

# Nowoczesny model chmury

Hanna Pawłowska, Anna Jaruga, Sylwester Arabas

Instytut Geofizyki  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski

24 maja 2013





## NARODOWE CENTRUM NAUKI

konkurs HARMONIA – badania podstawowe  
realizowane w ramach współpracy międzynarodowej

- ▶ Projekt: **Przetwarzanie aerozolu przez chmury - budowa wszechstronnego zaprogramowanego obiektowo narzędzia do symulacji numerycznych.**







## NARODOWE CENTRUM NAUKI

konkurs HARMONIA – badania podstawowe  
realizowane w ramach współpracy międzynarodowej

- ▶ Projekt: **Przetwarzanie aerozolu przez chmury - budowa wszechstronnego zaprogramowanego obiektowo narzędzia do symulacji numerycznych.**
- ▶ Czas trwania: 3 lata





## NARODOWE CENTRUM NAUKI

konkurs HARMONIA – badania podstawowe  
realizowane w ramach współpracy międzynarodowej

- ▶ Projekt: **Przetwarzanie aerozolu przez chmury - budowa wszechstronnego zaprogramowanego obiektowo narzędzia do symulacji numerycznych.**
- ▶ Czas trwania: 3 lata
- ▶ Budżet: 996 890,00 zł.



## NARODOWE CENTRUM NAUKI

konkurs HARMONIA – badania podstawowe  
realizowane w ramach współpracy międzynarodowej

- ▶ Projekt: **Przetwarzanie aerozolu przez chmury - budowa wszechstronnego zaprogramowanego obiektowo narzędzia do symulacji numerycznych.**
- ▶ Czas trwania: 3 lata
- ▶ Budżet: 996 890,00 zł.
- ▶ Współpraca:

Piotr Smolarkiewicz



Wojciech Grabowski



# Nowoczesny model chmury: wyzwania

---



Stevens & Feingold 2009

doi:10.1038/nature08281

„the difficulty in untangling relationships among the aerosol, clouds and precipitation reflects the inadequacy of existing tools and methodologies”

Stevens & Feingold 2009

doi:10.1038/nature08281

„the difficulty in untangling relationships among the aerosol, clouds and precipitation reflects the inadequacy of existing tools and methodologies”

Morin et al. 2012

doi:10.1126/science.1218263

„the inability to reproduce many published computational results or to perform credible peer review in the absence of program source code has contributed to a perceived “credibility crisis” for research computation”

Stevens & Feingold 2009

doi:10.1038/nature08281

„the difficulty in untangling relationships among the aerosol, clouds and precipitation reflects the inadequacy of existing tools and methodologies”

Morin et al. 2012

doi:10.1126/science.1218263

„the inability to reproduce many published computational results or to perform credible peer review in the absence of program source code has contributed to a perceived “credibility crisis” for research computation”

Ince et al. 2012

doi:10.1038/nature10836

„anything less than the release of source programs is intolerable for results that depend on computation”

stworzenie **nowoczesnego modelu chmury:**





stworzenie **nowoczesnego modelu chmury:**

- ▶ umożliwiającego badanie oddziaływania aerozolu z chmurami i opadem

stworzenie **nowoczesnego modelu chmury:**

- ▶ umożliwiającego badanie oddziaływania aerozolu z chmurami i opadem
- ▶ zapewniającego, w praktyce, sprawdzalność wyników

stworzenie **nowoczesnego modelu chmury:**

- ▶ umożliwiającego badanie oddziaływania aerozolu z chmurami i opadem
- ▶ zapewniającego, w praktyce, sprawdzalność wyników
  - ▶ publiczna dostępność kodu

stworzenie **nowoczesnego modelu chmury:**

- ▶ umożliwiającego badanie oddziaływania aerozolu z chmurami i opadem
- ▶ zapewniającego, w praktyce, sprawdzalność wyników
  - ▶ publiczna dostępność kodu
  - ▶ możliwość jednoznacznego określenia wersji kodu (i środowiska)

stworzenie **nowoczesnego modelu chmury:**

- ▶ umożliwiającego badanie oddziaływania aerozolu z chmurami i opadem
  
- ▶ zapewniającego, w praktyce, sprawdzalność wyników
  - ▶ publiczna dostępność kodu
  - ▶ możliwość jednoznacznego określenia wersji kodu (i środowiska)
  - ▶ łatwość użycia = dokumentacja + przenośność + niezawodność

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja



# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja
- ▶ zderzenia pomiędzy kropelkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropelkach

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja

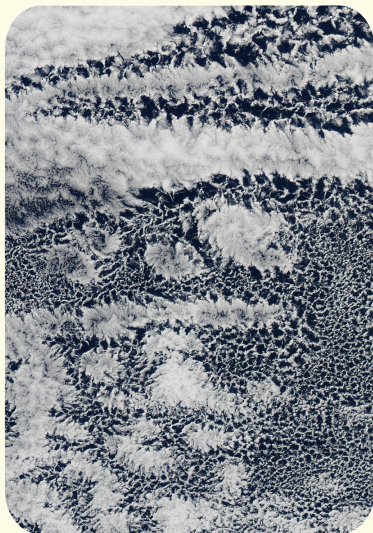
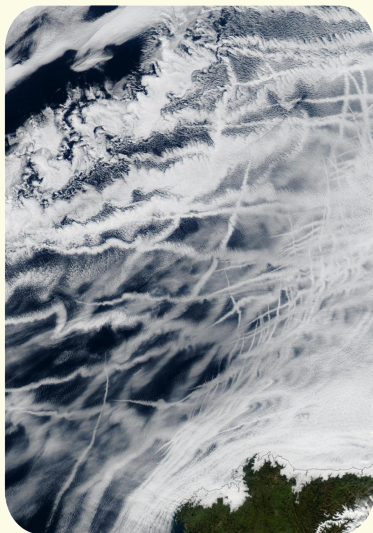


- ▶ zderzenia pomiędzy kropelkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropelkach

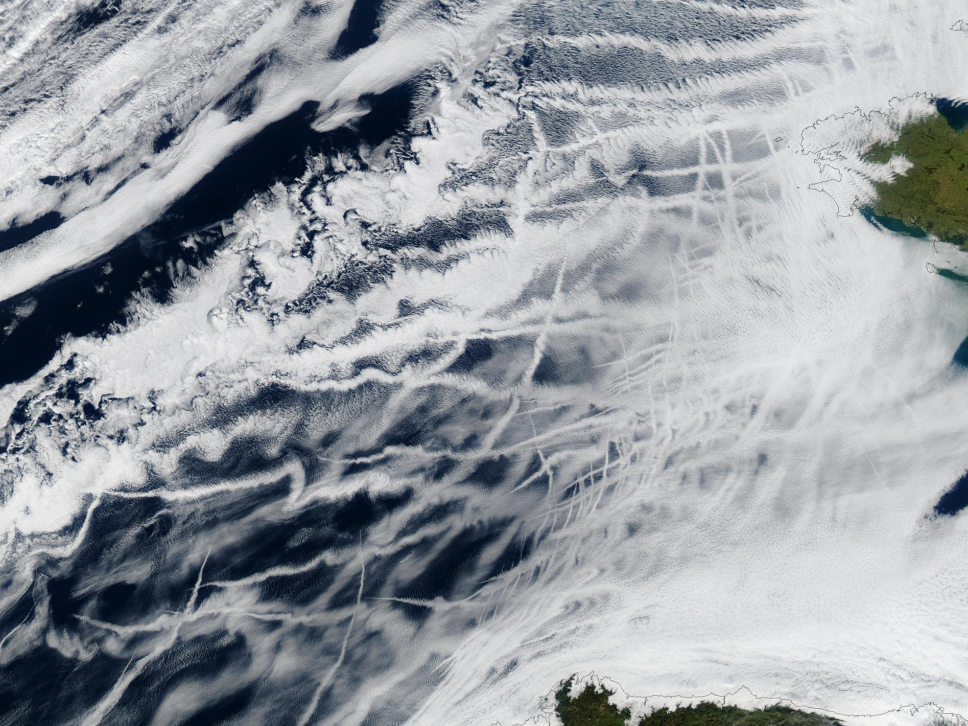


- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: przykłady

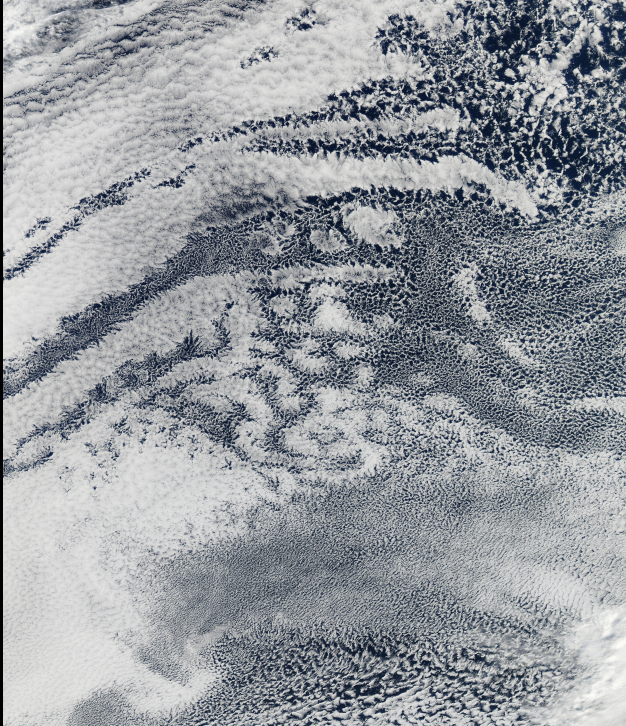


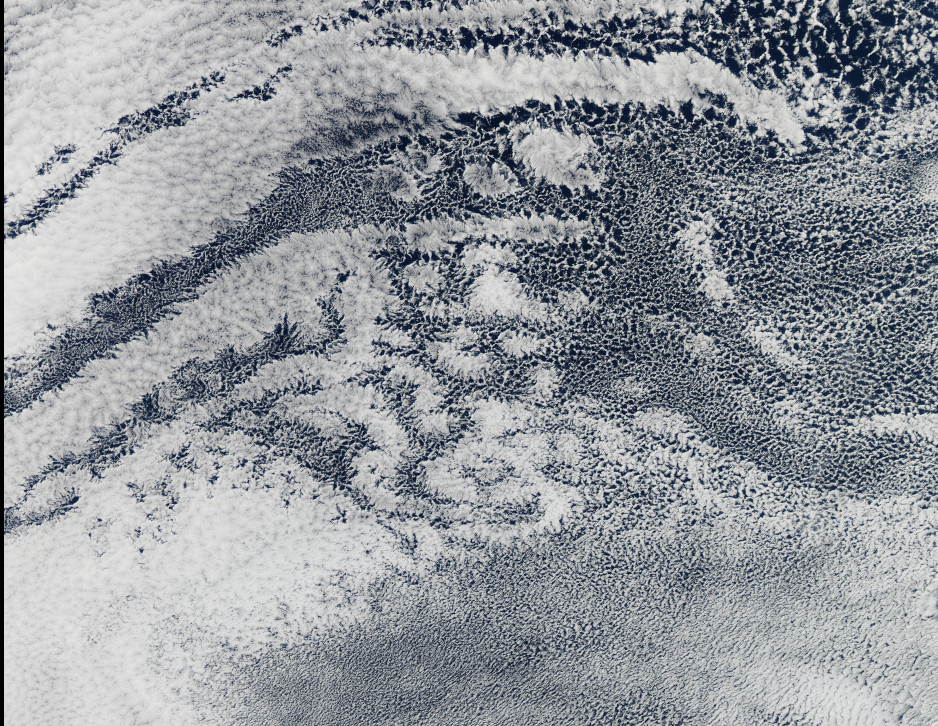
źródło: NASA (27 I 2003 – Zatoka Biskajska; 17 IV 2010 – Pacyfik u wybrzeży Peru)



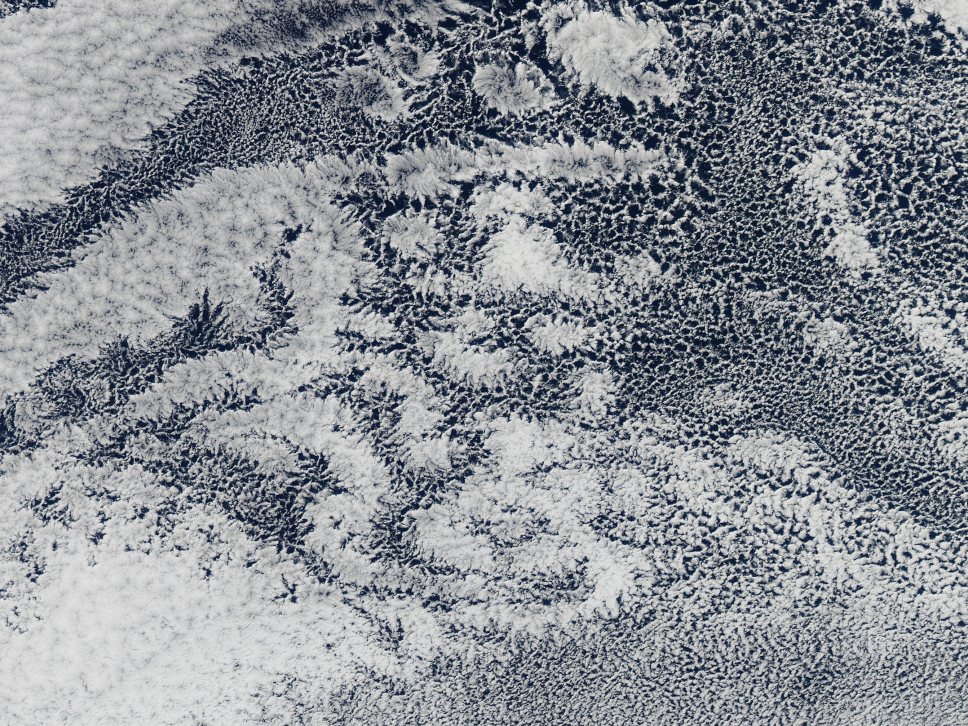




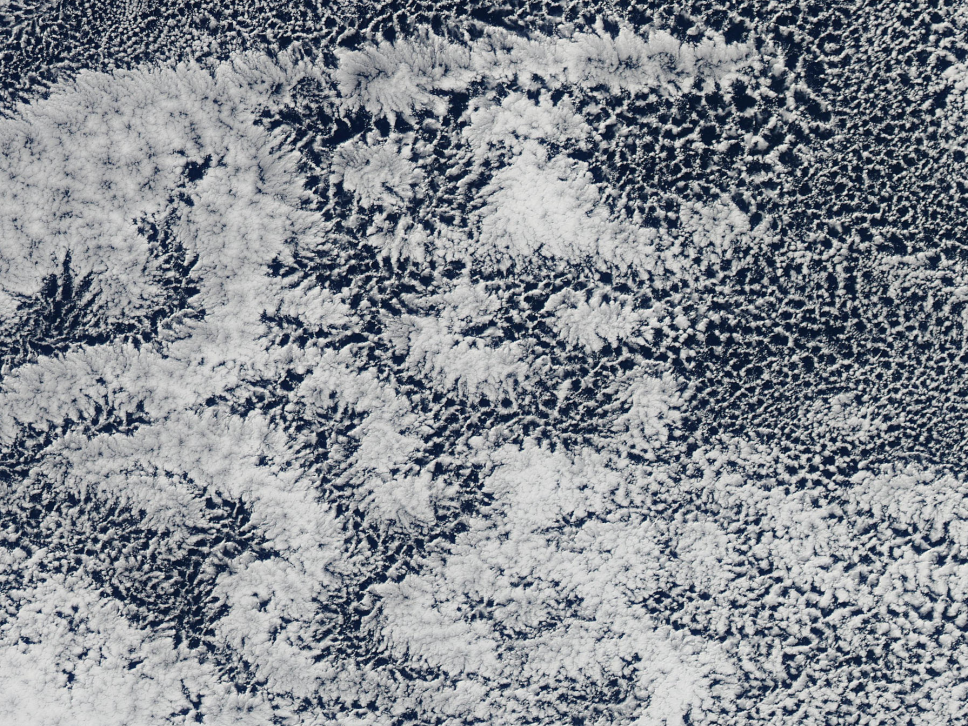


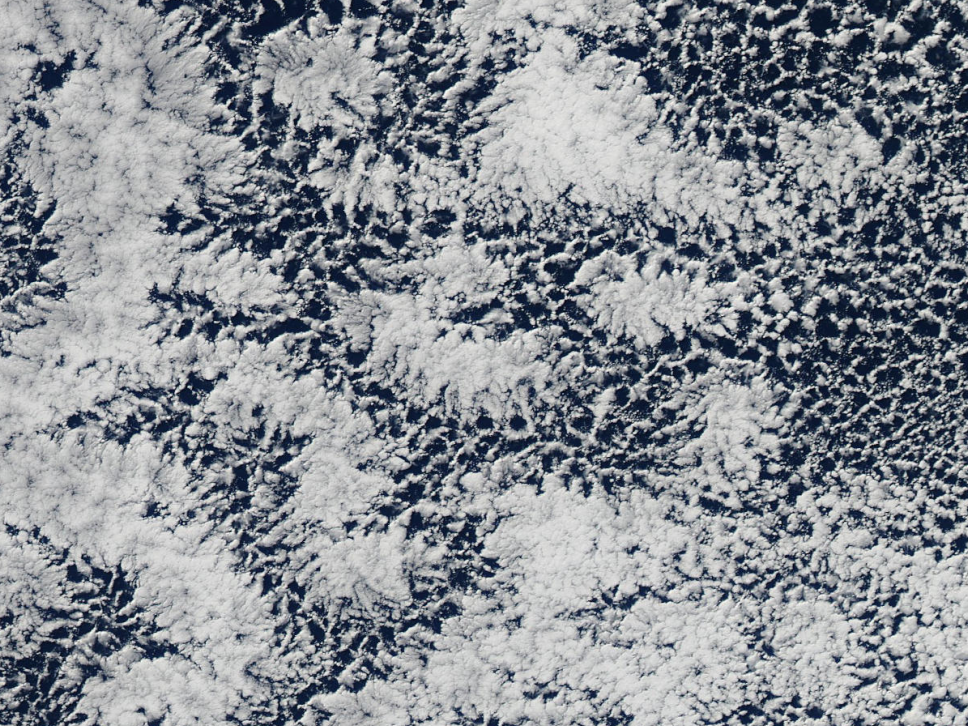








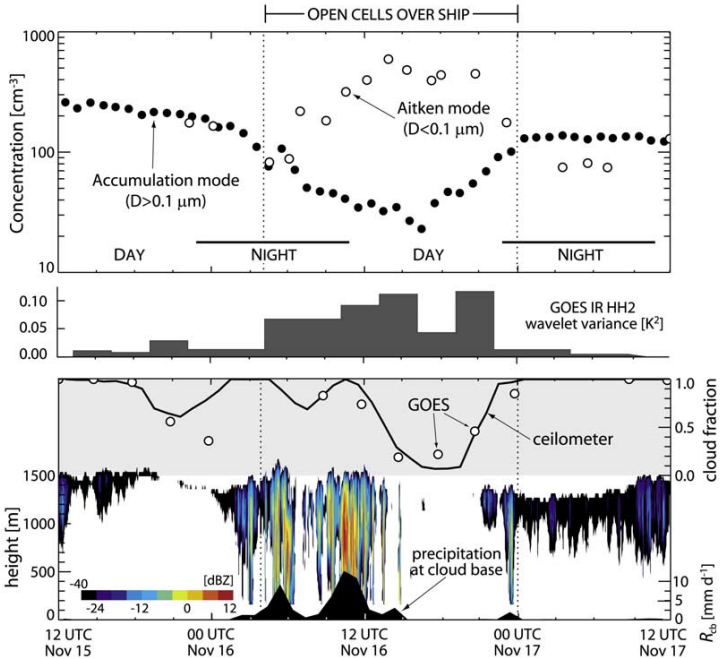












# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: czy istotne?

---



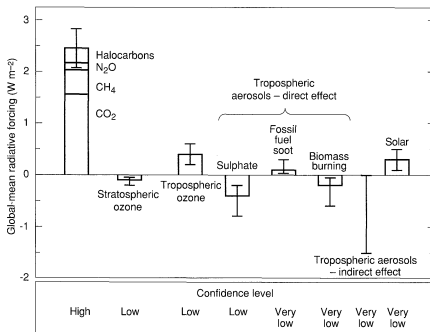
# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: czy istotne?



## IPCC 1995

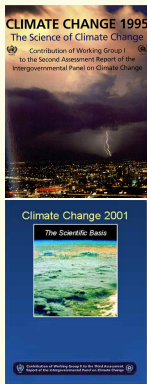
(1992) and Hoyt and Schatten (1993), while the upper range of 0.6% is in reasonable agreement with Nesme-Ribes *et al.* (1993) and corresponds to a radiative forcing of 1.4

expands that conclusion to show that the variations in solar output over the coming century are unlikely to exceed those observed since the Maunder Minimum.



**Figure 2.16:** Estimates of the globally and annually averaged anthropogenic radiative forcing (in  $W m^{-2}$ ) due to changes in concentrations of greenhouse gases and aerosols from pre-industrial times to the present day and to natural changes in solar output from 1850 to the present day. The height of the rectangular bar indicates a mid-range estimate of the forcing whilst the error bars show an

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: czy istotne?



## IPCC 2001

392

Radiative Forcing of Climate Change

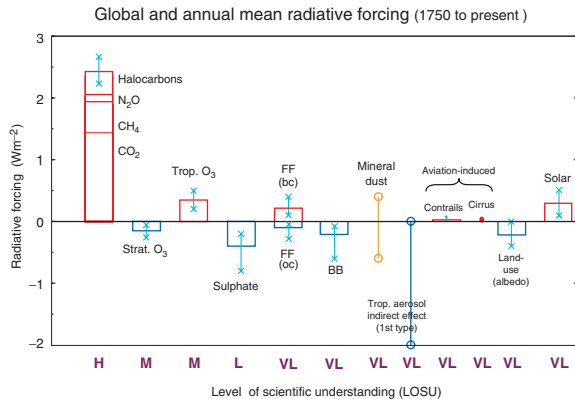
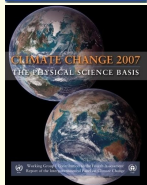
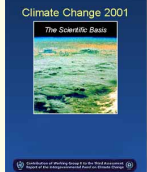
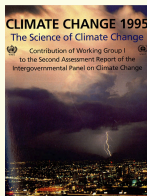


Figure 6.6c: Global, annual mean radiative forcings (Wm<sup>-2</sup>) due to a number of agents for the period from pre-industrial (1750) to present (late 1990s; about 2000) (numerical values are also listed in Table 6.11). For detailed explanations see Section 6.13. The height of the rectangular bar denotes a central or best estimate value while its absence denotes no best estimate is possible. The vertical line about the rectangular bar with "x"



# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: czy istotne?



## IPCC 2007

in Radiative Forcing

Chapter 2

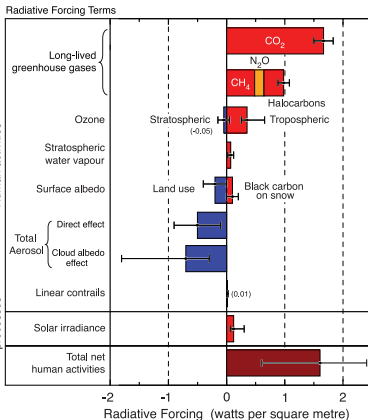
processes  
iosphere,  
dust re-  
aerosols,  
and and  
aerosols

ected by

forcing  
l by hu-  
: 2. The  
ve to the  
'50). The  
ncreases,  
rose due  
use each  
on in the  
e gases,  
t forcing  
increas-  
g, while  
contrib-

ive forc-  
sorption  
re atmo-  
e forcing  
; The dil-  
aerosol  
: a nega-  
such the

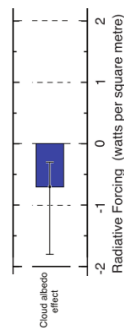
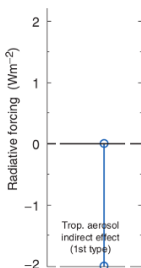
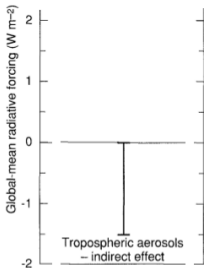
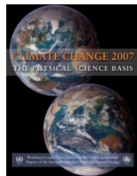
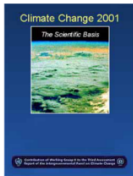
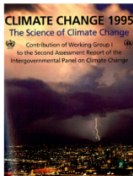
Radiative forcing of climate between 1750 and 2005



FAQ 2.1, Figure 2. Summary of the principal components of the radiative forcing of climate change. All these radiative forcings result from one or more factors that affect climate and are associated with human activities or

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: czy istotne?

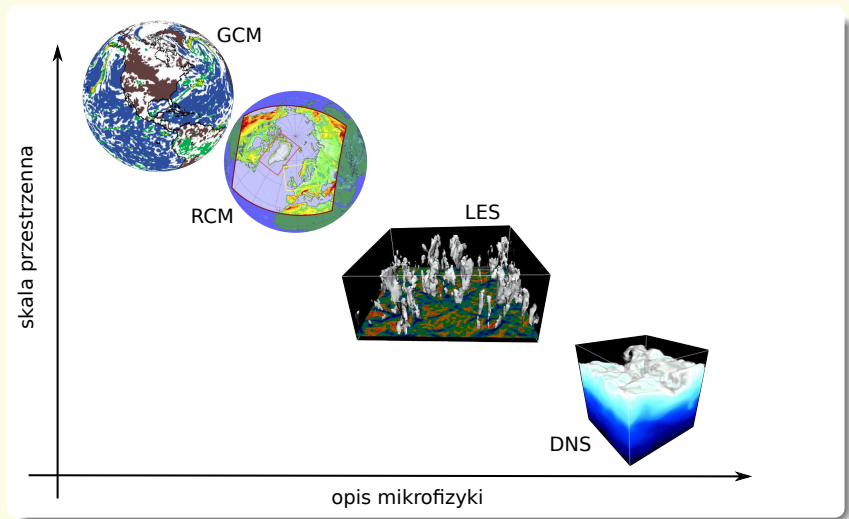
1995 – 2001 – 2007



- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

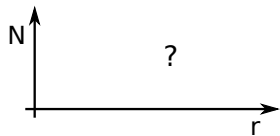
- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

# Reprezentacja mikrofizyki a skala modeli



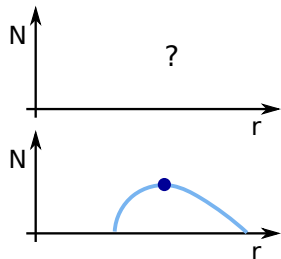
# Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)



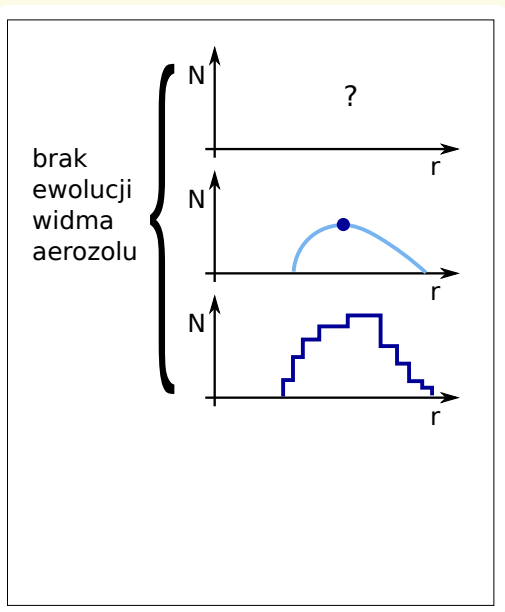
# Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

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



# Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

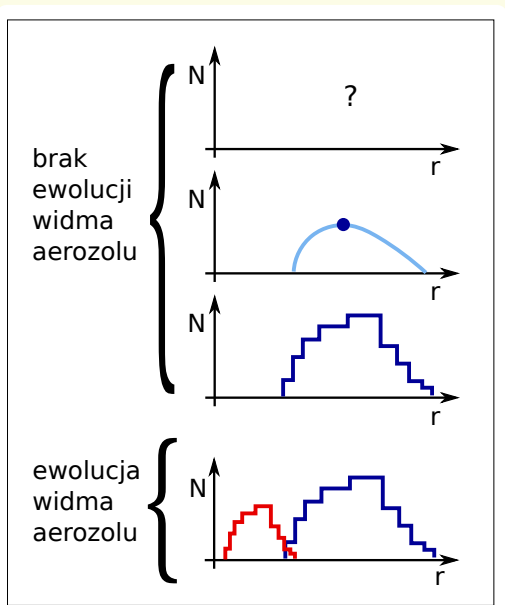
- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy jednowymiarowy (bin)





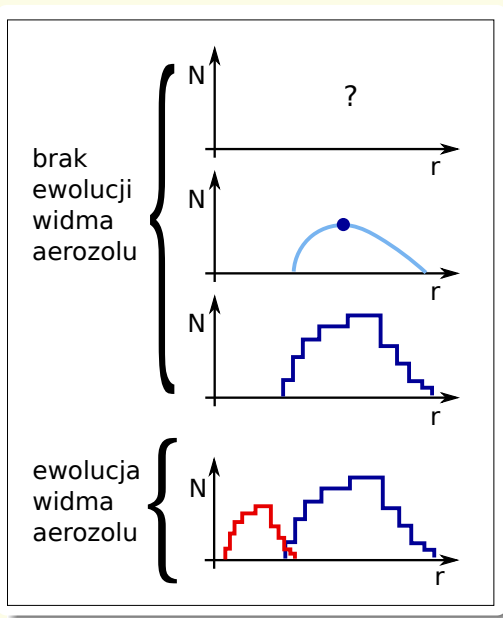
# Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

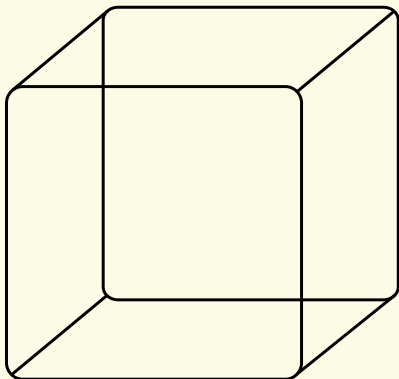
- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy jednowymiarowy (bin)
- ▶ opis widmowy wielowymiarowy
  - ▶ realizacja Eulerowska
  - ▶ realizacja Lagranżowska



# Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

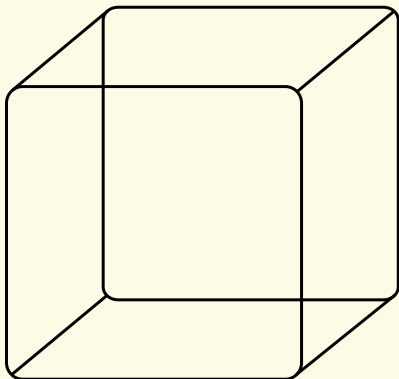
- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy jednowymiarowy (bin)
- ▶ opis widmowy wielowymiarowy
  - ▶ realizacja Eulerowska
  - ▶ **realizacja Lagranżowska**





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

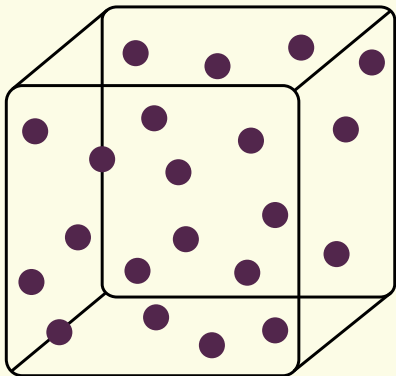




W domenie rozmieszczone są  
obiekty które są nośnikami  
informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

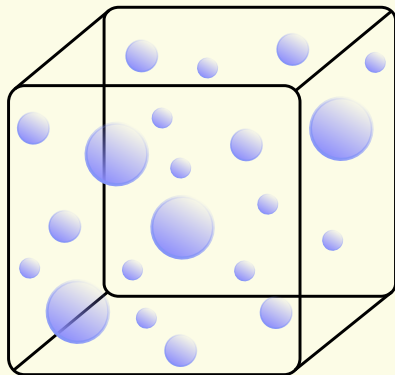




W domenę rozmieszczone są  
obiekty które są nośnikami  
informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

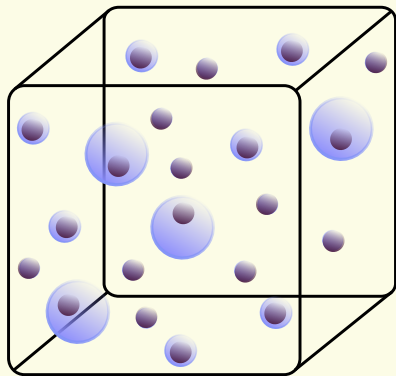
- ▶ położenie



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

Można im przypisywać atrybuty:

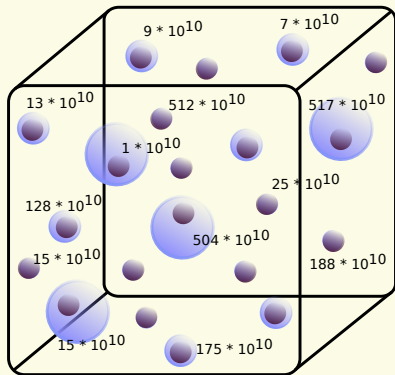
- ▶ położenie
- ▶ promień mokrzy



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

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy

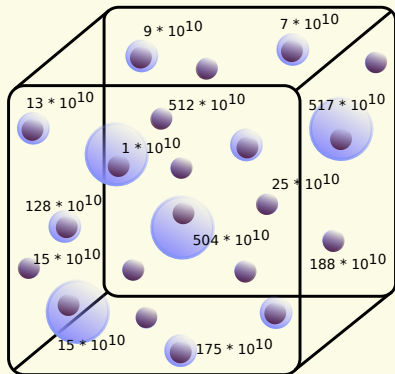


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

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

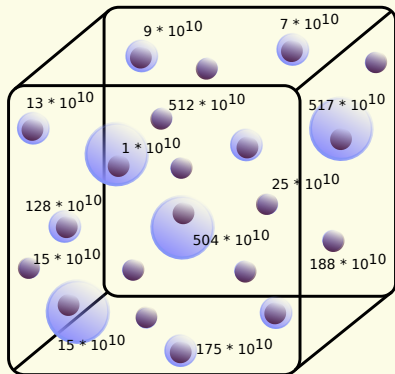




W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

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

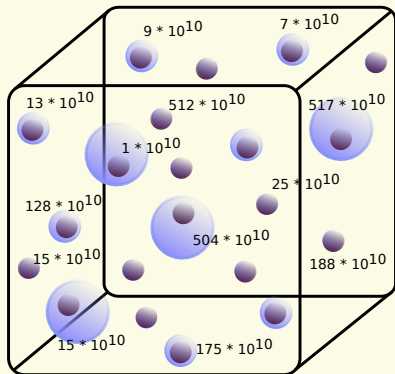


W domenę rozmieszczone są obiekty które są nośnikami informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

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

Łatwość dodawania kolejnych atrybutów



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

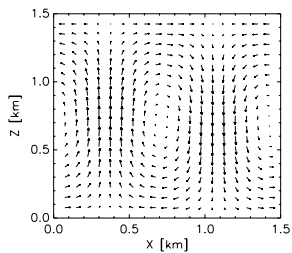
Można im przypisywać atrybuty:

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

Łatwość dodawania kolejnych atrybutów (ważne przy opisie reakcji chemicznych zachodzących w kropelkach)

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

icicle:

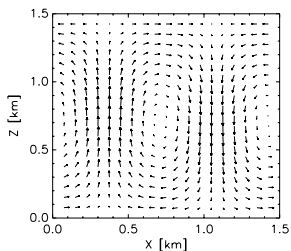


Constable 1824

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

icicle:

- ▶ dwuwymiarowy model chmury

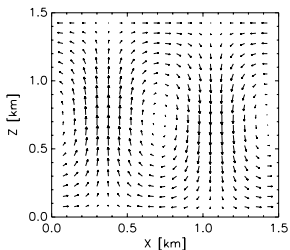


Constable 1824

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

icicle:

- ▶ dwuwymiarowy model chmury
- ▶ zadany przepływ (brak oddziaływań pomiędzy mikrofizyką a dynamiką)

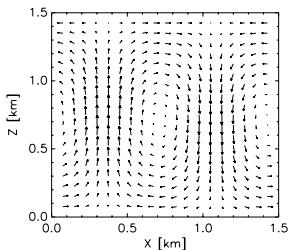


Constable 1824

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

icicle:

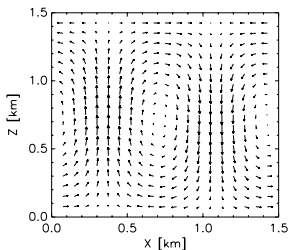
- ▶ dwuwymiarowy model chmury
- ▶ zadany przepływ (brak oddziaływań pomiędzy mikrofizyką a dynamiką)
- ▶ Lagranżowski opis mikrofizyki (z uwzględnieniem zderzeń cząstek)



Constable 1824

icicle:

- ▶ dwuwymiarowy model chmury
- ▶ zadany przepływ (brak oddziaływań pomiędzy mikrofizyką a dynamiką)
- ▶ Lagranżowski opis mikrofizyki (z uwzględnieniem zderzeń cząstek)
- ▶ program budowany w ramach grantu NCN PRELUDIUM



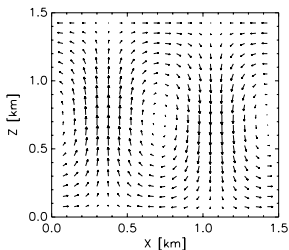
Constable 1824



icicle:

- ▶ dwuwymiarowy model chmury
- ▶ zadany przepływ (brak oddziaływań pomiędzy mikrofizyką a dynamiką)
- ▶ Lagranżowski opis mikrofizyki (z uwzględnieniem zderzeń cząstek)
- ▶ program budowany w ramach grantu NCN PRELUDIUM

Przykładowa symulacja:



Constable 1824

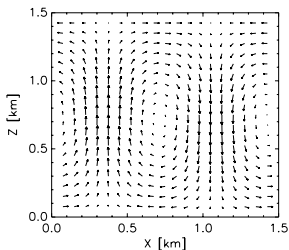
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

icicle:

- ▶ dwuwymiarowy model chmury
- ▶ zadany przepływ (brak oddziaływań pomiędzy mikrofizyką a dynamiką)
- ▶ Lagranżowski opis mikrofizyki (z uwzględnieniem zderzeń cząstek)
- ▶ program budowany w ramach grantu NCN PRELUDIUM

Przykładowa symulacja:

- ▶ pojedynczy wir



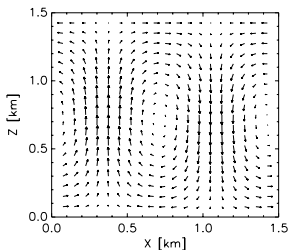
Constable 1824

icicle:

- ▶ dwuwymiarowy model chmury
- ▶ zadany przepływ (brak oddziaływań pomiędzy mikrofizyką a dynamiką)
- ▶ Lagranżowski opis mikrofizyki (z uwzględnieniem zderzeń cząstek)
- ▶ program budowany w ramach grantu NCN PRELUDIUM

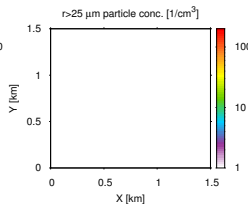
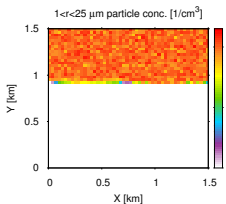
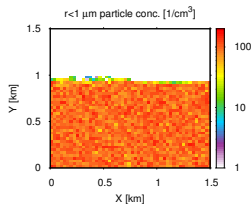
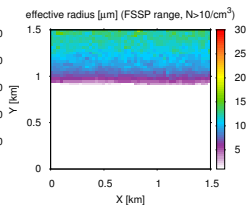
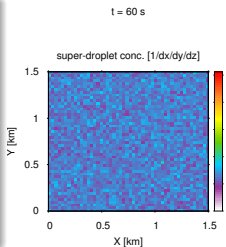
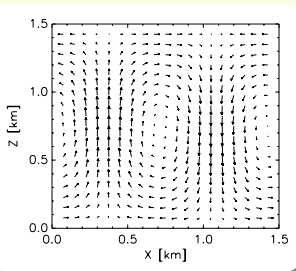
Przykładowa symulacja:

- ▶ pojedynczy wir
- ▶ chmura Sc w górnej części domeny



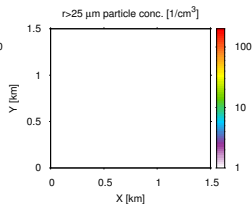
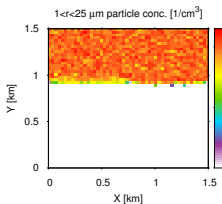
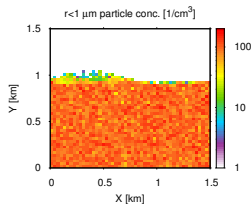
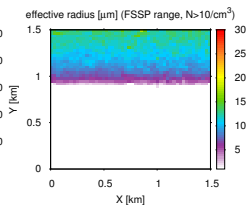
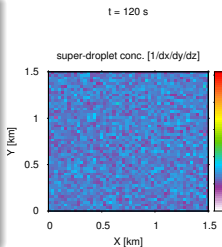
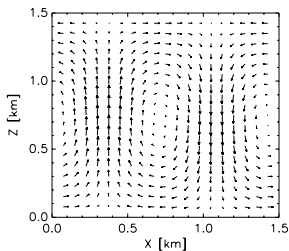
Constable 1824

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



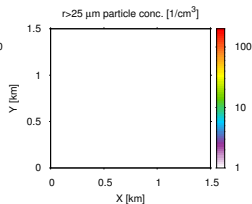
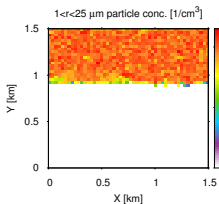
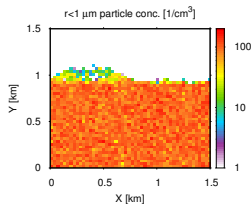
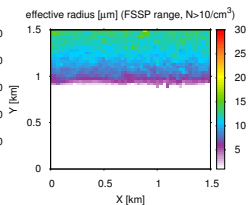
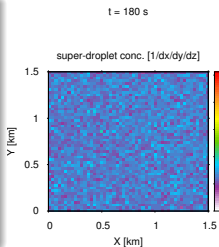
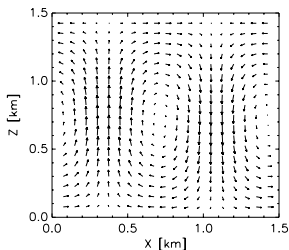
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



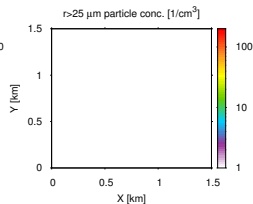
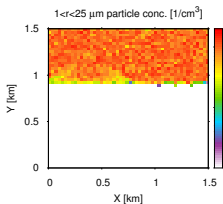
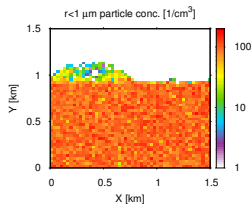
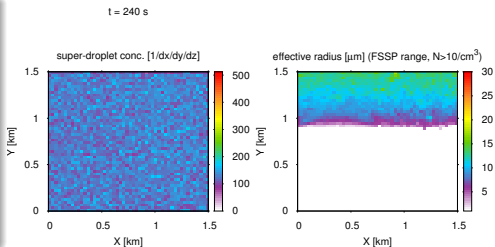
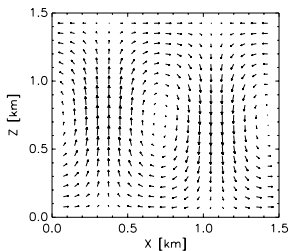
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



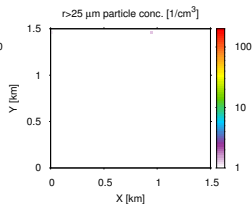
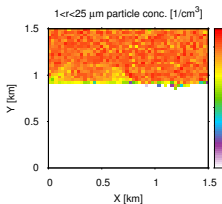
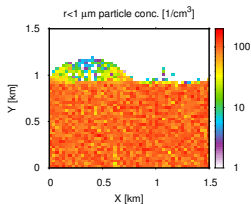
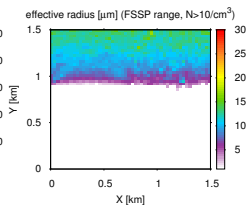
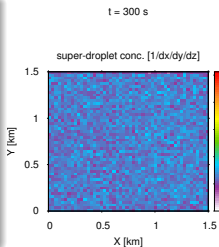
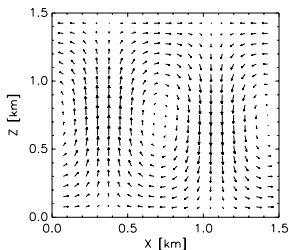
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

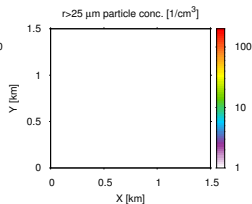
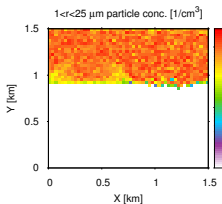
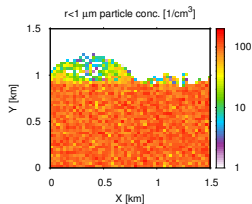
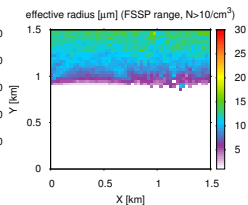
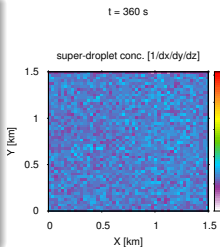
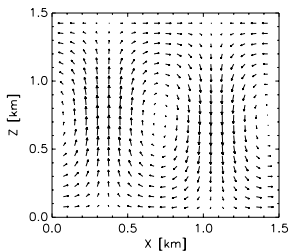
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

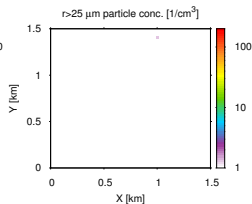
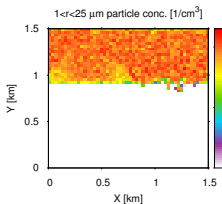
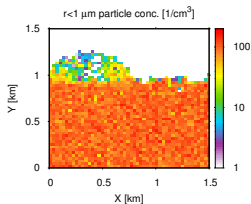
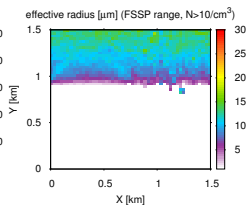
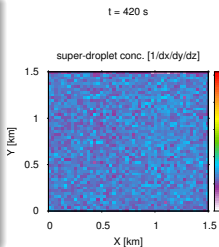
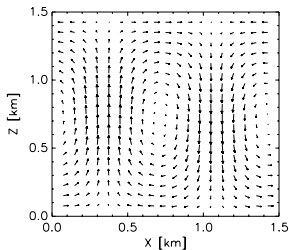


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



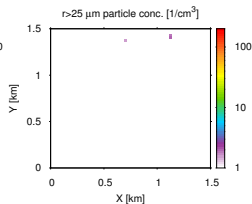
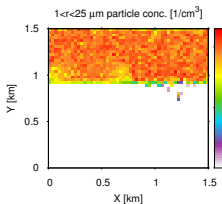
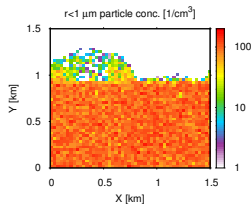
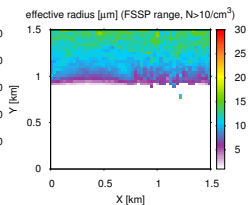
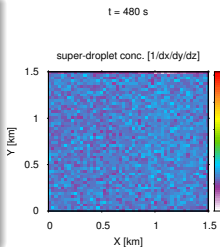
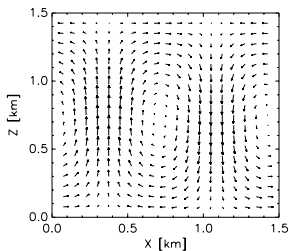
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



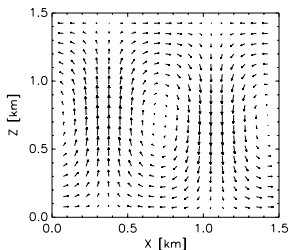
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

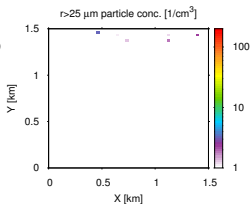
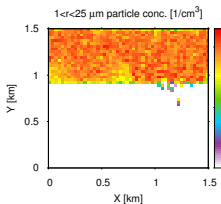
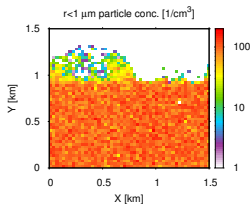
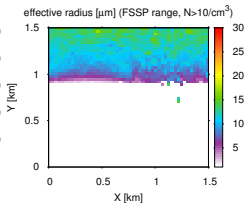
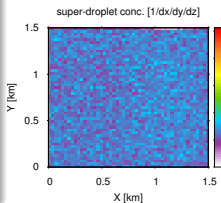


Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



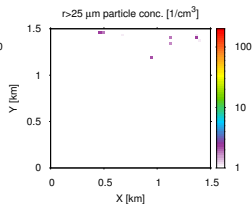
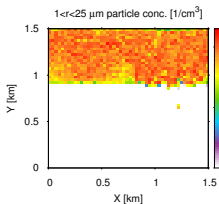
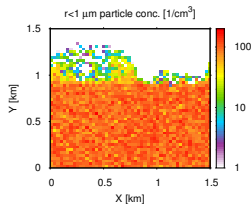
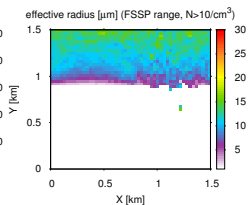
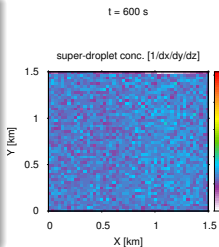
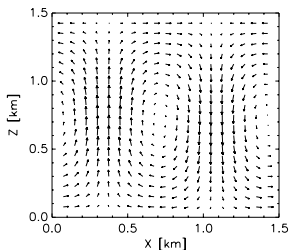
t = 540 s



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

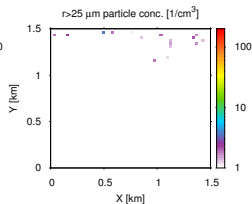
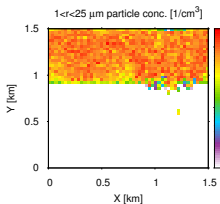
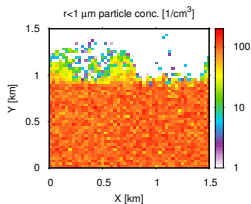
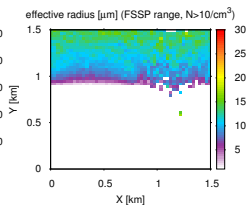
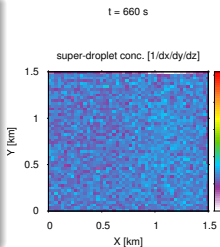
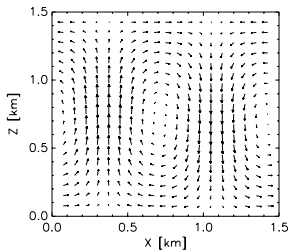


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



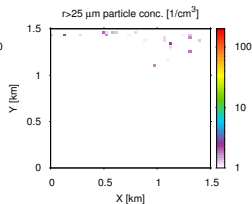
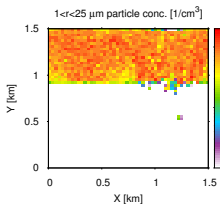
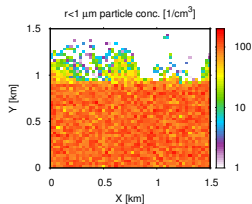
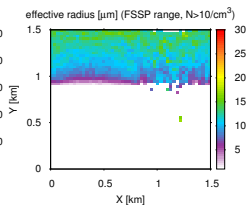
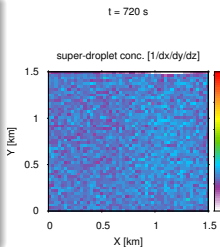
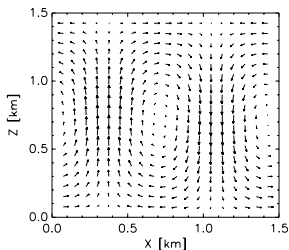
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



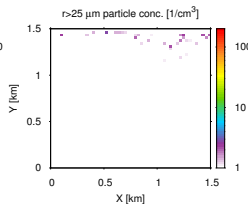
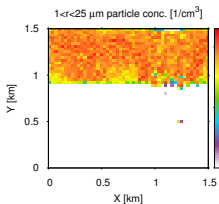
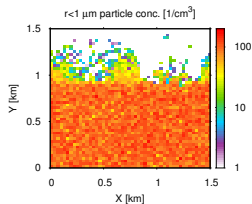
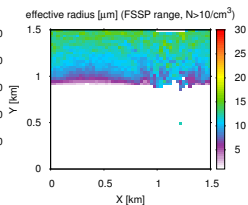
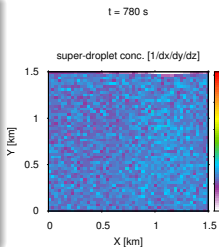
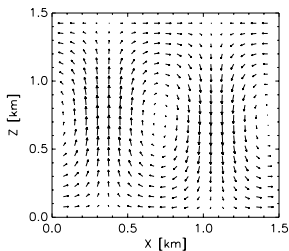
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

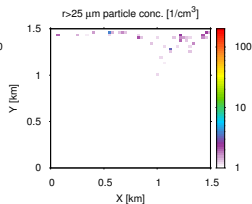
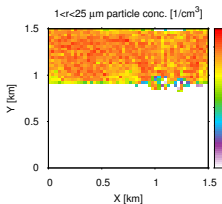
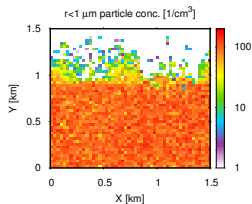
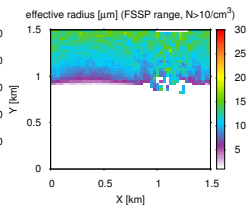
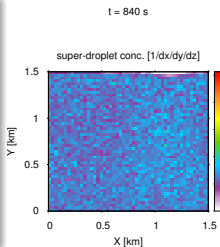
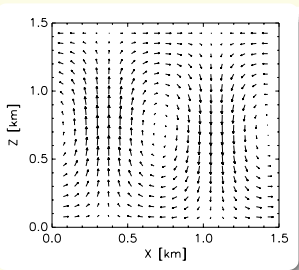
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

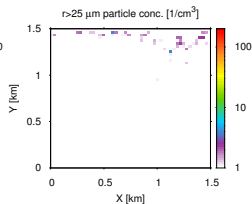
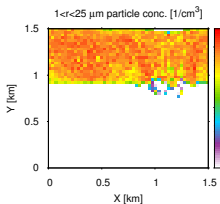
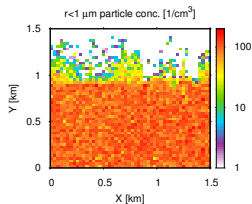
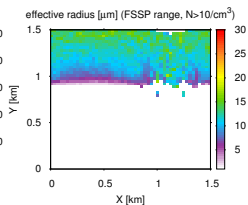
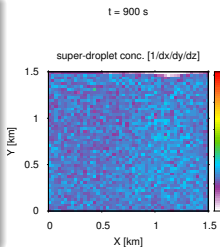
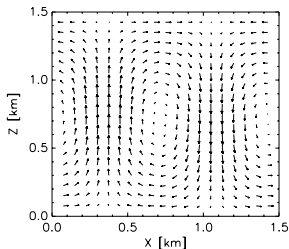


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



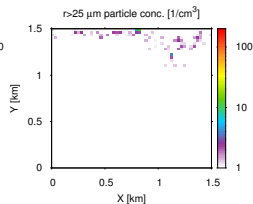
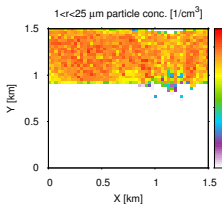
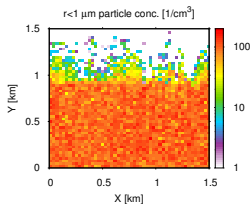
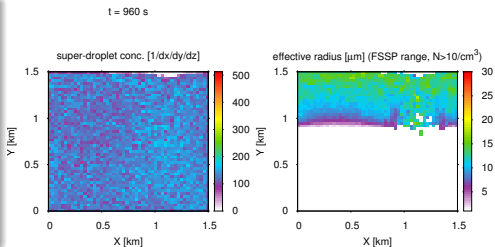
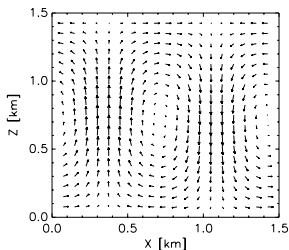
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



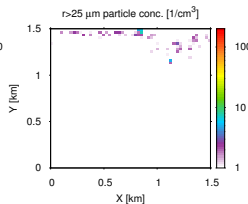
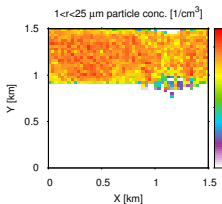
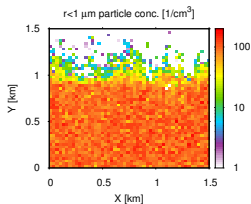
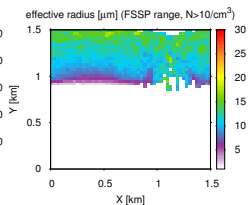
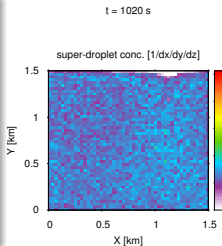
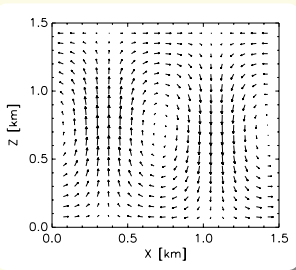
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

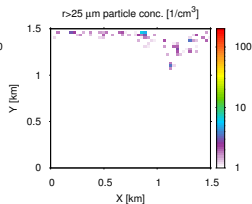
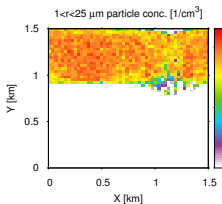
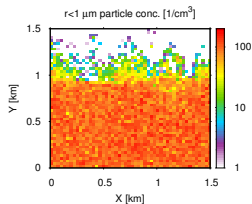
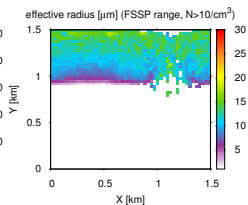
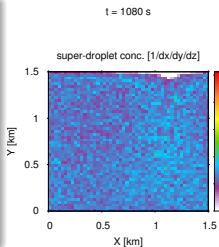
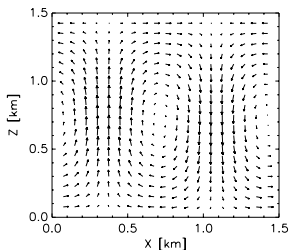
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

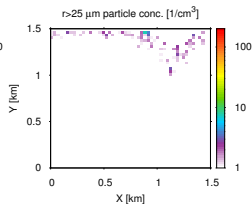
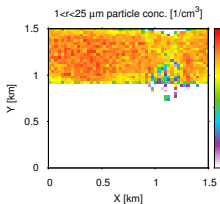
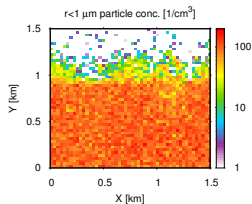
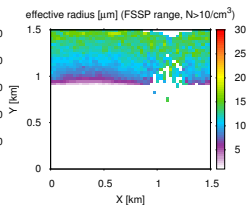
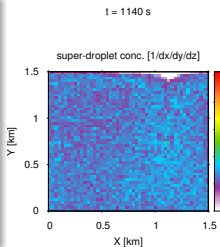
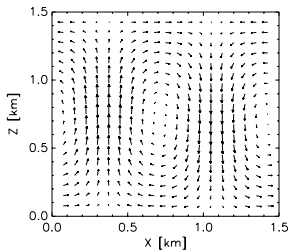


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

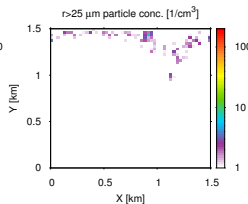
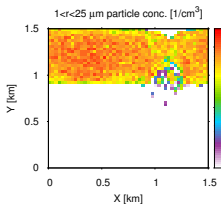
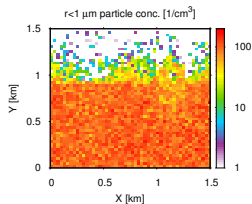
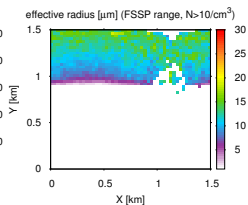
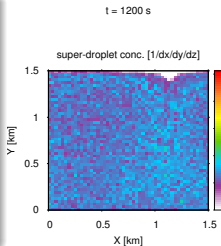
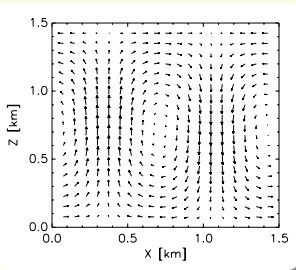
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

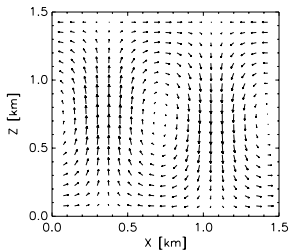


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

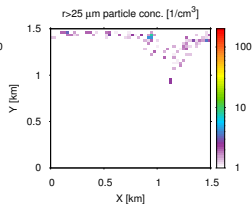
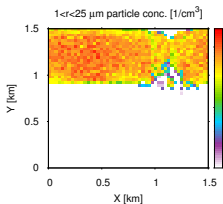
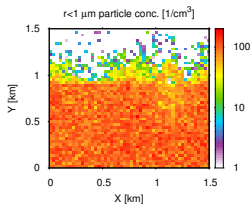
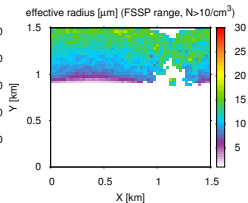
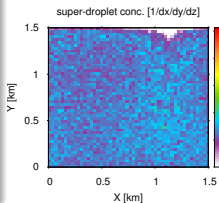


Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



t = 1260 s

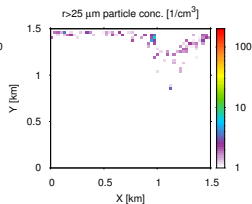
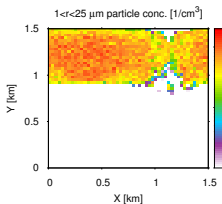
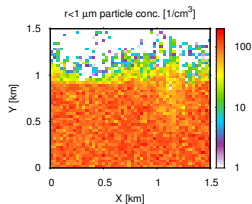
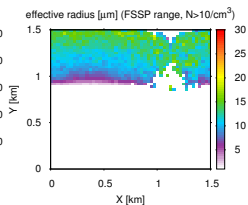
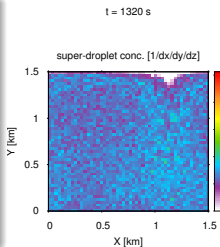
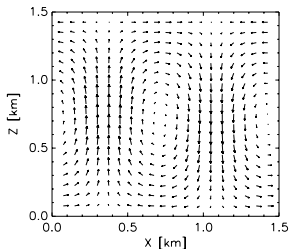


Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



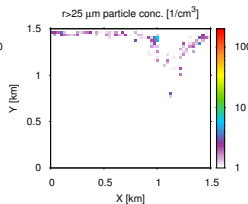
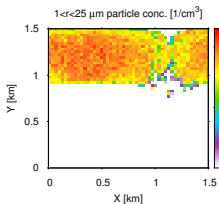
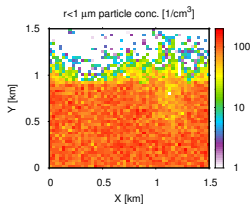
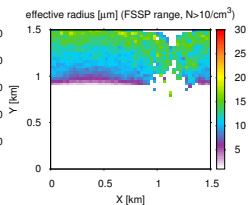
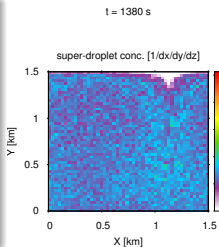
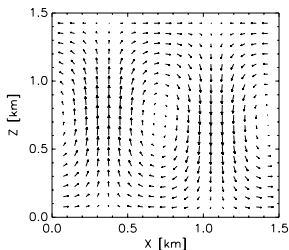


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



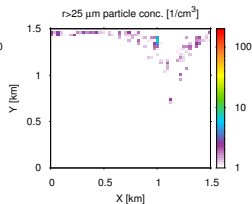
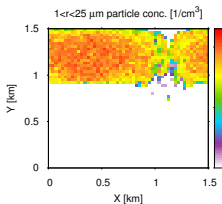
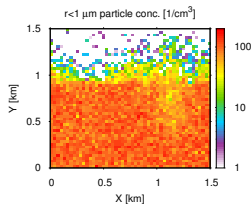
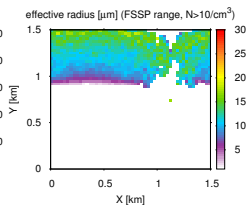
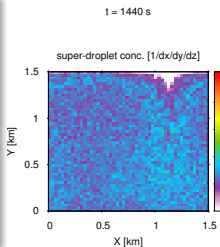
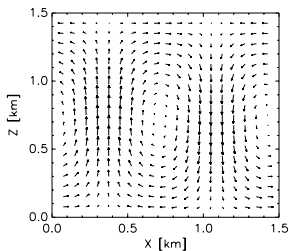
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



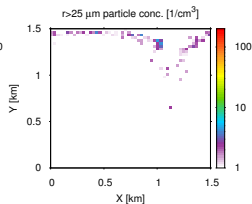
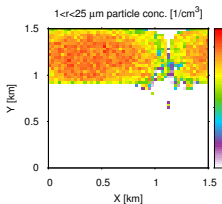
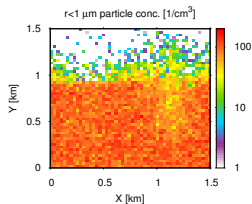
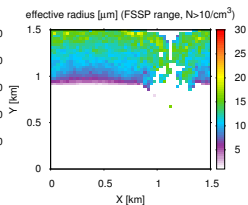
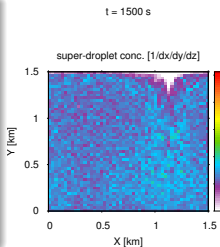
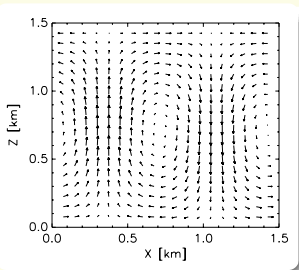
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



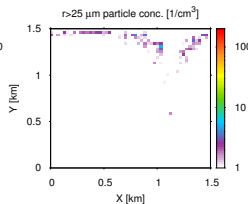
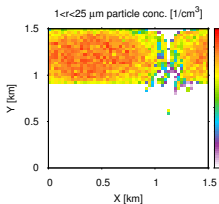
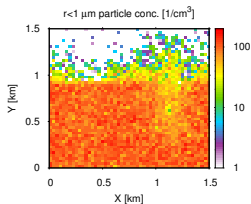
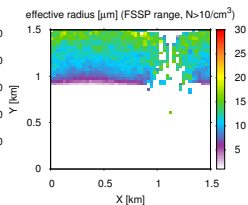
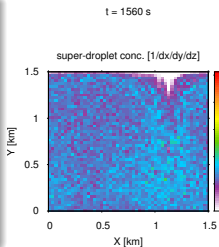
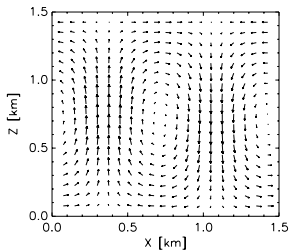
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



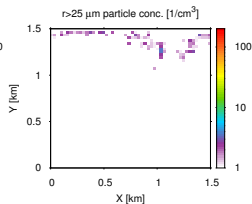
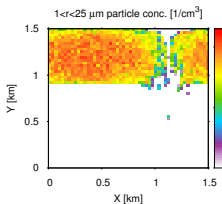
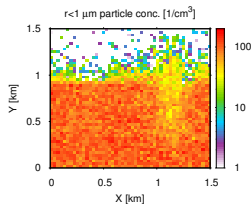
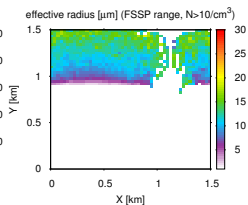
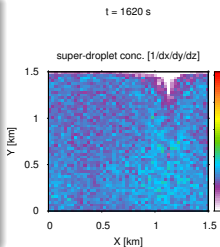
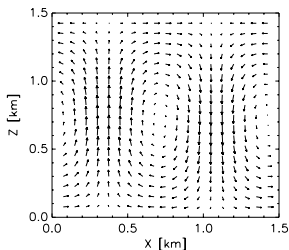
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



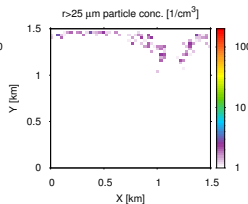
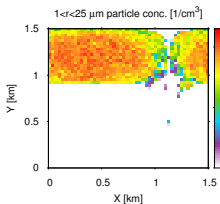
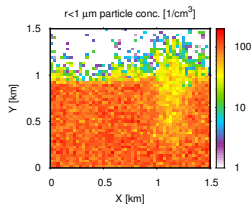
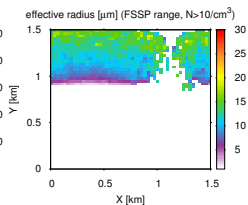
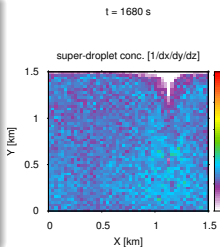
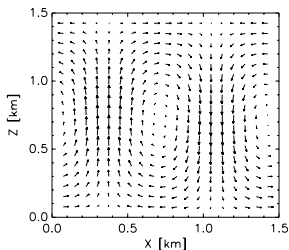
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



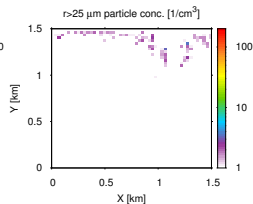
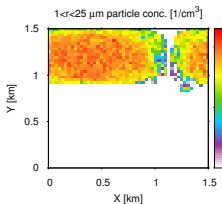
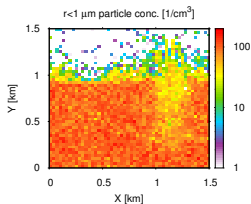
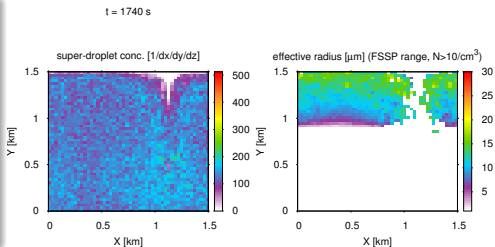
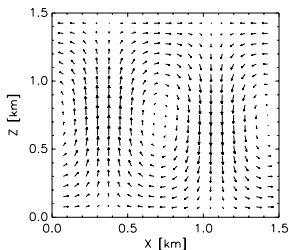
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

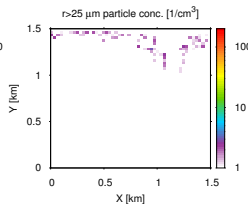
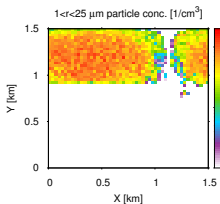
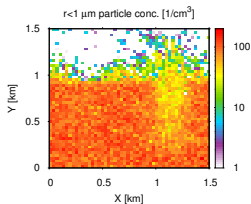
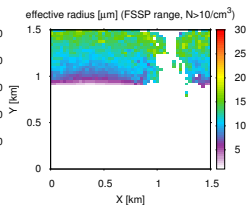
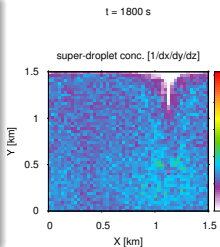
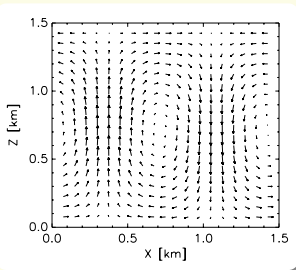
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



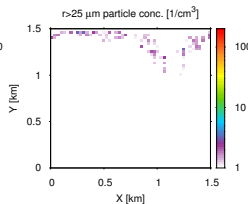
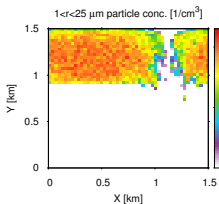
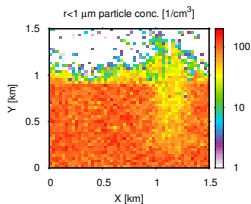
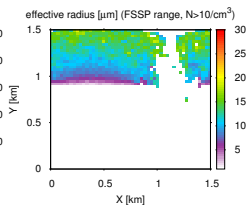
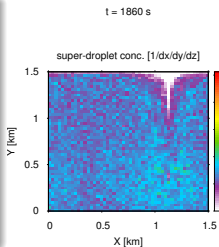
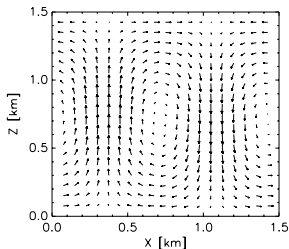
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

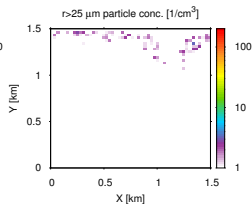
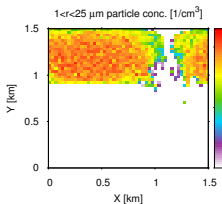
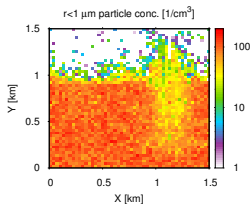
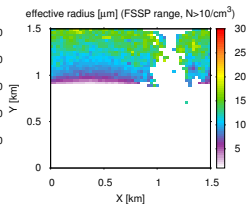
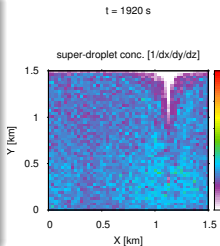
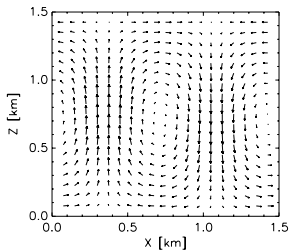


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



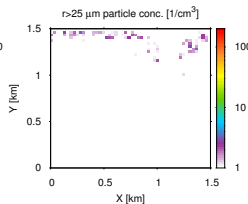
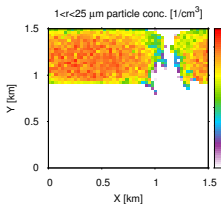
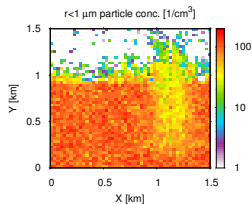
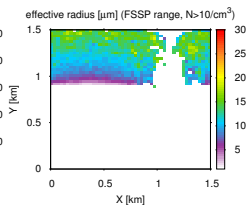
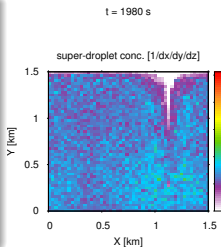
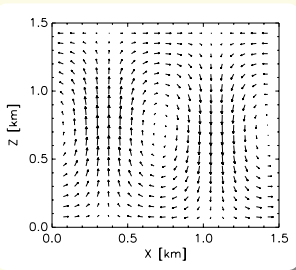
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

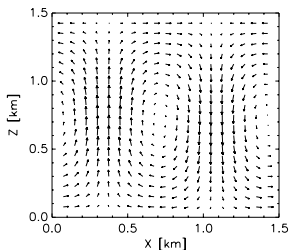
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



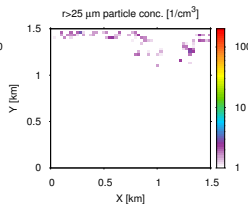
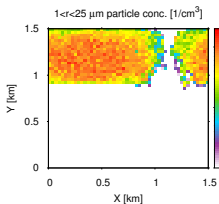
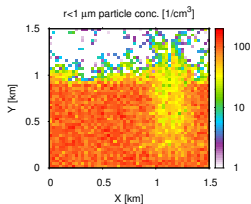
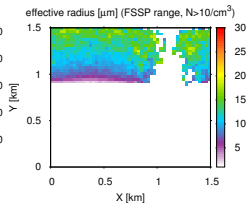
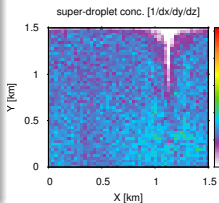
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



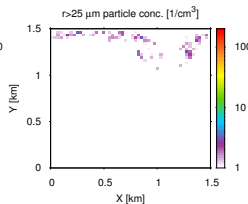
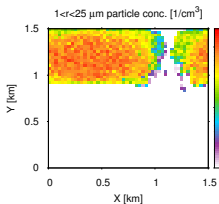
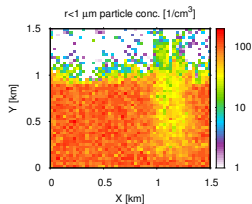
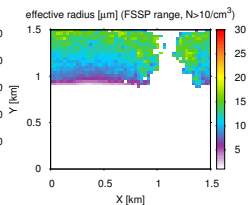
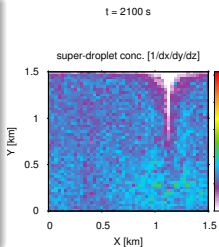
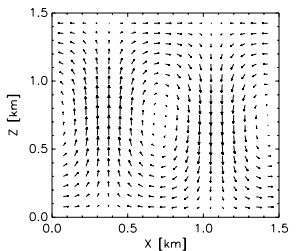
t = 2040 s



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

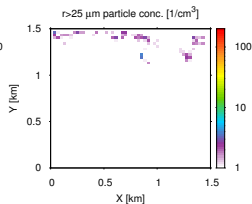
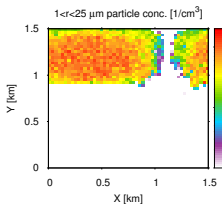
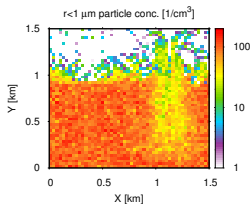
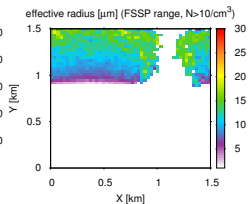
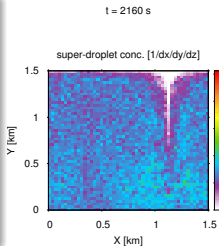
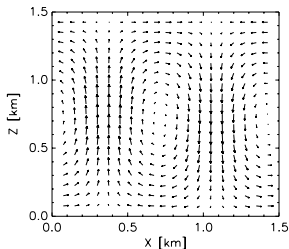


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



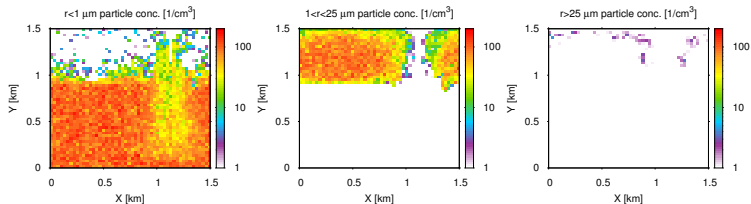
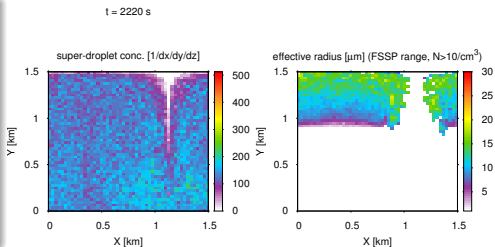
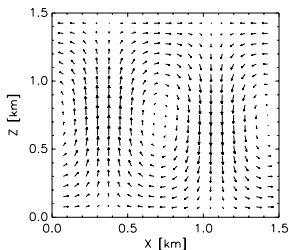
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

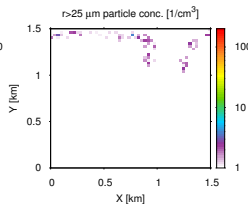
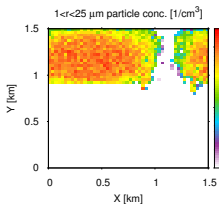
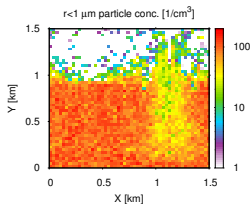
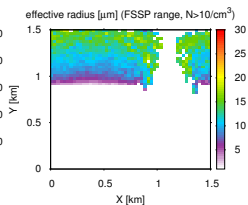
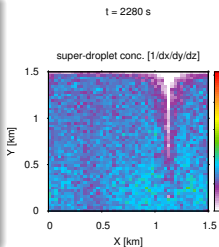
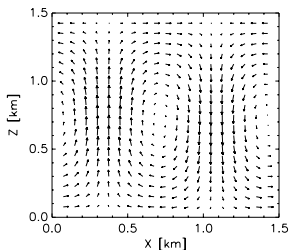
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

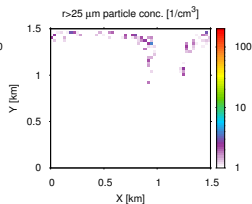
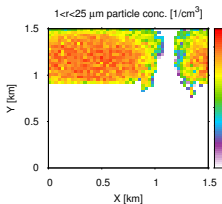
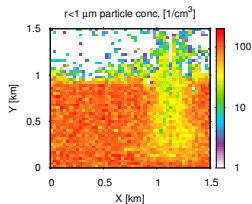
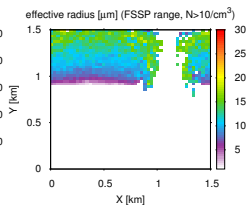
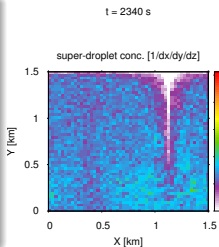
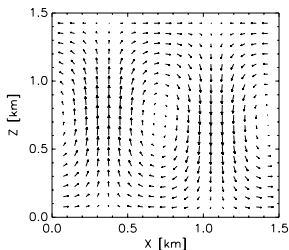


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



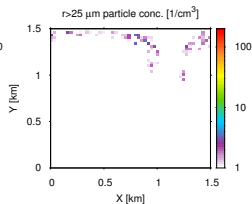
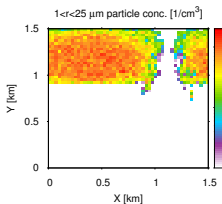
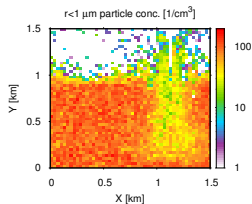
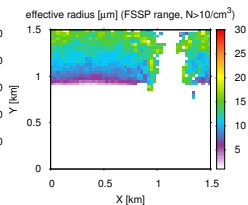
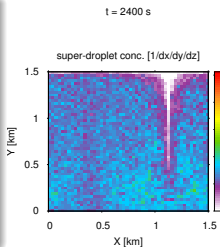
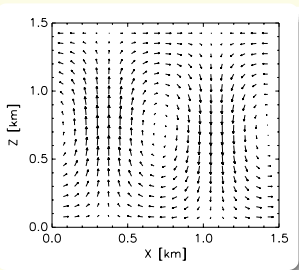
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



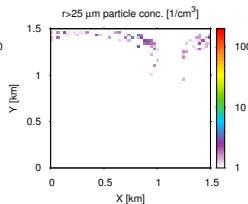
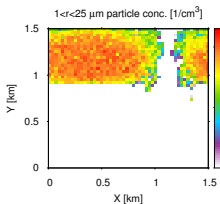
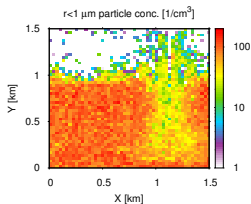
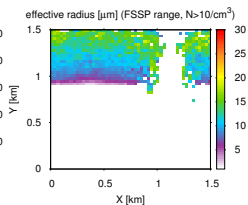
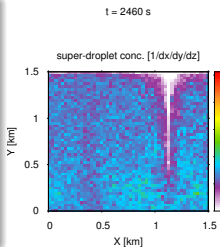
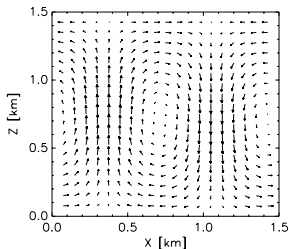
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



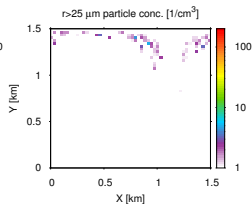
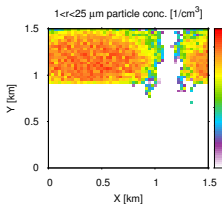
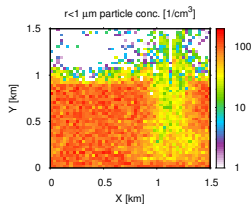
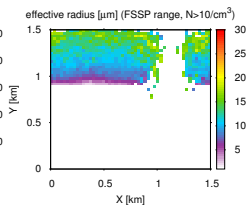
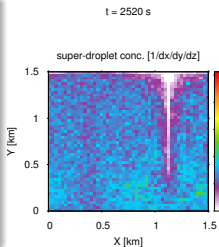
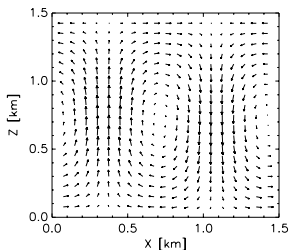
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



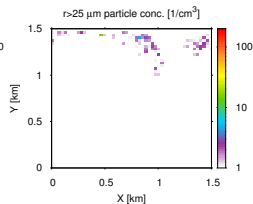
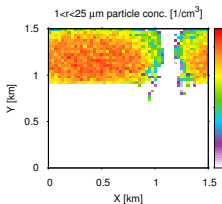
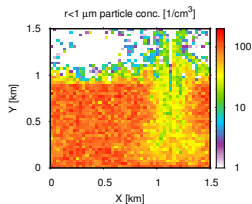
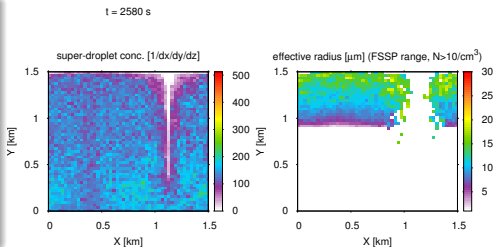
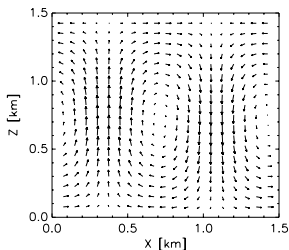
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



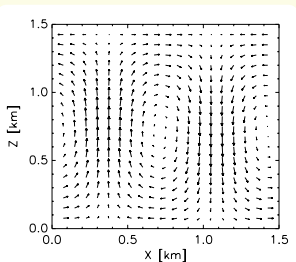
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

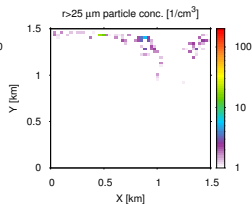
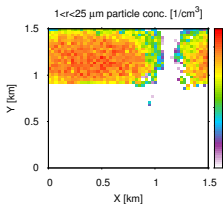
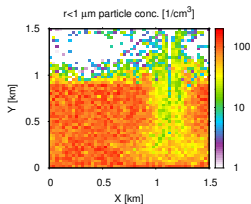
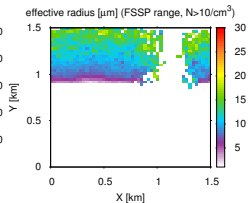
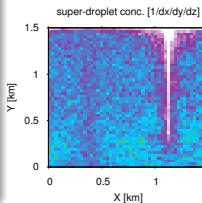


Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



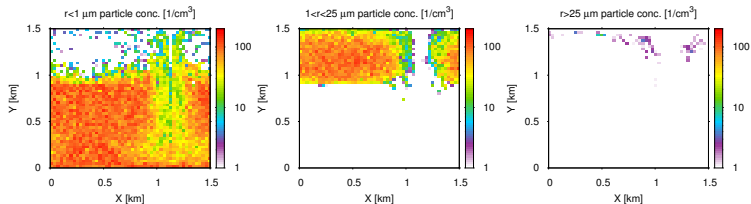
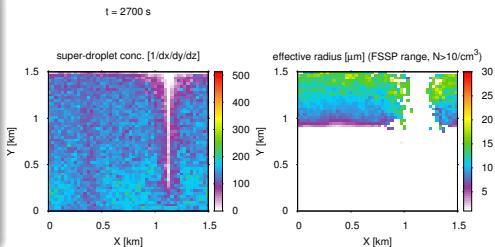
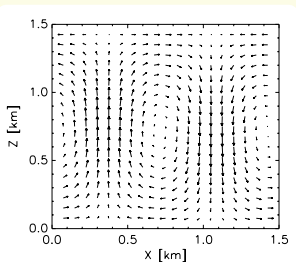
t = 2640 s



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

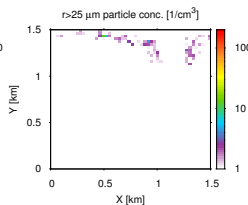
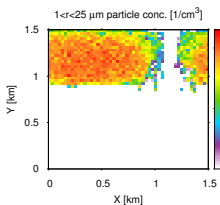
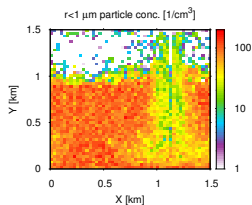
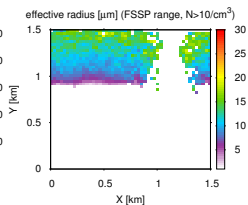
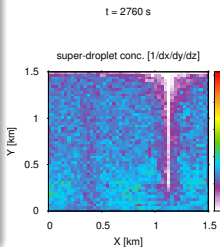
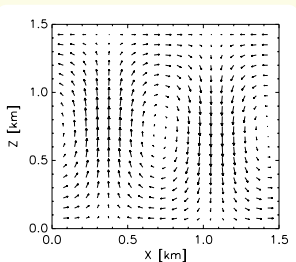


Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu





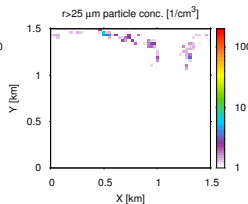
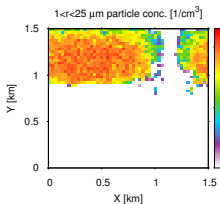
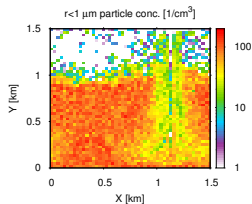
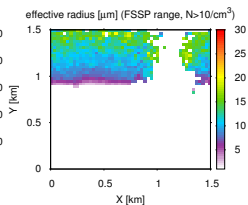
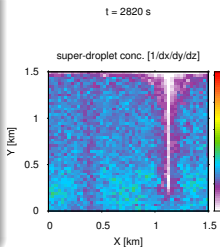
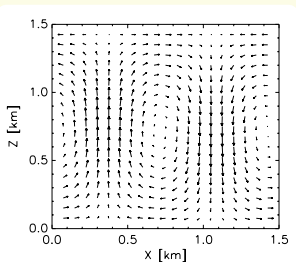
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



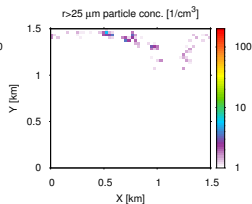
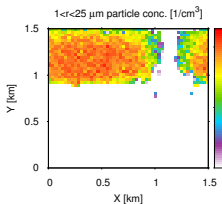
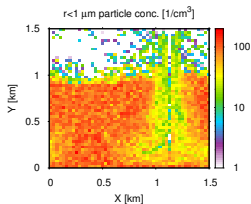
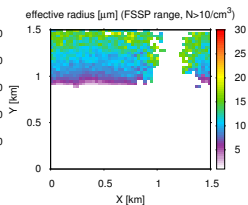
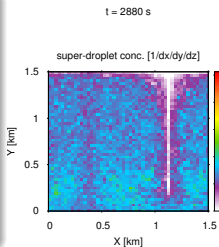
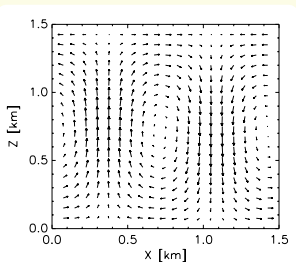
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

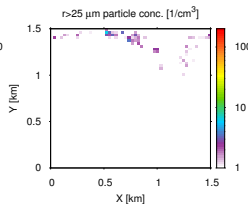
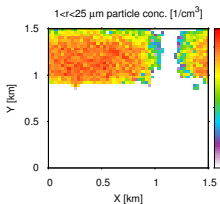
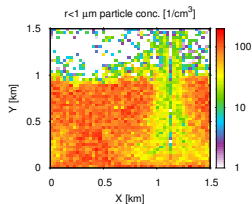
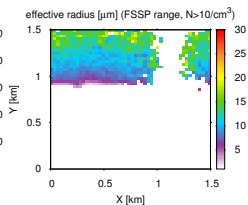
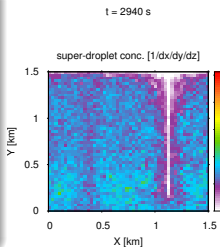
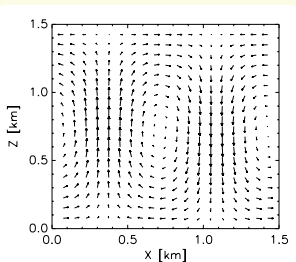


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

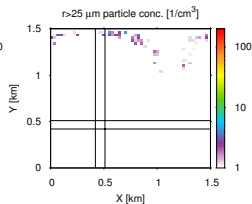
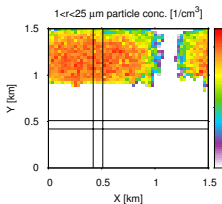
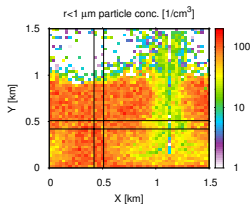
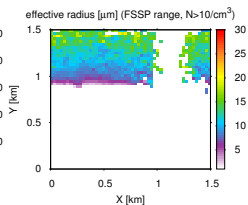
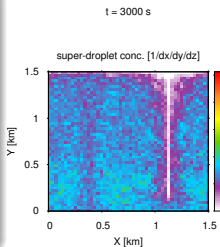
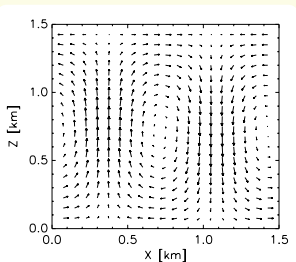
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



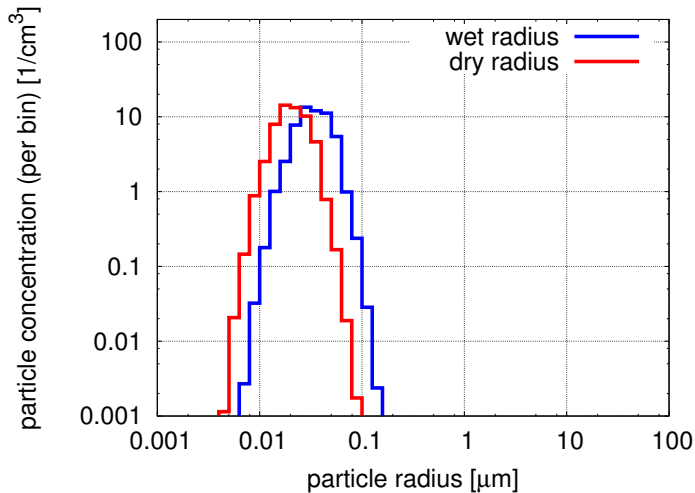
# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



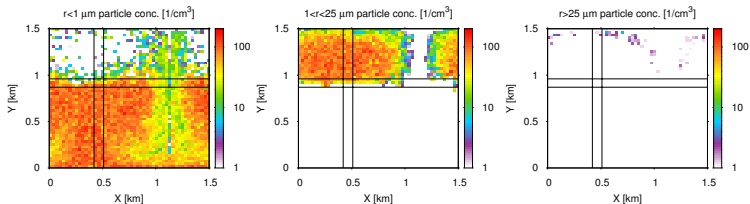
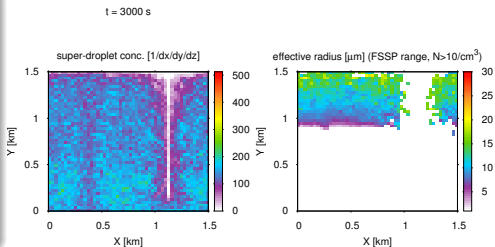
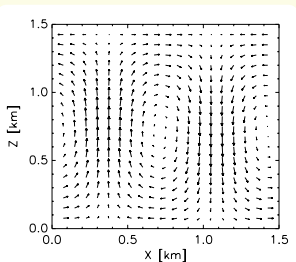
Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu



# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)

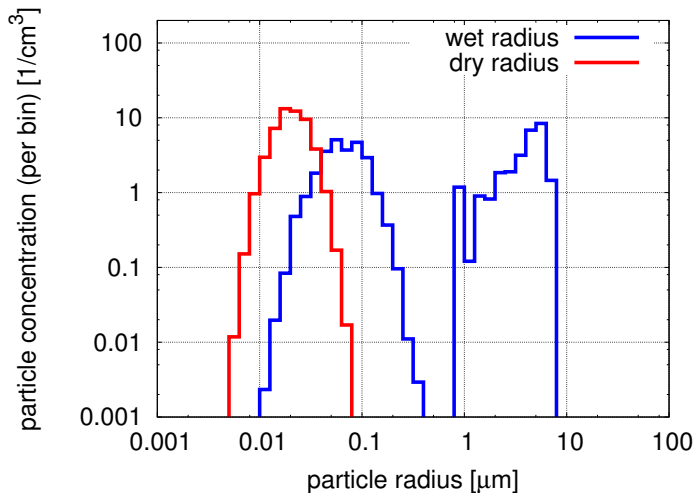


# Dotychczasowe przygotowania: icicle (NCN PRELUDIUM 2011-13)



Arabas, Jaruga, Pawlowska & Grabowski 2013 - artykuł w przygotowaniu

# Dotychczasowe przygotowania: icide (NCN PRELUDIUM 2011-13)





# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja



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



- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja



- ▶ zderzenia pomiędzy kropelkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropelkach



- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu ✓
- ▶ kondensacja ✓



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



- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropełek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu ✓
- ▶ kondensacja ✓



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



- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu ✓
- ▶ kondensacja ✓



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



- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropełek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu ✓
- ▶ kondensacja ✓



- ▶ zderzenia pomiędzy kropelkami ✓
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropelkach ✓



- ▶ opad ✓
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu ✓
- ▶ kondensacja ✓



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



- ▶ opad ✓
- ▶ wymywanie aerozolu ✓
- ▶ odparowywanie kropełek

# Oddziaływania aerozol – chmury – aerozol: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu ✓
- ▶ kondensacja ✓



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



- ▶ opad ✓
- ▶ wymywanie aerozolu ✓
- ▶ odparowywanie kropelek ✓



# Cel projektu HARMONIA

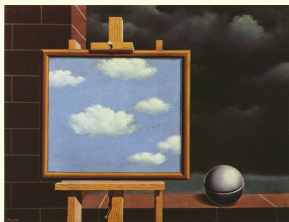
---



Magritte

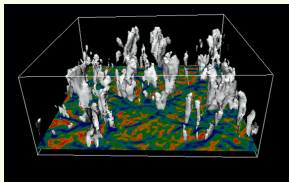
- ▶ chmury nie są dwu-wymiarowe
- ▶ oddziaływania mikrofizyki z dynamiką (w tym podskalową) są istotne

# Cel projektu HARMONIA



Magritte

- ▶ chmury nie są dwu-wymiarowe
- ▶ oddziaływania mikrofizyki z dynamiką (w tym podskalową) są istotne



NCAR

cel projektu HARMONIA:  
**budowa trójwymiarowego modelu typu LES**  
z Lagranżowski opisem mikrofizyki  
umożliwiającego badanie oddziaływania  
aerozolu z chmurami i opadem



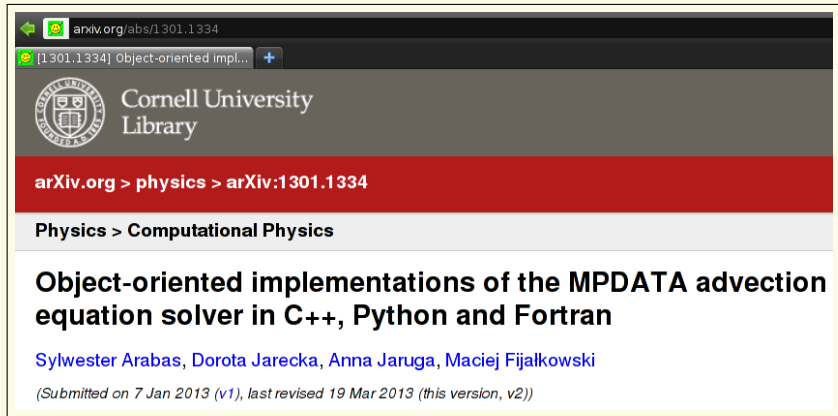
- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?  
czytelny i zwięzły kod








The screenshot shows a web browser window with the URL `arxiv.org/abs/1301.1334`. The browser's address bar and a tab titled "[1301.1334] Object-oriented impl..." are visible. The page header features the Cornell University Library logo and name. A red navigation bar contains the text "arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334". Below this, a grey bar shows "Physics > Computational Physics". The main content area displays the title "Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran" in large, bold black font. The authors "Sylwester Arabas, Dorota Jarecka, Anna Jaruga, Maciej Fijałkowski" are listed in blue text. At the bottom, a note in italics states: "(Submitted on 7 Jan 2013 (v1), last revised 19 Mar 2013 (this version, v2))".

arxiv.org/abs/1301.1334

[1301.1334] Object-oriented impl...

 Cornell University  
Library

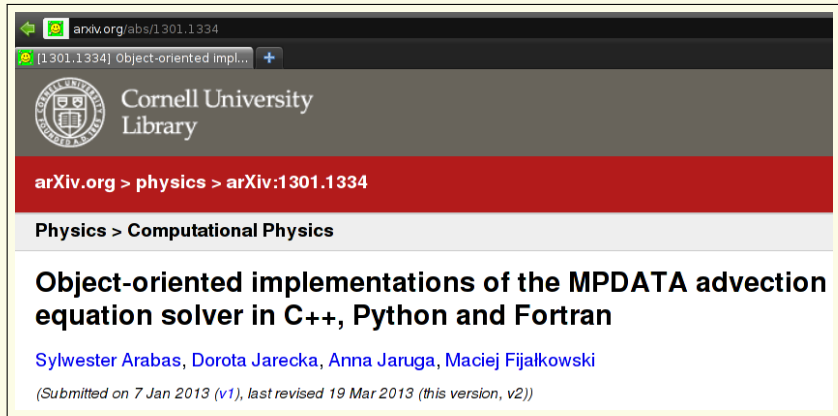
arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334

Physics > Computational Physics

## Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran

Sylwester Arabas, Dorota Jarecka, Anna Jaruga, Maciej Fijałkowski


*(Submitted on 7 Jan 2013 (v1), last revised 19 Mar 2013 (this version, v2))*



The screenshot shows a web browser window displaying the arXiv.org abstract page for arXiv:1301.1334. The browser's address bar shows 'arxiv.org/abs/1301.1334'. Below the browser window, the Cornell University Library logo is visible. A red navigation bar contains the text 'arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334'. Below this, a grey bar shows 'Physics > Computational Physics'. The main title of the abstract is 'Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran'. The authors listed are Sylwester Arabas, Dorota Jarecka, Anna Jaruga, and Maciej Fijałkowski. A note at the bottom indicates the submission date as 7 Jan 2013 (v1) and the last revision as 19 Mar 2013 (this version, v2).

arxiv.org/abs/1301.1334

[1301.1334] Object-oriented impl... +

 Cornell University  
Library

arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334

Physics > Computational Physics

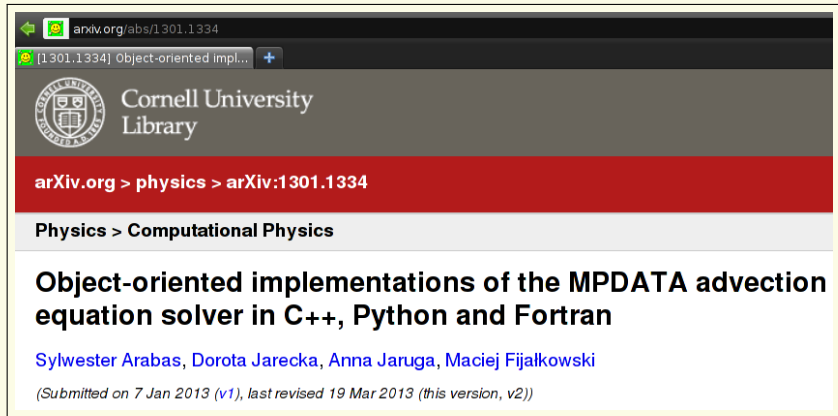
**Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran**

Sylwester Arabas, Dorota Jarecka, Anna Jaruga, Maciej Fijałkowski

*(Submitted on 7 Jan 2013 (v1), last revised 19 Mar 2013 (this version, v2))*

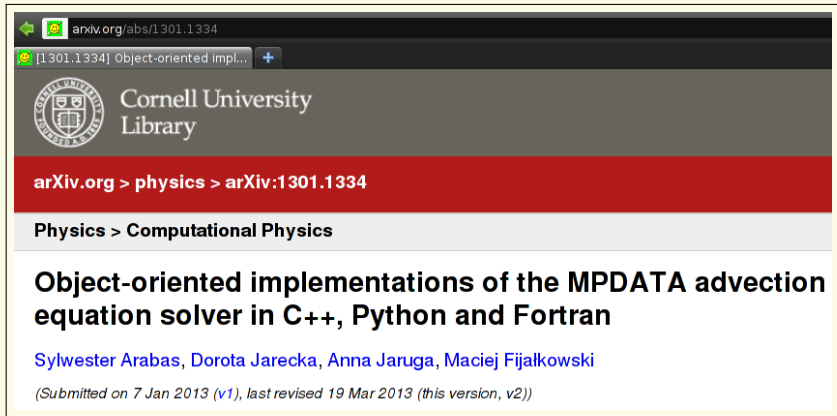
- ▶ obiektowa implementacja algorytmu MPDATA





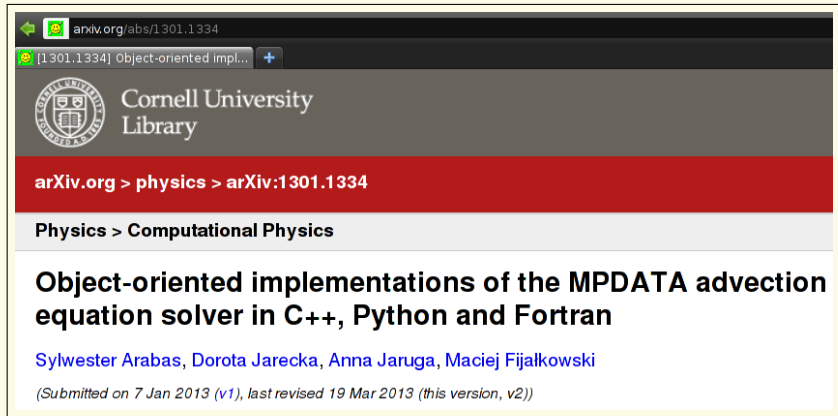
The screenshot shows a web browser window displaying the arXiv.org abstract for paper 1301.1334. The browser's address bar shows 'arxiv.org/abs/1301.1334'. Below the browser window, the Cornell University Library logo is visible. A red navigation bar contains the text 'arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334'. Below this, a grey bar shows 'Physics > Computational Physics'. The main title of the paper is 'Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran'. The authors listed are Sylwester Arabas, Dorota Jarecka, Anna Jaruga, and Maciej Fijałkowski. A note at the bottom indicates the paper was submitted on 7 Jan 2013 (v1) and last revised on 19 Mar 2013 (this version, v2).

- ▶ obiektowa implementacja algorytmu MPDATA
- ▶ porównanie czytelności/zwięzłości i wydajności: C++/Python/Fortran




The screenshot shows a web browser window with the URL `arxiv.org/abs/1301.1334`. The browser's address bar and tabs are visible. The page content includes the Cornell University Library logo and name, a red navigation bar with the text `arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334`, a grey bar with `Physics > Computational Physics`, and the main title **Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran**. Below the title, the authors [Sylwester Arabas](#), [Dorota Jarecka](#), [Anna Jaruga](#), and [Maciej Fijałkowski](#) are listed. A submission note at the bottom states: *(Submitted on 7 Jan 2013 (v1), last revised 19 Mar 2013 (this version, v2))*.

- ▶ obiektowa implementacja algorytmu MPDATA
- ▶ porównanie czytelności/zwięzłości i wydajności: C++/Python/Fortran
- ▶ w recenzji w *Comp. Phys. Comm.*



arxiv.org/abs/1301.1334

[1301.1334] Object-oriented impl... +

 Cornell University  
Library

arXiv.org > physics > arXiv:1301.1334

Physics > Computational Physics

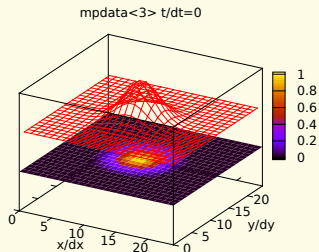
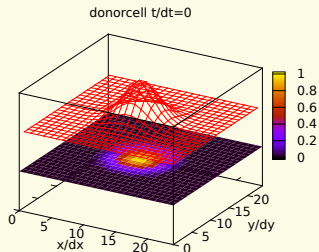
## Object-oriented implementations of the MPDATA advection equation solver in C++, Python and Fortran

Sylwester Arabas, Dorota Jarecka, Anna Jaruga, Maciej Fijałkowski

*(Submitted on 7 Jan 2013 (v1), last revised 19 Mar 2013 (this version, v2))*

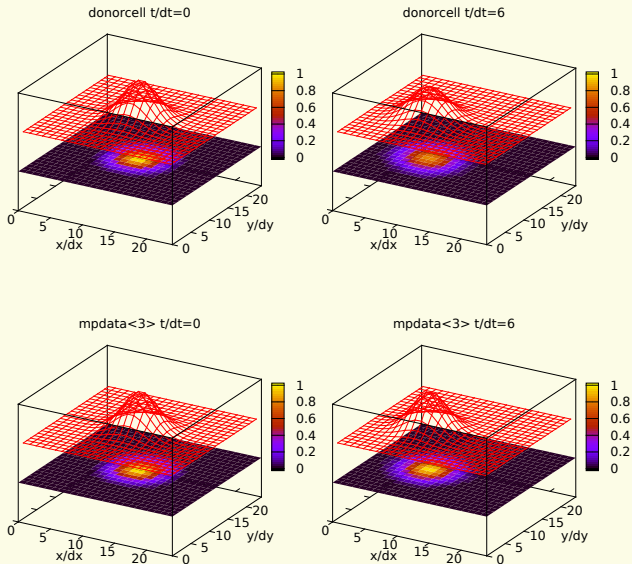
- ▶ obiektowa implementacja algorytmu MPDATA
- ▶ porównanie czytelności/zwięzłości i wydajności: C++/Python/Fortran
- ▶ w recenzji w Comp. Phys. Comm.
- ▶ kod (GPL): <http://github.com/slayoo/mpdata/>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



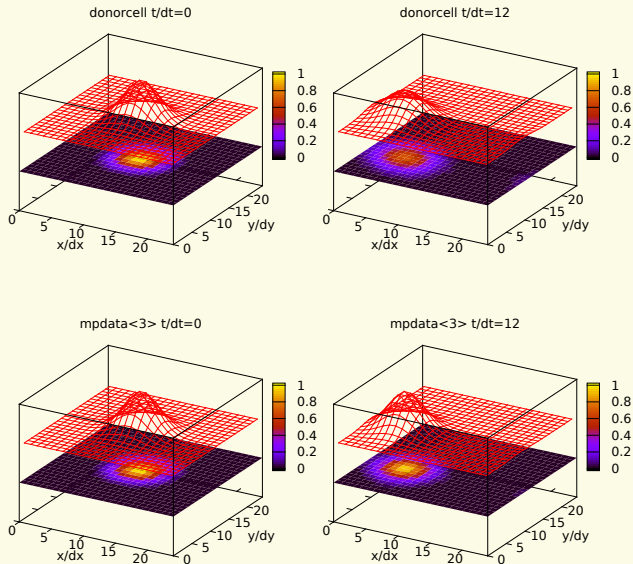
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



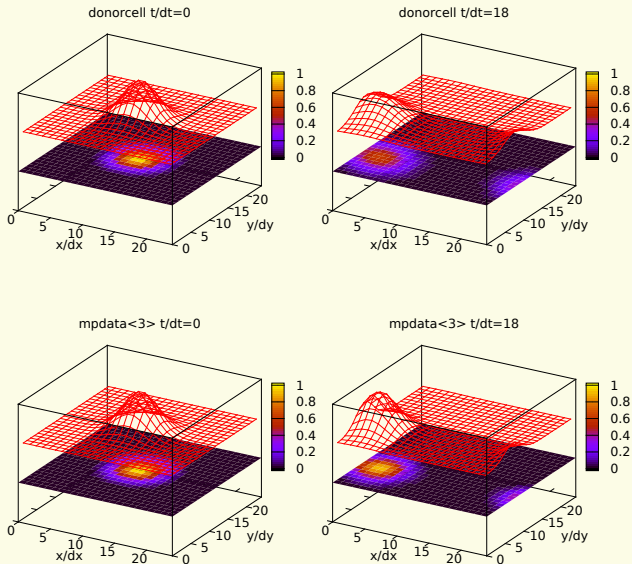
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



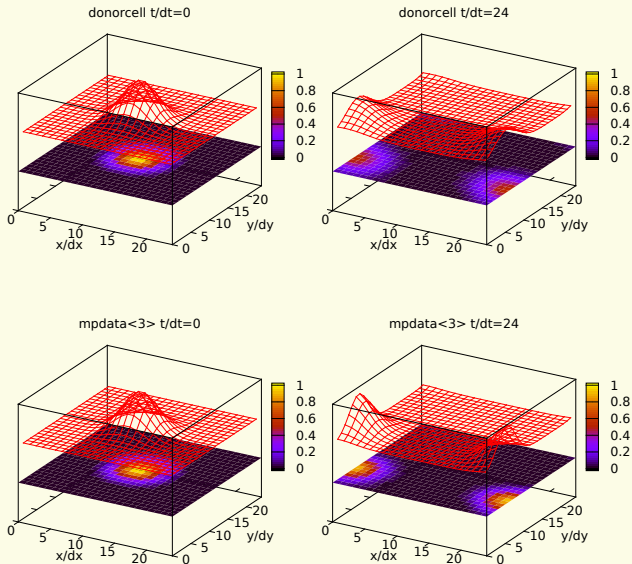
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

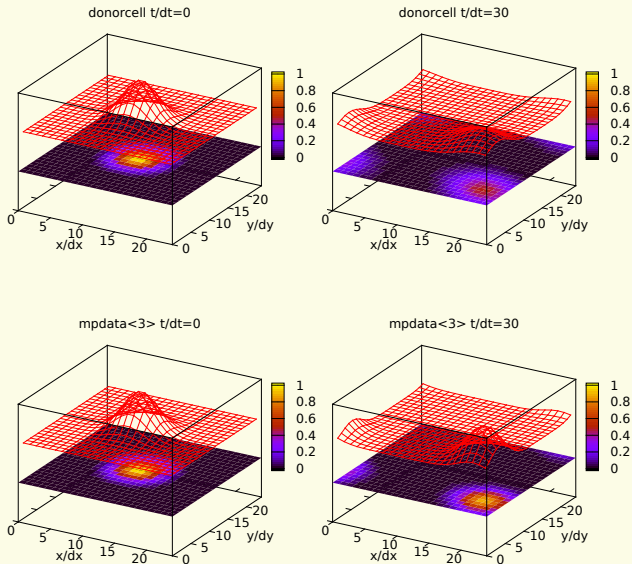
# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

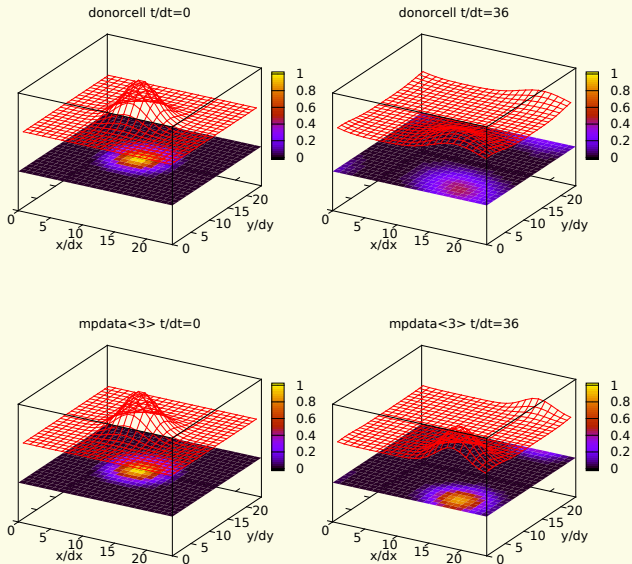


# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



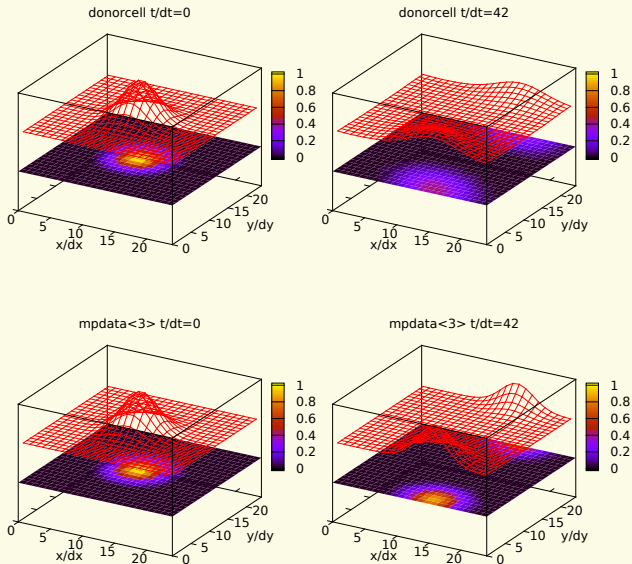
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



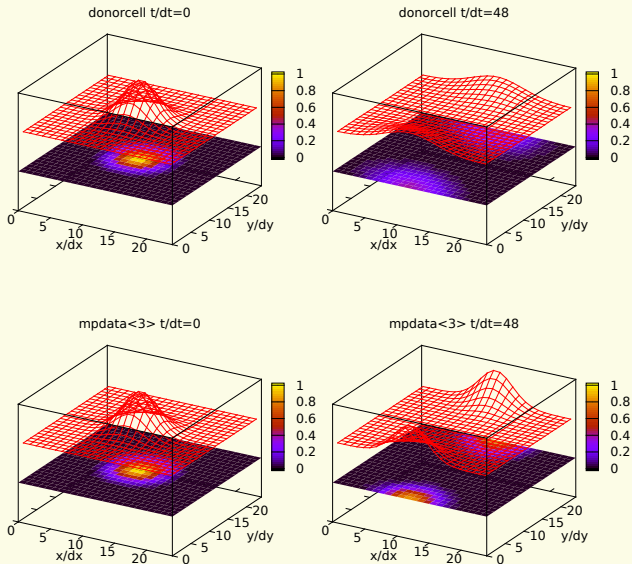
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



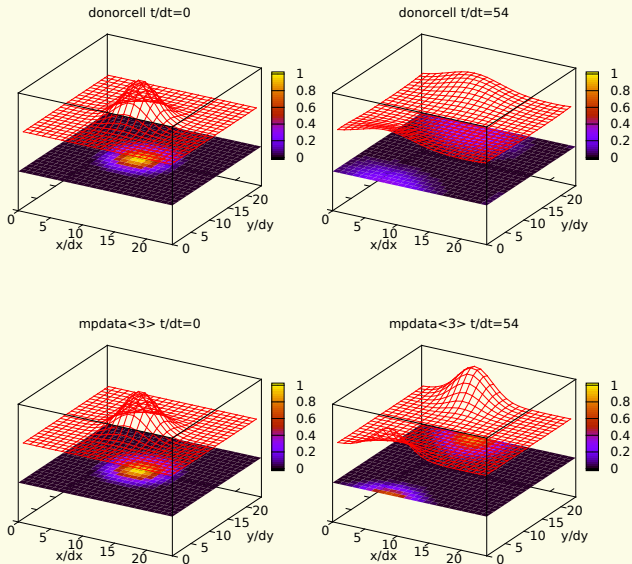
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



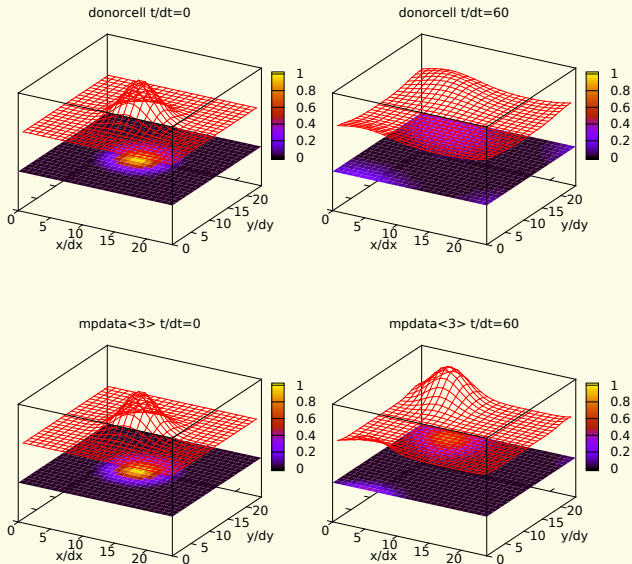
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



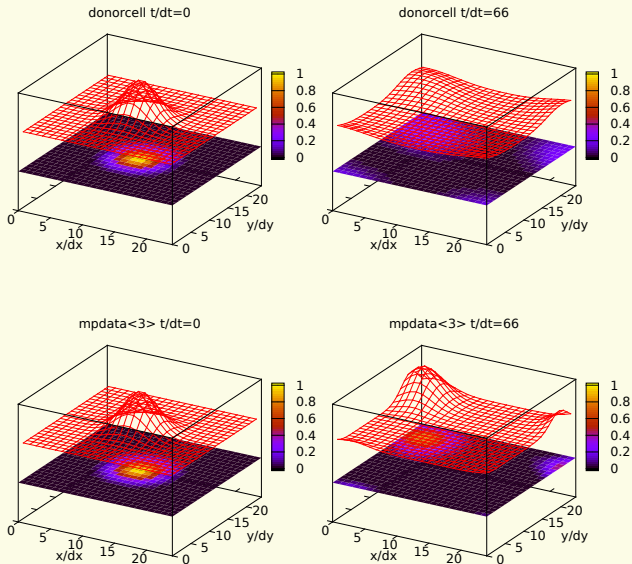
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



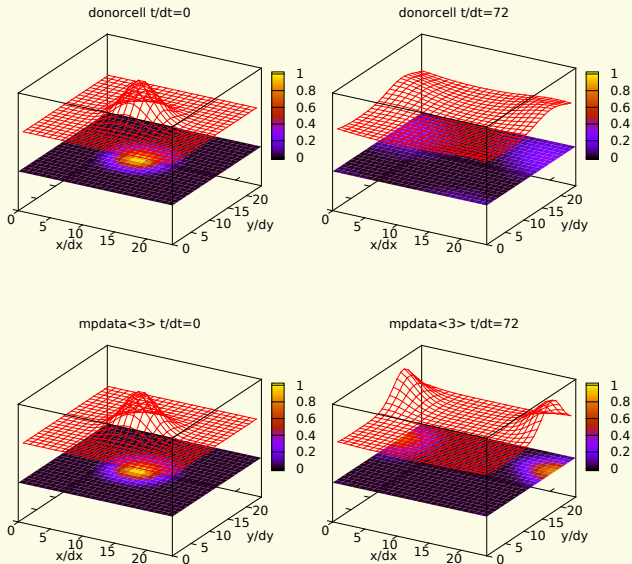
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

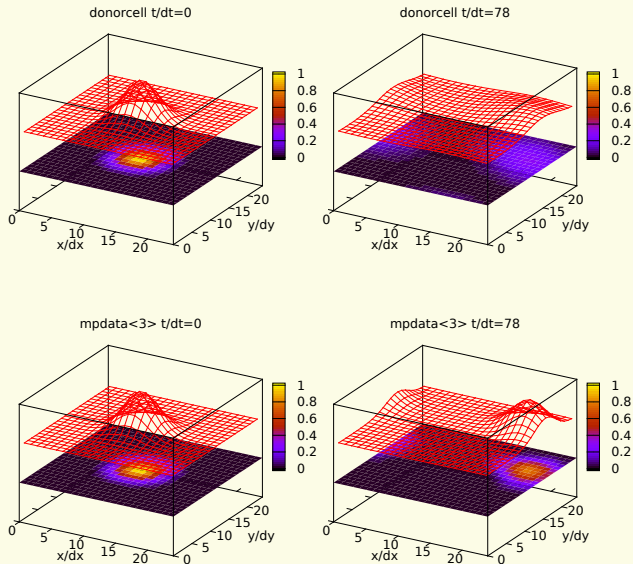
# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

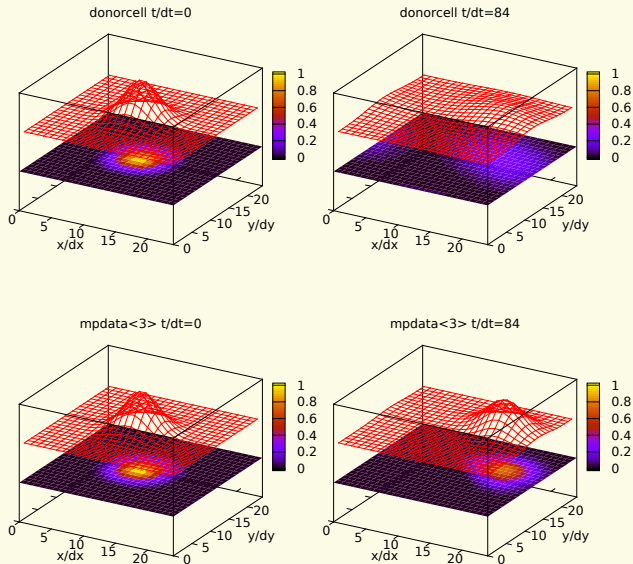


# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



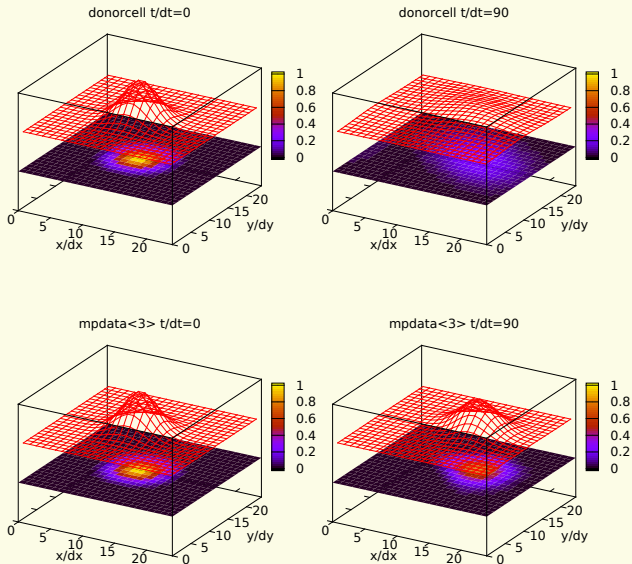
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



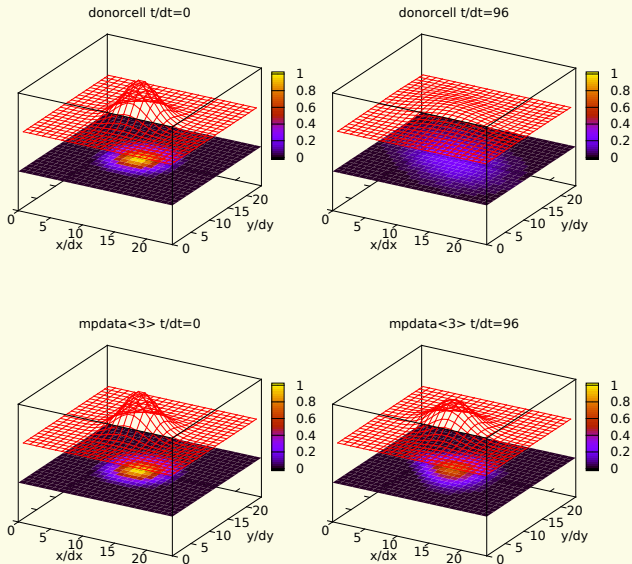
<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Dotychczasowe przygotowania: **mpdata-oop** (arXiv:1301.1334)



<https://github.com/slayoo/mpdata/blob/master/paper/cpp/plot.cpp>

# Odwzorowanie notacji matematycznej w kodzie: Blitz++

$$\psi_{i,j}^{[n+1]} = \psi_{i,j}^{[n]} - \sum_{d=0}^{N-1} \left( F \left[ \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i+1,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i+1/2,j}^d}^{[d]} \right] - F \left[ \psi_{\pi_{i-1,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i-1/2,j}^d}^{[d]} \right] \right)$$

```
(C++)  
template<int d>  
inline auto donorcell(  
    const arr_t &psi, const arr_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) return_macro(  
    F(  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        psi(pi<d>(i+1, j)),  
        C(pi<d>(i+h, j))  
    ) -  
    F(  
        psi(pi<d>(i-1, j)),  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        C(pi<d>(i-h, j))  
    )  
)
```

```
(C++)  
void donorcell_op(  
    const arrvec_t &psi, const int n,  
    const arrvec_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) {  
    psi[n+1](i, j) = psi[n](i, j)  
        - donorcell<0>(psi[n], C[0], i, j)  
        - donorcell<1>(psi[n], C[1], j, i);  
}
```

# Odwzorowanie notacji matematycznej w kodzie: Blitz++

$$\psi_{i,j}^{[n+1]} = \psi_{i,j}^{[n]} - \sum_{d=0}^{N-1} \left( F \left[ \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i+1,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i+1/2,j}^d}^{[d]} \right] - F \left[ \psi_{\pi_{i-1,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i-1/2,j}^d}^{[d]} \right] \right)$$

```
(C++)  
template<int d>  
inline auto donorcell(  
    const arr_t &psi, const arr_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) return_macro(  
    F(  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        psi(pi<d>(i+1, j)),  
        C(pi<d>(i+h, j))  
    ) -  
    F(  
        psi(pi<d>(i-1, j)),  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        C(pi<d>(i-h, j))  
    )  
)
```

```
(C++)  
void donorcell_op(  
    const arrvec_t &psi, const int n,  
    const arrvec_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) {  
    psi[n+1](i, j) = psi[n](i, j)  
        - donorcell<0>(psi[n], C[0], i, j)  
        - donorcell<1>(psi[n], C[1], j, i);  
}
```

► brak pętli

# Odwzorowanie notacji matematycznej w kodzie: Blitz++

$$\psi_{i,j}^{[n+1]} = \psi_{i,j}^{[n]} - \sum_{d=0}^{N-1} \left( F \left[ \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i+1,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i+1/2,j}^d}^{[d]} \right] - F \left[ \psi_{\pi_{i-1,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i-1/2,j}^d}^{[d]} \right] \right)$$

```
(C++)  
template<int d>  
inline auto donorcell(  
    const arr_t &psi, const arr_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) return_macro(  
    F(  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        psi(pi<d>(i+1, j)),  
        C(pi<d>(i+h, j))  
    ) -  
    F(  
        psi(pi<d>(i-1, j)),  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        C(pi<d>(i-h, j))  
    )  
)
```

```
(C++)  
void donorcell_op(  
    const arrvec_t &psi, const int n,  
    const arrvec_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) {  
    psi[n+1](i, j) = psi[n](i, j)  
        - donorcell<0>(psi[n], C[0], i, j)  
        - donorcell<1>(psi[n], C[1], j, i);  
}
```

- ▶ brak pętli
- ▶ rozdzielenie numeryki od współbieżności

# Odwzorowanie notacji matematycznej w kodzie: Blitz++

$$\psi_{i,j}^{[n+1]} = \psi_{i,j}^{[n]} - \sum_{d=0}^{N-1} \left( F \left[ \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i+1,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i+1/2,j}^d}^{[d]} \right] - F \left[ \psi_{\pi_{i-1,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i-1/2,j}^d}^{[d]} \right] \right)$$

```
(C++)  
template<int d>  
inline auto donorcell(  
    const arr_t &psi, const arr_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) return_macro(  
    F(  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        psi(pi<d>(i+1, j)),  
        C(pi<d>(i+h, j))  
    ) -  
    F(  
        psi(pi<d>(i-1, j)),  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        C(pi<d>(i-h, j))  
    )  
)
```

```
(C++)  
void donorcell_op(  
    const arrvec_t &psi, const int n,  
    const arrvec_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) {  
    psi[n+1](i, j) = psi[n](i, j)  
        - donorcell<0>(psi[n], C[0], i, j)  
        - donorcell<1>(psi[n], C[1], j, i);  
}
```

- ▶ brak pętli
- ▶ rozdzielenie numeryki od współbieżności
- ▶ wzorce klas/funkcji (pi<d>())  
    ↪ ewaluacja w czasie kompilacji



# Odwzorowanie notacji matematycznej w kodzie: Blitz++

$$\psi_{i,j}^{[n+1]} = \psi_{i,j}^{[n]} - \sum_{d=0}^{N-1} \left( F \left[ \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i+1,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i+1/2,j}^d}^{[d]} \right] - F \left[ \psi_{\pi_{i-1,j}^d}^{[n]}, \psi_{\pi_{i,j}^d}^{[n]}, C_{\pi_{i-1/2,j}^d}^{[d]} \right] \right)$$

```
(C++)  
template<int d>  
inline auto donorcell(  
    const arr_t &psi, const arr_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) return_macro(  
    F(  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        psi(pi<d>(i+1, j)),  
        C(pi<d>(i+h, j))  
    ) -  
    F(  
        psi(pi<d>(i-1, j)),  
        psi(pi<d>(i, j)),  
        C(pi<d>(i-h, j))  
    )  
)
```

```
(C++)  
void donorcell_op(  
    const arrvec_t &psi, const int n,  
    const arrvec_t &C,  
    const rng_t &i, const rng_t &j  
) {  
    psi[n+1](i, j) = psi[n](i, j)  
        - donorcell<0>(psi[n], C[0], i, j)  
        - donorcell<1>(psi[n], C[1], j, i);  
}
```

- ▶ brak pętli
- ▶ rozdzielenie numeryki od współbieżności
- ▶ wzorce klas/funkcji (pi<d>())  
    ~> ewaluacja w czasie kompilacji
- ▶ implementacja połowicznych indeksów poprzez przeciążenie operatorów



Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, podział kodu, użycie bibliotek zrozumieniu i rozbudowie?



## icicle

kinematyczny model chmury (2D)

**zależności:** libmpdata++, libcloudph++

**repozytorium:** [github.com/slayoo/icicle](https://github.com/slayoo/icicle)

# Dotychczasowe przygotowania: `libmpdata++` i `libcloudph++`

## icicle

kinematyczny model chmury (2D)

**zależności:** `libmpdata++`, `libcloudph++`

**repozytorium:** [github.com/slayoo/icicle](https://github.com/slayoo/icicle)

## libmpdata++

solwery równań transportu

**zależności:** `Blitz++`, `Boost.Thread`, `netCDF`

**repo:** [github.com/slayoo/libmpdataxx](https://github.com/slayoo/libmpdataxx)

## libcloudph++

reprezentacja mikrofizyki (w tym lagranż.)

**zależności:** `Boost.units`, `Boost.odeint`, `Thrust`

**repo:** [github.com/slayoo/libcloudphxx](https://github.com/slayoo/libcloudphxx)



# Dotychczasowe przygotowania: `libmpdata++` i `libcloudph++`

## `icicle`

kinematyczny model chmury (2D)

**zależności:** `libmpdata++`, `libcloudph++`

**repozytorium:** [github.com/slayoo/icicle](https://github.com/slayoo/icicle)

## `icicles`

model typu LES (3D)

**zależności:** `libmpdata++`, `libcloudph++`, ...

## `libmpdata++`

solwery równań transportu

**zależności:** `Blitz++`, `Boost.Thread`, `netCDF`

**repo:** [github.com/slayoo/libmpdataxx](https://github.com/slayoo/libmpdataxx)

## `libcloudph++`

reprezentacja mikrofizyki (w tym lagranż.)

**zależności:** `Boost.units`, `Boost.odeint`, `Thrust`

**repo:** [github.com/slayoo/libcloudphxx](https://github.com/slayoo/libcloudphxx)



# Dotychczasowe przygotowania: `libmpdata++` i `libcloudph++`

## `icicle`

kinematyczny model chmury (2D)

**zależności:** `libmpdata++`, `libcloudph++`

**repozytorium:** [github.com/slayoo/icicle](https://github.com/slayoo/icicle)

## `icicles`

model typu LES (3D)

**zależności:** `libmpdata++`, `libcloudph++`, ...

## `libmpdata++`

solwery równań transportu

**zależności:** `Blitz++`, `Boost.Thread`, `netCDF`

**repo:** [github.com/slayoo/libmpdataxx](https://github.com/slayoo/libmpdataxx)

## `libcloudph++`

reprezentacja mikrofizyki (w tym lagranż.)

**zależności:** `Boost.units`, `Boost.odeint`, `Thrust`

**repo:** [github.com/slayoo/libcloudphxx](https://github.com/slayoo/libcloudphxx)

pełna separacja: numeryki, fizyki, i/o, współbieżności

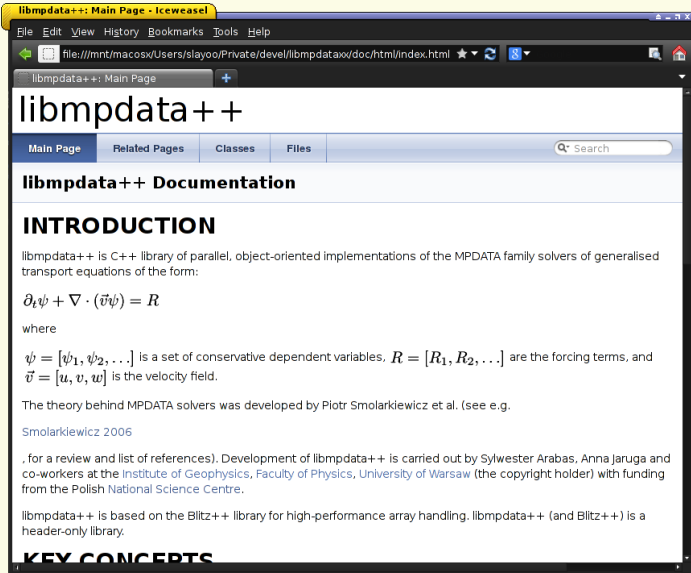


dokumentacja

Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?



# Budowa (i utrzymanie) dokumentacji: Doxygen



The screenshot shows a web browser window with the title "libmpdata++: Main Page - Iceweasel". The address bar shows the file path: "file:///mnt/macosex/Users/slayoo/Private/develop/libmpdataxx/doc/html/index.html". The page content includes a navigation menu with "Main Page", "Related Pages", "Classes", and "Files", and a search box. The main heading is "libmpdata++ Documentation". The section "INTRODUCTION" describes the library as a C++ implementation of the MPDATA family solvers. It includes the equation  $\partial_t \psi + \nabla \cdot (\vec{v} \psi) = R$  and explains the variables  $\psi$ ,  $R$ , and  $\vec{v}$ . It also mentions the theory was developed by Piotr Smolarkiewicz et al. and lists the authors: Smolarkiewicz 2006, Arabas, Jaruga, and co-workers at the Institute of Geophysics, Faculty of Physics, University of Warsaw. The page is based on the Blitz++ library. The bottom of the page shows the heading "KEY CONCEPTS".

libmpdata++: Main Page - Iceweasel

file:///mnt/macosex/Users/slayoo/Private/develop/libmpdataxx/doc/html/index.html

libmpdata++: Main Page

libmpdata++

Main Page Related Pages Classes Files Search

## libmpdata++ Documentation

### INTRODUCTION

libmpdata++ is C++ library of parallel, object-oriented implementations of the MPDATA family solvers of generalised transport equations of the form:

$$\partial_t \psi + \nabla \cdot (\vec{v} \psi) = R$$

where

$\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots]$  is a set of conservative dependent variables,  $R = [R_1, R_2, \dots]$  are the forcing terms, and  $\vec{v} = [u, v, w]$  is the velocity field.

The theory behind MPDATA solvers was developed by Piotr Smolarkiewicz et al. (see e.g. Smolarkiewicz 2006, Arabas, Jaruga, and co-workers at the [Institute of Geophysics, Faculty of Physics, University of Warsaw](#) (the copyright holder) with funding from the Polish National Science Centre.

libmpdata++ is based on the Blitz++ library for high-performance array handling. libmpdata++ (and Blitz++) is a header-only library.

### KEY CONCEPTS



testy (automatyczna weryfikacja\*)

Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?

testy (przykłady użycia)

\* po wprowadzeniu zmian w kodzie,  
po zmianie wersji bibliotek,  
przed użyciem na nowym sprzęcie



# Automatyzacja testów i kompilacji: CMake

```
slayoo@skua:~/devel/libmpdataxx$ make test
Running tests...
Test project /home/pracownicy/slayoo/devel/libmpdataxx
  Start 1: test_kahan_sum
 1/10 Test #1: test_kahan_sum ..... Passed    0.01 sec
  Start 2: test_gnuplot-iostream_1d
 2/10 Test #2: test_gnuplot-iostream_1d ..... Passed    1.06 sec
  Start 3: test_gnuplot-iostream_2d
 3/10 Test #3: test_gnuplot-iostream_2d ..... Passed   33.08 sec
  Start 4: test_var_sign_2d
 4/10 Test #4: test_var_sign_2d ..... Passed   66.27 sec
  Start 5: test_harmosc
 5/10 Test #5: test_harmosc ..... Passed   73.44 sec
  Start 6: test_todo_3d
 6/10 Test #6: test_todo_3d .....***Exception: Other  0.02 sec
  Start 7: test_bombel
 7/10 Test #7: test_bombel ..... Passed   17.89 sec
  Start 8: test_concurrent_1d
 8/10 Test #8: test_concurrent_1d ..... Passed   25.10 sec
  Start 9: test_shallow_water
 9/10 Test #9: test_shallow_water ..... Passed   31.59 sec
  Start 10: test_rotating_cone
10/10 Test #10: test_rotating_cone ..... Passed   19.24 sec

90% tests passed, 1 tests failed out of 10

Total Test time (real) = 268.06 sec

The following tests FAILED:
   6 - test_todo_3d (OTHER_FAULT)
Errors while running CTest
make: *** [test] Error 8
slayoo@skua:~/devel/libmpdataxx$ █
```



# kod modelu łątki w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie



**kod modelu łątwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie**



wolne oprogramowanie (GNU GPL v3)



**kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie**

+

wolne oprogramowanie (GNU GPL v3)

+

rozproszony system kontroli wersji

wspomagający pracę w zespole, współpracę z innymi grupami,  
automatyzujący proces aktualizacji programu,  
dający natychmiastowy dostęp do dowolnej wersji



**kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie**

+

wolne oprogramowanie (GNU GPL v3)

+

rozproszony system kontroli wersji  
wspomagający pracę w zespole, współpracę z innymi grupami,  
automatyzujący proces aktualizacji programu,  
dający natychmiastowy dostęp do dowolnej wersji

→

sprawdzalność wyników  
możliwość recenzji kodu  
przydatność do badań i dydaktyki



- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy

# Plan prezentacji

---

- Oddziaływania aerozol - chmury - opad
- Jak opisać w modelu oddziaływanie, aerozolu chmur i opadu?
- Jak napisać kod modelu łatwy w użyciu, zrozumieniu i rozbudowie?
- Zaproszenie do współpracy





# Wybrane zadania w projekcie / elementy modelu

---



# Wybrane zadania w projekcie / elementy modelu

---

- ▶ anelastyczny rdzeń dynamiczny  
rozwiązania z EULAGa zaimplementowane na nowo w C++



# Wybrane zadania w projekcie / elementy modelu

---

- ▶ anelastyczny rdzeń dynamiczny  
rozwiązania z EULAGa zaimplementowane na nowo w C++
- ▶ mechanizm obliczeń równoległych (wątki + MPI)  
OpenMP/Boost.Thread + Boost.MPI



- ▶ anelastyczny rdzeń dynamiczny  
rozwiązania z EULAGa zaimplementowane na nowo w C++
- ▶ mechanizm obliczeń równoległych (wątki + MPI)  
OpenMP/Boost.Thread + Boost.MPI
- ▶ reprezentacja dynamiki podskalowej  
klasyczne rozwiązania LES + iLES

- ▶ anelastyczny rdzeń dynamiczny  
rozwiązania z EULAGa zaimplementowane na nowo w C++
- ▶ mechanizm obliczeń równoległych (wątki + MPI)  
OpenMP/Boost.Thread + Boost.MPI
- ▶ reprezentacja dynamiki podskalowej  
klasyczne rozwiązania LES + iLES
- ▶ reprezentacja Lagranżowska mikrofizyki chmur  
z możliwością wyboru CPU/GPU (na bazie Thrust)

- ▶ anelastyczny rdzeń dynamiczny  
rozwiązania z EULAGa zaimplementowane na nowo w C++
- ▶ mechanizm obliczeń równoległych (wątki + MPI)  
OpenMP/Boost.Thread + Boost.MPI
- ▶ reprezentacja dynamiki podskalowej  
klasyczne rozwiązania LES + iLES
- ▶ reprezentacja Lagranżowska mikrofizyki chmur  
z możliwością wyboru CPU/GPU (na bazie Thrust)
- ▶ testy modelu dla standardowych ustawień LES  
RICO, POST, BOMEX, DYCOMS, ...

- ▶ anelastyczny rdzeń dynamiczny  
rozwiązania z EULAGa zaimplementowane na nowo w C++
- ▶ mechanizm obliczeń równoległych (wątki + MPI)  
OpenMP/Boost.Thread + Boost.MPI
- ▶ reprezentacja dynamiki podskalowej  
klasyczne rozwiązania LES + iLES
- ▶ reprezentacja Lagranżowska mikrofizyki chmur  
z możliwością wyboru CPU/GPU (na bazie Thrust)
- ▶ testy modelu dla standardowych ustawień LES  
RICO, POST, BOMEX, DYCOMS, ...
- ▶ ...

# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska
- ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)
- ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)
- ▶ mgr Anna Jaruga
- ▶ mgr Sylwester Arabas

- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec
  - ▶ ? – doktorant/student
  - ▶ ? – postdoc





# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
- ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)
- ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)
- ▶ mgr Anna Jaruga
- ▶ mgr Sylwester Arabas

- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec
  - ▶ ? – doktorant/student
  - ▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
- ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
- ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)
  
- ▶ mgr Anna Jaruga
  
- ▶ mgr Sylwester Arabas

- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec
  
  - ▶ ? – doktorant/student
  
  - ▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
- ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
- ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)  
mikrofizyka
- ▶ mgr Anna Jaruga
  
- ▶ mgr Sylwester Arabas

- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec
  - ▶ ? – doktorant/student
  
  - ▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
- ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
- ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)  
mikrofizyka
- ▶ mgr Anna Jaruga  
mikrofizyka, chemia, dynamika, programowanie
- ▶ mgr Sylwester Arabas

- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec
  - ▶ ? – doktorant/student
  - ▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
- ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
- ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)  
mikrofizyka
- ▶ mgr Anna Jaruga  
mikrofizyka, chemia, dynamika, programowanie
- ▶ mgr Sylwester Arabas  
mikrofizyka, programowanie, architektura kodu

---

▶ ? – student/wolny strzelec

▶ ? – doktorant/student

▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
  - ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
  - ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)  
mikrofizyka
  - ▶ mgr Anna Jaruga  
mikrofizyka, chemia, dynamika, programowanie
  - ▶ mgr Sylwester Arabas  
mikrofizyka, programowanie, architektura kodu
- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec  
numeryka, programowanie (w tym równoległe)
  - ▶ ? – doktorant/student
  
  - ▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
  - ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
  - ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)  
mikrofizyka
  - ▶ mgr Anna Jaruga  
mikrofizyka, chemia, dynamika, programowanie
  - ▶ mgr Sylwester Arabas  
mikrofizyka, programowanie, architektura kodu
- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec  
numeryka, programowanie (w tym równoległe)
  - ▶ ? – doktorant/student  
fizyka, programowanie
  - ▶ ? – postdoc



# Nasz zespół

---

- ▶ prof. Hanna Pawłowska  
mikrofizyka, koordynacja prac
  - ▶ prof. Piotr Smolarkiewicz (ECMWF, Anglia)  
dynamika, turbulencja, numeryka
  - ▶ prof. Wojciech Grabowski (NCAR, Kolorado)  
mikrofizyka
  - ▶ mgr Anna Jaruga  
mikrofizyka, chemia, dynamika, programowanie
  - ▶ mgr Sylwester Arabas  
mikrofizyka, programowanie, architektura kodu
- 
- ▶ ? – student/wolny strzelec  
numeryka, programowanie (w tym równoległe)
  - ▶ ? – doktorant/student  
fizyka, programowanie
  - ▶ ? – postdoc  
oddziaływanie aerozol-chemury-opad





# Dziękujemy za uwagę!

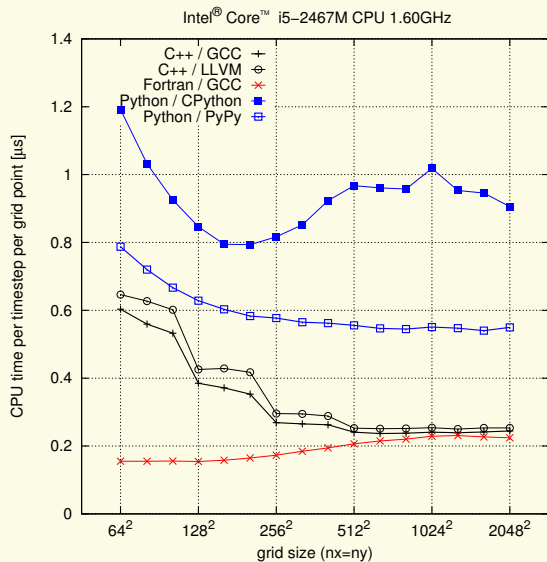
Kontakt:

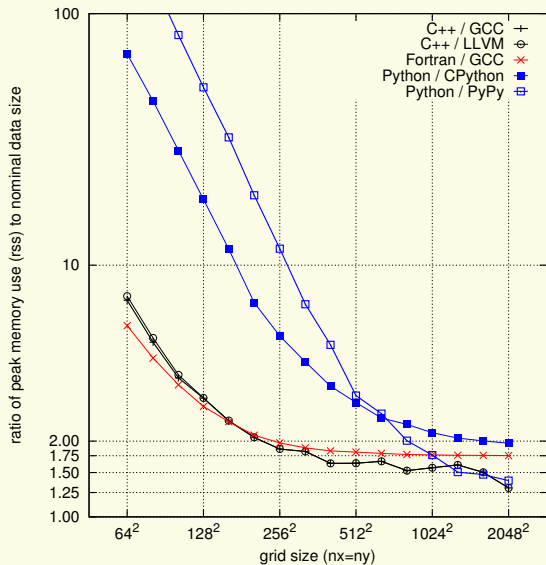
hanna.pawlowska, ajaruga, sarabas  
@igf.fuw.edu.pl

Finansowanie:

- ▶ NCN-PRELUDIUM 2011/01/N/ST10/0183
- ▶ NCN-HARMONIA 2012/06/M/ST10/00434







## parametryzacja $\kappa$ -Köhler

```
/// @brief activity of water in solution
/// (eqs. 1,6) in @copydetails Petters_and_Kreidenweis_2007
template <typename real_t>
quantity<si::dimensionless, real_t> a_w(
    quantity<si::volume, real_t> rw3,
    quantity<si::volume, real_t> rd3,
    quantity<si::dimensionless, real_t> kappa
)
{
    return (rw3 - rd3) / (rw3 - rd3 * (real_t(1) - kappa));
}
```

<http://boost.org/doc/libs/release/libs/units/>



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)
- ▶ łatwość dodawania nowych atrybutów





# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)
- ▶ łatwość dodawania nowych atrybutów
  - ▶ przydatne gdy np. chcemy dodać reakcje chemiczne zachodzące w kropelkach



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)
- ▶ łatwość dodawania nowych atrybutów
  - ▶ przydatne gdy np. chcemy dodać reakcje chemiczne zachodzące w kropelkach
- ▶ siatka podąża za rozwiązaniem



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)
- ▶ łatwość dodawania nowych atrybutów
  - ▶ przydatne gdy np. chcemy dodać reakcje chemiczne zachodzące w kropelkach
- ▶ siatka podąża za rozwiązaniem
  - ▶ brak dyfuzji numerycznej



# Zalety podejścia lagranżowskiego

---

- ▶ opis mikrofizyki z punktu widzenia cząstek:
  - ▶ prawa fizyczne aplikowane do cząstek a nie oczek siatki (np. dyfuzja pary w powietrzu wokół kropli)
- ▶ łatwość dodawania nowych atrybutów
  - ▶ przydatne gdy np. chcemy dodać reakcje chemiczne zachodzące w kropelkach
- ▶ siatka podąża za rozwiązaniem
  - ▶ brak dyfuzji numerycznej
  - ▶ dobra rozdzielczość tam gdzie jej potrzebujemy



## definicja makra preprocesora return\_macro() (C++11)

```
#define return_macro(expr) \  
    -> decltype(safeToReturn(expr)) \  
    { return safeToReturn(expr); }
```

# Super-Droplet Method example (Arabas & Shima 2012)

- ▶ example application to 3D LES (the "RICO" set-up):

Arabas & Shima 2012, arXiv:1205.3313 (accepted to JAS)

