



Fizyka na nieznanych wodach: tajemnice morskiego śniegu

Czy „śnieg” może padać w oceanie i decydować o klimacie całej planety? Okazuje się, że tak. Badania naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, opublikowane w „Journal of Fluid Mechanics” pomagają zrozumieć, jak mikroskopijne „płatki” martwej materii zderzają się i opadają w głębinie, transportując ogromne ilości węgla i wpływając na tempo globalnego ocieplenia.

W wodach oceanów nieustannie opadają cząstki martwej materii organicznej. Ze względu na swoje nieregularne, przypominające płatki śniegu kształty określane są mianem „morskiego śniegu”. Wraz z ich ruchem ku dnu ogromne ilości węgla transportowane są z powierzchni oceanu, gdzie rozpuszcza się atmosferyczny dwutlenek węgla, do głębszych warstw wody. Jest to jedno z istotnych zjawisk kontrolujących obieg węgla w atmosferze, a zatem proces ogrzewania się naszej planety.

To, jaka ilość węgla ostatecznie dotrze na dno oceanu, zależy od dynamiki sedymentacji, która nadal pozostaje słabo poznana. W trakcie opadania cząstki „morskiego śniegu” mogą zderzać się i sklejać ze sobą, co zmienia tempo ich tonięcia. Kluczowe znaczenie ma więc odpowiedź na pytanie: jak często dochodzi do takich kolizji?

Jak dotąd odpowiedzi ograniczały się do konkretnych, uproszczonych sytuacji, a zakres stosowalności tych przybliżeń nie był jasno określony. Nowe badania opublikowane w „Journal of Fluid Mechanics” (JFM), pokazują, jak pogodzić istniejące modele i pozwalają na dokładniejsze wyznaczenie częstości kolizji, co pozwoli na lepsze zbadanie roli agregacji w procesach depozycji węgla w oceanach.

Autorzy zweryfikowali modele teoretyczne stosowane dotychczas w oceanografii i morskiej ekologii. Według nich śnieżynki mogą zderzać się na dwa sposoby: poprzez ruchy Browna – chaotyczne drgania drobin w ośrodku – oraz poprzez bezpośrednie „zgarnianie” wolniejszych, małych cząstek przez te większe, sedymentujące szybciej. Jeśli tylko jeden z tych mechanizmów dominuje, liczba kolizji jest łatwa do wyznaczenia, jednak w prawdziwym morskim śniegu oba te mechanizmy odgrywają rolę i pogodzenie podejść pochodzących z różnych dziedzin do tej pory umykało badaczom.

Pełną analizę umożliwiają symulacje komputerowe uwzględniające oba mechanizmy kolizji jednocześnie. Częstość zderzeń zależy wtedy od rozmiaru obu cząstek, ich względnej prędkości opadania oraz współczynnika dyfuzji. Uzyskane wyniki potwierdziły, że do poprawnego wyznaczenia częstości zderzeń konieczne jest uwzględnienie obu mechanizmów, zarówno dyfuzyjnego błędzenia małych drobinek, jak i bezpośredniego przechwytywania przy opadaniu. Wykorzystanie tylko jednego z nich do modelowania zderzeń, zgodnie z obecnym paradygmatem, może powodować nawet stukrotne niedoszacowanie częstości kolizji.

– Sprawdziliśmy poprawność jedynej obecnie stosowanej metody łączenia obu zjawisk, opartej na sumowaniu częstości zderzeń – wyjaśnia Jan Turczynowicz, student Wydziału Fizyki UW, pierwszy autor publikacji. – Nasze analizy pokazują, że metoda ta obarczona jest błędem nieprzekraczającym 20 proc. W realiach skomplikowanych pomiarów oceanograficznych jest to wynik satysfakcjonujący, jednak nie jest on ścisły i stawia pod znakiem zapytania powszechnie stosowane sumowanie częstości od kolejnych mechanizmów, które mogą prowadzić do znacznie większych błędów.

Po poznaniu granic stosowalności zderzeń brownowskich względem tych wynikających bezpośrednio z sedymentacji, można było zbadać, kiedy dany mechanizm zaczyna dominować. Co ciekawe, obliczenia wykazały, że granica między dominującymi mechanizmami kolizji niemal pokrywa się z umownym rozgraniczeniem między piko- a nanoplanktonem, stosowanym w naukach biologicznych.

Zjawisko morskiego śniegu, pomimo 50 lat badań i jego istotności dla zrozumienia zmian klimatu, nadal skrywa wiele niewiadomych. Jedną z przyczyn jest ogromna różnorodność rozmiarów i gęstości „śnieżynek”, przez co istotne procesy zachodzą w bardzo różnych skalach. Teoretyczne analizy przeprowadzone przez zespół pozwalają na stworzenie dokładniejszego opisu tych zjawisk, uwzględniającego odmienne reżimy dynamiki sedymentacji i zderzeń cząstek.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego:

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1350 studentów i ok. 170 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 200 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

J. Turczynowicz, R. Waszkiewicz, J. Słomka, M. Lisicki, *Bridging advection and diffusion in the encounter dynamics of sedimenting marine snow*, J. Fluid Mech. (2026), vol. 1031, A5
<https://doi.org/10.1017/jfm.2026.11282>

KONTAKTY:

dr hab. Maciej Lisicki prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
mklisicki@uw.edu.pl
<https://softmatter.fuw.edu.pl>
tel. +48 22 55 32 910

dr Jonasz Słomka
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
jslomka@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<https://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>

Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW260514b_fot01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW260514b_fot01.png

Różnorodność „morskich śnieżynek” obserwowanych w oceanach obejmuje ich kształty, rozmiary, gęstość oraz pochodzenie. (Źródło: zdjęcie dzięki uprzejmości prof. Emilii Trudnowskiej, Instytut Oceanologii PAN).

FUW260514b_fot02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2026/FUW260514b_fot02.png

Wizualizacja koncentracji cząstek otaczających sedymentującą, absorbującą sferę. Obszar absorpcji zaznaczono przerywaną linią. Po lewej obraz przedstawia zagęszczenie cząstek, gdzie zaciemniony obszar jest zubożonym śladem, pozostawionym przez sferę. Z prawej strony na niebiesko zaznaczone są trajektorie poszczególnych cząstek. Cząstki podążają za liniami przepływu wokół sfery i wykonują losowe ruchy Browna. (Źródło: Jan Turczynowicz, Wydział Fizyki UW).