

Warszawa, 20 września, 2021

Prof. Tomasz Lipniacki,
Zakład Biosystemów i Miękkiej Materii
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Recenzja osiągnięć naukowych dr Macieja Lisickiego w kontekście wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk chemicznych w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Doktor Maciej Lisicki, uczeń prof. Bogdana Cichockiego (pod jego kierunkiem obronił magisterium oraz doktorat) zajmuje się teoretyczną hydrodynamiką mikro-obiektów w przybliżeniu Stokesa. Jako swoje osiągnięcie naukowe przedstawił cykl 9 prac zatytułowany *Anizotropia oddziaływań hydrodynamicznych w ograniczonej geometrii*. Wszystkie prace zostały opublikowane w latach 2016-2020 w dobrych oraz bardzo dobrych czasopismach (w szczególności *Nature Communications* IF=14.9). Pracom towarzyszy dobrze napisany autoreferat zawierający wprowadzenie do tematyki ruchu niesymetrycznych obiektów w pobliżu ścianki w granicy zerowej liczby Reynoldsa oraz omówienie prac składających się na przedłożone osiągnięcie naukowe. Tylko w jednej pracy dr Lisicki jest pierwszym autorem a jedna powstała wspólnie z jego doktorantem, niemniej we wszystkich pracach wkład dr Lisickiego jest dobrze zdefiniowany i polega na teoretycznej analizie problemu i porównaniu wyników teoretycznych z eksperymentem, bądź symulacjami numerycznymi.

Przedstawione osiągnięcie naukowe stanowi tylko część dorobku naukowego habilitanta, na który składa się łącznie 26 publikacji (w tym cztery prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora oraz trzy opublikowane już po złożeniu wniosku habilitacyjnego). Prace nie wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego również zostały opublikowane w dobrych i bardzo dobrych czasopismach (w szczególności *Elife* IF = 7.1 pierwszy autor, *Nature Physics* IF = 20.0 – w tej wieloautorskiej pracy dr Lisicki jest drugim autorem i jednym z czterech autorów korespondencyjnych).

W dniu sporządzania recenzji prace habilitanta miały przeszło 250 cytowań (według WoS, indeks Hirsha =11). Ten pokaźny i wartościowy dorobek uzupełnia 26 wystąpień na konferencjach o zasięgu międzynarodowym. Habilitant był kierownikiem 3 grantów badawczych (MNiSW, NCN – 2 zakończone, 1 w trakcie realizacji).

Ocena przedłożonego osiągnięcia naukowego i dorobku naukowego habilitanta.

Prace składające się na przedłożone osiągnięcie naukowe powstały w zdecydowanej większości w czasie stażu podoktorskiego w jednym z najlepszych światowych ośrodków, Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge, we współpracy z wybitnym profesorem, teoretykiem Erik’iem Laugą (H=46, ponad 9 000 cytowań według WoS) i doświadczalnikiem Hartmutem Lowenem (H=73, ponad 22 000 cytowań według WoS). Współpraca z takimi naukowcami sama w sobie jest wyróżnieniem, ale też ich dorobek stanowi pewne odniesienie do wyników uzyskanych przez habilitanta.

Przedłożone prace i opis roli habilitanta świadczą, że dr. Lisicki wniósł do wspólnych badań dobre przygotowanie teoretyczne w zakresie fizyki zawieszin i hydrodynamiki małych obiektów w przybliżeniu Stokesa. W większości prac jego rola polegała na teoretycznej analizie problemów i porównaniu wyników z symulacjami lub eksperymentem. Wydaje się natomiast, że w pracach z profesorami Laugą i Lowenem, nie był on pomysłodawcą badań, ale jest to całkowicie zrozumiałe w kontekście stażu podoktorskiego w bardzo dobrym ośrodku.

Najważniejsze wyniki

Najwcześniejszą pracą cyklu jest publikacja A9 (prace numerowane są anty-chronologicznie), przygotowana jeszcze z promotorem prof. Bogdanem Cichockim, a ostatnią pracą publikacja A1 która powstała wspólnie ze studentem habilitanta. Obie prace dotyczą dynamiki osiowo-symetrycznej cząstki w pobliżu ścianki. Wynikiem pracy A9 jest wyprowadzenie poprawki do translacyjno-obrotowego tensora ruchliwości pochodzącej od wpływu ścianki. Wynik ten wykorzystany jest w pracy A1 w której na ściance znajduje się ładunek punktowy modelujący efekt nanopora. Rozwinięciem pracy A9 jest również praca A8 *Mobility of an axisymmetric particle near an elastic interface* oraz do pewnego stopnia praca A4 *Hydrodynamic coupling and rotational mobilities near planar elastic membranes* w których problem rozpatrywany w A9 jest dodatkowo skomplikowany sprężystością ścianki. W pracy A4, analizowany jest wpływ elastycznej membrany na dynamikę dwóch kulistych cząstek. Obecność membrany jest źródłem sprzężenia rotacyjno-translacyjnego. W szczególności cząstki równoodległe od membrany do których przyłożone są przeciwne momenty sił L , $-L$ zorientowane wzdłuż wektora równoległego do membrany, obracają się nie tylko względem swoich osi (co jest zrozumiałe), ale też względem osi prostopadłej do membrany, z prędkością obrotową Ω proporcjonalna do przyłożonych momentów sił L , i odwrotnie proporcjonalna do odległości od membrany. Co ciekawe kierunek prędkości obrotowej Ω zależy od tego czy membrana wykazuje sztywność na ścinanie czy zginanie (choć przypadek w którym membrana wykazuje tylko sztywność na zginanie wydaje się nieco sztuczny) i w ogólnym przypadku $\Omega(t)$ może być niemonotoniczną funkcją czasu (licząc od przyłożenia momentów sił L). Autorzy uzyskali zdumiewająco dobrą zgodność złożonego modelu teoretycznego i symulacji numerycznych przeprowadzonych metodą całek brzegowych. Jest to w mojej opinii najciekawsza z fizycznego punktu widzenia praca, z omówionej powyżej czwórki, motywowana jak sądzę dużo wcześniejszą „głośną” pracą Laugi, Stone’a i współautorów: *Swimming in circles: Motion of bacteria near solid boundaries*. Dla bakterii *E. coli* posiadających witekę moment siły L pojawia się w naturalny sposób.

Kolejna grupa prac A2, A5, A6 zawiera analizę dynamiki trójkołowego pływaka w obecności ścianki, i motywowana jest mikro-pływakami biologicznymi bądź syntetycznymi. W mikroświecie zerowej liczby Reynoldsa obiekty mogą poruszać względem płynu tylko wykonując ruchy nieodwracalne, takie jak rotacyjny ruch wtką, bądź też jak w przypadku trójkulowego pływaka nieodwracalną sekwencję współosiowych względnych ruchów kul. W pracach A6, A5 autorzy charakteryzują ruch dwóch typów pływaków (pusher i puller w których większa kulka czyli cargo jest odpowiednio popychana lub ciągnięta) w przepływie ścinającym. W pracy A5 autorzy pokazują, że pływaki typu pusher są pułapkowe w pobliżu ścianki, natomiast pływaki typu puller mogą stabilnie poruszać się wzdłuż kanału. Ciekawym wynikiem jest pokazanie istnienia dla pływaków typu puller bifurkacji widłowej (pitchfork), pojawiającej się dla pewnej szerokości kanału powyżej której ruch środkiem kanału traci stabilność. Kontynuacją prac A5 i A6 jest praca A2, w której autorzy przeprowadzają swoistą optymalizację mikro-pływaka, pokazując, że jest optymalna wielkość cargo (względem pozostałych dwóch kul) zapewniająca maksymalną prędkość w zależności od wartości ścinania. Warto zwrócić uwagę, że ta ostanía praca jest wspólnym samodzielnym osiągnięciem trzech młodych badaczy; wszyscy mają zadeklarowany równy wkład i są autorami korespondencyjnymi.

Prace A7 i A3 nieco odbiegają tematycznie od reszty cyklu. Praca A7 dotyczy Brownowskiej dynamiki mikroobiektów w kształcie bumerangu (bez efektów ścianek). Autorzy wyjaśnili wcześniejszy wynik eksperymentalny (uzyskując dobrą zgodność z eksperymentem), pokazując, że przesunięcie punktu który znajduje poza centrum ruchliwości może mieć rozkład silnie odbiegający od Gaussowskiego.

Praca A3 *Light-switchable propulsion of active particles with reversible interactions*, opublikowana w *Nature Communications* dotyczy natomiast dynamiki kulistych mikro-objektów (z dwutlenku tytanu) typu Janusa, tj. posiadających fotokataliczną aktywność różną na dwóch półsferach na skutek pokryciem złotem jednej z nich. Aktywność fotokataliczna powoduje ruch molekuly (w roztworze wody utlenionej) pod wpływem światła lasera, ale najciekawsze jest to, że kierunek ruchu zależy od długości fali światła. Zjawisko to nie jest w pełni wytłumaczone. W rezultacie autorzy otrzymali sterowalne światłem mikro-objekty i przeprowadzili szereg eksperymentów agregacji i rozpraszania roju takich obiektów. Otrzymane mikrosfery Janusa są niezwykle ciekawe same w sobie, a otrzymany układ eksperymentalny umożliwia indukowanie i teoretyczną analizę złożonej dynamiki układów wielu cząstek oddziałujących hydrodynamicznie (również w obecności ścianki) – co było udziałem habilitanta. Praca A3, stanowiąca owocne połączenie fizykochemii z mechaniką płynów, spotkała się z dużym zainteresowaniem środowiska naukowego jak i prasy (była wzmiankowana w 5 informatorach/czasopismach oraz dwóch blogach – łączny aktualny wskaźnik Altmetric 68).

Jeszcze większym zainteresowaniem (Altmetric 247), spotkała się następną pracą pt. *Rechargeable self-assembled droplet microswimmers driven by surface phase transitions* opublikowaną w bieżącym roku w *Nature Physics*, już po złożeniu wniosku habilitacyjnego. W pracy tej źródłem ruchu kropli alkanu jest złamanie, na skutek spadku temperatury, symetrii i formowanie się cienkiego włókna alkanowego. Hydrodynamiczne oddziaływanie formującego się włókna z płynem popycha kroplę. Wzrost temperatury z kolei prowadzi do absorpcji włókna do kropli.

Opinia

W pracach, tworzących osiągnięcie habilitacyjne jak i pozostałych swoich pracach dr Lisicki wykazał się dobrym warsztatem matematycznym i biegłością w teoretycznej analizie hydrodynamiki mikro-objektów. Wszystkie prace, stanowiące osiągnięcie habilitacyjne, opublikowane są w dobrych czasopismach. Mimo, iż tylko w jednej z nich dr Lisicki jest pierwszym autorem, w szeregu prac jest autorem równorzędnym a jego rola jako wiodącego teoretyka (potwierdzona oświadczeniami profesorów Laugi i Lowena) nie budzi wątpliwości. Na uznanie zasługuje jego życiorys naukowy: trzyletni pobyt w Forschungszentrum Jülich w czasie doktoratu i czteroletni staż podoktorski w DAMPT w Cambridge i współpraca z wybitnymi profesorami (w szczególności Cichockim, Lowenem i Laugą).

Istotny udział dr Macieja Lisickiego w dwóch ostatnich pracach (opublikowanych w *Nature Communications* i *Nature Physics*) rodzi nadzieję, tworząc grupę badawczą wykorzysta swoje dobre przygotowanie teoretyczne nie tylko do charakteryzacji dynamiki mikromolekuł ale też do identyfikacji procesów zachodzących, bądź mogących zajść w hydrodynamicznym mikroświecie. Umiejętność teoretycznej analizy ruchu niesymetrycznych obiektów w obecności membran jest cenna, ale wydaje się, że jeszcze bardziej wartościowe jest wykorzystanie zdobytych intuicji do przewidzenia i scharakteryzowania nowych zjawisk i procesów.

Podsumowując, habilitant zaprezentował wartościowe osiągnięcie naukowe, składające się z cyklu 9 prac o spójnej tematyce, opublikowanych w dobrych i bardzo dobrych czasopismach. Prace te pokazują dobry warsztat matematyczny autora i stanowią istotny wkład w rozwój analizy dynamiki mikro-objektów w tym aktywnych mikro-pływaków pozbawionych symetrii sferycznej w obecności sztywnej ścianki lub elastycznej membrany. Zaprezentowany cykl prac stanowi stosunkowo niewielką część obszernego i wartościowego dorobku habilitanta, na który składa się 26 prac opublikowanych w czasopismach z listy JCR. Fakt otrzymania 3 grantów potwierdza zdolność habilitanta do proponowania tematów badań naukowych i zdobywania na nie środków finansowych. Skłania to do optymizmu co do jej dalszego rozwoju naukowego, dwie ostatnie prace są tego bardzo dobrym zwiastunem. **Z pełnym przekonaniem popieram wniosek o nadanie dr Maciejowi Lisickiemu stopnia doktora habilitowanego.**

J. Lipniacki