

Fizyka chmur w chmurze obliczeniowej

Inauguracja roku akademickiego 2026/27

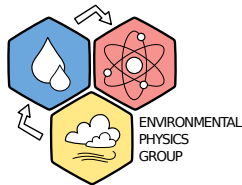
Sylwester Arabas

1 października 2026 r.

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH



AGH

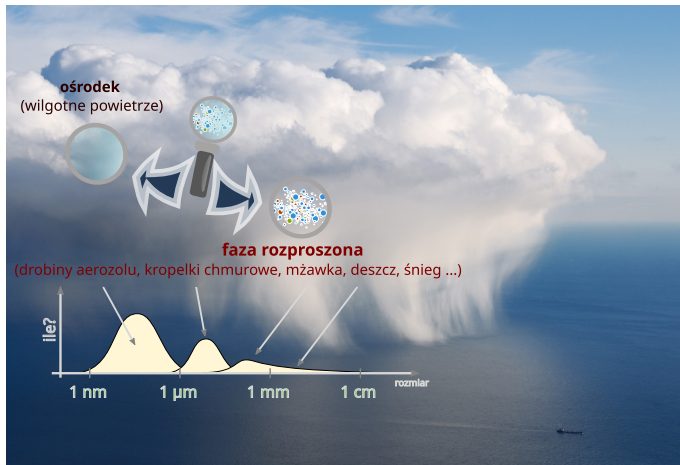


(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna



"Cloud and ship. Ukraine, Crimea, Black sea, view from Ai-Petri mt."
(Yevgen Timashov / National Geographic)

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna



(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)



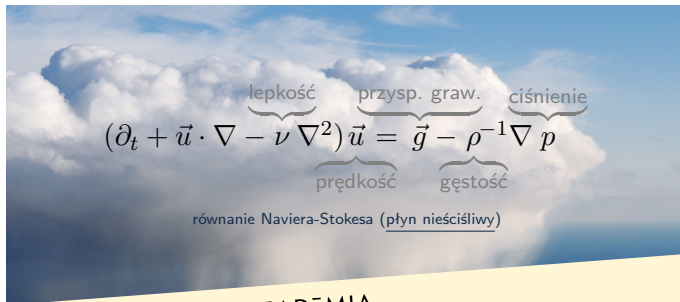
(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)


$$(\partial_t + \underbrace{\vec{u} \cdot \nabla}_{\text{prędkość}} - \underbrace{\nu \nabla^2}_{\text{lepkość}}) \underbrace{\vec{u}}_{\text{przyp. graw.}} = \underbrace{\vec{g}}_{\text{ciśnienie}} - \underbrace{\rho^{-1} \nabla p}_{\text{gęstość}}$$

równanie Naviera-Stokesa (płyn nieściśliwy)

ACADEMIA

Portal Polskiej Akademii Nauk

Artykuł / [Nauka i odkrycia](#)

Problem za milion dolarów. AI mogła znaleźć rozwiązanie?

10 września 2026

Nauki ścisłe i nauki o Ziemi

Przez niemal sto lat matematycy nie potrafili rozstrzygnąć jednego z podstawowych pytań dotyczących przepływu wody i powietrza. System sztucznej inteligencji stworzony przez OpenAI miał znaleźć rozwiązanie w niespełna cztery dni.

“

„Dochodzi do bardzo dziwnego i bezprecedensowego rozdzielenia uzyskiwania odpowiedzi od jej zrozumienia”

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

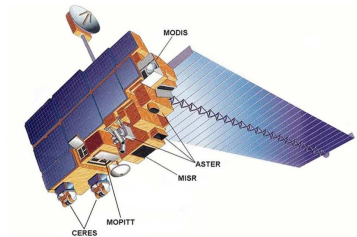
#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

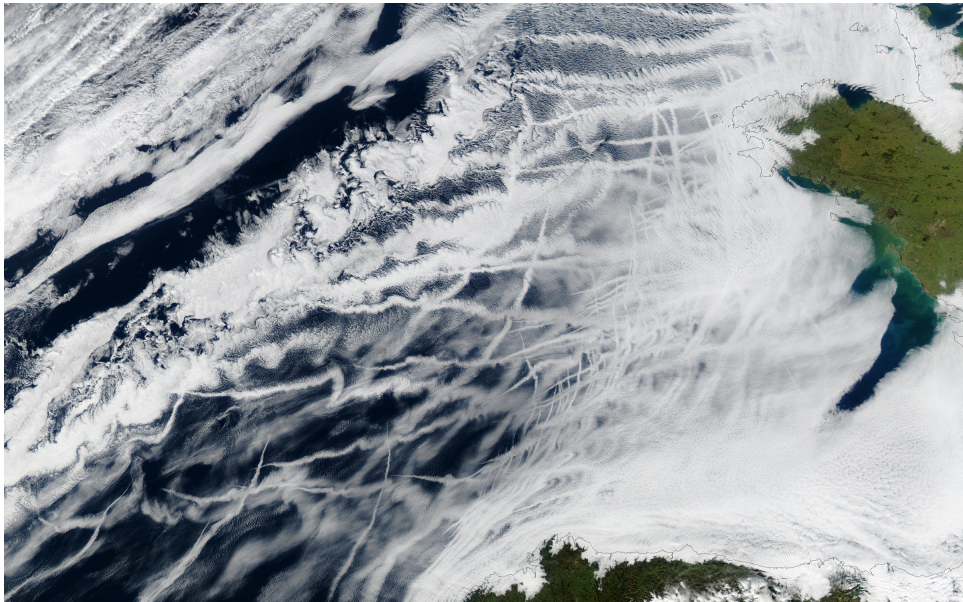
#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

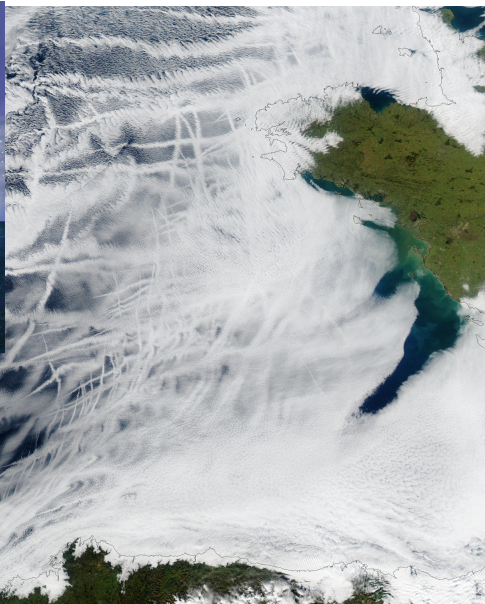




fot: autor & nasa.gov



<https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/ship-tracks-off-europes-atlantic-coast-3275>



<https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/ship-tracks-off-europes-atlantic-coast-3275>

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)



(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

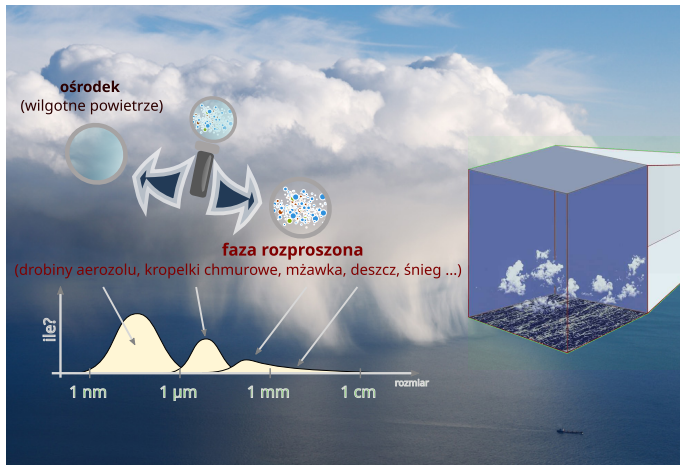
(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

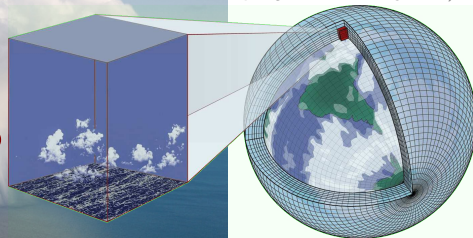
#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)



Schneider et al. 2017

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

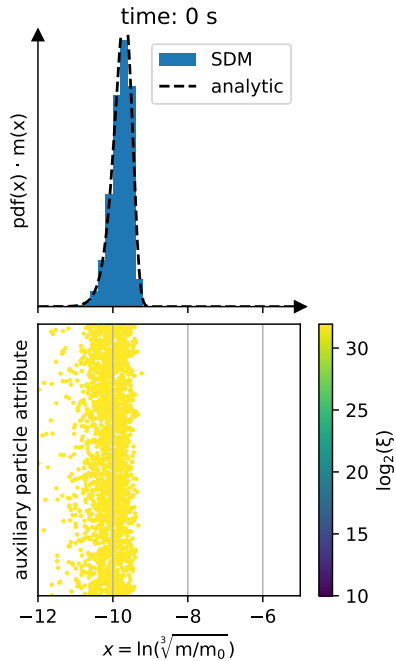
#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)

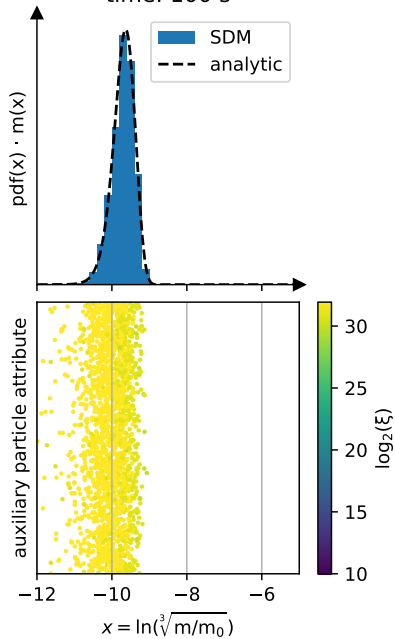


#dynamika wieloskalowa

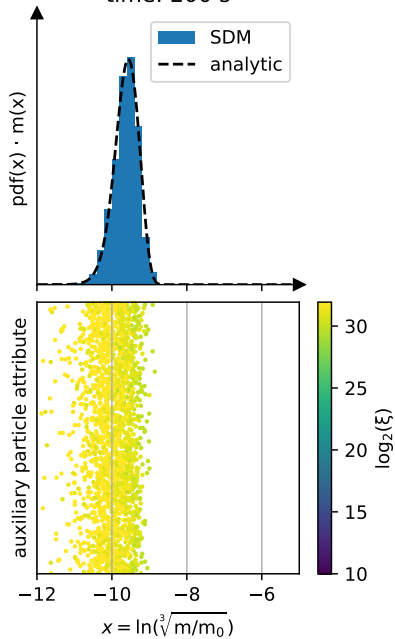
(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)



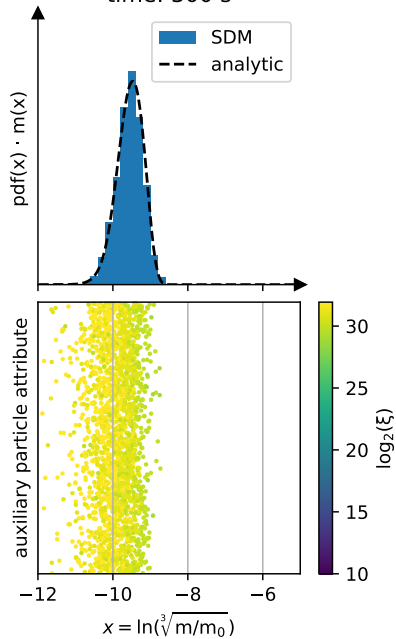
time: 100 s



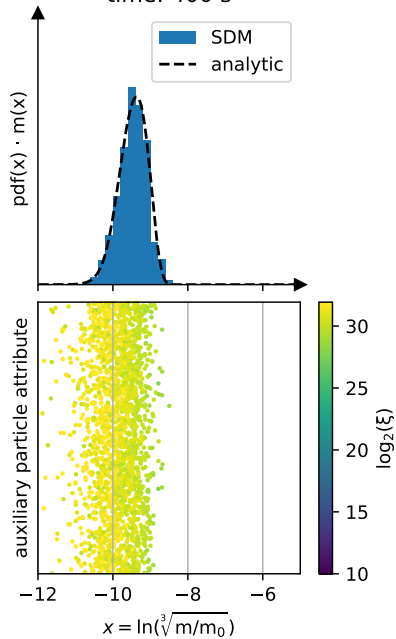
time: 200 s



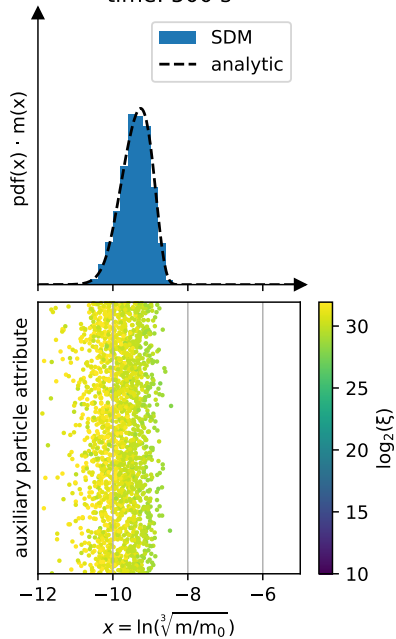
time: 300 s



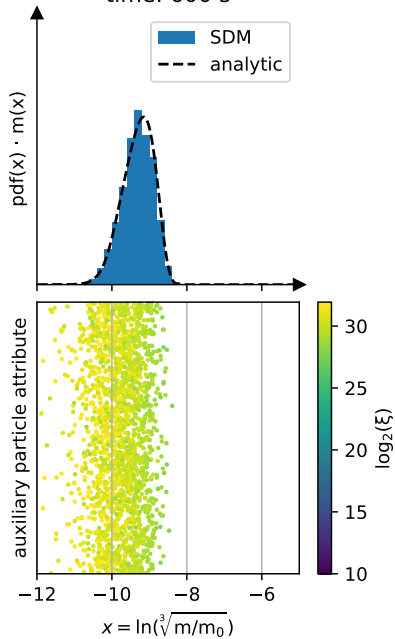
time: 400 s



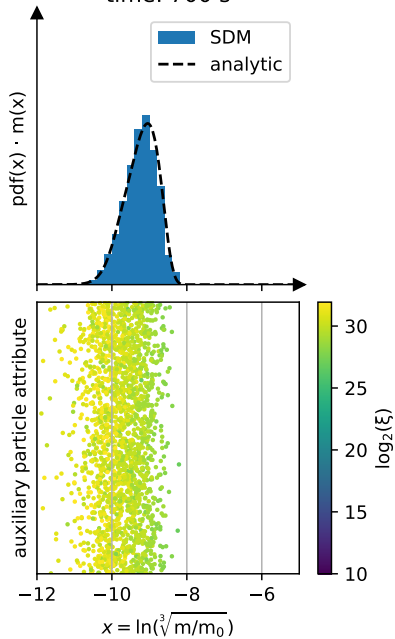
time: 500 s



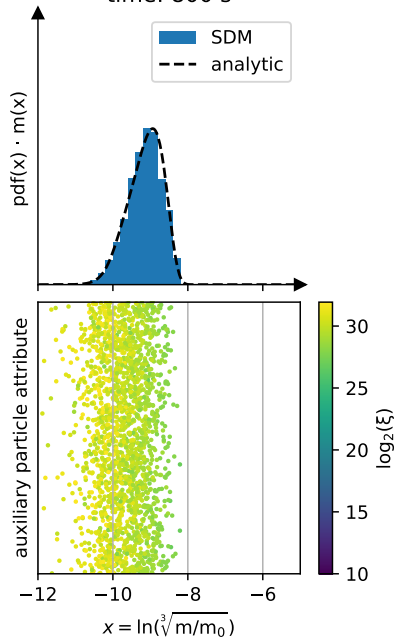
time: 600 s



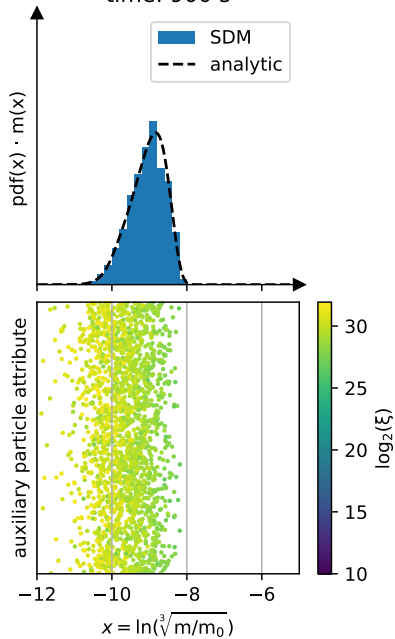
time: 700 s



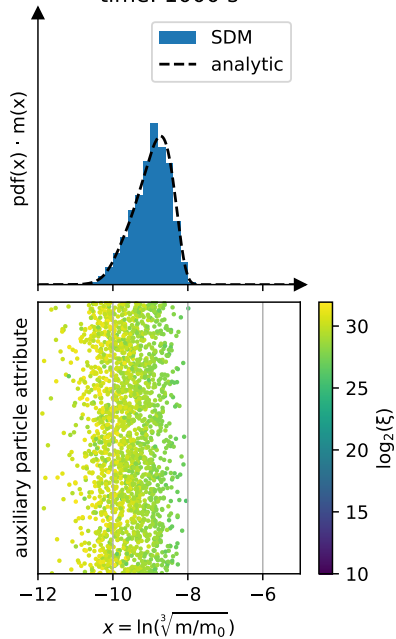
time: 800 s



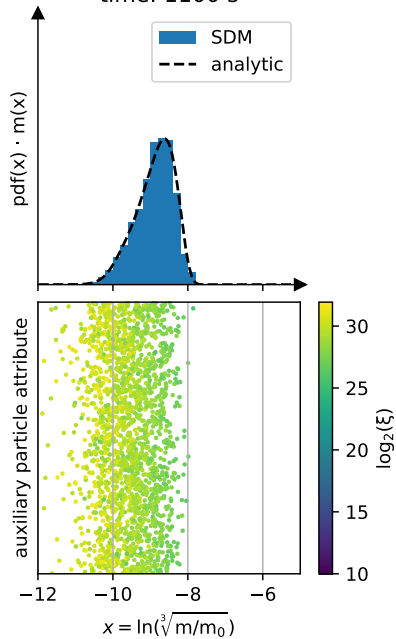
time: 900 s



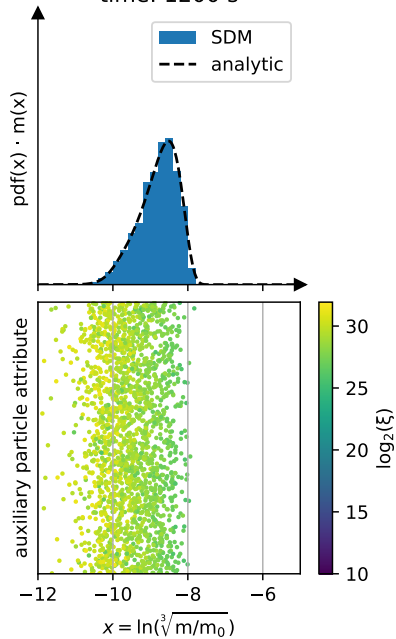
time: 1000 s



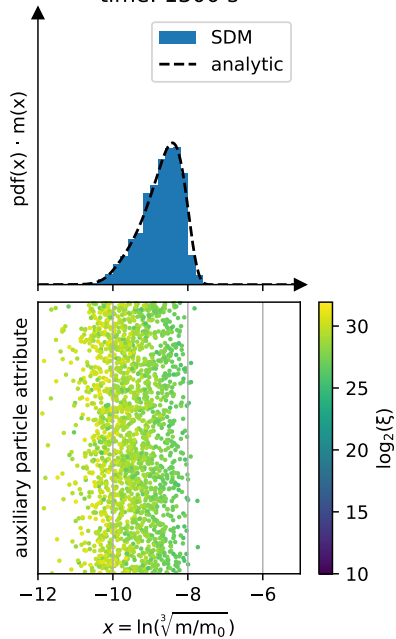
time: 1100 s



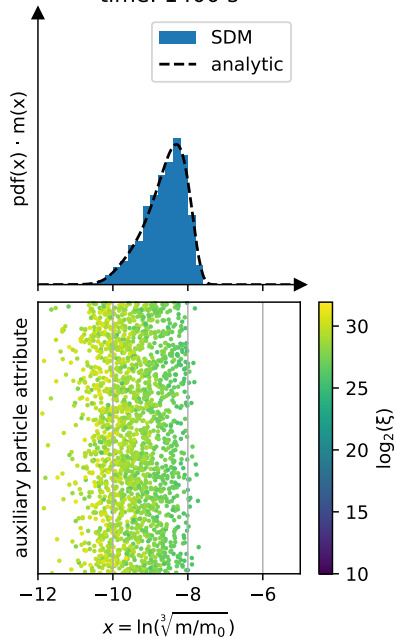
time: 1200 s



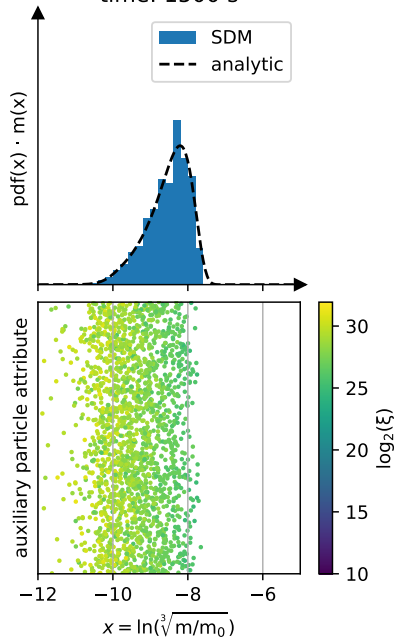
time: 1300 s



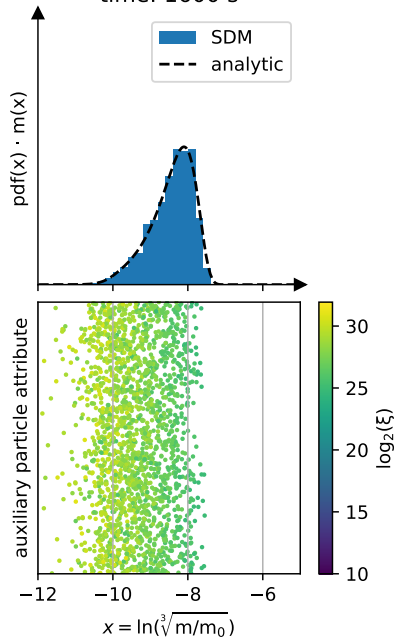
time: 1400 s



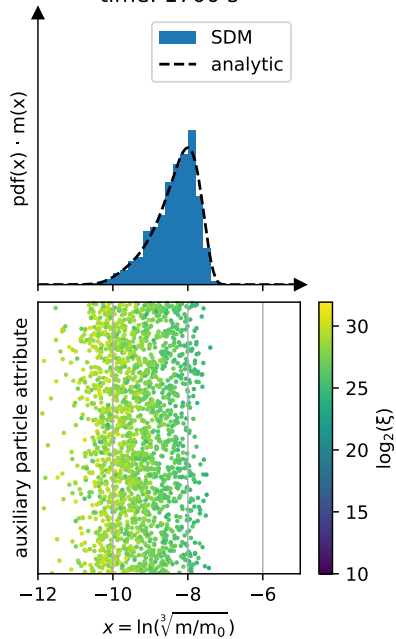
time: 1500 s



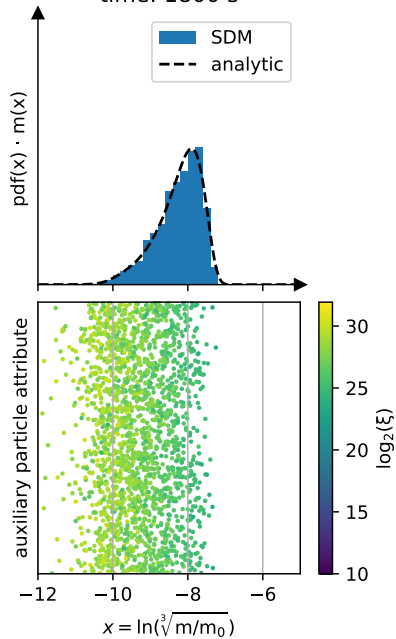
time: 1600 s



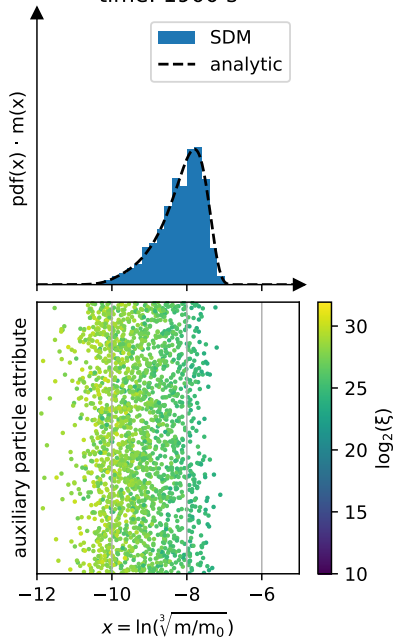
time: 1700 s



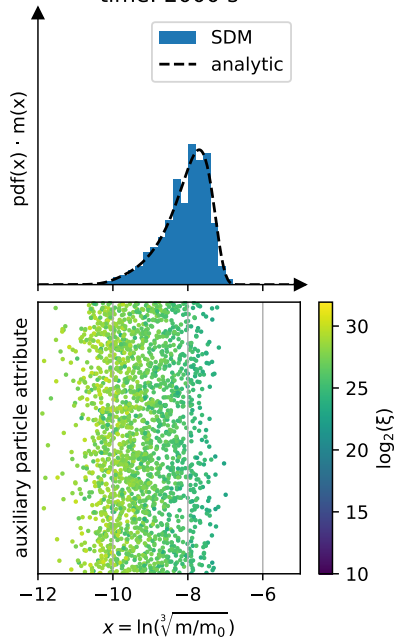
time: 1800 s



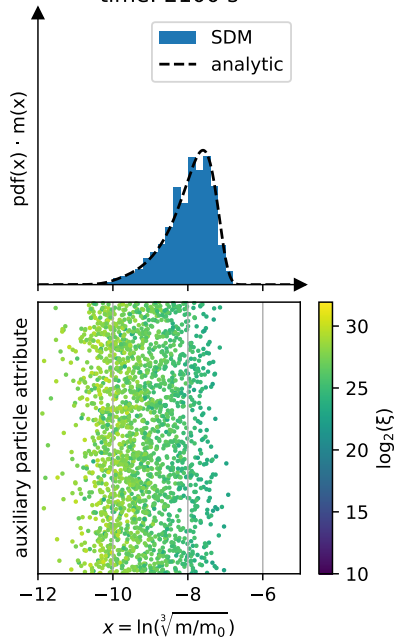
time: 1900 s



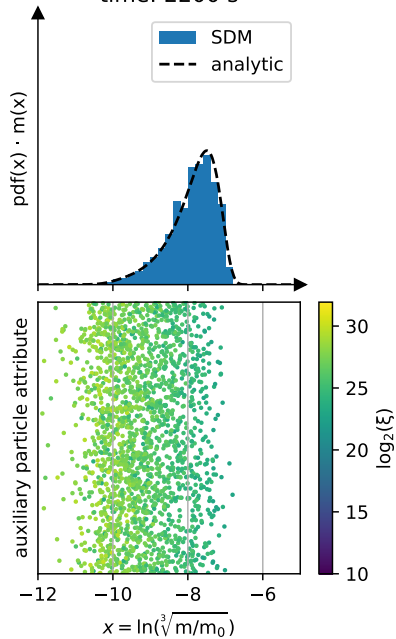
time: 2000 s



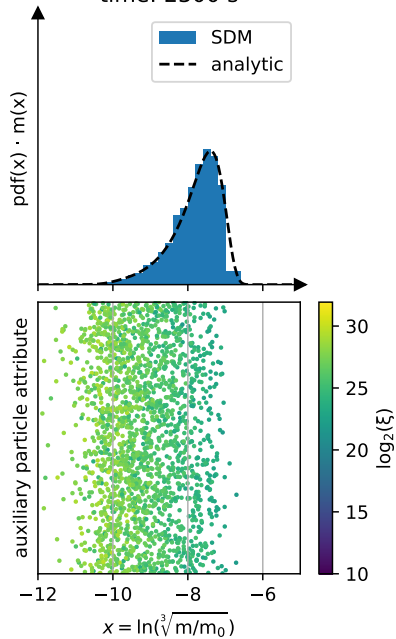
time: 2100 s



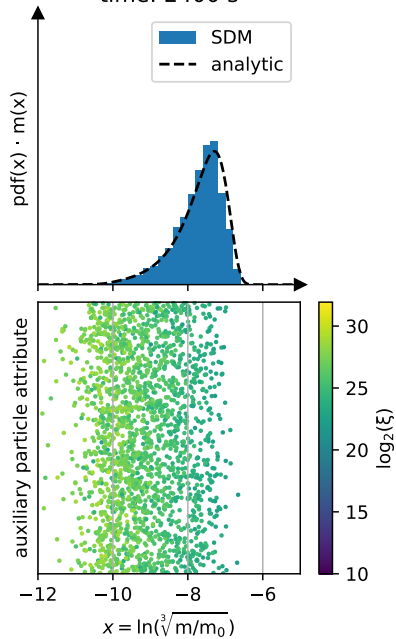
time: 2200 s



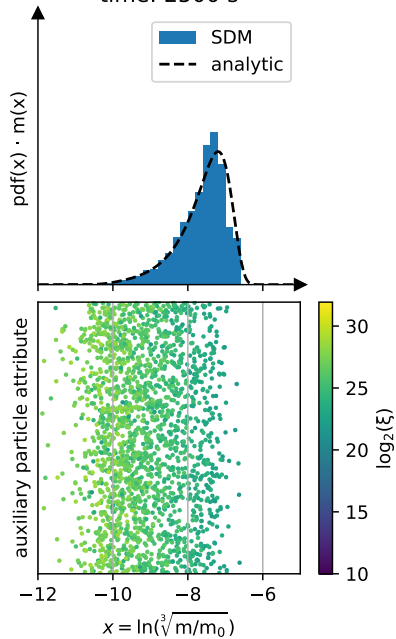
time: 2300 s



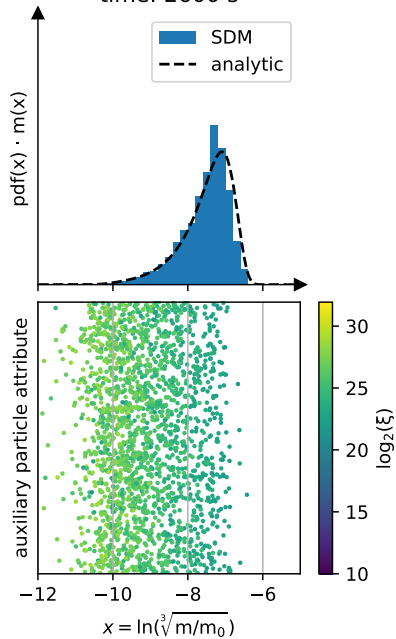
time: 2400 s



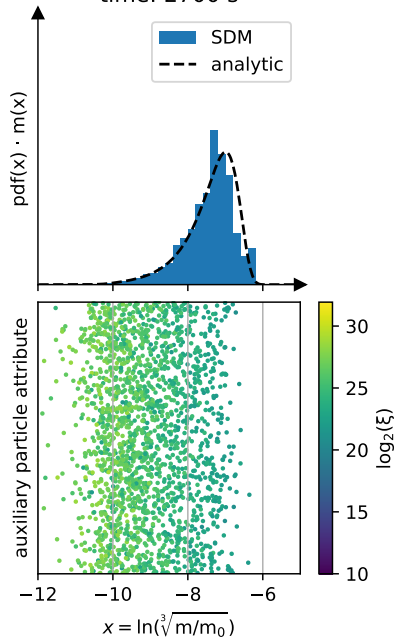
time: 2500 s



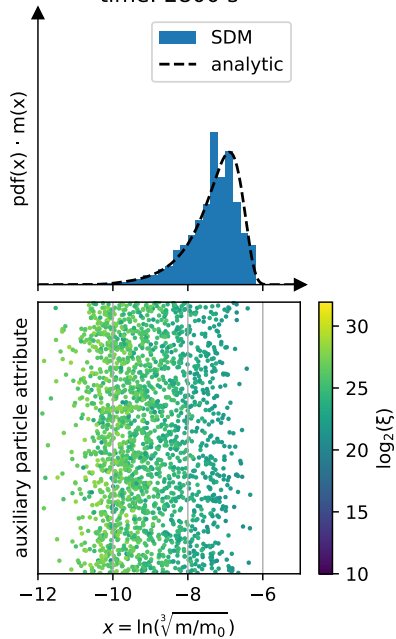
time: 2600 s



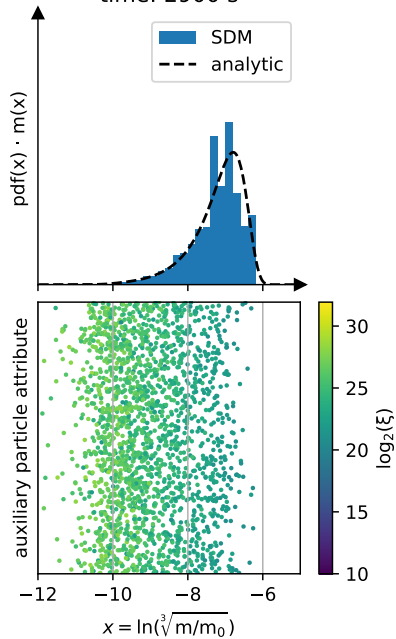
time: 2700 s



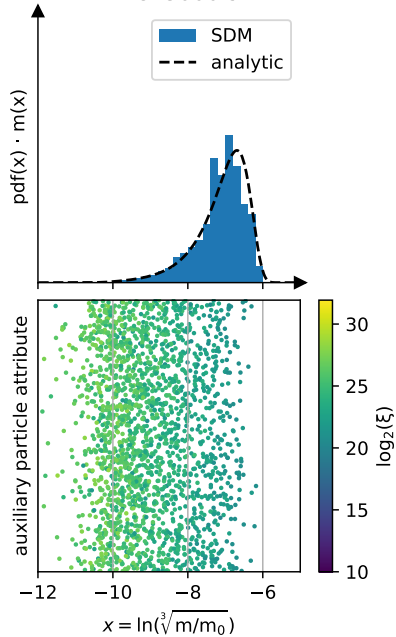
time: 2800 s



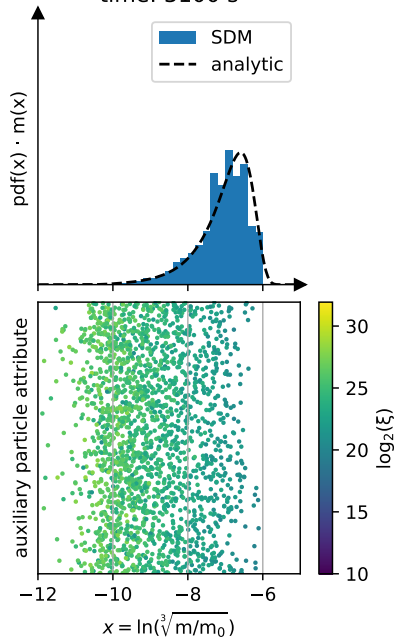
time: 2900 s



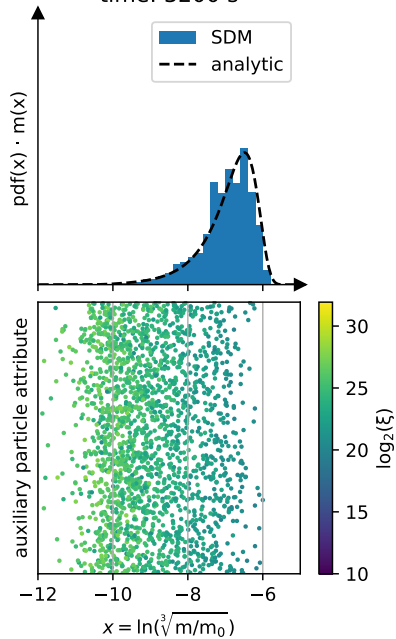
time: 3000 s



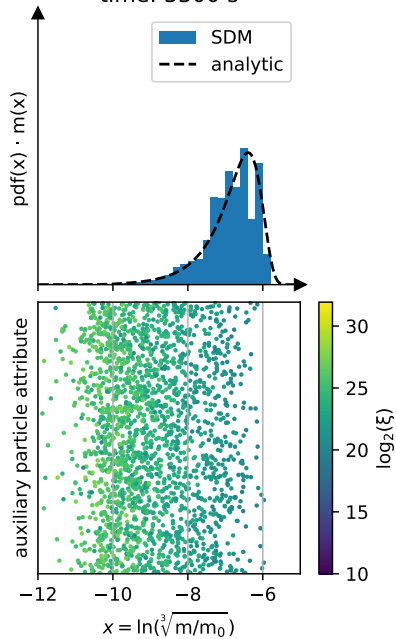
time: 3100 s



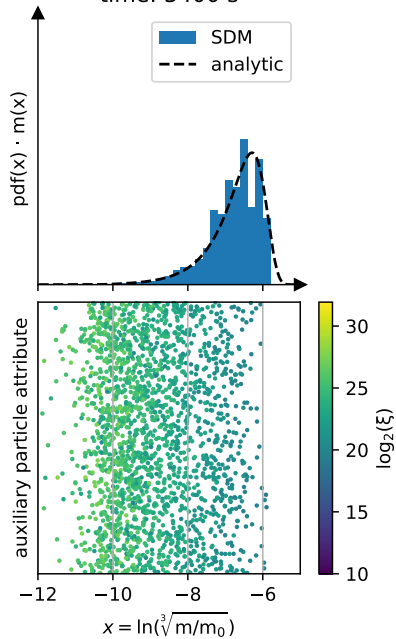
time: 3200 s



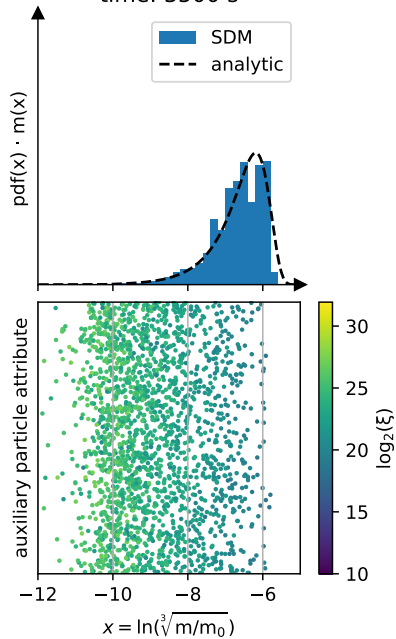
time: 3300 s



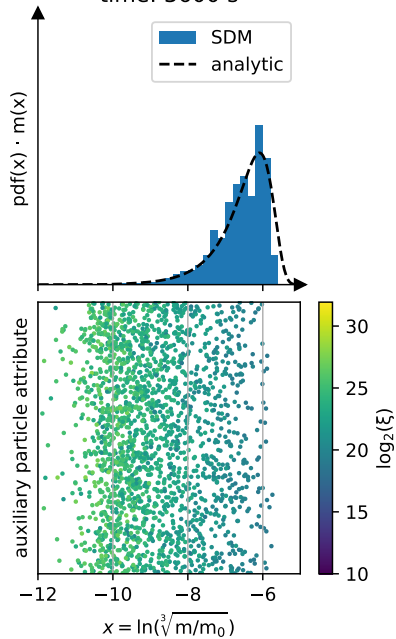
time: 3400 s



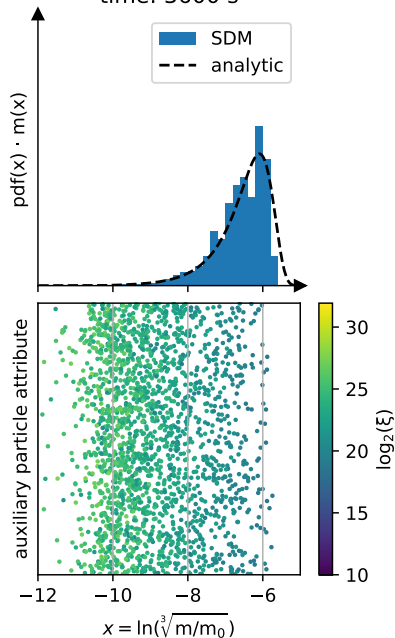
time: 3500 s



time: 3600 s



time: 3600 s



równanie koagulacji Smoluchowskiego

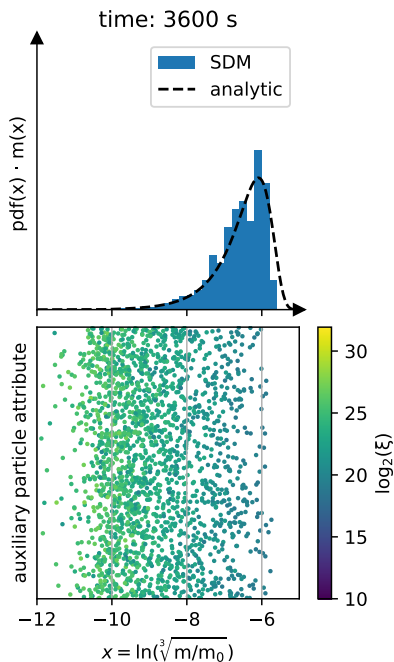
koncentracja kropeł o rozmiarze x :

$$c(x, t) : \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$$

zależność tempa zderzeń od rozmiarów:

$$a(x_1, x_2) : \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$$

$$\dot{c}(x) = \frac{1}{2} \int_0^x a(y, x-y) c(y) c(x-y) dy - \int_0^\infty a(y, x) c(y) c(x) dy$$



równanie koagulacji Smoluchowskiego

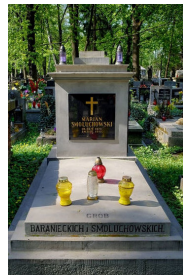
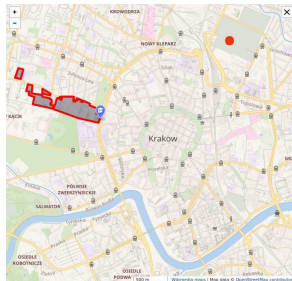
koncentracja kropeł o rozmiarze x :

$$c(x, t) : \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$$

zależność tempa zderzeń od rozmiarów:

$$a(x_1, x_2) : \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$$

$$\dot{c}(x) = \frac{1}{2} \int_0^x a(y, x-y) c(y) c(x-y) dy - \int_0^\infty a(y, x) c(y) c(x) dy$$



(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

#chemia fizyczna

(reakcje w roztworach
wodnych, surfaktanty)



Fig. 1. Time-lapse photos of statues at Herten Castle near Recklinghausen, Westfalia, Germany, built in 1702. The left side picture was taken in 1908, the right side picture 1969, showing almost complete destruction of the surface. Porous Baumberg sandstone is composed of mostly quartz grains which are cemented with soluble calcite. Photos and information were supplied by Mr. Schmidt-Thomsen, Landesdenkmalamt Westfalia-Lippe, Münster, Germany.

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

#chemia fizyczna

(reakcje w roztworach
wodnych, surfaktanty)

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

#chemia fizyczna

(reakcje w roztworach
wodnych, surfaktanty)

#fizyka biosfery

(materia biologiczna w
kroplach, nukleacja lodu)

RESEARCH ARTICLE

10.1002/2016JD025251

Key Points:

- Very ice active Snomax protein aggregates are fragile and their ice nucleation ability decreases over months of freezer storage
- Partitioning of ice active protein aggregates into the immersion oil reduces the droplet's measured freezing temperature
- Caution is warranted in the use of

The unstable ice nucleation properties of Snomax® bacterial particles

Michael Polen¹, Emily Lawlis¹, and Ryan C. Sullivan¹

¹Center for Atmospheric Particle Studies, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA

Abstract Snomax® is often used as a surrogate for biological ice nucleating particles (INPs) and has recently been proposed as an INP standard for evaluating ice nucleation methods. We have found the immersion freezing properties of Snomax particles to be substantially unstable, observing a loss of ice nucleation ability



reuters.com/markets/commodities/

[making-snow-stick-wind-challenges-winter-games-slope-makers-2021-11-29](#)

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

#chemia fizyczna

(reakcje w roztworach
wodnych, surfaktanty)

#fizyka biosfery

(materia biologiczna w
kroplach, nukleacja lodu)

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

#chemia fizyczna

(reakcje w roztworach
wodnych, surfaktanty)

#fizyka biosfery

(materia biologiczna w
kroplach, nukleacja lodu)

#fizyka jądrowa

(izotopologię wody,
promieniowanie kosmiczne)

Global Network of Isotopes in Precipitation

The Johannesburg Plan of Implementation from the World Summit on Sustainable Development concluded there is an urgent need to expand scientific information to improve understanding of the water cycle. Over the last 50 years, data from the Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) have become an increasingly important tool to meet these information needs, providing unique insights into hydrological and climatic processes at the local, regional and global scales.



Water
Resources
Programme



<https://www.iaea.org/services/networks/gnip>



Search

Tags ▾

All categories ▾

Search results for: “cloud experiment”

Showing 1–10 of 95 results



CLOUD experiment uncovers a major new source of marine aerosol particles

CLOUD experiment uncovers a major new source of marine aerosol particles CLOUD experiment uncovers a major new source of marine aerosol...

24 June 2026



CLOUD experiment resolves puzzle of new aerosol particles in upper troposphere

Isoprene emitted by tropical forests may provide a globally important source of aerosol particles that influence clouds, according to a new study by...

4 December 2024

CERN's CLOUD experiment shines new light on climate change



What does the CLOUD experiment do?



A brief tour of the CLOUD experiment at CERN, and its scientific aims (Video: Noemi Caraban/CERN). Source: [CERN/CDS](#)

The CLOUD experiment involves an interdisciplinary team of scientists from 17 institutes in nine countries, comprising atmospheric physicists and chemists, and cosmic-ray and particle physicists. The Proton Synchrotron provides an artificial source of "cosmic rays" that simulates natural conditions between ground level and the stratosphere. A beam of particles is passed through the cloud chamber and its effects on aerosol production or on liquid or ice clouds inside the chamber are recorded and analysed.

(geo)fizyka chmur $\rightsquigarrow$ meteorologia i klimatologia fizyczna

#termodynamika

(przemiany fazowe wody,
termodynamika powietrza)

#mechanika płynów

(przepływy, konwekcja,
turbulencja)

#elektromagnetyzm

(optyka chmur, pomiary,
albedo, wyładowania)

#kinetyka fizyczna

(nukleacja, agregacja i
fragmentacja
hydrometeorów)



#dynamika wieloskalowa

(przewidywalność pogody,
sprężenia klimatyczne)

#chemia fizyczna

(reakcje w roztworach
wodnych, surfaktanty)

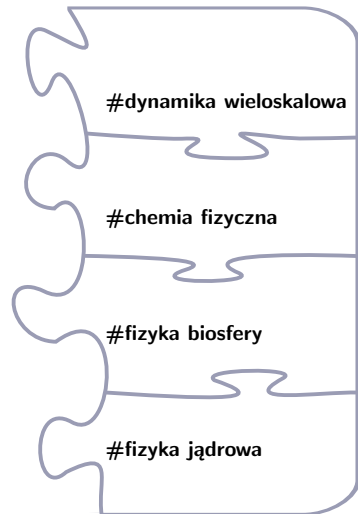
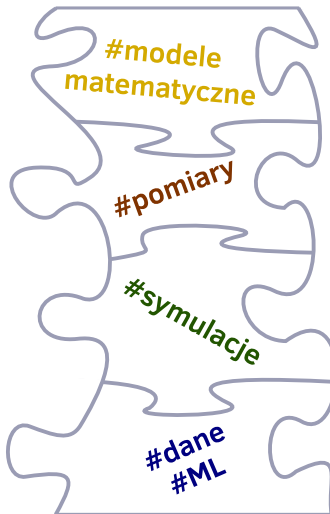
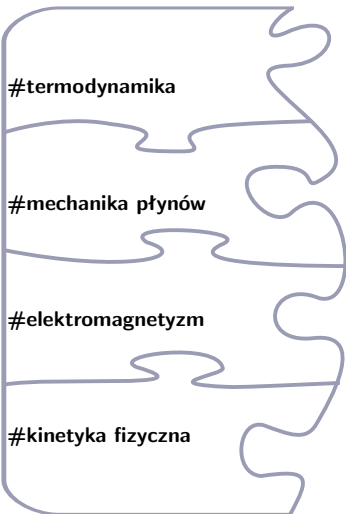
#fizyka biosfery

(materia biologiczna w
kroplach, nukleacja lodu)

#fizyka jądrowa

(izotopologię wody,
promieniowanie kosmiczne)

fizyka i informatyka stosowana



fizyka i informatyka stosowana

#termodynamika

#mechanika płynów

#elektromagnetyzm

#kinetyka fizyczna



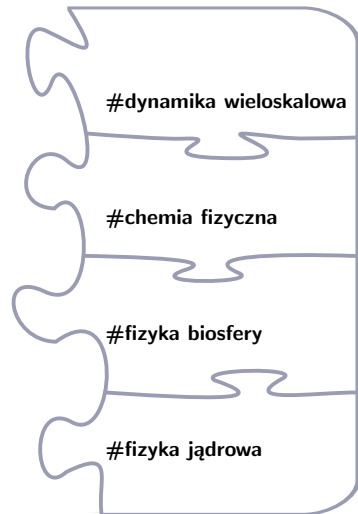
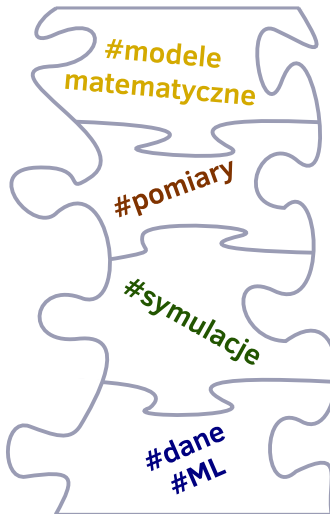
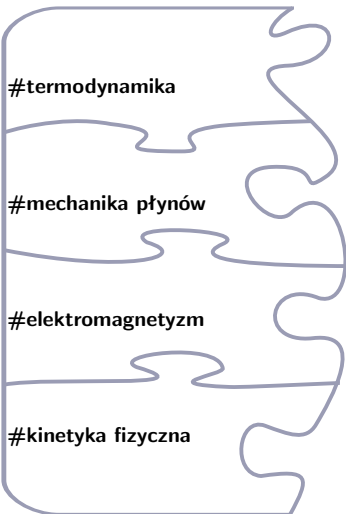
#dynamika wieloskalowa

#chemia fizyczna

#fizyka biosfery

#fizyka jądrowa

fizyka i informatyka stosowana



100%  python™, otwarte oprogramowanie:



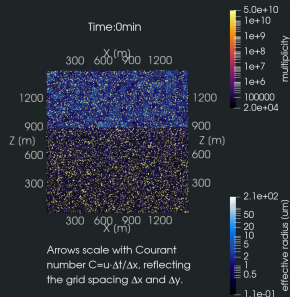


Documentation

PySDM

What is PySDM?

PySDM is a package for simulating the dynamics of population of particles undergoing diffusional and collisional growth (and breakage). The package features a Pythonic high-performance (multi-threaded CPU & CUDA GPU) implementation of the Super-Droplet Method (SDM) Monte-Carlo algorithm for representing collisional growth (Shima et al. 2009), hence the name. It is intended to serve as a building block for simulation systems modelling fluid flows involving a dispersed phase, with PySDM being responsible for representation of the dispersed phase. Currently, the development is focused on atmospheric cloud physics applications, in particular on modelling the dynamics of particles immersed in moist air using the particle-based (a.k.a. super-droplet) approach to represent aerosol/cloud/rain microphysics. The key goal of PySDM is to enable rapid development and independent reproducibility of simulations in cloud microphysics while being free from the two-language barrier commonly separating prototype and high-performance research code. PySDM ships with a set of examples reproducing results from literature and serving as tutorials. The animation shown here depicts a flow-coupled simulation in which the flow is resolved using PySDM's sibling project: PyMPDATA. The examples include also single-column setups (with PyMPDATA used for advection) as well as adiabatic cloud parcel model setups (with PySDM alone sufficient to constitute a microphysics-resolving cloud parcel model in Python).



Jupyter notebook setting up and running the above PySDM simulation and generating the visualisation using Paraview

There is NO CLOUD, just other people's computers

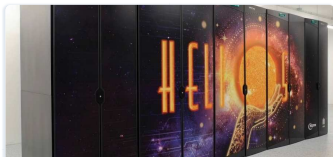


Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet AGH

<https://www.cyfronet.pl/pl/supercomputers>

Nasze superkomputery

Cyfronet jest operatorem maszyn notowanych na listach: TOP500 - najszybszych, oraz Green500 - najbardziej efektywnych energetycznie superkomputerów na świecie. Zobacz superkomputery: Helios, Athena, Ares, Prometheus i Faeton.



Działający

Helios

Nowe światło dla innowacji w polskiej nauce i gospodarce, 37 PFlops mocy obliczeniowej.



Działający

Athena

W latach 2022 i 2023 najszybszy superkomputer w Polsce, 7,7 PFlops mocy obliczeniowej.



Działający

Ares

Potężne wsparcie zasobów Cyfronetu, 4 PFlops mocy obliczeniowej.

<https://open-atmos-krk.github.io/projects>



Dziękuję za uwagę, powodzenia na studiach!

Zespół Fizyki Środowiska:
<https://zfs.agh.edu.pl/>