Dr Karol Ławniczak

Uniwersytet Łódzki

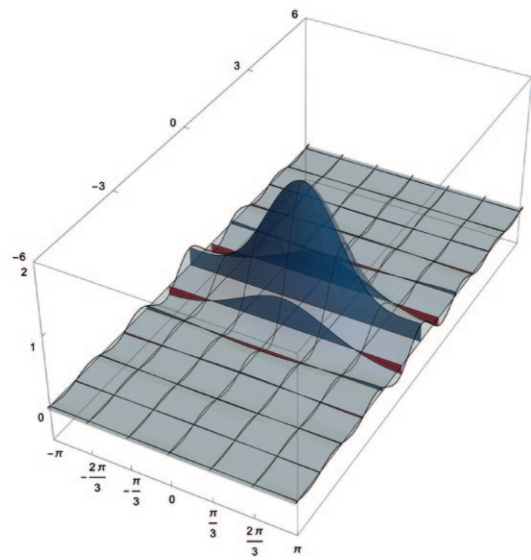
Rozmowa z autorem pracy:
„Funkcja Wignera na rozmaitościach nietrywialnych topologicznie"

W jaki sposób rozwinęło się Pana zainteresowanie mechaniką kwantową?

Moje zainteresowanie mechaniką kwantową to nic innego jak zainteresowanie tym, jak działa rzeczywistość. To jest to samo zainteresowanie, które napędza dzieci do poznawania świata i zadawania tego irytującego pytania „dlaczego". Mnie po prostu nie przeszło. Oczywiście, na takie pytania starają się odpowiedzieć nauki przyrodnicze oraz ich filozoficzne „zaplecze". Fizyka zajmuje się podstawami tego, jak działa rzeczywistość, więc wymaga głębszego namysłu, ale i daje najbardziej satysfakcjonujące wyjaśnienia. Prawdopodobnie to dlatego moim głównym kierunkiem zainteresowań jest właśnie fizyka i to fizyka fundamentalna (choć zajmowałem się też badaniami w innych dziedzinach, m.in. w obszarze ekologii rzek).

Co zadecydowało o poświęceniu pracy doktorskiej funkcji Wignera? Czym wyróżnia się Pana podejście w świetle dotychczasowych badań?

W fizyce klasycznej cząstka ma równocześnie dobrze określone położenie i pęd, toteż jej stan jest reprezentowany przez punkt w przestrzeni fazowej. Dla zespołu statystycznego takich cząstek, prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w danym obszarze przestrzeni fazowej opisane jest łącznym rozkładem prawdopodobieństwa. W mechanice kwantowej zasada nieoznaczoności Heisenberga wyklucza jednoczesne dokładne określenie położenia i pędu cząstki. Nie jest zatem możliwe sformułowanie rozkładu prawdopodobieństwa na przestrzeni fazowej. Funkcja Wignera jest najbliższym analogiem takiego rozkładu. Sformułowanie zagadnień mechaniki kwantowej w sposób zbliżony do struktury matematycznej mechaniki klasycznej pozwala m.in.:



Funkcja Wignera stanu koherentnego na okręgu jako funkcja ciągłej zmiennej kątowej i dyskretnego momentu pędu

- dostrzec które z właściwości mechaniki kwantowej różniących ją od klasycznej są istotnymi fizycznie właściwościami tej teorii, a które są artefaktami odmiennego formalizmu matematycznego;
- dogodnie badać zachowanie układów kwantowych przy przechodzeniu do granicy klasycznej;
- nie rezygnować z pewnych intuicji ukształtowanych w wyniku obcowania z fizyką klasyczną.

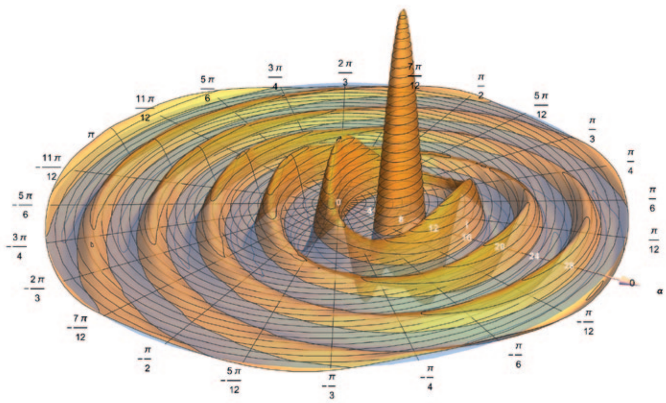
Definicje obiektów i narzędzi mechaniki kwantowej na przestrzeni fazowej zbudowano przy założeniu, że przestrzeń konfiguracyjna i fazowa układu są topologicznie równoważne przestrzeni euklidesowej. Tymczasem tak naturalne i istotne zagadnienie jak badanie rotacyjnych stopni swobody układów kwantowych, np. w fizyce atomowej i cząsteczkowej, wymaga zaangażowania rozmaitości nietrywialnych topologicznie, gdyż kąty orientacji na płaszczyźnie i w przestrzeni należą odpowiednio do okręgu i sfery – rozmaitości nietrywialnych i to na różne sposoby.

Jakie największe wyzwania pojawiły się na Pańskiej drodze badawczej?

Największym wyzwaniem w mojej pracy badawczej były trudności koncepcyjne związane z uogólnieniem obiektów zdefiniowanych w przestrzeni euklidesowej na przypadki topologicznie nietrywialne. Dość powiedzieć, że samo pojęcie średniej musi być przemyślane, gdy uśredniana zmienna należy do dziedziny topologicznie nietrywialnej. Spróbujmy zapisać wzór na średni kierunek wiatru i przetestować go dla trzech punktów danych (azymutów): 1°, 359°, 180°. Już ten przykład wymaga pojęć statystyki na rozmaitościach: średniej zewnętrznej albo, w pewnym sensie lepszej, choć mniej znanej, średniej wewnętrznej. A powiedzieć, że wartości oczekiwane odgrywają istotną rolę w teorii kwantowej to jakby nic nie powiedzieć. Podobnej natury (choć mniej naocznych a bardziej subtelnych) trudności jest więcej i wiele z nich nie miało satysfakcjonującego rozwiązania. Z radością mogę powiedzieć, że część z nich udało mi się rozwikłać i oświetlić na tyle, że możemy je traktować jako wyjaśnione. Kolejnym wyzwaniem były symulacje numeryczne, które okazały się bardziej wymagające niż przypuszczałem u początku pracy.

Jak w tym ostatnim aspekcie wykorzystał Pan zasoby udostępniane przez Cyfronet?

W toku moich badań konieczne było wykonywanie licznych całkowań po kilku zmiennych, w tym po przedziałach nieograniczonych, a także optymalizacji funkcji takie całki obejmujących. Do tego funkcje podcałkowe były szybkozmienne oraz obejmowały szeroki zakres wartości dodatnich i ujemnych, które kasowały się prawie w całości, ale jednak nie do zera. Przeprowadzenie tych obliczeń tak, aby wynik był wystarczająco precyzyjny, a przede wszystkim wiarygodny, było wymagające obliczeniowo. Na szczęście przynajmniej część z nich można było efektywnie zrównoleglić.



Rozkład quasiprawdopodobieństwa Wignera stanu koherentnego na sferze z niezerowym momentem pędu przedstawiony w przestrzeni momentu pędu

Bez wykorzystania komputera dużej mocy nie dałoby się wykonać ich w rozsądnym czasie. Moje obliczenia prowadziłem na komputerze Ares przy użyciu programu Mathematica. Chciałbym podkreślić, że obliczeń trzeba było wykonać znacznie więcej, niż może sugerować ta ich część, którą przywołano w rozprawie doktorskiej. Taka już jest specyfika pracy badawczej, że zanim odnajdzie się właściwą drogę, próbuje się wielu sposobów, przynajmniej gdy bada się nowy obszar.

Jakie porady mogłyby od Pana otrzymać osoby planujące rozpocząć lub właśnie rozpoczynające ścieżkę doktorską?

Zachęcałbym, aby mniej przejmować się doktoratem, a więcej samymi badaniami. Jeśli mamy ciekawy temat, trzeba go zgłębiać, realizując w nim pasję poznawania rzeczywistości, która, mam nadzieję, przyświeca wszystkim naukowcom czy adeptom Nauki. Z takim podejściem będzie ciekawie, większa też szansa, że uzyskane wyniki będą wartościowe. Wówczas stopień naukowy (gdy już wreszcie spiszemy rozprawę) uzyskamy niejako przy okazji.