

Tomasz Neumann

„Modelowanie pola światła w gęstych ośrodkach optycznych”

Światło jest wąskim fragmentem fal elektromagnetycznych, które możemy opisywać jako strumień fotonów o energiach odwrotnie proporcjonalnych do ich długości fali. Słońce, jako naturalne źródło światła dla Ziemi, emituje ciągłe widmo fal elektromagnetycznych z zakresu ultrafioletu, światła widzialnego, aż do dalekiej podczerwieni. Promieniowanie to w próżni przebywa miliony kilometrów bez jakichkolwiek zaburzeń. Jeżeli jednak na drodze promieniowania znajdzie się materia, może pojawić się oddziaływanie (absorpcja, rozpraszanie, polaryzacja, itd.) pomiędzy cząsteczkami bądź atomami ją tworzącymi a fotonami. Taka sytuacja występuje podczas propagacji światła w atmosferze lub w toni morskiej.

Głównym tematem badań optyki morza są procesy transferu energii promieniowania w wodzie morskiej, wykorzystanie światła przez fitoplankton, optyczne monitorowanie procesów ekologicznych oraz teledetekcja środowiska morskiego. Teledetekcja satelitarna jest także ważna w przypadku badania różnego rodzaju chmur, ponieważ informacje o wartości odbicia od ich górnej powierzchni oraz transmitancji, wpływają na oszacowanie bilansu radiacyjnego atmosfery, jak i energii świetlnej docierającej do powierzchni mórz i oceanów. Pozwala to tym samym analizować wpływ pokrywy chmur na temperaturę atmosfery oraz kształtowanie się klimatu. Pole światła w ośrodku jest kształtowane przez właściwości ośrodka nazywane rzeczywistymi, takie jak współczynnik absorpcji, współczynnik rozpraszania oraz funkcja fazowa rozpraszania. Transfer energii promieniowania w głąb ośrodka określany jest poprzez rozwiązanie równania przenoszenia radiacji, które zależy od właściwości rzeczywistych ośrodka osłabiającego radiację, charakteru rozproszenia promieniowania na cząstkach ośrodka oraz zdolności emisyjnych promieniowania świetlnego samego ośrodka.

Przedstawiana rozprawa doktorska dotyczy modelowania pola światła w ośrodkach gęstych optycznie za pomocą komputerowej symulacji numerycznej. Ze względu na fakt, że transfer promieniowania w ośrodku jest procesem bardzo złożonym, problem śledzenia fotonów w ośrodku jest rozwiązywany statystycznie, za pomocą metody Monte Carlo. Zaimplementowany kod programu umożliwia tworzenie modeli trójwymiarowych stratyfikowanego ośrodka morskiego oraz umożliwia obliczenie stanów polaryzacji radiacji wychodzącej z morza poprzez zastosowanie odpowiedniej macierzy przekształceń. Przy pomocy takiego modelu można wyznaczyć pole światła, jak i wyjaśnić procesy zachodzące w toni wodnej lub chmurach, dla z góry założonych rzeczywistych właściwości optycznych ośrodka.

Pierwszą część pracy stanowi wstęp teoretyczny. W tym miejscu opisane zostały podstawowe wielkości fotometryczne używane w optyce morza oraz wielkości charakteryzujące ośrodek morski (współczynnik absorpcji, współczynnik rozpraszania, funkcja fazowa rozpraszania), jak i samo równanie przenoszenia radiacji. Omówione zostało także zjawisko polaryzacji światła wraz z opisem przekształceń macierzowych stosowanych w optyce morza do śledzenia stanu polaryzacji fotonów. Pokróćce wyjaśnione zostało również rozwiązanie równania przenoszenia radiacji stosowane w fizyce atmosfery oraz wynikająca z tego faktu zależność do opisu transmitancji przez nieabsorbującą chmurę. W drugiej części pracy przedstawiono podstawy matematyczne metody Monte Carlo, jak i metodykę pozwalającą określić przemieszczenie fotonu w ośrodku oraz odpowiednie wartości kątów podczas procesu rozpraszania. W tym miejscu omówiona została także niepewność metody Monte Carlo oraz właściwości używanego generatora liczb losowych. W następnych częściach pracy znajdują się wyniki z przeprowadzonych symulacji dotyczące kolejno:

- propagacji światła w stratyfikowanym morzu w obecności skończonej trójwymiarowej cylindrycznej chmury pęcherzyków gazowych,
- wpływu warstwy pęcherzyków gazowych na strefę eufotyczną w morzu,
- rozwiązania równania przenoszenia radiacji dla asymptotycznego pola światła w morzu,
- wpływu pęcherzyków gazowych oraz albedo dna morskiego na stopień polaryzacji światła w strefie przyboju,
- symulacji pola światła w nieabsorbującej chmurze wodnej i lodowej.

Uzyskane wyniki symulacji są dobrą bazą informacji na temat wpływu współczynnika rozpraszania oraz zastosowanej funkcji fazowej na rozkład radiacji w morzu lub w chmurach. Ponadto w pracy wykazano, że:

- metoda Monte Carlo jest właściwym narzędziem do badania trójwymiarowych zjawisk związanych z wpływem chmur pęcherzyków gazowych na pole światła w morzu,
- wprowadzenie przypowierzchniowej warstwy pęcherzyków gazowych do morza zwiększy refleksję powierzchni morza, jednak z drugiej strony, zmniejszy się głębokość strefy eufotycznej, co będzie miało negatywny wpływ na funkcjonowanie ekosystemów morskich,
- pokrycie pęcherzyków gazowych substancją powierzchniową czynną nie wpływa znacząco na wartość refleksji światła w morzu, pomimo iż zwiększa ono kilkakrotnie rozpraszanie do tyłu,
- wyznaczenie prawidłowo parametrów asymptotycznego pola światła w morzu, zależy w dużej mierze od kształtu funkcji fazowej rozpraszania,
- stan polaryzacji światła wychodzącego z płytkiej wody morskiej jest superpozycją sygnału polaryzacyjnego od dna morskiego i pęcherzyków gazowych,
- istnieje zależność wartości transmitancji oraz odbicia od górnej powierzchni nieabsorbującej chmury od kąta zenitalnego Słońca, nawet dla bardzo dużych grubości optycznych chmury.

Zaprezentowane wyniki są tylko fragmentem możliwości zaprezentowanej aplikacji obliczeniowej. Należy więc dążyć do rozwoju tej metody symulacyjnej, aby uzyskiwać najwierniejsze odwzorowanie pola światła w zależności od rzeczywistych właściwości optycznych morza lub chmur w stanach stacjonarnych, jak i podczas dynamiki całego układu. Mogłoby to umożliwić szybką weryfikację scenariuszy związanych z modyfikacją pola światła w wyniku zmian właściwości rzeczywistych ośrodka.