

prof. dr hab. Maria L. Ekiel-Jeżewska
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa

Dziekanat Wydziału Fizyki UW
Seksja ds. pracowniczych
Wpłynęło dn. 5.08.2015
podpis

Warszawa, 28 lipca 2015

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Macieja Krzysztofa
Lisickiego pt. *"Evanescent wave dynamic light scattering by
optically anisotropic Brownian particles"*

Rozprawa doktorska pt. *"Evanescent wave dynamic light scattering by optically anisotropic Brownian particles"* została przygotowana przez mgr Macieja Krzysztofa Lisickiego pod kierunkiem prof. dr hab. Bogdana Cichockiego, w Instytucie Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Praca powstała w ramach Międzynarodowych Projektów Doktoranckich Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, w oparciu o współpracę naukową Uniwersytetu Warszawskiego i Forschungszentrum Jülich w Niemczech.

Recenzowana praca liczy 138 stron i jest tematycznie bardzo obszerna. Większość tekstu to skondensowany, rzeczowy opis własnych wyników numerycznych i teoretycznych. Istotną część pracy stanowi szczegółowe przedstawienie zastosowania tych rezultatów do analizy danych doświadczalnych uzyskanych w Forschungszentrum Jülich w nowatorskich eksperymentach rozpraszania zanikającej fali świetlnej na cząstkach wykonujących ruchy Browna. Wiele uwagi poświęcone zostało opisowi podstawowych pojęć i istniejącego stanu wiedzy (187 cytowanych pozycji).

Cel pracy – a jednocześnie jej główny wynik – to opracowanie teorii rozpraszania zanikającej fali świetlnej na zawieszonych optycznie anizotropowych cząstek brownowskich, poruszających się w pobliżu sztywnej płaskiej ścianki, z uwzględnieniem oddziaływań hydrodynamicznych. Bezpośrednią motywację do podjęcia tego wyzwania stanowił rozwój tej nowatorskiej metody badawczej w laboratoriach Grupy Miękkiej Materii Skondensowanej Instytutu Układów Złożonych w Forschungszentrum Jülich w Niemczech. Brak teorii uniemożliwiał interpretację danych doświadczalnych, a jednocześnie zdawano sobie sprawę z tego, że nowa metoda pozwolić może na bardzo dokładne wyznaczenie wpływu ścianki na proces krótkoczasowej translacyjnej i rotacyjnej dyfuzji własnej zawieszin koloidalnych. Praca doktorska magistra Macieja Krzysztofa Lisickiego ma więc istotne znaczenie dla poznania ruchów Browna w lepkim płynie ograniczonym ścianką – zarówno teoretycznie oraz numerycznie, jak i doświadczalnie.

Podstawę badań zaprezentowanych w rozprawie stanowi analiza rozrzedzonych zawieszin cząstek sferycznych w obecności płaskiej ścianki. Wyprowadzono ściśle wyrażenia na pierwszy i drugi kumulant funkcji korelacji rozproszonego pola elektrycznego (mierzonej w eksperymencie). Przeprowadzono także symulacje brownowskie. Stwierdzono dobrą zgodność teoretycznego i numerycznego wyniku z danymi doświadczalnymi. Wynioskowano, że oddziaływań hydrodynamicznych cząstek ze ścianą nie można zaniedbać (pokazano, że przybliżenie takie byłoby niedokładne).

Przeanalizowano teoretycznie wpływ ścianki na współczynnik dyfuzji rotacyjnej cząstek sferycznych. W eksperymencie zanikającej fali świetlnej do pomiarów dyfuzji rotacyjnej wykorzystuje się cząstki optycznie anizotropowe. W oparciu o uogólnione równanie Smoluchowskiego skonstruowano teoretyczny opis funkcji korelacji pola elektrycznego w przestrzeni położeń i orientacji cząstek, uwzględniając ich oddziaływania hydrodynamiczne ze ścianką. Wykazano, że przewidywania teoretyczne są zgodne z wynikami doświadczalnymi. Analiza teoretyczna pozwoliła na wyznaczenie średnich współczynników dyfuzji translacyjnej i rotacyjnej w kierunkach równoległym i prostopadłym do ścianki.

W dalszej części rozprawy skupiono się na wyznaczeniu funkcji korelacji pola elektrycznego zanikającej fali świetlnej rozpraszanej na cząstkach osiowo symetrycznych nie sferycznych (pręciki lub dyski), w ogólności optycznie anizotropowych. Wyznaczono pierwszy kumulant i przeanalizowano jego właściwości. Sformułowano nowe systematyczne przybliżenie dla macierzy ruchliwości osiowo symetrycznych obiektów, gdzie zachowane są tylko wiodące człony rozwinięcia w potęgach stosunku rozmiaru cząstki do odległości jej środka od ścianki. W oparciu o dokładne kody numeryczne HYDROMULTIPOLE, które wykorzystują metodę multipolową rozwiązywania równań Stokesa, przeanalizowano dokładność tego przybliżenia i pokazano jego przydatność nawet dla cząstek położonych względnie blisko ścianki.

Przedstawiony powyżej krótki przegląd najważniejszych wyników rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Krzysztofa Lisickiego wskazuje na jej istotne znaczenie. Niewątpliwie praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej, a także jego umiejętność prowadzenia pracy badawczej.

Mgr Maciej Krzysztof Lisicki ma na swoim koncie znaczny dorobek naukowy. Wyniki przedstawione w rozprawie (w rozdziale 7) zostały już opublikowane w trzech artykułach w renomowanych czasopismach naukowych (Phys. Rev. Lett., Soft Matter oraz J. Chem. Phys.). Wyniki rozdziałów 5 oraz 8 stanowią treść kolejnych dwóch publikacji. Istotne jest również to, że wyniki rozprawy zostały wykorzystane do wyznaczenia dyfuzji cząstek w gęstych zawiesinach ograniczonych ścianką, przy uwzględnieniu oddziaływań hydrodynamicznych między wieloma cząstkami za pomocą rozwinięcia wirialnego i symulacji numerycznych w periodycznych warunkach brzegowych. Zbiorowa praca na ten temat (której jednym z autorów jest mgr Lisicki) została opublikowana w bibliotece preprintów i wysłana do Soft Matter.

Skonstruowana w rozprawie doktorskiej teoria ma istotne znaczenie podstawowe. Ważne jest także to, że dostarcza ona narzędzi do dalszego wykorzystania metody zanikającej fali świetlnej w celu badania dyfuzji translacyjnej i rotacyjnej rzadkich i gęstych zawiesin cząstek o różnych kształtach.

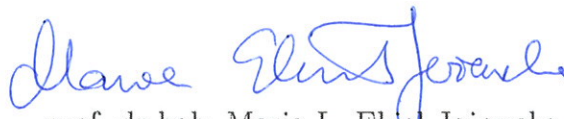
Przygotowanie rozprawy wymagało od kandydata zgromadzenia, przyswojenia, zastosowania i scalenia bardzo szerokiej wiedzy teoretycznej na temat rozpraszania światła (w tym fali zanikającej), metody multipolowej rozwiązywania równań Stokesa, oddziaływań hydrodynamicznych wielu cząstek między sobą oraz ze ścianką, ruchów Browna, uogólnionego równania Smoluchowskiego, etc. Co więcej, specyfika pracy wymagała szczegółowego zapoznania się z techniką eksperymentalną zanikającej fali świetlnej oraz wzięcia udziału w procedurze analizy danych doświadczalnych.

Warto podkreślić, że mgr Maciej Lisicki stworzył własną bazę programów komputerowych i na jej podstawie przeprowadził bardzo zaawansowane i liczne obliczenia numeryczne. Ważną cechą stworzonej przez niego biblioteki numerycznej jest użycie prostych przybliżeń, których dokładność została przez autora wnikliwie przetestowana za pomocą kodów numerycznych HYDROMULTIPOLE.

Wyniki naukowe rozprawy zostały przedstawione w sposób bardzo staranny, rzetelny i spójny. Trudne pojęciowo problemy i nowatorskie metody ich rozwiązania są omówione skrótowo, co pozostawia pewien niedosyt. Ciekawa byłaby obszerniejsza dyskusja własnych wyników. Taka skondensowana koncepcja rozprawy jest jednak uzasadniona bardzo szerokim zakresem tematycznym pracy i bogactwem nowych rezultatów.

Podsumowując, recenzowana praca z nadmiarem spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym*, a jej teoretyczne i numeryczne wyniki mają istotne znaczenie poznawcze. Szczególnie ważne jest to, że wyprowadzone wyrażenia i wykonane obliczenia mogą być bezpośrednio stosowane do analizy danych eksperymentalnych dla dyfuzji cząstek koloidalnych w pobliżu ścianki. Autor rozprawy wykazał się dojrzałością naukową.

Dlatego wnoszę o przyjęcie i wyróżnienie rozprawy doktorskiej pt. "*Evanescent wave dynamic light scattering by optically anisotropic Brownian particles*" oraz dopuszczenie mgr Macieja Krzysztofa Lisickiego do jej publicznej obrony.


prof. dr hab. Maria L. Ekiel-Jezewska