

# Autoreferat

**Piotr J. Flatau**

**Listopad 2011**

## 1. Spis treści

1.	Spis treści .....	1
2.	Curriculum Vitae .....	2
3.	Publikacje naukowe opisane w bazie danych Web of Science.....	2
4.	Przebieg pracy naukowej .....	2
5.	Ważne osiągnięcie naukowe: dokładne metody pojedynczego i wielokrotnego rozpraszania .....	3
5.1.	Znaczący wkład w rozwój dziedziny dokładnych metod pojedynczego rozpraszania .....	3
5.2.	Znaczący wkład w rozwój dziedziny dokładnych metod i zastosowań wielokrotnego rozpraszania .....	6
5.3.	DDSCAT .....	7
5.4.	Bibliografia (rozpraszanie światła i równanie transferu).....	7
6.	Dynamika tropikalna.....	9
6.1.	Oddziaływanie atmosfery z oceanem: oscylacje Maddena-Juliana.....	9
6.2.	Cyklony tropikalne .....	10
6.3.	Bibliografia (dynamika tropikalna) .....	10
7.	Cząstki zawieszony w powietrzu i ich wpływ na zmiany klimatu.....	11
7.1.	Prace eksperymentalne .....	11
7.2.	Wpływ pyłów na wymianę promieniowania słonecznego .....	11
7.3.	Wpływ cząstek zawieszonych na efekt cieplarniany .....	12
7.4.	Transport soli morskiej .....	13
7.5.	Bibliografia (cząstki zawieszony i ich wpływ na klimat).....	13
8.	Chmury i klimat .....	16
8.1.	Fizyka chmur i klimatu .....	16
8.2.	Bibliografia (chmury i klimat).....	16
9.	Fizyka chmur .....	17
9.1.	Parametryzacja procesów mikrofizycznych (prace teoretyczne).....	17
9.2.	Analiza chmur altocumulus za pomocą radaru o bardzo dużej rozdzielczości ..	18
9.3.	Bibliografia (fizyka chmur) .....	19
10.	Metody numeryczne .....	20

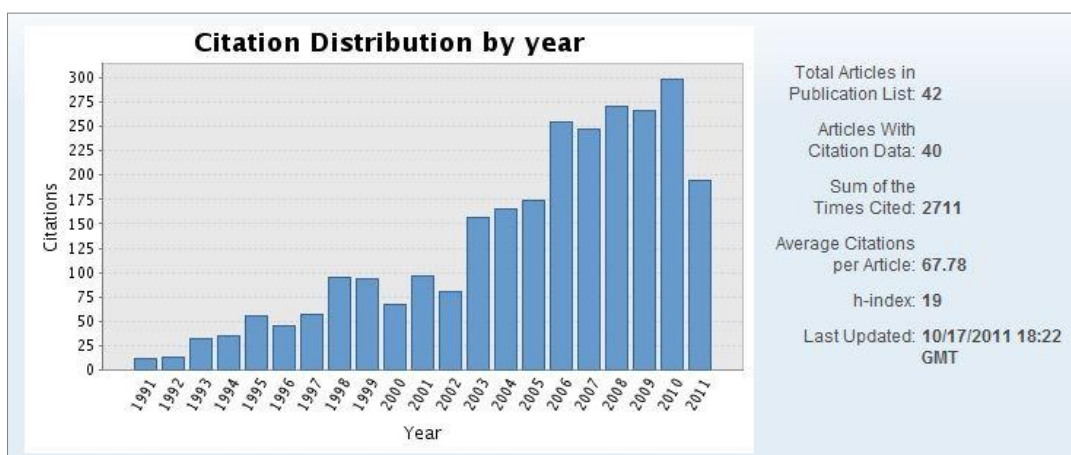
10.1.	Rezultaty .....	20
10.2.	Bibliografia (metody numeryczne) .....	20

## 2. Curriculum Vitae

Patrz Załącznik 9 (dane osobowe).

## 3. Publikacje naukowe opisane w bazie danych Web of Science

(dane z 17 października 2011)



Liczba publikacji z listy filadelfijskiej 42 z czego 33 opublikowane po doktoracie na podstawie materiału nie używanego w doktoracie.

H Index: : #19

Suma cytowań: 2711

Średnia liczba cytowań na artykuł: 67

**Załącznik 4a** zawiera listę cytowań do moich publikacji.

## 4. Przebieg pracy naukowej

Opis prac naukowych opiera się na recenzowanych publikacjach **A1-A46**, pracach z konferencji naukowych i raportów **B1-B100**, oraz pracach aktualnie w recenzji **C1-C3**. Główną tezę habilitacji jest opracowanie dokładnych rozwiązań problemu rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego na niesferycznych cząstkach w przybliżeniu dyskretnej dipoli oraz metody wielokrotnego rozpraszania. Moje osiągnięcia naukowe dotyczą kilku działów fizyki atmosfery:

1. Rozpraszanie światła i równanie transferu promieniowania słonecznego w atmosferze
2. Cząstki zawieszona w powietrzu i ich wpływ na klimat
3. Chmury i klimat
4. Fizyka klimatu
5. Dynamika tropikalna
6. Metody numeryczne
7. Popularyzacja nauki

Z początku omawiam problemy pojedynczego i wielokrotnego rozpraszania – ten rozdział stanowi główną tezę habilitacji. W szczególności omawiam dokładne rozwiązania problemu rozproszeniowego opisywanego przez równania Maxwella na niesferycznych cząstkach. Następnie omawiam wyniki swoich badań w zakresie fizyki chmur, zmian klimatu, dynamiki tropikalnej (monsun, cyklony tropikalne). Na koniec opisuję prace popularnonaukowe.

## **5. Ważne osiągnięcie naukowe: dokładne metody pojedynczego i wielokrotnego rozpraszania**

- 5.1. Znaczący wkład w rozwój dziedziny dokładnych metod pojedynczego rozpraszania

Na początku lat 1990 rozwinąłem pionierską wówczas technikę dokładnego obliczania rozpraszania światła na dowolnych niesferycznych cząstkach w przybliżeniu dyskretnej

dipoli (DDA). Przeglądowy artykuł **A14** zawiera podstawowe wprowadzenie opisujące to przybliżenie. Następnie rozwinąłem tę technikę samodzielnie oraz ze swoimi współpracownikami, tak że obecnie jest to jedna z najlepiej wytestowanych, sprawdzonych i powszechnie używanych metod w optyce obliczeniowej. Rozwiązałem przy tym problemy teoretyczne, algorytmiczne i numeryczne. Metodologia, którą wówczas zastosowałem jest teraz używana do obliczeń rozpraszania światła na układach takich jak kryształy lodu, pył międzyplanetarny, sadza, inne typy aerozoli atmosferycznych, fitoplankton w oceanie, komórki, spektroskopia Ramanowska. Metoda została też rozszerzona na obszar dużych parametrów rozpraszania dzięki czemu można było przeprowadzić obliczenia rozpraszania światła w sytuacjach, w których uprzednio znano tylko rozwiązania przybliżone (anomalna teoria dyfrakcji, przybliżenie Rayleigha-Gansa). Do dziś jest to jedna z nielicznych ogólnych technik dokładnego rozwiązywania niejednorodnych i niesferycznych problemów rozproszeniowych. W 2007 roku czasopismo Amerykańskiego Towarzystwa Optycznego The Journal of the Optical Society of America oficjalnie uznało artykuł **A14** za jeden z najczęściej cytowanych artykułów w ich czasopismach. Do dzisiaj ten artykuł był cytowany ponad 980 razy (źródło: Science Citation Index) i jest jedną z najbardziej wpływowych prac w optyce obliczeniowej.

Przeglądowy artykuł na temat DDA (**A14**) zawiera opis problemów związanych z numeryką, np. użycie metody gradientu sprzężonego, zastosowanie Szybkiej Transformacji Fouriera, itd. Opisane są też testy dokładności metody. Pokazano, że dla umiarkowanych wartości współczynnika refrakcji metoda zgadza się z obliczeniami rozpraszania światła na sferze za pomocą rozwiązania Mie. W artykule **A19** wprowadziłem nowe techniki gradientu sprzężonego w przybliżeniu dyskretnych dipoli. Pokazałem, jak czas obliczeń zależy od zastosowania różnych metod i zaproponowałem, że metoda “biconjugate gradient” jest najlepsza w wielu zastosowaniach. Ta praca była następnie wykorzystywana przez wielu badaczy (źródło: Science Citation Index). W artykule **A36** zaproponowałem nowe algorytmy jednowymiarowych problemów rozproszeniowych. Chodziło o przebadanie algorytmów dla macierzy z dobrze zdefiniowanymi strukturami i zaproponowanie nowych kierunków badań

algorytmicznych. Pokazałem, że część z tych algorytmów może znaleźć zastosowanie w nieiteracyjnych technikach odwracania problemu rozproszeniowego oraz w metodach rozwiązywania problemu dla tej samej geometrii, ale wielu różnych nadchodzących fal płaskich. W artykule **A44** pokazałem, że DDA można rozszerzyć do układów fizycznych z pojedynczą i podwójną periodycznością. Wprowadziłem uogólnioną macierz amplitudy i nowe wyrażenia na macierze Muellera. Dokładność metody została przetestowana na nieskończenie długich układach cylindrycznych oraz na nieskończonych warstwach płasko-równoległych. Zaproponowałem nową metodę umożliwiającą rozwiązanie problemu bliskiego pola. W artykule **C3** wprowadziłem nową metodę obliczania bliskiego pola w przybliżeniu DDA. Okazuje się, że sumy (podobne do sum Ewalda) mogą być szybko obliczone, jeżeli ograniczy się rachunki do obszarów zajmowanych przez dipole lub przez pseudo dipole, ze współczynnikiem refrakcji dla próżni, na regularnej siatce sześciennej. W ostatnich dwudziestu latach umożliwiłem korzystanie z metody DDA za pomocą publicznie dostępnego programu DDSCAT (c.f. <http://code.google.com/p/ddscat/>), co jest udokumentowane w kilku wersjach raportu **B98** dostępnego na „arXiv”. Kod pozwala na obliczenia na wielu typowych geometriach rozpraszania i na różnorodnych strukturach periodycznych.

Technika DDA umożliwiła lepsze zrozumienie procesów fizyki chmur w zastosowaniach do wpływu chmur na zmiany klimatu (efekt cieplarniany), teledetekcję i odwrotne problemy satelitarne mikrofizyki chmur, badania radarowe. Inne zastosowania to rozwój zaawansowanych metod w nano technologiach – np nowoczesne techniki spektroskopii Ramanowskiej czy badania krwinek w cytologii przepływowej. Technika jaką rozwinąłem przyczyniła się do znacznego rozwoju optyki obliczeniowej co jest potwierdzone przez cytowania artykułu **A14**.

W pracy **A12** stosuję dwie techniki do problemu rozpraszania na dwóch zbliżonych do siebie sferach – rozkład na wartości własne (dokładna metoda) oraz przybliżenie dyskretnych dipoli. Okazało się, że nawet dla niewielu znanych analitycznych rozwiązań równań Maxwella przybliżenie dyskretnych dipoli daje dobre rezultaty.

## 5.2. Znaczący wkład w rozwój dziedziny dokładnych metod i zastosowań wielokrotnego rozpraszania

Pojedyncze rozpraszanie definiuję tylko pewne charakterystyki wymiany promieniowania słonecznego i podczerwonego w atmosferze i oceanie. Metody wielokrotnego rozpraszania opisują wielkości, które są bezpośrednio mierzalne, takie jak strumień intensywności światła. Wielokrotne rozpraszanie opisywane jest za pomocą równania transferu promieniowania. W artykule **A5** opisałem problemy wymiany transferu promieniowania w atmosferze i postawiłem szereg hipotez związanych z jego rozwiązaniem. W szczególności opisałem rozwiązanie jednowymiarowego równania transferu uśrednionego po kącie azymutalnym w postaci wykładnika macierzy. Następnie pokazałem jak takie fundamentalne rozwiązanie redukuje się do bardziej znanych metod rozwiązywania równania transferu. Dalej pokazałem jak można rozszerzyć rozwiązanie podstawowe na całą atmosferę z wieloma niejednorodnymi warstwami. Na podstawie własności wykładnika macierzy wprowadziłem szereg pojęć związanych z komutatorem macierzy oraz iloczynem macierzowym. Pokazałem, że fundamentalne rozwiązanie problemu równania transferu daje nowe sposoby numerycznego rozwiązania problemu wymiany transfery i stabilności tych technik. Różnego rodzaju ogólne rozwiązania ilustrowane są przybliżeniem dwu strumieniowym. W swojej karierze używałem równania transferu w wielu zastosowaniach – co będzie dyskutowane dalej. W tej sekcji skoncentruję się na dwóch aspektach wielokrotnego rozpraszania dotyczących ciekawego problemu – rozpraszania światła na pęcherzykach powietrza zanurzonych w wodzie. W pracy **A21** przedstawiam wyniki obliczeń wielokrotnego rozpraszania na pęcherzykach powietrza i pokazuję, że pęcherzyki są silnym źródłem rozproszonego (dyfuzyjnego) światła w wodzie. Zjawisko to może się przyczyniać do szybkiego przejścia do obszaru dyfuzyjnego w oceanie. Pokazuję też, że w tym obszarze pewne właściwości światła można łatwo oszacować. W pracy **A23** pokazuję jak wielokrotne rozpraszanie na pęcherzykach powietrza może wpłynąć na teledetekcję własności oceanu (np. pomiarach chlorofilu na podstawie koloru oceanu). Pokazuję, że globalny wpływ pęcherzyków powietrza wciągniętych do górnej warstwy

oceanu przez fale może być istotny. Oszacowania tego wpływu zostały wykonane m. in. na podstawie prędkości wiatru, własności mikrofizycznych „chmur w oceanie”. Pokazałem też jak odbijalność oceanu może zależeć od frakcji powietrza wciągniętego do jego górnej warstwy. W wielu innych swoich pracach korzystam i rozwijam metody wielokrotnego rozpraszania (A16, A17, A20, A22, A24, A27, A29, A31, A32, A35, A37, A41).

### 5.3. DDSCAT

Prowadzę dwie strony sieciowe, które umożliwiają badaczom na łatwy dostęp do kodów rozproszeniowych:

<http://code.google.com/p/ddscat/>

<http://code.google.com/p/scatterlib/>

Dostępne programy (wg. Google Analytics) były ściągane przez wiele tysięcy użytkowników z całego świata. Reprezentatywne metody, które są dostępne, to rozpraszanie w przybliżeniu Mie, anomalna teoria dyfrakcji, przybliżenie dyskretnych dipoli.

### 5.4. Bibliografia (rozpraszanie światła i równanie transferu)

Prace dołączone do tej rozprawy habilitacyjnej są zaznaczone **wytluszczonym** drukiem. Numeracja artykułów jest taka jak w **załączniku „Bibliografia”** .

- A5. Flatau, P.J., and G.L. Stephens. On the fundamental solution of the radiative transfer equation. *J. Geophys. Res.*, **93**(D9):11037-11050, 1988.
- A7. Flatau, P.J., G.L. Stephens, and B.T. Draine. Light scattering by rectangular solids in the discrete-dipole approximation: a new algorithm exploiting the block-Toeplitz structure. *J. Opt. Soc. Am.*, **7**:593-600, 1990.

- A10. Goodman, J.J., B.T. Draine, and P.J. Flatau. Application of fast- Fourier-transform techniques to the discrete-dipole approximation. *Optics Letters*, **16**:1198-1200, 1991.
- A12. Flatau, P.J., K.A. Fuller, and D.W. Mackowski. Scattering by two spheres in contact: comparisons between discrete dipole approximation and modal analysis. *Appl. Opt.*, **32**:3302-3305, 1993.
- A14. Draine, B.T., and P.J. Flatau. Discrete dipole approximation for scattering calculations. *J. Opt. Soc. Am. A*, **11**:1491-1499, 1994.
- A15. Maslowska, A., P.J. Flatau, and G.L. Stephens. On the validity of the anomalous diffraction theory to light scattering by cubes. *Optics Communications*, **107**:35-40, 1994.
- A19. Flatau, P.J., and B.T. Draine. Improvements of the discrete dipole approximation method. *Optics Letters*, **22**, 1205-1207, 1997.
- A21. Flatau, P.J., J. Piskozub, and J.R.V. Zaneveld. Asymptotic light field in the presence of a bubble-layer. *Optics Express*, 30 Aug. 1999, **5**, 120-124, 1999.
- A23. Flatau, P.J., M. Flatau, J.R.V. Zaneveld, and C.D. Mobley. Remote sensing of bubble clouds in sea water. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **126**, (no.568), 2511-23, 2000.
- A24. Piskozub, J., P.J. Flatau, and J.V.R. Zaneveld. Monte Carlo study of the scattering error of a quartz reflective absorption tube. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **V18**(N3):438-445, 2001.



- A35. Stramski, D., S.B. Wozniak, and P.J. Flatau. Optical properties of Asian mineral dust suspended in seawater, *Limnol. Oceanogr.* **49**, 749–755, 2004.
- A36. Flatau, P. J. Fast solvers for one dimensional light scattering in the discrete dipole approximation, *Optics Express*, **12**, 3149-3155, 2004.
- A44. Draine Bruce T.; Flatau Piotr J., Discrete-dipole approximation for periodic targets: theory and tests, *J. Opt. Soc. Am. A.*, **25**, 2693–2703, 2008, DOI: 10.1364/JOSAA.25.002693.
- A47 Flatau, P. J. and Draine, B. T., Fast near field calculations in the discrete dipole approximation for regular rectilinear grids, **w druku, Optics Express**, 2011, 5 pages
- B98. User Guide for the Discrete Dipole Approximation Code DDSCAT 7.1. B.T. Draine, P.J. Flatau, . Feb 2010. 83pp. e-Print:arXiv:1002.1505 [astro-ph.IM]

## 6. Dynamika tropikalna

### 6.1. Oddziaływanie atmosfery z oceanem: oscylacje Maddena-Juliana

W swoich badaniach staram się łączyć fizykę atmosfery i oceanografię poprzez udział w eksperymentach na statkach badawczych. W tej sekcji opisuję kilka przykładów takich badań. Artykuł **A18** (cytowany 160 razy) jest jednym z pierwszych, który zwrócił uwagę na fakt, że oddziaływanie pomiędzy oceanem i atmosferą odgrywa istotną rolę w wielkoskalowych zjawiskach w atmosferze tropikalnej. W szczególności pokazujemy, że teoria oscylacji Maddena–Juliana zaniedbywała efekt zmian temperatury oceanu będące wynikiem konwekcji związanej z propagacją tych oscylacji. Pokazujemy, że gradient temperatury powierzchni morza związany z konwekcją odgrywa istotną rolę w propagacji grupy konwekcyjnej i sposobu w jaki ta konwekcja się rozwija. Dyskutujemy względne efekty strumieni promieniowania słonecznego i ciepła utajonego pary wodnej. Rozważania teoretyczne uzupełnione są o wyniki eksperymentalne oparte na danych z

Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean–Atmosphere Response Experiment (TOGA-COARE) oraz Central Equatorial Pacific Experiment (CEPEX). Pozwoliły one ocenić wpływ konwekcji na temperaturę w atmosferze równikowej w marcu 1993 roku. Dane pomiarowe pochodzą z systemu dryfterów oraz boji w sieci TAO. Uzupełnione są one przez wyniki symulacji modelem Navy Operational Global Atmospheric Prediction (NOGAPS) oraz obserwacje z satelity Geostationary Meteorological Satellite (GMS). Pokazaliśmy, że w czasie konwekcji na równiku temperatura oceanu obniżyła się głównie przez wzrost prędkości wiatru i redukcję dochodzącego powierzchni morza promieniowania słonecznego. Na wschód od obszaru źródłowego, w rejonie zbieżności fali Kelvina, wolniejsze wiatry i silne strumienie promieniowania słonecznego powodują, że temperatura oceanu wzrasta. Dzięki tym danym mogliśmy sformułować związek pomiędzy prędkością wiatru i zmianami SST na równiku.

## 6.2. Cyklony tropikalne

W kilku ostatnich latach koncentrowałem się na oddziaływaniu pomiędzy oceanem i atmosferą przy przejściu cyklonów tropikalnych. Prowadziłem pracę magisterską na ten temat a obecnie prowadzę pracę doktorską. Zarówno mój student Dariusz Baranowski jak i ja współpracowaliśmy z oceanografami z Instytutu Oceanografii imienia Scripps - profesorem Deanem Roemmichem i Peterem Millerem. Ostatnio przygotowaliśmy do druku artykuł **C2**, który jest wykorzystuje wyniki pomiarów bojami samo zanurzalnymi ARGO. oraz z z dwóch kampanii pomiarowych: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign/Tropical Cyclone Structure08 (**TPARC/TCS**) z r. 2009 oraz The Impacts of Typhoons on the Ocean in the Pacific (ITOP), z r. 2010. Krótka praca **A46** opisuje częściowo wyniki badań., pokazujące jak cyklony tropikalne pobierają energię z oceanu i w pomiarzy z boi samo zanurzalnych ARGO pozwalają lepiej zrozumieć fizykę cyklonów tropikalnych.

## 6.3. Bibliografia (dynamika tropikalna)

- A18. Flatau, M., P.J. Flatau, P. Phoebus, and P.P. Niiler. The feedback between equatorial convection and local radiative and evaporative processes: the implication for intraseasonal oscillations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **54**, 2373-2386, 1997.
- A25. Flatau, M.K., P.J. Flatau, and D. Rudnick. The Dynamics of Double Monsoon Onsets. *Journal of Climate*, **14**, No. 21, pp. 4130–4146, 2001.
- A30. Flatau, M.K., P.J. Flatau, J. Schmidt, and G.N. Kiladis. Delayed Onset of the 2002 Indian Monsoon, *Geophysical Research Letters*, **30**, doi:10.1029/2003GL017434, 2003.
- A46 Dariusz B. Baranowski, Piotr J. Flatau, Szymon P. Malinowski, Tropical cyclone turbulent mixing as observed by autonomous oceanic profilers with high repetition rate, 13th European Turbulence Conference, 12–15 September 2011, Warsaw, Poland, 3pages.
- C2. Dariusz B. Baranowski<sup>1</sup>, Piotr J. Flatau and Sue Chen, Air-sea interaction between two collocated typhoons, in-preparation, 2011.

## **7. Cząstki zawieszone w powietrzu i ich wpływ na zmiany klimatu**

### 7.1. Prace eksperymentalne

Wiele z moich publikacji opiera się na wynikach międzynarodowych kampanii pomiarowych. Uczestniczyłem zazwyczaj we wszystkich fazach kampanii pomiarowych – od planowania, poprzez zbieranie danych, na analizie wyników kończąc. Prowadziłem także duże zespoły badawcze – np zespół badawczy którym kierowałem w czasie eksperymentu INDOEX liczył 14 osób.

### 7.2. Wpływ pyłów na wymianę promieniowania słonecznego

W 2004 roku byłem badaczem wiodącym (Principal Investigator) eksperymentu United Arab Emirates-Unified Aerosol Experiment (UAE2). Prowadziłem wtedy grupę studentów. Pomiarów wykonywaliśmy w Zjednoczonych Emiratach Arabskich nad brzegiem Zatoki Perskiej.

Głównym celem eksperymentu była określenie własności pyłów piaskowych zawieszonych w atmosferze w rejonie pustynnym. Artykuły **A41** i **A42** zawierają częściowe wyniki z tej kampanii. Część wyników zawarto w pracy doktorskiej “Optical properties of atmospheric aerosols in the Persia Gulf – experimental results”, Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki, 2009, napisanej przez doktorantkę, Joannę Remiszewską, której byłem współpromotorem (zobacz też **B95**). Artykuł **A41** jest częściowo wykorzystuje informacje o pyłach z pustyń w tym rzadko badanym rejonie świata. Waga tych wyników jest częściowo związana z faktem, że albedo pojedynczego rozpraszania cząstek pyłu piaskowego jest mało dokładnie poznane.

### 7.3. Wpływ cząstek zawieszonych na efekt cieplarniany

W pracy **A27** dyskutujemy wyniki pomiarów wpływu zawiesiny małych cząstek w atmosferze na temperaturę na powierzchni Ziemi i na szczycie atmosfery na podstawie bezpośrednich pomiarów jakie wykonaliśmy w czasie eksperymentu MINOS w 2001 roku na stacji Finokalia w północno-wschodniej części Krety w Grecji. Wyniki te pokazały, że własności absorbujące cząstek zawieszonych mają wpływ na transfer radiacyjny w dużym rejonie Morza Śródziemnego. Efekt ten ma ujemny wpływ na powierzchni Ziemi i dodatni wpływ w atmosferze i jest podobny do efektu aerozolu obserwowanego w okolicach Indii w czasie monsunu od lądu w rejonach Morza Arabskiego. Wyników tych badań użyto w przeglądowej pracy **A28** opublikowanej w czasopiśmie Science i są one wielokrotnie cytowane w literaturze. Innym ważnym przyczynkiem jest **A29** gdzie pokazaliśmy, że cząstki zawieszane w powietrzu mają także wpływ na efekt cieplarniany a nie tylko na transfer radiacyjny promieniowania słonecznego. W tym celu prowadziliśmy pomiary z pokładu statku badawczego NOAA Ronald H. Brown podczas eksperymentu Aerosol Characterization Experiment-Asia (ACE-Asia) wykorzystując interferometr Marine-Atmospheric Emitted Radiance

Interferometer (M-AERI). Wyniki, jedne z pierwszych tego rodzaju, wskazały na konieczność parametryzacji efektu cieplarnianego związanego z cząstkami zanieczyszczeń w modelach klimatu.

#### 7.4. Transport soli morskiej

Razem z doktorantem Marcinem Witkiem opracowaliśmy nową parametryzację transportu soli morskiej w atmosferze oraz opracowaliśmy nowe schematy numeryczne, co opisaliśmy w artykułach **A43** oraz **A45**. Ważnym elementem badań było wykorzystanie unikalnych danych pomiarowych zebranych na statkach w różnych rejonach świata. Jest to istotne bo pomiary cząstek zawieszonych soli morskiej prowadzone na lądzie obarczone są błędem pomiarowym. Sól morską w zawieszynie jest ważna w atmosferze gdyż odpowiada ona w pewnym stopniu za tworzenie się chmur nad oceanami. Chmury te kontrolują temperaturę powierzchni oceanu i zmiany transportu zawiesziny soli morskiej mogą wpłynąć na temperaturę w skali globu.

#### 7.5. Bibliografia (cząstki zawieszone i ich wpływ na klimat)

- A26. Welton, E.J., K.J. Voss, P.K. Quinn, P.J. Flatau, K. Markowicz, J.R. Campbell, J.D. Spinhirne, H.R. Gordon, and J.E. Johnson. Measurements of aerosol vertical profiles and optical properties during INDOEX 1999 using micropulse lidars, *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, **107**, D19, 8019, doi:10.1029/2000JD000038, 2002.
- A27. Markowicz, K., P.J. Flatau, M.V. Ramana, P.J. Crutzen, V. Ramanathan. Absorbing Mediterranean aerosols lead to a large reduction in the solar radiation at the surface, *Geophysical Research Letters*, **29**, pp. 29-1 to 29-4, 10.1029/2002GL015767, 2002.

- A28. Lelieveld, J., H. Berresheim, S. Borrmann, P.J. Crutzen, F.J. Dentener, H. Fischer, J. Feichter, P.J. Flatau, J. Heland, R. Holzinger, R. Kormann, M.G. Lawrence, Z. Levin, K. Markowicz, N. Mihalopoulos, A. Minikin, V. Ramanathan, M. de Reus, G.J. Roelofs, H.A. Scheeren, J. Sciare, H. Schlager, M. Schultz, P. Siegmund, B. Steil, E.G. Stephanou, P. Stier, M. Traub, C. Warneke, J. Williams, and H. Ziereis. Global air pollution crossroads over the Mediterranean, *Science*, **298**, 5594, pp. 794-799, 2002.
- A29. Vogelmann, A.M., P.J. Flatau, M. Szczodrak, K.M. Markowicz, and P.J. Minnett. Observations of large aerosol infrared forcing at the surface, *Geophysical Research Letters*, **30**, No. 12, 1655, doi:10.1029/2002GL016829, 2003.
- A31. Markowicz, K.M., P.J. Flatau, P.K. Quinn, C.M. Carrico, M.K. Flatau, A.M. Vogelmann, D. Bates, M. Liu, and M.J. Rood. Influence of relative humidity on aerosol radiative forcing: An ACE-Asia experiment perspective, *J. Geophys. Res.*, **108** (D23), 8662, doi:10.1029/2002JD003066, 2003.
- A32. Markowicz, K.M., P.J. Flatau, A.M. Vogelmann, P.K. Quinn, and E.J. Welton. Clear-sky infrared radiative forcing at the surface and the top of the atmosphere, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129**, pp. 2927–2947 doi: 10.1256/qj.02.224, 2003.
- A33. Conant, W.C., J.H. Seinfeld, J. Wang, G.R. Carmichael, Y. Tang, I. Uno, P.J. Flatau, K.M. Markowicz, and P.K. Quinn. A model for the radiative forcing during ACE-Asia derived from CIRPAS Twin Otter and R/V Ronald H. Brown data and comparison with observations, *J. Geophys. Res.*, **108** (D23), 8661, doi:10.1029/2002JD003260, 2003.
- A34. Seinfeld, J.G., G.R. Carmichael, R. Arimoto, W.C. Conant, F. Brechtel, T.S. Bates, T.A. Cahill, A.D. Clarke, S.J. Doherty, P.J. Flatau, B.J. Huebert, J. Kim, K.M. Markowicz, P.K. Quinn, L.M. Russell, P.B. Russell, A. Shimizu, Y. Shinozuka, C.H. Song, Y. Tang, I. Uno, A.M. Vogelmann, R.J. Weber, J-H. Woo,

and X.Y. Zhang. ACE-ASIA: Regional Climatic and Atmospheric Chemical Effects of Asian Dust and Pollution, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **85**, No. 3, pp. 367–380, 2004.

- A37. Remiszewska, J., P.J. Flatau, K.M. Markowicz, E.A. Reid, J.S. Reid, and M.L. Witek. Modulation of the aerosol absorption and single-scattering albedo due to synoptic scale and sea breeze circulations: United Arab Emirates experiment perspective, *J. Geophys. Res.*, **112**, D05204, doi:10.1029/2006JD007139, 2007.
- A38. Witek, M.L., P.J. Flatau, P.K. Quinn, and D.L. Westphal. Global sea salt modeling: results and validation against multicampaign shipboard measurements, *J. Geophys. Res.*, **112**, D08215, doi:10.1029/2006JD007779, 2007.
- A39. Wells, K.C., M. Witek, P. Flatau, S.M. Kreidenweis, and D.L. Westphal. An analysis of seasonal surface dust aerosol concentrations in the western US (2001–2004): Observations and model predictions, *Atmospheric Environment*, doi:10.1016/j.atmosenv.2007.04.034, 2007, 41, 6585-6597.
- A40. Witek, M.L., P.J. Flatau, J. Teixeira, and D. Westphal. Coupling an ocean wave model with a global aerosol transport model: a sea salt aerosol parameterization perspective, *Geophysical Research Letters*, 34, L14806, doi:10.1029/2007GL030106, 2007.
- 
- A41. Markowicz, K.M., P.J. Flatau, J. Remiszewska, M. Witek, E.A. Reid, J.S. Reid, A. Bucholtz, and B. Holben. Observations and modeling of the surface aerosol radiative forcing during the UAE2 experiment, *Journal of Atmospheric Sciences*, 2008, 65, 2877-2891, DOI: 10.1175/2007JAS2555.1 (From Submitted)
- A42. Markowicz, K.M., P.J. Flatau, A.E. Kardas, J. Remiszewska, and K. Stelmaszczyk. Ceilometer retrieval of the boundary layer vertical aerosol extinction structure, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25, 928-

## 8. Chmury i klimat

### 8.1. Fizyka chmur i klimatu

Artykuł **A8**, do którego pisałem równanie transferu, był cytowany do tej pory 405 razy i okazał się wpływową pracą pokazującą po raz pierwszy, że mikrofizyka chmur lodowych jest kluczem dla zrozumienia roli chmur pietra wysokiego w zmianach klimatu. Artykuł rozważa jak całkowita zawartość lodu i temperatura w wysokich warstwach atmosfery wpływa na transfer promieniowania w podczerwieni i w świetle widzialnym. Do badania tego wpływu zastosowano prosty model klimatu. Centralnym problemem było określenie wpływu mikrofizyki chmur na bilans energetyczny. W tym celu wprowadzono parametryzację albedo i emisji chmur w podczerwieni. Obserwacje pokazujące zależność zawartości lodu w chmurach i temperatury były użyte do wyprowadzenia relacji pomiędzy temperaturą i albedem chmur oraz ich emisją w podczerwieni. Własności mikrofizyczne były określone za pomocą parametru asymetrii i efektywnego promienia cząstek chmurowych, które wyznaczano z pomiarów lidarowych. Rezultaty pokazują, że chmury cirrus mają wpływ na klimat, ale dokładne zrozumienie problemu było i jest ograniczone poprzez brak informacji na temat własności albedo pojedynczego rozpraszania niesferycznych kryształów z których składają się te chmury.

### 8.2. Bibliografia (chmury i klimat)

- A8. Stephens, G.L., S-C. Tsay, P.W. Stackhouse, and P.J. Flatau. The relevance of the microphysical and radiative properties of cirrus clouds to climate and climate feedback. *J. Atmos. Sci.*, **47**:1742-1753, 1990.
- A16. Collins, W.D., F.P.J. Valero, P.J. Flatau, D. Lubin, H. Grassl, and P. Pilewskie.



Radiative effects of convection in the tropical Pacific, *Journal of Geophysical Research*, **101**, 14999-15012, 1996.

- A17. Valero, F.P.J., W.D. Collins, P. Pilewskie, A. Bucholtz, and P.J. Flatau. Direct radiometric observations of the water vapor super greenhouse effect over the equatorial Pacific Ocean. *Science*, 21 March 1997, **275**, (no.5307): 1773-6.
- A20. Valero, F.P.J., A. Bucholtz, B.C. Bush, S.K. Pope, W.D. Collins, P.J. Flatau, A. Strawa, and W.J.Y. Gore. Atmospheric radiation measurements enhanced shortwave experiment (ARESE): Experimental and data details, *J. Geophys. Res.*, **102**(D25), 29929-29938, 10.1029/97JD02434, 1997.
- A22. Collins, W.D., A. Bucholtz, P.J. Flatau, D. Lubin, F.P.J. Valero, C.P. Weaver, and P. Pilewski. Determination of surface heating by convective cloud systems in the central equatorial Pacific from surface and satellite measurements. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **V105**(ND11):14807-14821, 2000.

## 9. Fizyka chmur

### 9.1. Parametryzacja procesów mikrofizycznych (prace teoretyczne)

Napisałem kilka prac dotyczących parametryzacji procesów mikrofizycznych w chmurach. Być może najbardziej wpływowy w tym temacie jest raport **B14**, który wprawdzie nigdy nie był recenzowany, ale opisane tam wyniki wykorzystywano w wielu modelach mezoskalowych przepływów atmosferycznych. Zaproponowałem tam nowy opis mikrofizyki chmur w mezoskalowym modelu Colorado State University Regional Atmospheric Mesoscale Model (RAMS). Raport opisuje kilka nowych podejść do problemu i okazał się skuteczny w połączeniu kilku rozkładów hydrometeorów (stały, gamma, Marshall-Palmer, i log-normalny). Dzięki temu udało się opisać momenty rozkładu w zwięzły sposób. Nowy schemat oddziaływania pomiędzy klasami umożliwił

uproszczone opisanie procesów mikrofizyki chmur takich jak zderzenia, depozycja pary wodnej, topnienie, itd. Wprowadziłem także nową metodę znajdowania dokładnego i przybliżonego całek opisujących rozmaite transformacje procesów chmurowych. Schemat uwzględnia: wodę chmurową, opad, kryształy lodu, agregaty, śnieg i umożliwia wprowadzenie nowych klas. Wprowadzono dwie klasy lodu – śnieg i kryształy lodu co dało możliwość lepszego zrozumienia procesów wymiany promieniowania w chmurach. Nowy schemat dał możliwość zbadania różnego rodzaju układów chmur – zarówno konwekcyjnych jak i stratyfikowanych.

## 9.2. Analiza chmur altocumulus za pomocą radaru o bardzo dużej rozdzielczości

Jednym z najciekawszych projektów w jakich uczestniczyłem niedawno jest projekt dotyczący „zapomnianych chmur” – chmur typu altocumulus. W celu przeprowadzenia tego eksperymentu użyłem aparatury jaką zakupiłem w ramach grantu naukowego DoD DURIP. Na eksperyment przygotowałem m. in. lidar, mały radar deszczowy, kamerę całego nieba. Eksperyment był przeprowadzony w Centrum Lotów Kosmicznych im. Kennedy na Florydzie na Przylądku Canaveral. Kluczowym instrumentem był radar o bardzo dużej rozdzielczości, największy radar tego typu na świecie, zbudowany w 1994 roku i wykorzystywany przez NASA do monitorowania startów wahadłowców kosmicznych po wypadku z promem kosmicznym Kolumbia, dokładnie od startu misji STS-114 „powrotu do kosmosu”. Nasze pomiary tym radarem pokazały, że pozwala on ocenić własności mikrofizyczne pojedynczych cząstek chmurowych. Pomiary te mają znakomitą rozdzielczość 0.5m podczas gdy typowa rozdzielczość radarów meteorologicznych jest rzędu kilkuset metrów. W przygotowaniu jest artykuł **C1**, który opisuje odkrycie obserwacji pojedynczych cząstek 2-7 kilometrów ponad ziemią. Wydaje się nam, że są to pierwsze tego typu obserwacje. Ważność tych pomiarów związana jest z faktem, że niewiele jest wiadomo o chmurach wysokich i średniego pułapu – ze względu na trudności w bezpośrednich pomiarach samolotowych. Obecnie pracuję także nad dalszymi wynikami z tych pomiarów, m. in. pomiarach turbulencji i wodności tych chmur. Chmury te, często o dużej rozciągłości nad Ziemią, są ważnym

składnikiem badań klimatycznych, ale ich parametryzacja w globalnych modelach cyrkulacji jest nadal trudna.

### 9.3. Bibliografia (fizyka chmur)

- A9. Verlinde, J., P.J. Flatau, and W.R. Cotton. Analytical solutions to the collection growth equation: comparison with approximate methods and application to cloud microphysics parameterization schemes. *J. Atmos. Sci.*, **47**:2871-2880, 1990.
- A11. Flatau, P.J., R.L. Walko, and W.R. Cotton. Polynomial fits to saturation vapor pressure. *J. Appl. Met.*, **31**:1507-1513, 1992.
- A13. Cotton, W.R., R.L. Walko, K.R. Costignan, P.J. Flatau, and R.A. Pielke. Using Regional Atmospheric Modeling System in the Large Eddy Simulation mode: From inhomogeneous surfaces to cirrus clouds. In B. Galperin and S.A. Orszag, editors, *Large eddy simulation of complex engineering and geophysical flows*, chapter 17, pages 369-398. Cambridge University Press, 1993.
- B4. Tripoli, G.J., and P.J. Flatau. Summary of microphysics scheme for CSU cloud/mesoscale model. Internal Report, 36 pp, 1983.
- B6. Flatau, P.J. Study of second-order turbulence closure technique and its application to atmospheric flows. Technical report, Colorado State Univ. Dept. of Atmospheric Science, Fort Collins, CO 80523, 1985. Atmos. Sci. Paper No. 393. pp. 79.
- B14. Flatau, P.J., G.J. Tripoli, J. Verlinde, and W.R. Cotton. The CSU-RAMS cloud microphysics module: General theory and code documentation. Technical Report 451, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523, 1989. pp. 88.

- C1. Jerome M. Schmidt, Piotr. J. Flatau, Paul. R. Harasti, Robert. D. Yates, Ricky Littleton, Michael S. Pritchard, Jody M. Fischer, Erin. J. Fischer, William J. Kohri, Jerome R. Vetter, Scott Richman, Dariusz B. Baranowski, Mark J. Anderson, Ed Fletcher, and David W. Lando, Radar Observations of Individual Rain Drops in the Free Atmosphere, submitted to Geophysical Research Letters, 2011, 24 pages.

## 10. Metody numeryczne

### 10.1. Rezultaty

Jak widać z dyskusji w innych sekcjach tego autoreferatu rozwijałem kilka modeli numerycznych, głównie fizykę tych modeli – parametryzację mikrofizyki chmur, wymiany promieniowania słonecznego, problemów rozpraszania światła na cząstkach chmurowych, turbulencją. Kilka artykułów jakie napisałem dotyczy bezpośrednio metody numerycznych i te prace są omówione w tym rozdziale. W szczególności interesowało mnie zastosowanie algebry symbolicznej, praca **A6**, do metod numerycznych a ostatnio pewne aspekty schematów numerycznych w zastosowaniach do transportu zanieczyszczeń - **A43**.

### 10.2. Bibliografia (metody numeryczne)

- A2. Augustynowicz, M., and P.J. Flatau. Numerical study of the sea-breeze phenomena. *Acta Geophysica Polonica*, **29**:117-122, 1981.
- A6. Flatau, P.J., R.A. Pielke, and W.R. Cotton. Application of symbolic algebra to the generation of coordinate transformations. *Environmental Software*, **3**:158-160, 1988.
- A43. Witek, M., J. Teixeira, and P.J. Flatau. On stable and explicit advection-diffusion

numerical methods, Mathematics and computers in simulation, 79, 561-570, 2008.  
DOI:10.1016/j.matcom.2008.03.001(From Submitted)

- A45. Witek Marcin L.; Flatau Piotr J.; Teixeira Joao; et al., Numerical Investigation of Sea Salt Aerosol Size Bin Partitioning in Global Transport Models: Implications for Mass Budget and Optical Depth, Aerosol Science and technology, 45, 401-414  
DOI:10.1080/02786826.2010.541957, 2011.

*P. Flatau*