reprezentacja rozmiarów po zderzeniu)!

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt
- ▶ każdej reprezentującej ξ cząstek (aerozolu/chmury/opadu)
- ▶ prawdopodobieństwo zderzenia i -tej i j -tej super-kropelki:

$$P_{ij} = \max(\xi_i, \xi_j) \cdot E(r_i, r_j) \cdot \pi(r_i + r_j)^2 \cdot |v_i - v_j| \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V}$$

gdzie r – promień kropli, $E(r_i, r_j)$ – wsp. wychwytu, v – prędkości kropeł

- ▶ dwie (spójne) możliwości reprezentacji zderzeń w symulacji Monte-Carlo:
 - ▶ część z ξ cząstek (określona przez P_{ij}) zderza i łączy się co Δt
 - ▶ $\min(\xi_i, \xi_j)$ kropeł zdarza się i łączy raz na wiele (określone przez P_{ij}) Δt
↪ stała liczba super-kropełek (reprezentacja rozmiarów po zderzeniu)!
- ▶ schemat Monte-Carlo: liczba losowa porównywana z P_{ij}

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt
- ▶ każdej reprezentującej ξ cząstek (aerozolu/chmury/opadu)
- ▶ prawdopodobieństwo zderzenia i -tej i j -tej super-kropelki:

$$P_{ij} = \max(\xi_i, \xi_j) \cdot E(r_i, r_j) \cdot \pi(r_i + r_j)^2 \cdot |v_i - v_j| \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V} \cdot \frac{n \cdot (n-1)}{2} / \left[\frac{n}{2} \right]$$

gdzie r – promień kropli, $E(r_i, r_j)$ – wsp. wychwytu, v – prędkości kropelek

- ▶ dwie (spójne) możliwości reprezentacji zderzeń w symulacji Monte-Carlo:
 - ▶ część z ξ cząstek (określona przez P_{ij}) zderza i łączy się co Δt
 - ▶ $\min(\xi_i, \xi_j)$ kropelek zdarza się i łączy raz na wiele (określone przez P_{ij}) Δt
 \leadsto stała liczba super-kropelek (reprezentacja rozmiarów po zderzeniu)!
- ▶ schemat Monte-Carlo: liczba losowa porównywana z P_{ij}
- ▶ sprawdzanie $[n/2]$ losowych par (i, j) zamiast wszystkich par (i, j)
koszt: $O(n^2) \leadsto O(n)$, prawdop. skalowane przez $\frac{n \cdot (n-1)}{2} / \left[\frac{n}{2} \right]$

Lagranżowski opis μ -fizyki a koagulacja (Shima et al. 2009)

- ▶ dla n “super kropelek” w objętości ΔV w czasie Δt
- ▶ każdej reprezentującej ξ cząstek (aerozolu/chmury/opadu)
- ▶ prawdopodobieństwo zderzenia i -tej i j -tej super-kropelki:

$$P_{ij} = \max(\xi_i, \xi_j) \cdot E(r_i, r_j) \cdot \pi(r_i + r_j)^2 \cdot |v_i - v_j| \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V} \cdot \frac{n \cdot (n-1)}{2} / \left[\frac{n}{2} \right]$$

gdzie r – promień kropli, $E(r_i, r_j)$ – wsp. wychwytu, v – prędkości kropelek

- ▶ dwie (spójne) możliwości reprezentacji zderzeń w symulacji Monte-Carlo:
 - ▶ część z ξ cząstek (określona przez P_{ij}) zderza i łączy się co Δt
 - ▶ $\min(\xi_i, \xi_j)$ kropelek zdarza się i łączy raz na wiele (określone przez P_{ij}) Δt
→ stała liczba super-kropelek (reprezentacja rozmiarów po zderzeniu)!

- ▶ schemat Monte-Carlo: liczba losowa porównywana z P_{ij}
- ▶ sprawdzanie $[n/2]$ losowych par (i, j) zamiast wszystkich par (i, j)
koszt: $O(n^2) \rightsquigarrow O(n)$, prawdop. skalowane przez $\frac{n \cdot (n-1)}{2} / \left[\frac{n}{2} \right]$

- ▶ alternatywa eulerowska (i nie stochastyczna): równanie Smoluchowskiego

Algoritm Monte-Carlo Super-Droplet Method (Shima et al. 2009)



Shin-ichiro Shima

Graduate School of Information Science, [University of Hyogo](#)

Verified email at sim.u-hyogo.ac.jp - [Homepage](#)

[Computational Physics](#) [Nonlinear Dynamics](#) [Complex Systems](#)

| TITLE | CITED BY | YEAR |
|--|----------|------|
| Rotating spiral waves with phase-randomized core in nonlocally coupled oscillators S Shima, Y Kuramoto Physical Review E 69 (3), 036213 | 323 | 2004 |
| The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model S Shima, K Kusunagi, A Kawano, T Sugiyama, S Kawahara Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 135 (642), 1307-1320 | 189 | 2009 |

Algorytm Monte-Carlo Super-Droplet Method (Shima et al. 2009)



Shin-ichiro Shima

Graduate School of Information Science, [University of Hyogo](#)

Verified email at sim.u-hyogo.ac.jp - [Homepage](#)

[Computational Physics](#) [Nonlinear Dynamics](#) [Complex Systems](#)

| TITLE | CITED BY | YEAR |
|--|----------|------|
| Rotating spiral waves with phase-randomized core in nonlocally coupled oscillators S Shima, Y Kuramoto Physical Review E 69 (3), 036213 | 323 | 2004 |
| The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model S Shima, K Kusunagi, A Kawano, T Sugiyama, S Kawahara Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 135 (642), 1307-1320 | 189 | 2009 |

- ▶ pierwsze zastosowanie w symulacjach 3D (LES):
Arabas & Shima 2013 (JAS, 10.1175/JAS-D-12-0295.1)

Algorytm Monte-Carlo Super-Droplet Method (Shima et al. 2009)



Shin-ichiro Shima

Graduate School of Information Science, [University of Hyogo](#)

Verified email at sim.u-hyogo.ac.jp - [Homepage](#)

[Computational Physics](#) [Nonlinear Dynamics](#) [Complex Systems](#)

| TITLE | CITED BY | YEAR |
|--|----------|------|
| Rotating spiral waves with phase-randomized core in nonlocally coupled oscillators S Shima, Y Kuramoto Physical Review E 69 (3), 036213 | 323 | 2004 |
| The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model S Shima, K Kusunagi, A Kawano, T Sugiyama, S Kawahara Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 135 (642), 1307-1320 | 189 | 2009 |

- ▶ pierwsze zastosowanie w symulacjach 3D (LES):
Arabas & Shima 2013 (JAS, 10.1175/JAS-D-12-0295.1)
- ▶ pierwsza implementacja na GPU (C++):
Arabas et al. 2015 (GMD, 10.5194/gmd-8-1677-2015)

Algorytm Monte-Carlo Super-Droplet Method (Shima et al. 2009)



Shin-ichiro Shima

Graduate School of Information Science, [University of Hyogo](#)

Verified email at sim.u-hyogo.ac.jp - [Homepage](#)

[Computational Physics](#) [Nonlinear Dynamics](#) [Complex Systems](#)

| TITLE | CITED BY | YEAR |
|--|----------|------|
| Rotating spiral waves with phase-randomized core in nonlocally coupled oscillators S Shima, Y Kuramoto Physical Review E 69 (3), 036213 | 323 | 2004 |
| The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model S Shima, K Kusunagi, A Kawano, T Sugiyama, S Kawahara Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 135 (642), 1307-1320 | 189 | 2009 |

- ▶ pierwsze zastosowanie w symulacjach 3D (LES):
Arabas & Shima 2013 (JAS, 10.1175/JAS-D-12-0295.1)
- ▶ pierwsza implementacja na GPU (C++):
Arabas et al. 2015 (GMD, 10.5194/gmd-8-1677-2015)
- ▶ wysokowydajna impl. w Pythonie (na wielordzeniowe CPU i GPU):
Bartman & Arabas 2021 (LNCS / ICCS@AGH, 10.1007/978-3-030-77964-1_2)

Algorytm Monte-Carlo Super-Droplet Method (Shima et al. 2009)



Shin-ichiro Shima

Graduate School of Information Science, [University of Hyogo](#)

Verified email at sim.u-hyogo.ac.jp - [Homepage](#)

[Computational Physics](#) [Nonlinear Dynamics](#) [Complex Systems](#)

| TITLE | CITED BY | YEAR |
|--|----------|------|
| Rotating spiral waves with phase-randomized core in nonlocally coupled oscillators S Shima, Y Kuramoto Physical Review E 69 (3), 036213 | 323 | 2004 |
| The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model S Shima, K Kusunagi, A Kawano, T Sugiyama, S Kawahara Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 135 (642), 1307-1320 | 189 | 2009 |

- ▶ pierwsze zastosowanie w symulacjach 3D (LES):
Arabas & Shima 2013 (JAS, 10.1175/JAS-D-12-0295.1)
- ▶ pierwsza implementacja na GPU (C++):
Arabas et al. 2015 (GMD, 10.5194/gmd-8-1677-2015)
- ▶ wysokowydajna impl. w Pythonie (na wielordzeniowe CPU i GPU):
Bartman & Arabas 2021 (LNCS / ICCS@AGH, 10.1007/978-3-030-77964-1_2)
- ▶ rozszerzenie o opis rozpadu kropelek przy zderzeniach:
de Jong, Mackay, Jaruga & Arabas 2022 (GMD, 10.5194/egusphere-2022-1243)

Algorytm Monte-Carlo Super-Droplet Method (Shima et al. 2009)



Shin-ichiro Shima

Graduate School of Information Science, [University of Hyogo](#)

Verified email at sim.u-hyogo.ac.jp - [Homepage](#)

[Computational Physics](#) [Nonlinear Dynamics](#) [Complex Systems](#)

| TITLE | CITED BY | YEAR |
|--|----------|------|
| Rotating spiral waves with phase-randomized core in nonlocally coupled oscillators S Shima, Y Kuramoto Physical Review E 69 (3), 036213 | 323 | 2004 |
| The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model S Shima, K Kusano, A Kawano, T Sugiyama, S Kawahara Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 135 (642), 1307-1320 | 189 | 2009 |

- ▶ pierwsze zastosowanie w symulacjach 3D (LES):
Arabas & Shima 2013 (JAS, 10.1175/JAS-D-12-0295.1)
- ▶ pierwsza implementacja na GPU (C++):
Arabas et al. 2015 (GMD, 10.5194/gmd-8-1677-2015)
- ▶ wysokowydajna impl. w Pythonie (na wielordzeniowe CPU i GPU):
Bartman & Arabas 2021 (LNCS / ICCS@AGH, 10.1007/978-3-030-77964-1_2)
- ▶ rozszerzenie o opis rozpadu kroplek przy zderzeniach:
de Jong, Mackay, Jaruga & Arabas 2022 (GMD, 10.5194/egusphere-2022-1243)
- ▶ połączenie z symulacją Monte-Carlo nukleacji lodu:
Arabas, Riemer, et al. (w przygotowaniu, zob. np.: <http://youtu.be/00Je-JFMDpU>)

Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM

Plan prezentacji

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Symulacje Monte-Carlo zderzeń kropeł
- Pakiet oprogramowania PySDM



The Journal of Open Source Software

PySDM v1: particle-based cloud modeling package for warm-rain microphysics and aqueous chemistry

Piotr Bartman¹, Oleksii Bulenok¹, Kamil Górski¹, Anna Jaruga², Grzegorz Łazarski^{1,3}, Michael A. Olesik⁴, Bartosz Piasecki¹, Clare E. Singer², Aleksandra Talar¹, and Sylwester Arabas^{5,1}

1 Faculty of Mathematics and Computer Science, Jagiellonian University, Kraków, Poland **2** Department of Environmental Science and Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA **3** Faculty of Chemistry, Jagiellonian University, Kraków, Poland **4** Faculty of Physics, Astronomy and Applied Computer Science, Jagiellonian University, Kraków, Poland **5** University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA

DOI: 10.21105/joss.03219

Software

- [Review](#)
- [Repository](#)
- [Archive](#)

Editor: David Hagan

Reviewers:

- [@darothien](#)
- [@josephhardinee](#)

Submitted: 31 March 2021

Published: 24 April 2022

License

Authors of papers retain

Introduction

PySDM is an open-source Python package for simulating the dynamics of particles undergoing condensational and collisional growth, interacting with a fluid flow and subject to chemical composition changes. It is intended to serve as a building block for process-level as well as computational-fluid dynamics simulation systems involving representation of a continuous phase (air) and a dispersed phase (aerosol), with PySDM being responsible for representation of the dispersed phase. For major version 1 (v1), the development has been focused on atmospheric cloud physics applications, in particular on modeling the dynamics of particles immersed in moist air using the particle-based approach to represent the evolution of the size spectrum of aerosol/cloud/rain particles. The particle-based approach contrasts the more commonly used bulk and bin methods in which atmospheric particles are segregated into multiple categories (aerosol, cloud and rain) and their evolution is governed by deterministic dynamics solved on the same Eulerian grid as the dynamics of the continuous phase. Particle-based methods employ discrete computational (super) particles for modeling the dispersed phase. Each super particle

Download paper

Software archive

Review

Editor: [@dhhagan](#) (all reviews)Reviewers: [@darothien](#) (all reviews),[@josephhardinee](#) (all reviews)

Authors

[Piotr Bartman](#) (0000-0003-0265-6428), [Oleksii Bulenok](#) (0000-0003-2272-8548), [Kamil Górski](#), [Anna Jaruga](#) (0000-0003-3194-6440), [Grzegorz Łazarski](#) (0000-0002-5595-371X), [Michael A. Olesik](#) (0000-0002-6319-9358), [Bartosz Piasecki](#), [Clare E. Singer](#) (0000-0002-1708-0992), [Aleksandra Talar](#), [Sylwester Arabas](#) (0000-0003-2361-0082)

Citation

Bartman et al., (2022). PySDM v1: particle-based cloud modeling package for warm-rain microphysics and aqueous chemistry. Journal of Open Source Software, 7(72), 3219, <https://doi.org/10.21105/joss.03219>

[Copy citation string](#) · [Copy BibTeX](#)

Tags

[physics-simulation](#) [modeling-simulation](#) [cpu-computing](#)
[atmospheric-modeling](#) [particle-system](#) [numba](#) [traid](#) [nrtx](#)
[air](#) [atmospheric-chemistry](#)

Altmetrics



Markdown badge

License

Authors of JOSS papers retain copyright.

This work is licensed under a [Creative Commons](#)[Attribution 4.0 International License](#).

PySDM: technologie

- ▶ 100% Python python.org
- ▶ Numba (JIT \rightsquigarrow LLVM, multi-threading) numba.pydata.org
- ▶ ThrustRTC (GPU-resident) pypi.org/p/ThrustRTC



PySDM: technologie

- ▶ 100% Python python.org
- ▶ Numba (JIT \rightsquigarrow LLVM, multi-threading) numba.pydata.org
- ▶ ThrustRTC (GPU-resident) pypi.org/p/ThrustRTC

- ▶ GitHub & GitHub Actions github.com
- ▶ Codecov codecov.io
- ▶ AppVeyor appveyor.com



PySDM: technologie

- ▶ 100% Python python.org
- ▶ Numba (JIT \rightsquigarrow LLVM, multi-threading) numba.pydata.org
- ▶ ThrustRTC (GPU-resident) pypi.org/p/ThrustRTC

- ▶ GitHub & GitHub Actions github.com
- ▶ Codecov codecov.io
- ▶ AppVeyor appveyor.com

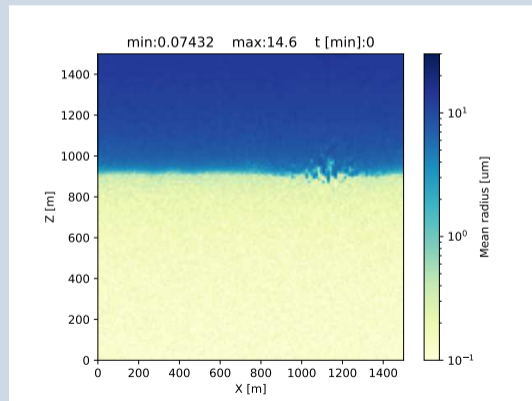
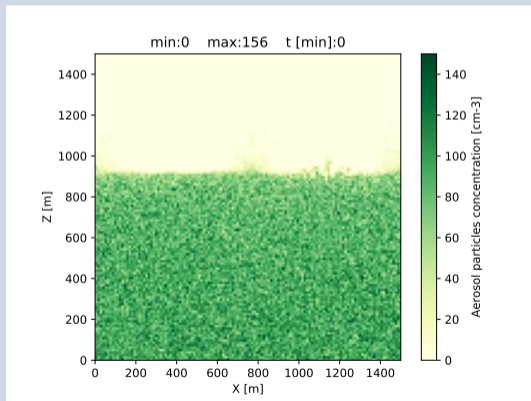
- ▶ Jupyter jupyter.org
- ▶ Binder mybinder.org
- ▶ Colab colab.research.google.com



PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

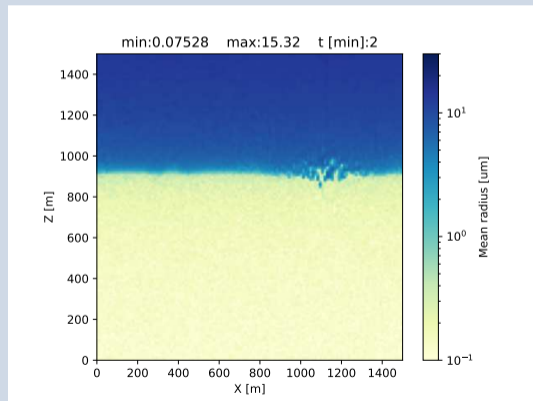
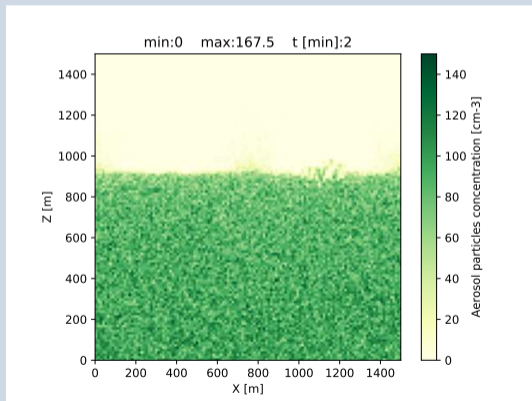


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

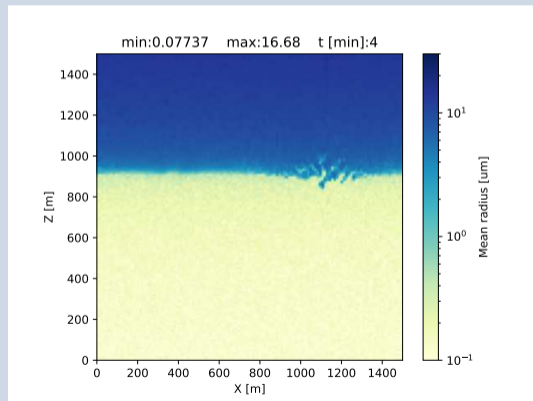
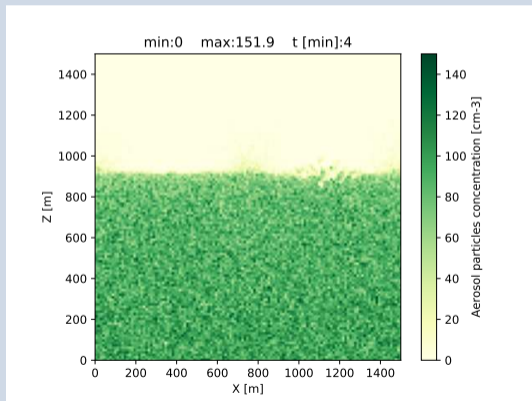


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMił UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

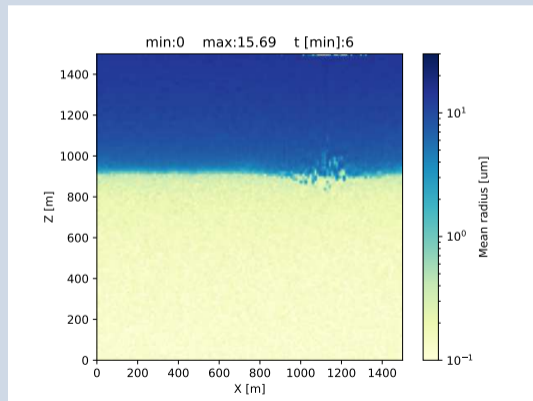
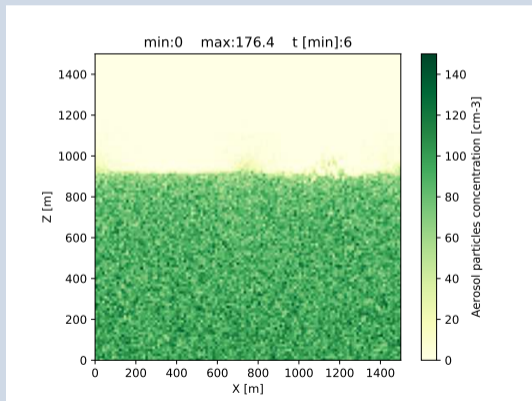


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMił UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

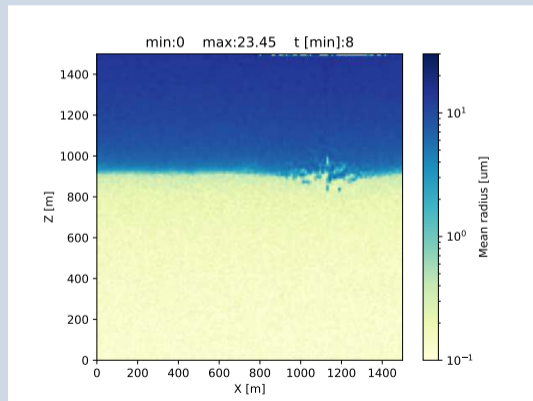
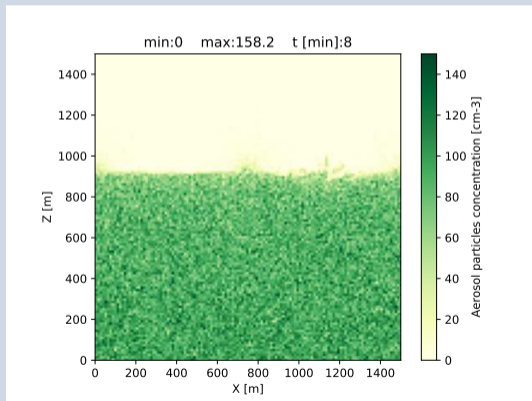


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMił UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

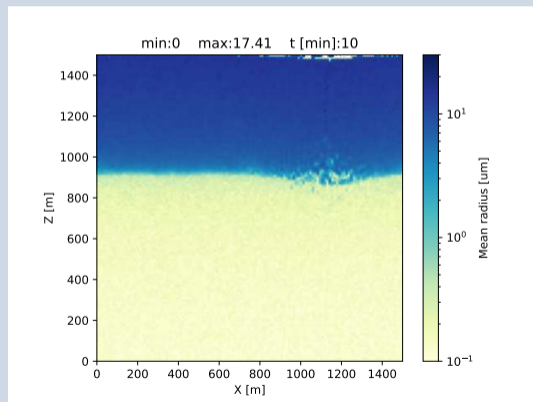
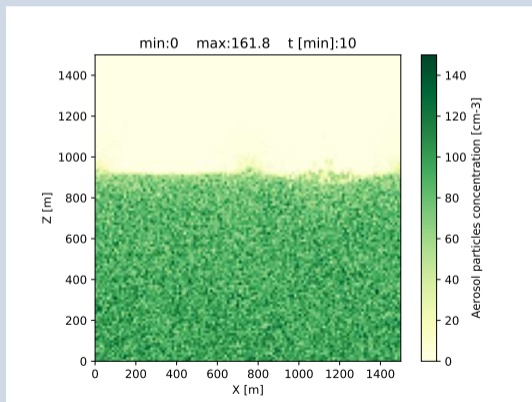


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

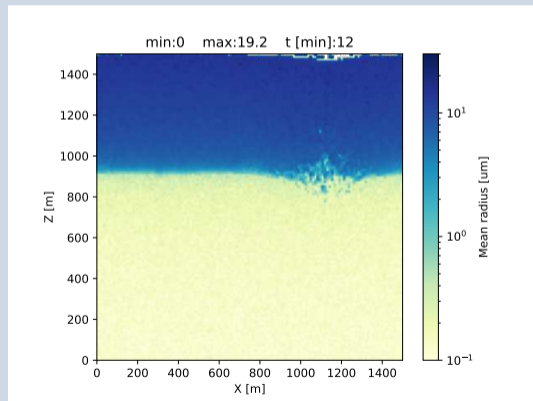
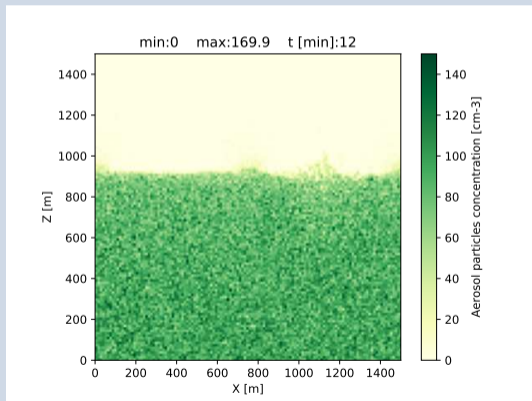


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

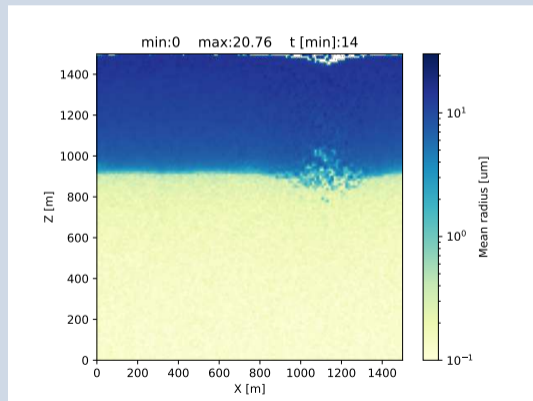
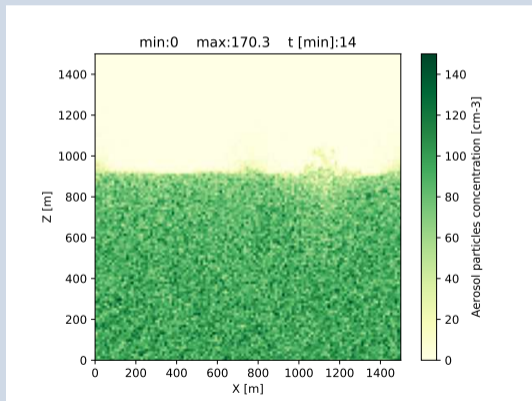


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

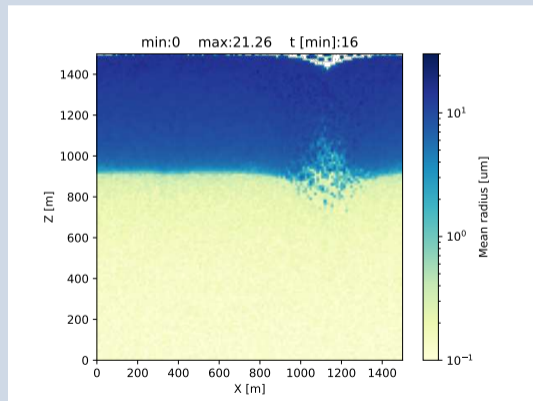
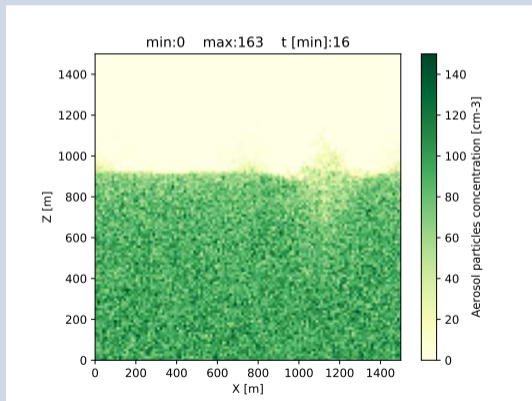


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

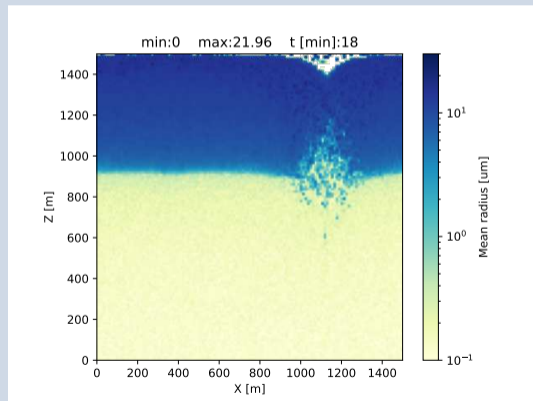
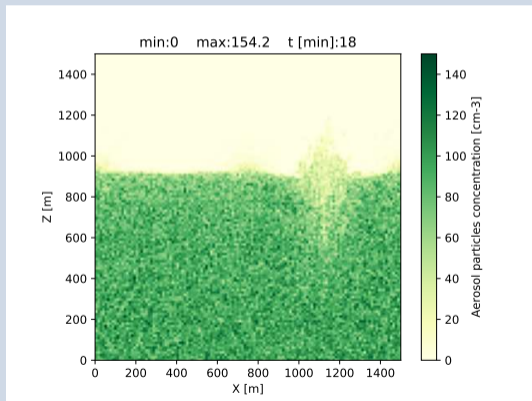


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

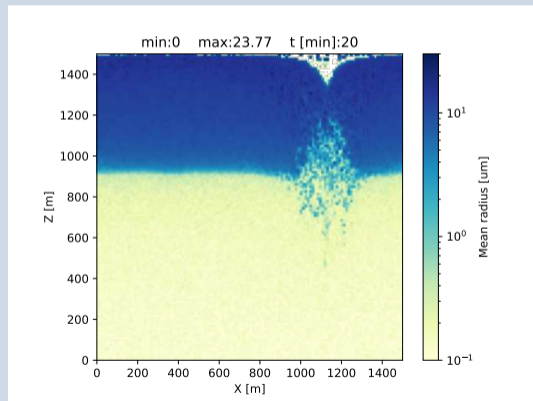
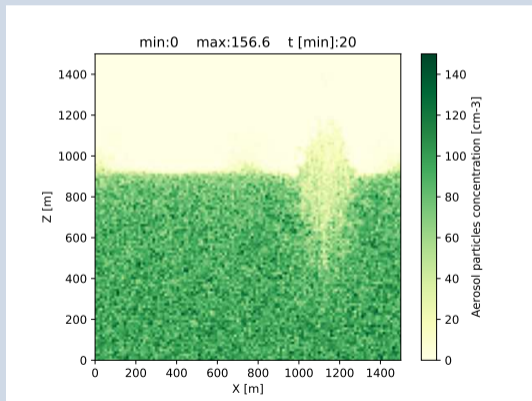


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

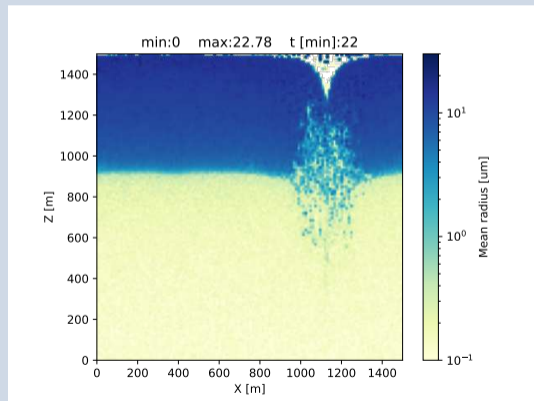
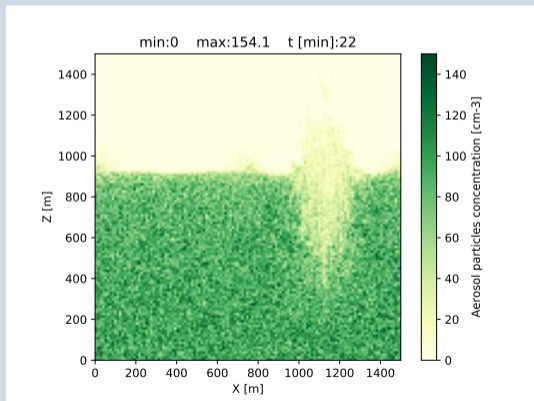


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

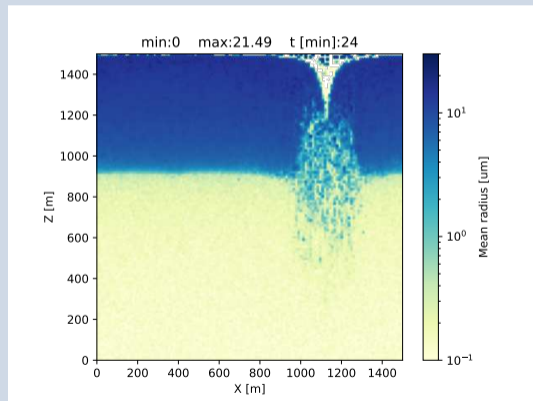
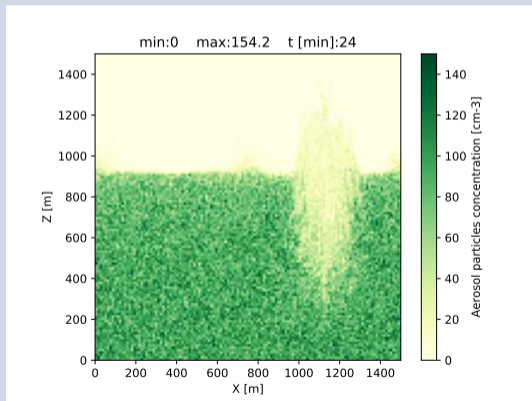


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

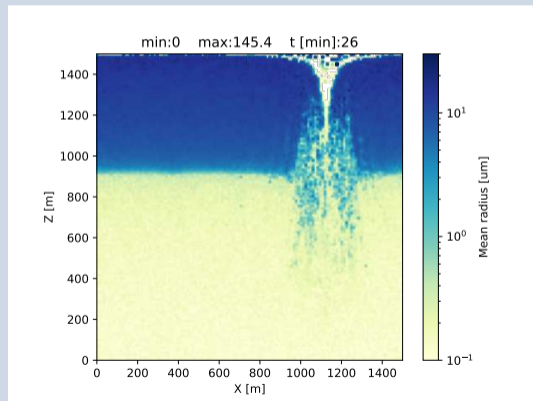
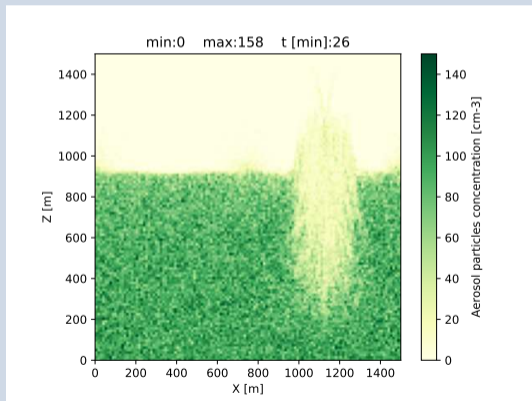


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

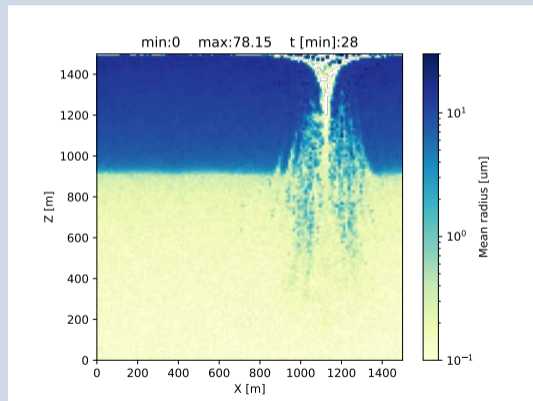
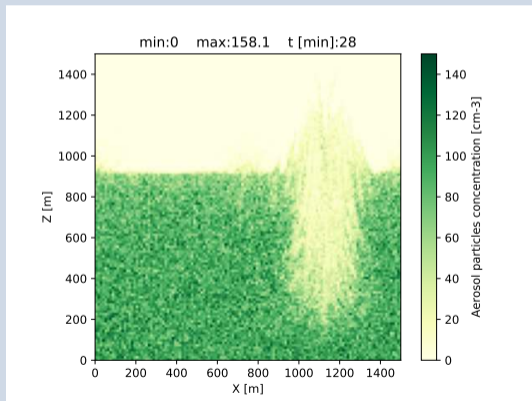


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

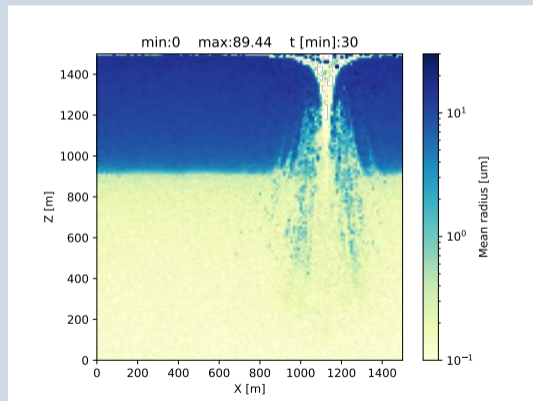
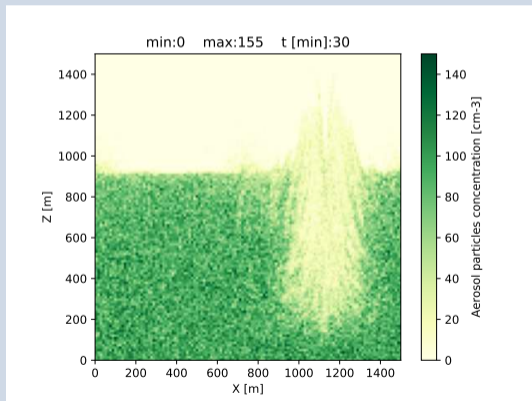


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMił UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

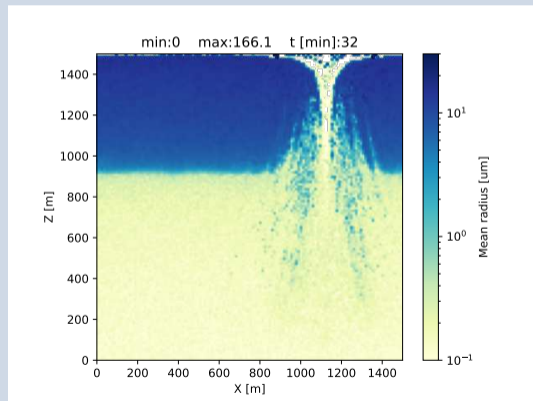
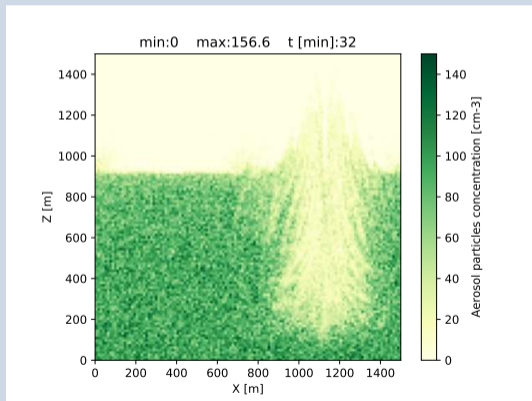


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

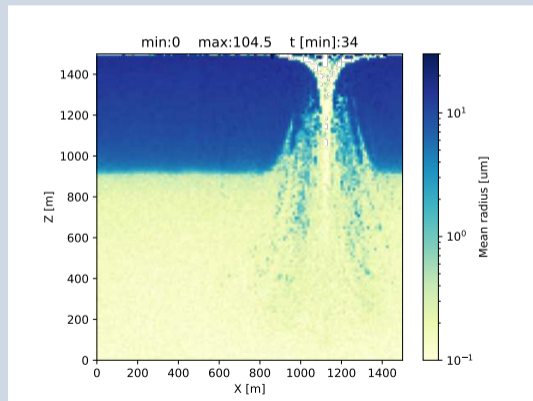
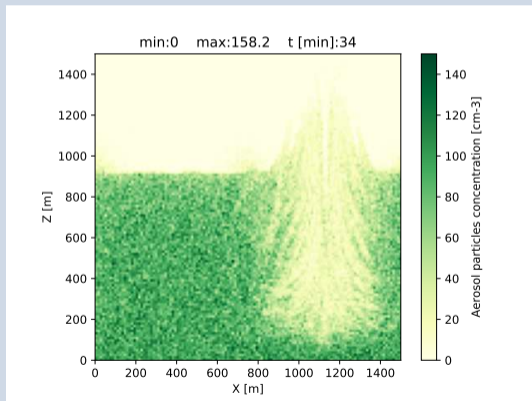


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

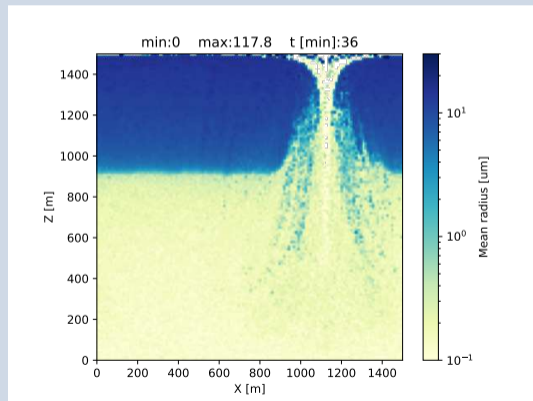
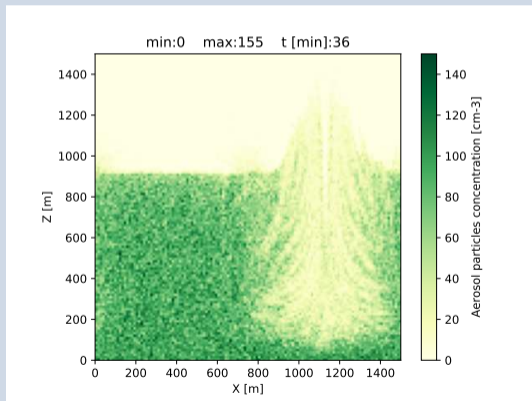


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

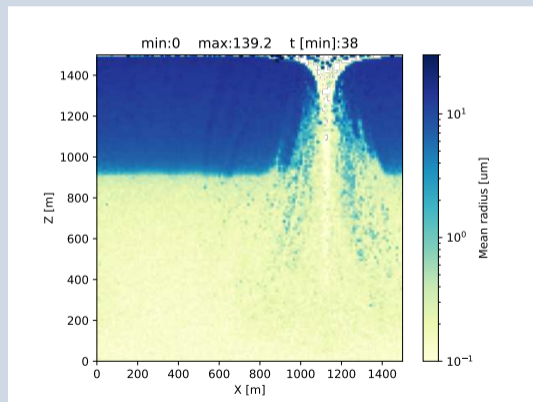
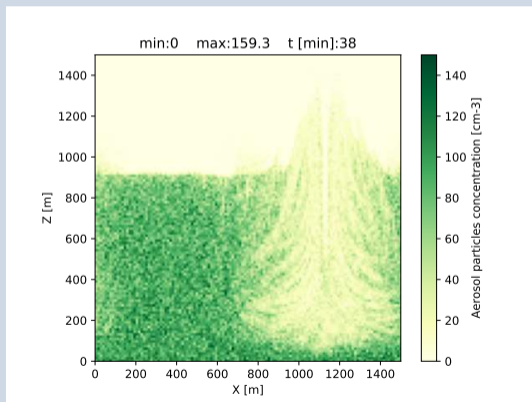


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMił UJ)

PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek

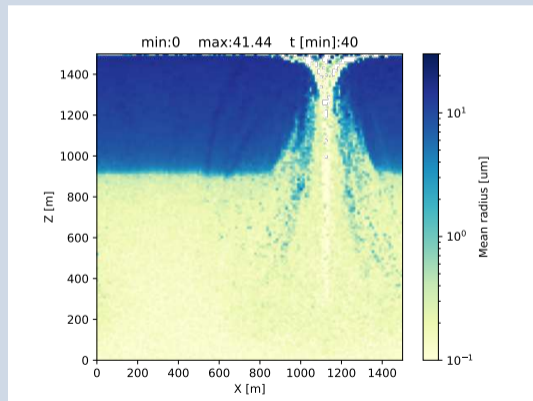
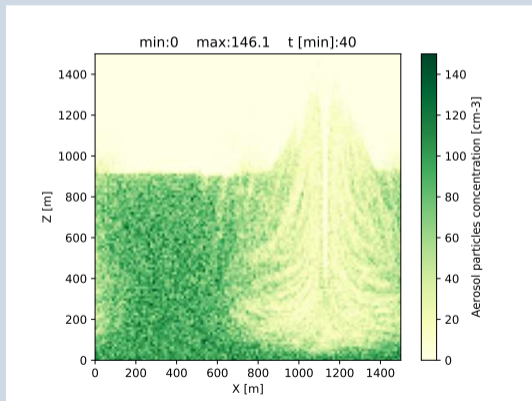


Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMil UJ)

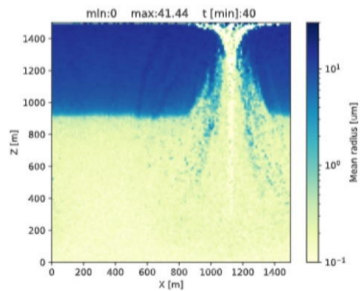
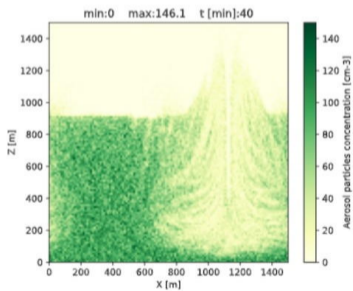
PySDM: przykładowa symulacja

Rozdzielczość siatki eulerowskiej: 128x128

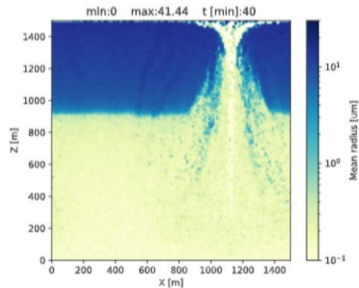
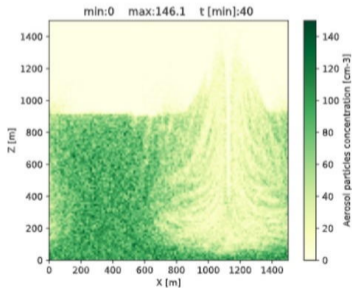
Rozdzielczość symulacji lagranżowskiej: 2^{21} super-kropelek



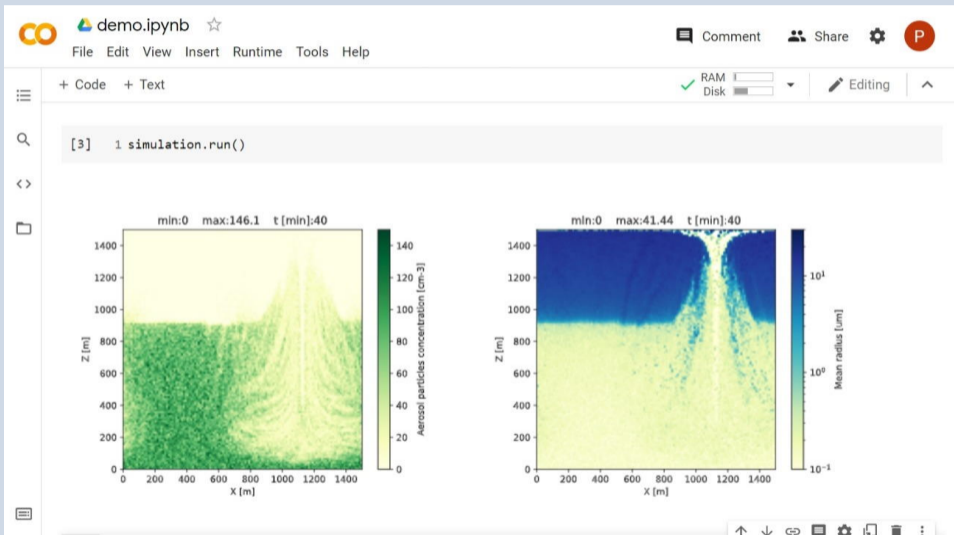
Opracowania i wizualizacja: Piotr Bartman (praca mgr @ WMił UJ)



```
[3] 1 simulation.run()
```



PySDM: 100% Python, Jupyter \rightsquigarrow przykłady



PySDM: 100% Python, Jupyter \rightsquigarrow przykłady, backendy CPU i GPU

The screenshot displays a Jupyter Notebook interface with a 'Notebook settings' dialog box open. The notebook's title bar shows 'demo.ipynb' and 'All changes saved'. The code cell contains the command `simulation.run()`. The background features two 2D plots: the left one shows a spatial distribution of particles with axes X [m] and Z [m], and the right one shows a similar distribution with a color scale for 'Mean radius [um]' ranging from 10^{-1} to 10^1 . The 'Notebook settings' dialog box includes the following elements:

- Hardware accelerator:** A dropdown menu currently set to 'GPU' with a help icon.
- Instructions:** Text stating 'To get the most out of Colab, avoid using a GPU unless you need one. [Learn more](#)'.
- Checkbox:** An unchecked checkbox labeled 'Omit code cell output when saving this notebook'.
- Buttons:** 'CANCEL' and 'SAVE' buttons at the bottom right of the dialog.

The screenshot shows a GitHub repository page for the "Atmospheric Cloud Simulation Group @ Jagiellonian University". The repository name is "README.md". The page features a navigation bar with tabs for Overview, Repositories (8), Projects, Packages, Teams (2), People (13), and Settings. The main content area is titled "News:" and lists several recent updates, including "JOSS under review" for a PySDM v2 outline paper, a YouTube video of Sylwester's talk at Caltech, and a PR by Oleksii Bulenok. Below the news, there is a section for "Our technological stack:" listing various tools like Python, NumPy, Jupyter, and GitHub Actions. The "Our Python packages (with usage examples for Julia & Matlab):" section lists packages such as PySDM, PySDM-examples, PyMPDATA, and numba-mpi, each with a version number and a link to documentation. The "Funding:" section at the bottom lists funding sources like EU, PL, and US DOE.

Atmospheric Cloud Simulation Group @ Jagiellonian University Unfollow

Poland <http://atmos.ii.uj.edu.pl/>

Overview Repositories (8) Projects Packages Teams (2) People (13) Settings

README.md

News:

- [JOSS under review](#) PySDM v2 outline paper
- [youtube](#) Sylwester's talk at Caltech on PySDM/PyMPDATA mixed-phase cloud simulations
- [PR](#) Oleksii Bulenok's PR to ClimateMachine.jl exemplifying coupling with PySDM
- [JOSS under review](#) PyMPDATA outline paper
- [youtube](#) Piotr Bartman's Monte-Carlo on GPU with Python talk at NCAR's 2021 Improving Scientific Software conference
- [2103.17238](#) PySDM outline paper (published in JOSS)
- [2101.06318](#) Piotr Bartman's paper on the PySDM coagulation solver design (published in LNCS)
- [2011.14728](#) Michael Olesik's paper on an application of PyMPDATA in bin microphysics (published in GMD)

Our technological stack:

- Python, Numba, LLVM, ThrustRTC/CUDA, NumPy, pytest
- Conan, CMake, PyPI, GitHub Actions, Jupyter, PyChem

Our Python packages (with usage examples for Julia & Matlab):

- PySDM: [PyPI package 2.8](#) [codecov 76%](#) [PySDM docs](#) [pdoc3](#)
- PySDM-examples: [PyPI package 2.8](#) [PySDM examples docs](#) [pdoc3](#)
- PyMPDATA: [PyPI package 1.0.1](#) [codecov 91%](#) [PyMPDATA docs](#) [pdoc3](#)
- PyMPDATA-examples: [PyPI package 1.0.1](#) [PyMPDATA examples docs](#) [pdoc3](#)
- numba-mpi: [PyPI package 0.3](#) [numba mpi docs](#) [pdoc3](#)
- atmos-cloud-sim-utils: [PyPI package 0.5](#) [utils docs](#) [pdoc3](#)

Funding:

- EU Funding by FNP
- PL Funding by NCN
- US DOE Funding by ASR

View as: Public
 You are viewing this page as a public user.

People

Invite someone

Top languages

- Python
- Jupyter Notebook

Most used topics Manage

- [#pypi-package](#) [#python](#) [#atmospheric-modeling](#)
- [#numba](#) [#atmospheric-physics](#)

współautorzy

- ▶ **@uj.edu.pl:** P. Bartman, M. Olesik, G. Łazarski, O. Bulenok, K. Derlatka, ...
- ▶ **@caltech.edu:** E. de Jong, C. Singer, A. Jaruga, B. Mackay, S. Azimi, ...
- ▶ **@illinois.edu:** N. Riemer, M. West & J. Curtis

współautorzy

- ▶ **@uj.edu.pl:** P. Bartman, M. Olesik, G. Łazarski, O. Bulenok, K. Derlatka, ...
- ▶ **@caltech.edu:** E. de Jong, C. Singer, A. Jaruga, B. Mackay, S. Azimi, ...
- ▶ **@illinois.edu:** N. Riemer, M. West & J. Curtis

finansowanie

- ▶ **PL** / Narodowe Centrum Nauki
- ▶ **EU** / Fundacja na rzecz Nauki Polskiej
- ▶ **US** / DOE Atmospheric System Research & Schmidt Futures

współautorzy

- ▶ **@uj.edu.pl:** P. Bartman, M. Olesik, G. Łazarski, O. Bulenok, K. Derlatka, ...
- ▶ **@caltech.edu:** E. de Jong, C. Singer, A. Jaruga, B. Mackay, S. Azimi, ...
- ▶ **@illinois.edu:** N. Riemer, M. West & J. Curtis

finansowanie

- ▶ **PL** / Narodowe Centrum Nauki
- ▶ **EU** / Fundacja na rzecz Nauki Polskiej
- ▶ **US** / DOE Atmospheric System Research & Schmidt Futures

Dziękuję za uwagę!

<https://atmos.ii.uj.edu.pl/>
sylwester.arabas@uj.edu.pl

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

komponent eulerowski (PDE)

komponent lagranżowski (ODE/Monte-Carlo)

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

komponent eulerowski (PDE)

adwekcja ciepła
adwekcja wilgoci

komponent lagranżowski (ODE/Monte-Carlo)

transport cząstek

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

| komponent eulerowski (PDE) | komponent lagranżowski (ODE/Monte-Carlo) |
|-------------------------------------|---|
| adwekcja ciepła adwekcja wilgoci | transport cząstek wzrost kondensacyjny wzrost koagulacyjny osiadanie |

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

komponent eulerowski (PDE)

adwekcja ciepła
adwekcja wilgoci

$$\partial_t(\rho_d r) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d r) = \rho_d \dot{r}$$

$$\partial_t(\rho_d \theta) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d \theta) = \rho_d \dot{\theta}$$

komponent lagranżowski (ODE/Monte-Carlo)

transport cząstek
wzrost kondensacyjny
wzrost koagulacyjny
osiadanie

$$\dot{r} = \sum_{\text{cząstki} \in \Delta V} \dots$$

$$\dot{\theta} = \sum_{\text{cząstki} \in \Delta V} \dots$$

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

komponent eulerowski (PDE)

adwekcja ciepła
adwekcja wilgoci

$$\partial_t(\rho_d r) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d r) = \rho_d \dot{r}$$

$$\partial_t(\rho_d \theta) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d \theta) = \rho_d \dot{\theta}$$

adwekcja gazów śladowych

...

komponent lagranżowski (ODE/Monte-Carlo)

transport cząstek
wzrost kondensacyjny
wzrost koagulacyjny
osiadanie

$$\dot{r} = \sum_{\text{cząstki} \in \Delta V} \dots$$

$$\dot{\theta} = \sum_{\text{cząstki} \in \Delta V} \dots$$

reakcje chemiczne w kroplach

...