

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk

Zakład 8
Prof. dr hab. Alina Ciach

ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa

Tel. +(48 22) 343 3242
+(48 22) 343 20 00
Fax +(48 22) 343 33 33
+(48 22) 632 52 76
E-mail: ichf@ichf.edu.pl

2 września 2019

Opinia w sprawie przyznania stopnia doktora nauk fizycznych mgr Pawłowi Rafałowi Sznajderowi

Rozprawa doktorska pana mgr Sznajdera dotyczy badania stanu stacjonarnego sedimentujących cząstek zawieszonych w lepkim nieściśliwym płynie. Autor bada jednorodną zawiesinę o małej (zerowej) liczbie Reynoldsa i dużej (nieskończonej) liczbie Pecleta i stawia ogólne bardzo podstawowe dla takiego układu pytania dotyczące własności funkcji korelacyjnych. Pierwsze zagadnienie dotyczy całkowalności funkcji korelacyjnych w granicy termodynamicznej. Drugim, równie ważnym pytaniem jest, jakie własności funkcji korelacyjnych są wystarczające i konieczne, aby fluktuacje prędkości były skończone w granicy termodynamicznej.

Chciałabym od razu w tym miejscu zaznaczyć, że cel rozprawy był niezmiernie ambitny i Autor z powodzeniem go zrealizował.

Rozprawa składa się z 11 rozdziałów, 4 dodatków i spisu literatury. Autor nie stosuje typowego schematu, gdzie początek rozprawy stanowi podsumowanie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego przedmiotu rozprawy (część literaturowa), a kolejna część poświęcona jest opisowi wyników własnych badań. Z jednej strony może to utrudniać ocenę wkładu własnego doktoranta, ale z drugiej strony przemieszanie wyników własnych i literaturowych pozwoliło na stworzenie spójnej całości, z logicznie i dydaktycznie prowadzonym opisem stopniowo coraz bardziej skomplikowanych zagadnień i metod, i nadało rozprawie charakter mini-monografii. Autor we wstępie i w podsumowaniu podkreśla, co jest jego własnym osiągnięciem, więc w sumie taki układ rozprawy oceniam pozytywnie. Praca ta, choć w wielu miejscach być może zbyt skrótowa i trudna do prześledzenia (zwłaszcza ostatnie rozdziały), może rzeczywiście pełnić funkcję monografii i być pożyteczna dla innych badaczy.

W pierwszym rozdziale (wstęp) Autor rozprawy zwięźle podsumowuje stan wiedzy i problemy ze zbieżnością szeregów wchodzących w skład wyrażeń na badane wielkości. Omawia też trudności występujące w badaniach eksperymentalnych i symulacjach komputerowych. Już we wstępie Autor precyzyjnie formułuje przybliżenia i założenia, stosowane w dalszej części pracy oraz dyskutuje zakres ich

stosowalności. Motywacja i cel rozprawy są przekonująco i precyzyjnie sformułowane.

W kolejnych dwóch rozdziałach zwięźle przedstawione są metody hydrodynamiki pozwalające na badanie jednej a następnie wielu cząstek zawieszonych w płynie, na które działa zewnętrzna siła. Wprowadzone są kluczowe pojęcia, przedstawione metody i ustalona jest notacja. Rozdziały te świadczą o bardzo dobrym zrozumieniu fizycznych podstaw badanych procesów oraz o biegłości Autora w stosowaniu zaawansowanego i nietrywialnego formalizmu. W tym miejscu wspomnę o jednej uwadze krytycznej dotyczącej strony redakcyjnej. Wobec bardzo wielu oznaczeń i symboli, korzystne byłoby sporządzenie indeksu oznaczeń.

W rozdziale czwartym Autor wprowadza opis statystyczny układu sedymentujących cząstek w stanie stacjonarnym za pomocą zredukowanych funkcji rozkładu, dzięki którym można wyznaczyć średnie wielkości takie jak np. prędkość i fluktuacje prędkości w zawieszynie. Jest to jednak zadanie wysoce nietrywialne. Autor postuluje istnienie tych funkcji w granicy termodynamicznej oraz ich jednorodność. Następnie wyprowadza wyrażenia na średnią prędkość i na fluktuacje prędkości, które są analizowane w kolejnych rozdziałach. Ponieważ formalizm dotyczy statystycznego opisu cząstek wzajemnie oddziałujących za pośrednictwem płynu, rozdział ten jest już mniej przejrzysty, ale to bardziej „zasługa” nałożenia dwóch formalizmów, niż Autora. Jak poprzednio, wykazał on dużą biegłość w operowaniu zaawansowanym formalizmem mechaniki statystycznej.

Wyrażenia na średnie i fluktuacje zawierają szeregi, w których pojawiają się wyrazy rozbieżne w granicy termodynamicznej (funkcje podcałkowe wolno zanikają z odległością). Podstawowym pytaniem jest, czy i w jakich warunkach rozbieżne wyrazy wzajemnie się znoszą. Analiza tego pytania nie jest prosta i w celu łatwiejszego grupowania wyrażeń o rozbieżnościach tego samego typu, w rozdziale piątym Autor przedstawia graficzną reprezentację poszczególnych wyrazów za pomocą diagramów. W graficznej reprezentacji badanych wyrażeń różne symbole reprezentują różne obiekty, a poziome linie różne cząstki. Za pomocą diagramów blokowych, reprezentujących klasy diagramów o tych samych zachowaniach asymptotycznych, można pogrupować wyrazy o różnych typach rozbieżności wchodzące w skład badanych szeregów.

Analiza diagramów pod kątem zbieżności wyrażeń na fluktuacje przeprowadzona jest w rozdziale szóstym. Autor twierdzi, że wyodrębnił klasy diagramów rozbieżnych liniowo i logarytmicznie. Następnie postulując, że suma wszystkich rozbieżnych wyrazów każdego typu znika, otrzymał warunki na funkcje korelacyjne przy których fluktuacje mają skończoną wartość w granicy termodynamicznej (równania (6.47)). Jest to ważny wynik własny Autora rozprawy, bowiem dotychczas zbadano tylko część spośród wszystkich diagramów (nie analizowano diagramów rozbieżnych logarytmicznie).

Osobnym pytaniem jest, jakie warunki muszą być spełnione przez wielopunktowe funkcje korelacyjne, aby stanowiły one rozwiązania hierarchii równań BBGKY i jednocześnie pozostawały funkcjami całkowalnymi w granicy termodynamicznej, co zostało zapostulowane w rozdziale czwartym. Zagadnienie to omawiane jest w rozdziałach 7-10. Rozdziały 7 i 8 poświęcone są badaniu hierarchii BBGKY i zachowania asymptotycznego diagramów blokowych; analiza ta jest oryginalnym

wynikiem Autora. Rozdział dziewiąty poświęcony jest omówieniu wcześniejszych prac. Stanowią one z jednej strony inspirację dla analizy własnej Autora omówionej w rozdziale dziesiątym, a z drugiej strony wyniki te mają ograniczony zakres stosowalności lub zawierają błędy które Autor rozprawy zauważył. Wykorzystując analizę opisaną w poprzednich rozdziałach, w rozdziale 10 Autor proponuje własny sposób wyprowadzenia równań na funkcje korelacji, w których nie występują rozbieżne wyrazy. W wyjściowej hierarchii wyodrębnia on rozbieżne wyrazy oraz zauważa, że mogą one zniknąć wskutek działania na grupy cząstek liniowego przepływu. Z warunku znikania rozbieżnych wyrazów wynikają równania (10.9) oraz nowa hierarchia (10.12), która jest głównym, ważnym wynikiem otrzymanym przez mgr. Sznajdera.

Rozprawę kończy zwięzłe podsumowanie.

Doktorat jest bardzo dobrze napisany i starannie zredagowany. Autor starał się możliwie precyzyjnie i czytelnie przedstawić najpierw badany układ, następnie formalizmy, metody stosowane przez poprzedników i własne argumenty. Pomyłki czy błędy (np. we wzorach (4.5)-(4.7), (4.55)) są bardzo nieliczne, mimo ogromnej liczby wzorów i symboli. Lektura rozprawy nie jest łatwa przede wszystkim dlatego, że badany problem jest bardzo trudny. Praca byłaby nieco łatwiejsza w czytaniu, gdyby Autor umieścił indeks oznaczeń.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autor rozprawy rozwiązał bardzo trudne zagadnienie, wymagające biegłego posługiwania się bardzo zaawansowanym formalizmem tak hydrodynamiki, jak i mechaniki statystycznej. Problem podstawowej natury (w ramach przyjętych założeń) pozostawał nierozwiązany mimo wcześniejszych prób ze względu na poważne techniczne trudności. W pracy niezbędne było dogłębne zrozumienie istoty problemu, tj. źródeł i typu rozbieżności w badanych wyrażeniach, oraz umiejętność analizy szeregu bardzo skomplikowanych wyrażeń matematycznych. Autor potrafił posłużyć się analizą diagramów symbolicznie reprezentujących badane wyrażenia i jako pierwszy otrzymał ściśle warunki na funkcje korelacyjne przy których fluktuacje prędkości są skończone w granicy termodynamicznej. Ponadto, wyprowadził on nową hierarchię równań na wielopunktowe funkcje korelacyjne, które pozostają całkowalne. Warto zaznaczyć, że rozwiązania równań tej hierarchii mogą nie spełniać warunków otrzymanych na skończoność fluktuacji. Ten ciekawy wynik Autora, świadczący o możliwości wystąpienia niestabilności stanu stacjonarnego sedymentujących cząstek nie został jeszcze zweryfikowany.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Pawła Rafała Sznajdera do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy. Autor opanował i biegle posługuje się bardzo zaawansowanymi formalizmami dwóch teorii i rozwiązał bardzo trudne zagadnienie stosując oryginalne metody.

Alina Ciach

Alina Ciach