



Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni
im. Jerzego Habera
Polskiej Akademii Nauk



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Kraków, 2 kwietnia 2026

Prof. dr hab. Maciej Szaleniec

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni

im. Jerzego Habera

Polskiej Akademii Nauk

maciej.szaleniec@ikifp.edu.pl

**Recenzja pracy habilitacyjnej dr Karola Makucha
pt. „Bilans energii i termodynamika stanów stacjonarnych”**

Wstęp

Recenzja pracy Habilitacyjnej dr Karola Makucha pt. „Bilans energii i termodynamika stanów stacjonarnych” jest wykonywana w oparciu o przepisy zawarte w rozdziale 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz 742).

Przebieg pracy naukowo-zawodowej

Pan dr Karol Makuch w roku 2005 otrzymał stopień zawodowy magistra fizyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, broniąc pracę magisterską pt. „Efektywny propagator dla układów z indukowanymi źródłami oddziaływań”, która dotyczyła opisu dynamiki płynów koloidalnych. Następnie podjął studia doktoranckie na tym samym wydziale, które zakończył w roku 2011 obroną pracy doktorskiej pt. „Czynnik hydrodynamiczny i efektywne współczynniki transportu zawieszin cząstek sferycznych”. Praca ta kontynuowała wątek badawczy zapoczątkowany w badaniach do pracy magisterskiej, koncentrując się na rozwoju funkcji opisującej oddziaływanie hydrodynamiczne między cząstkami w zawieszinach. Choć nie wynika to z dokumentacji habilitacyjnej, wg. danych z biblioteki Wydziału Fizyki UW można się dowiedzieć, że praca ta została wykonana pod opieką prof. dr hab. Bogdana Cichockiego. Po uzyskaniu doktoratu habilitant kontynuował swoje badania pracując na Wydziale Fizyki UW na stanowisku post doca w projekcie TEAM pt. “Predictive multi-scale simulations for correlated particles inside complex environments”, kierowanym przez prof. dr hab. Krzysztofa Byczuka. Jednocześnie w latach 2013-15 był kierownikiem projektu MNiSW dla młodych badaczy (IuventusPlus) pt. „Makroskopowe charakterystyki ośrodków dyspersyjnych”

Po zakończeniu tego kontraktu dr Makuch rozpoczął pracę w Instytucie Chemii Fizycznej PAN, na stanowisku adiunkta, prowadząc badania w projektach prof. dr hab. Piotra Garsteckiego w jego projekcie ERC Starting grant (2015-2016) a następnie MAESTRO (2020-2022). W tym okresie zainteresowania naukowe habilitanta były nakierowane na zagadnienia teoretyczne związane z mikrofluidyką, zgodnie z tematyką zespołu, którego w owym okresie kierownikiem był prof. Garstecki. W latach 2021-2022 był również wykonawcą grantu TEAM-NET FNP pod kierownictwem prof. dr hab. Czesława Radziewicza. Jednocześnie w latach 2017-2022 realizował własny projekt NCN SONATA pt. „Własności płynów złożonych a ich struktura na poziomie mikroskopowym” we



współpracy z prof. Robertem Hołystem oraz prof. Johnem Brady'm z CALTECH. W tym okresie odbył dwa staże w grupie prof. Brady'ego, jedno czteromiesięczny finansowany ze stypendium Fundacji Kościuszkowskiej oraz jeden roczny finansowany ze środków grantu NAWY Bekker. W latach 2021-2024 pan dr Makuch był wykonawcą w projekcie SONATA dr Marty Zapotocznej, zaś od 2022 roku realizuje swój własny grant SONATA BIS pt. „Dyfuzja sztywnych cząstek i elastycznych polimerów w płynach złożonych”, który kontynuuje tematykę badawczą dotyczącą uogólnienia relacji Stokesa-Einsteina dla płynów złożonych. Jednocześnie pracę nad cyklem habilitacyjnym dr Makuch rozpoczął w roku 2019 na skutek interakcji z prof. Robertem Hołystem.

Informacje o osiągnięciu i dorobku Habilitanta

Przedstawiona mi do recenzji praca Habilitacyjna jest monotematycznym cyklem 9 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy JCR, które zostały opublikowane w latach 2021-2024. Prace te ukazały się w czasopismach o solidnej renomie, w szczególności należy wyróżnić tu prace P1-P3, które wydano w Phys. Rev. E (Q1) oraz P9 (Physics of Fluids, Q1). Pozostałe prace lokują się w 2 lub 3 kwartylu, w zależności od dziedziny, przy czym należy tutaj zaznaczyć, że czasopisma te (Entropy (MDPI), J. Chem. Phys.) są wyżej rankingowane przez Web of Science w naukach fizycznych niż chemicznych.

Habilitant w 4 publikacjach jest autorem korespondencyjnym a w dwóch z tych czterech również pierwszym autorem. Sumaryczny IF cyklu wynosi 23.2 pkt, co daje średnią wartość 2.6. Jest to zasadniczo wynik poniżej średniej dla nauk chemicznych, jednak należy tutaj wziąć poprawkę na tematykę cyklu, która lokuje się na pograniczy chemii i fizyki teoretycznej, co umożliwia publikowanie w specjalistycznych czasopismach zajmujących się taką tematyką. W przeważającej części czasopisma te nie charakteryzują się wysokimi współczynnikami oddziaływania nie ze względu na ich niską rangę, ale z powodu niższej liczby naukowców prowadzących badania w tej dziedzinie.

Całkowita liczba cytowań cyklu z wyłączeniem autocytowań wynosi 29 co jest wynikiem dosyć skromnym (średnio ok. 3 cytowania na prace), ale z drugiej strony należy wziąć tutaj pod uwagę krótki okres od opublikowania pierwszych prac w cyklu oraz ich dość hermetyczną tematykę. Poza tym, jak sam habilitant wskazywał we wstępie do autoreferatu, tematyka badań, jaką zaproponował, wykracza poza ramy uznanej powszechnie termodynamiki równowagowej i zasadniczo podważa przyjęty paradygmat o niemożliwości sformułowania prostych zasad dla termodynamiki w stanach nierównowagowych. Stąd też może wynikać niezbyt wysoki indeks cytowania cyklu. Z drugiej strony wydaje się, że publikacje nie wywołały również silnych kontrowersji w środowisku, co mogłoby się wiązać z cytowaniami w publikacjach krytycznie nastawionych do dorobku Habilitanta. Trudno mi jest to w pełni obiektywnie ocenić, ale wydaje się, że na tym etapie prace dr Makucha nie zostały jeszcze szerzej dostrzeżone przez społeczność naukową.

Prace składające się na przedstawiony do oceny cykl są wieloautorskie (za wyjątkiem monoautorskiej pracy P9) gdzie liczba autorów mieści się między 4-6. Analiza oświadczeń (niestety pozbawionych



oświadczeń dr Yirui Zhang z obiektywnych powodów) dostarczonych wraz z dokumentacją jest więc istotnym elementem pozwalającym ocenić wkład Habilitanta w opisanie dzieło. Z analizy tych oświadczeń wyłaniają się dwie konkluzje:

1. Koncepcja opracowania termodynamiki stanów stacjonarnych **nie jest wyłącznie dziełem Habilitanta** (w przeważającej części zasługi rozkładają się pomiędzy różnych autorów, w tym w dużym zakresie należy je przypisać prof. Robertowi Hołystowi),
2. Dr Karol Makuch był wiodącym autorem odpowiedzialnym za część dotyczącą sformułowania **globalnego bilansu energii**.

Konkluzje te są zgodne z rozdziałem 4.2.16 autoreferatu, gdzie Habilitant wyraźnie opisuje indywidualny wkład w prace i jasno podkreśla kluczowy wpływ współpracowników, na sformułowanie koncepcji termodynamicznych przedstawianych w pracy.

Bazując na przedstawionych oświadczeniach i autoreferacie stwierdzam, że przedstawiony do oceny cykl, opiera się o **spójną metodologicznie wydzieloną całość**, dotyczącą termodynamicznego opisu układów nierównowagowych.

Na koniec kilka zdań chciałbym poświęcić opisowi całkowitego dorobku Habilitanta. Dr Makuch opublikował w swoim życiu 27 prac (9 składających się na cykl oraz 19 prac opublikowanych w latach 2012-2025) oraz uzyskał dwa patenty krajowe (z dziedziny mikrofluidyki). Dorobek był cytowany ponad 226 razy z wyłączeniem cytowani, a indeks H wynosi 9. Całkowity IF dorobku wynosi 94.4 co wskazuje na średni IF ok 3.5. Oznacza to, że habilitant publikuje w czasopismach specjalistycznych o średniej renomie, chociaż zdarzają się w jego dorobku publikacje w czasopismach o wyższym współczynniku oddziaływania (np. Anal. Chem. IF ok 8 czy Lab Chip IF ok 5). Habilitant może poszczycić się dwoma wykładami na zaproszenie (CALTECH oraz międzynarodowa konferencja 7th European Conference on Computational Fluid Dynamics), 9 wystąpieniami ustnymi oraz 14 prezentacjami posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych. Dorobek konferencyjny, biorąc pod uwagę dość długi 20 letni okres działalności naukowej Habilitanta, oceniam jako raczej skromny.

Istotność aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni

W sekcjach 4.4 oraz 5. autoreferatu Habilitant podaje informacje na temat swojej działalności poza jednostką, w której powstał cykl habilitacyjny, tj. poza Instytutem Chemii Fizycznej PAN. Do działalności w innych jednostkach należy na pewno aktywność naukowa prowadzona na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, poczynając od badań do pracy magisterskiej i kończąc na stanowisku post doc (lata 2005-2015), w czasie których to był badaczem w gronie prof. Krzysztofa Byczuka. Z tej współpracy pochodzi jedna publikacja w New J. Phys. oraz kilka doniesień konferencyjnych. W 2017 i na przełomie 2019/2020 Habilitant odbył staż zagraniczny w grupie prof. Brady'ego w California Institute of Technology. Owocem tych staży jest publikacja w Soft Matter poświęcona dyfuzji i przepływowi w złożonych cieczach. Praca ta, uogólniająca relację Stokesa-Einsteina w złożonych płynach jest „drugim” osiągnięciem opisanym przez Habilitanta w



autoreferacie (*vide infra*). Na koniec w sekcji dotyczącej przyszłych planów badawczych znaleźć można informację, że Habilitant prowadzi współpracę z grupą prof. Zhen-Gang Wang z CALTECH. Jednak brak jak na razie jakiś owoców tej współpracy, a więc słusznie zaliczona została do sekcji dotyczącej przyszłości. Podsumowując tę sekcję stwierdzam, że **Habilitant formalnie spełnia ustawowe wymogi „istotnej aktywności”** w innej niż macierzysta jednostka, w szczególności gdy przyjmujemy, że jednostką macierzysta dla niego jest Wydział Fizyki UW. Jednocześnie nie można zignorować faktu, że **międzynarodowa sieć współpracy Habilitanta jest znikoma**, ograniczając się zasadniczo do California Institute of Technology. Jest to o tyle zaskakujące, że Habilitant pracował w wielu grantach (w tym również ERC), co powinno zapewnić dostęp zarówno do wyjazdów na zagraniczne konferencje jak i wspomóc w nawiązywaniu współprac międzynarodowych. Najwyraźniej się tak nie stało i fakt ten odnotowuję jako słaby punkt wniosku habilitacyjnego. **Zwracam się więc z pytaniem do Habilitanta, jakie działania zamierza podjąć, aby w przyszłych latach swojej pracy budować własną rozpoznawalność i markę zawodową oraz skuteczniej nawiązywać kooperację z innymi zespołami w kraju i za granicą.**

Informacje o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich kandydata.

Habilitant jako doktorant i pracownik Uniwersytetu w latach 2005-2015 prowadził zajęcia dla studentów fizyki z zakresu termodynamiki, fizyki statystycznej czy mechaniki klasycznej (ćwiczenia). Był promotorem pomocniczym dwóch prac doktorskich, jednej magisterskiej i dwóch licencjackich a obecnie jest promotorem pomocniczym w dwóch postępowaniach doktorskich. Miał też okazje wygłaszać 4 h wykład na uniwersytecie Guanajuato w Meksyku z tematyki hydrodynamiki układów koloidalnych. Co warte odnotowania wygłosił dwa wykłady w czasie Festiwalu Nauki, w ten sposób udowadniając, że nie zaniedbuje też popularyzacji wiedzy. W czasie studiów doktoranckich był członkiem komitetu organizacyjnego „3rd Warsaw School of Statistical Physics”, ale poza tym epizodem nie angażuje się w inną działalność organizacyjną. Należy odnotować jednakże aktywność na polu recenzowania prac naukowych dla dobrych czasopism z jego dziedziny.

Ocena jednotematycznego cyklu publikacyjnego zgłoszonego przez Habilitanta do postępowania Habilitacyjnego

Habilitant swoje osiągnięcie pt. „Bilans energii i termodynamika stanów stacjonarnych” zdecydowanie oparł o symulacje numeryczne oraz analizę tych symulacji i formułację oraz dowód równań termodynamiki stanów stacjonarnych (poprzez porównanie opisu zachowania symulowanych układów przez wyprowadzone równania z wartościami fizycznymi obliczonymi metodami numerycznymi jak i analizę fizycznych konsekwencji wynikających z zaproponowanych równań). Pierwsze trzy prace cyklu (P1-P3) stanowią niejako podstawę symulacyjną i teoretyczną do pracy P4. W szczególności rozważany jest układ składający się z gazu doskonałego, początkowo w stanie nierównowagowym (np. gaz doskonały w układzie ograniczonym płaszczyznami



wymieniającymi ciepło przedzielony adiabatyczną ruchomą przegrodą czy gaz doskonały ograniczony dwoma płaszczyznami o różnych temperaturach wymieniających strumienie ciepła z otoczeniem z możliwością zmiany szybkości wymiany ciepła na jednej powierzchni aż do osiągnięcia kompletnej adiabatycznej izolacji).

Rozważania na temat termodynamiki stanów stacjonarnych doprowadziły habilitanta do wyprowadzenia bilansu energetycznego dla stanów stacjonarnych oraz sformułowania temperatury i entropii nierównowagowej, będącej funkcją energii wewnętrznej, objętości oraz liczby moli cząstek gazu doskonałego jak również wyprowadzenia zasady ekstremum dla stanów stacjonarnych.

Kolejnym, bardzo ważnym krokiem w rozwoju formalizmu było odejście od modelu gazu doskonałego w kierunku gazu van der Waalsa, a więc wprowadzenie wymiaru cząsteczek gazu i oddziaływań międzycząsteczkowych w modelowym układzie nierównowagowym z przepływem ciepła. Oparte o symulacje wyprowadzenia równań wykazały, że energia wewnętrzna jest funkcją pięciu parametrów (V, N, S^*, a^*, b^*) (gdzie S^* to entropia nierównowagowa, a^* i b^* stanowią parametry równania vdW), co pozwala na globalny opis procesu wymiany energii w układzie. W pracy przedstawiono również dowód, że dla gazu oddziaływującego nie istnieje czynnik całkujący dla wypadkowego ciepła wymienianego przez układ, co wskazuje, że nie jest możliwe zdefiniowanie entropii jako funkcji stanu w klasycznym sensie obowiązującym w ramach termodynamiki równowagowej. Należy jednak podkreślić, że autorzy manuskryptu nie wykluczają istnienia czynnika całkującego w sensie ogólnym, a jedynie wskazują, że rozszerzenie formalizmu drugiej zasady termodynamiki na układ gazu oddziaływującego jest niemożliwe. Przy okazji omawiania tej pracy należy podkreślić wkład Habilitanta w opracowanie koncepcji mapowania (tj. uśredniania lokalnych równań stanu dla całego układu), który doprowadził do wprowadzenia parametrów oddziaływania cząsteczek gazu jako efektywnego parametru stanu. Niestety w kolejnych pracach wątek wykorzystania modelu gazu vdW nie był kontynuowany.

W dalszych (wg układu osiągnięcia a niekoniecznie wg. chronologii) pracach Habilitant systematycznie eksploruje możliwości opracowanego formalizmu do opisu układów bardziej złożonych. W pracy P6 bada wraz z zespołem układ mieszaniny dwóch gazów doskonałych w układzie z przepływem ciepła. Praca wykazuje, że całkowite wypadkowe ciepło jest wynikiem nie tylko zmian entropii nierównowagowej układu, ale również zależy od różnicy między stopniami swobody dla badanych gazów. W szczególności praca pokazuje inny rozkład gęstości wypadkowej mieszaniny gazów, gdy parametry f_1 i f_2 są równe od sytuacji, gdy $f_1 > f_2$ (np. gaz 1 jest dwuatomowy, a gaz 2 monoatomowy). Sformułowanie funkcji fundamentalnej dla takiego układu umożliwiła autorom wyprowadzenia pochodnych zależności, w szczególności nierównowagowych funkcji opisujących pojemność cieplną, ściśliwość i rozszerzalność cieplną.

Z kolei w pracy P7 rozważania prowadzone są dla gazu doskonałego w przepływie ciepła ale w obecności pola grawitacyjnego. Prowadzi to do sformułowania pierwszego prawa termodynamiki w stanie stacjonarnym, gdzie dodatkowym parametrem energii wewnętrznej jest M^* , czyli znormalizowana masa cząstki. W pracy przyjęty jest modelowy układ w którym siłą grawitacji działa



wzdłuż gradientu termicznego, a więc rozważana jest kolumna gazu, w której podstawa i szczyt słupa jest połączona z nieskończonymi rezerwuarami ciepła, utrzymującymi powierzchnie graniczne w stałej, różnej temperaturze. Wyprowadzone równania prowadzą do wielkości znanych z termodynamiki równowagowej gdy z układu zostanie wyeliminowana grawitacja lub przepływ ciepła zostanie ograniczony do zera, co stanowi walidację zaproponowanego formalizmu.

W artykule P8 Habilitant rozważa przypadek gazu doskonałego w układzie ograniczonym z jednej strony nieruchomą płaszczyzną a z drugiej płaszczyzną poruszającą się z pewną prędkością. Strumień gazu jest z kolei przedzielony termicznie nieprzewodzącą płaszczyzną, która również porusza się, ale jej szybkość oraz położenie względem górnej i dolnej ściany zależy od przepływu ścinającego wygenerowanego w układzie. Praca ta opisuje nadwyżkową pracę ścinającą jako jeden z elementów wymiany energii w badanym układzie. Zagadnienie to jest istotne nie tylko z teoretycznego punktu widzenia, gdyż opis przepływu Couette'a jest ważnym problemem w zrozumieniu procesów atmosferycznych czy wyprowadzeniu niektórych uproszczonych geofizycznych modeli płaszcza Ziemi. Tak więc formalizm opracowany w pracy może mieć również zastosowanie do modelowego opisu praktycznych problemów fizycznych.

Na koniec, w pracy P9, Habilitant opisał układ z konwekcją, tj. kolumnę gazu ograniczoną powierzchniami o różnej temperaturze przy obecności pola grawitacyjnego, który jest modelem konwekcyjnych procesów atmosferycznych i zachowania systemów turbulentnych jak również zachowania płynów w reaktorach chemicznych, wymiennikach ciepła czy procesach wytwarzania energii. W pracy Habilitant wykazał, że wyprowadzona przez niego pierwsza zasada termodynamiki dla układów nierównowagowych ma taką samą postać jak dla układu w równowadze, z możliwością wyprowadzenia fizycznie interpretowalnymi różniczkami ciepła i pracy. Kuriozalnym aspektem jest fakt, że Habilitant w swoim autoreferacie opisowi pracy P9 poświęca mniej miejsca niż ja w tej recenzji.

Podsumowując, przedstawiony mi do oceny cykl habilitacyjny tworzy **spójne podstawy** zmierzające do wyprowadzenia globalnej termodynamiki stanów stacjonarnych poza równowagą. W szczególności doceniam opracowanie opisu dla przepływu ciepła sprzężonego z transportem masy oraz dla gazu oddziałującego. Również niezwykle istotne w mojej ocenie jest poszerzenie opisu na układy składające się z mieszanin gazów, gdyż uzyskany opis ma duże znaczenie dla bardziej rzeczywistych układów rozważanych w chemii. W mojej ocenie, wkład Habilitanta ma charakter oryginalny, bez łatwego odpowiednika w standardowych ujęciach. Jednocześnie jednak chciałbym zaznaczyć, że nie uważam się za specjalistę w dziedzinie uprawianej przez Habilitanta, a moja specjalność naukowa (kataliza enzymatyczna badana zarówno eksperymentalnie jak i teoretycznie) jest dość odległa od tematyki cyklu. Chciałbym również zaznaczyć, że przedstawiony mi do oceny autoreferat pozostawia zdecydowany niedosyt w zakresie szczegółowości omówienia osiągnięcia. Niektóre prace (P2, P3, P6, P7 i P9) są opisane zdawkowo (np. jednym akapitem), zaś syntezie osiągnięcia (zasadniczo sekcja 4.2.16) poświęcono zaledwie jedną stronę.



Inne osiągnięcia nie objęte cyklem habilitacyjnym

W autoreferacie Habilitant opisuje też swoje inne osiągnięcia, nie włączone do osiągnięcia habilitacyjnego. W szczególności osiągnięcie to dotyczy uogólnienia relacji Stokesa-Einsteina na płyny złożone. Została opublikowana w pracy pt. „Diffusion and flow in complex liquid” *Soft Matter* 2020, 16, 114-124. Przedstawiony w pracy formalizm pozwala na opis rotacyjnej i translacyjnej dyfuzji w złożonych i lepkich ośrodkach białkowych takich jak cytoplazma komórkowa. Zastosowanie opracowanego modelu dla układów biologicznych (asocjacji białek czy wyznaczania efektywnego współczynnika dyfuzji w ruchu jednowymiarowym czynnika transkrypcyjnego poruszającego się wzdłuż białkowego włókna) wydaje mi się bardzo ciekawe i wartościowe.

Podsumowanie

Niniejszym stwierdzam, że przedstawiony mi do oceny cykl habilitacyjny wraz z pozostałymi osiągnięciami naukowymi Habilitanta **mają istotny wpływ na rozwój dyscypliny nauk chemicznych**. Opracowane opisu termodynamiki w warunkach nierównowagowych jest niewątpliwie śmiałym i istotnym celem badań. Jednocześnie jestem przekonany, że Habilitant udokumentował istotny samodzielny wkład w opisane osiągnięcie oraz wykazał się istotną działalnością naukową w różnych jednostkach badawczych, wobec czego zasługuje na miano samodzielnego naukowca.

Niniejszym stwierdzam, że dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny spełniają warunki i wymagania określone w art. 219 warunki nadania stopnia doktora Habilitowanego ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2023, poz. 742). W związku z **powyższym pozytywnie oceniam** wnioski Habilitanta i wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk o nadanie panu dr Karolowi Makuchowi stopnia doktora Habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne.

Prof. dr hab. Maciej Szaleniec