

Dr hab. inż. Piotr Pięta, prof. IChF PAN
Instytut Chemii Fizycznej
Polskiej Akademii Nauk
Ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa

Warszawa, 12 grudnia 2025 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Życieńskiej, pt. „Badanie własności fizycznych i modelowanie pęcherzyków zewnątrzkomórkowych w nano-skali z użyciem mikroskopii sił atomowych oraz analizy śledzenia nanocząstek”

Rozprawa doktorska, pt.: „Badanie własności fizycznych i modelowanie pęcherzyków zewnątrzkomórkowych w nano-skali z użyciem mikroskopii sił atomowych oraz analizy śledzenia nanocząstek”, autorstwa mgr Katarzyny Życieńskiej została mi przedłożona do recenzji przez dra hab. Jacka Szczytko, profesora uczelni, w imieniu Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne UW.

Pęcherzyki zewnątrzkomórkowe, kuliste obiekty o nanometrycznych rozmiarach wydzielane przez komórki, stanowią obiecującą platformę jako nowe nośniki leków, ze względu na swoje pełnione naturalne funkcje w organizmie, polegające na transporcie informacji międzykomórkowej w postaci białek, lipidów i kwasów nukleinowych. Należą więc one do systemu komunikacji międzykomórkowych wpływając między innymi na procesy zapalne, gojenie ran, odporność i rozwój chorób. Pęcherzyki zewnątrzkomórkowe wykorzystywane są także jako biomarkery, np. chorób nowotworowych. Dzięki ich naturalnym właściwościom umożliwiającym przenoszenie różnych cząsteczek w postaci, np. białek, w sposób naturalny chronią je przed destrukcyjnym działaniem enzymatycznym zachodzącym w krwiobiegu. Główną funkcję w ich działaniu ochronnym stanowi błona lipidowa, której właściwości fizyczne mają ogromny wpływ na potencjalne wykorzystanie pęcherzyków w transporcie zawartych w nich leków. Ponad to, specyficzne białka (ligandy) znajdujące się na powierzchni pęcherzyków zewnątrzkomórkowych pozwalają na selektywne oddziaływanie z komórkami docelowymi, co jest niezwykle ważne w nowoczesnych przeciwnowotworowych terapiach celowanych. Dlatego uważa się, że pęcherzyki zewnątrzkomórkowe stanowią znakomitą alternatywę dla tradycyjnych systemów nośnikowych leków, co jest przedmiotem intensywnych badań. Niewątpliwie tematyka podjęta przez mgr Katarzynę Życieńską doskonale wpisuje się w ten istotny nurt badań.

Doktorantka prowadziła swoje badania pod opieką promotorską dra hab. Macieja Kamińskiego, prof. UW i dra Józefa Gintera, co zaowocowało ocenianą pracą doktorską. Dysertacja zredagowana została w postaci monografii w języku polskim i została podzielona na sześć części poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Głównym celem badawczym dysertacji jest opracowanie metodologii badawczej umożliwiającej poprawne wyznaczenie właściwości fizycznych pęcherzyków zewnątrzkomórkowych, takich jak ich średnica, sztywność, modułu zginania, kąt zwilżania. Do badań wykorzystano pęcherzyki hodowane z komórek nowotworu prostaty PC3 jak i modelowe liposomy zbudowane z fosfolipidów DPPC i DOPC. Do badań wykorzystano mikroskopię sił atomowych (ang. Atomic Force Microscopy, AFM) i analizę śledzenia nanocząstek (ang. Nanoparticle Tracking Analysis, NTA), a następnie porównano wyniki eksperymentalne z wynikami otrzymanymi z modelowania komputerowego. Należy



podkreślić, że praca z tak małymi obiektami badawczymi i próba ich zmierzenia nie jest zadaniem trywialnym, a wiedza na temat ich rozmiarów i sztywności ma ogromne znaczenie dla ich potencjalnego zastosowania terapeutycznego.

Pierwsza część rozprawy (rozdziały 1-3) obejmuje skrócony opis pracy nad pęcherzykami oraz opis pęcherzyków lipidowych z uwzględnieniem ich podziału na pęcherzyki zewnątrzkomórkowe i liposomy. W tej części dysertacji znalazł się także opis metod wykorzystanych do analizy pęcherzyków (AFM i NTA). Doktorantka oparła tę część dysertacji o wiele pozycji literaturowych, co świadczy o jej dojrzałości naukowej i umiejętności posługiwania się materiałami źródłowymi ze zrozumieniem.

W części 2 rozprawy (rozdziały 4-6), zatytułowanej „Metodologia eksperymentalna”, Doktorantka szczegółowo opisuje sposoby otrzymywania pęcherzyków zewnątrzkomórkowych jak i liposomów. Opisana jest także procedura modyfikowania powierzchni miki poprzez naniesienie warstwy złożonej z (3-aminopropyl)trietoksyilanu (APTES), w celu zwiększenia przyciągania pęcherzyków do powierzchni. Niestety w pracy nie przedstawiono wzoru strukturalnego tego związku. Nie opisano także procedury osadzania pęcherzyków na podłożu. Do badań wykorzystano zarówno pęcherzyki zewnątrzkomórkowe z komórek hodowanych w Zakładzie Fizyki Biomedycznej jak i liofilizowane pęcherzyki zewnątrzkomórkowe zakupione z firmy Hansa BioMed. W badaniach liposomów zastosowano 200 mM roztwór sukrozy w wodzie, aby zwiększyć ich stabilność i ułatwić obrazowanie za pomocą AFM. W pracy nie znalazłem wyjaśnienia tego podejścia. Czy zastosowanie roztworu sukrozy wpływa na właściwości pęcherzyków, np. zmianę rozmiarów na skutek innej siły jonowej?

Obrazowanie AFM wykonano z wykorzystaniem miki jako podłoża. Naniesienie na powierzchnię miki warstwy zbudowanej z APTES miało za zadanie poprawić siłę oddziaływania pęcherzyków z podłożem na drodze oddziaływań elektrostatycznych. Jest to bardzo ciekawe rozwiązanie, choć w pracy nie wyjaśniono skąd bierze się dodatni ładunek na powierzchni warstwy. W warunkach fizjologicznych, APTES jest raczej neutralny. Doktorantka opisuje także problem związany z uzyskaniem czystej powierzchni po naniesieniu APTESu. Niestety w pracy nie pokazano ani jednego zdjęcia AFM pokazującego powierzchnię tego podłoża ani informacji o jego chropowatości. Te informacje wydają się kluczowe w kontekście późniejszego wyznaczania wysokości pęcherzyków. **Należy jednak podkreślić, że Doktorantka z sukcesem poradziła sobie z problemem powstawania nanoobiektów na powierzchni miki zmodyfikowanej APTESem, opracowując skuteczną metodę ich usuwania.** Czy możliwe jest, że APTES, jako cząsteczka amfifilowa, tworzy micelle po zetknięciu z wodą i dlatego widoczne były nanoobiekty przypominające pęcherzyki?

Obrazowanie AFM wykonano z wykorzystaniem dwu rodzaju tipów AFM o promieniu 1 i 10 nm. Są to wartości podawane przez producenta i często różnią się od wartości rzeczywistych. Czy wykonane były obrazy SEM w celu potwierdzenia tych parametrów? **Wysoko oceniam dyskusję, jaką przeprowadziła Doktorantka odnośnie możliwych artefaktów występujących podczas obrazowania AFM. Świadczy to o zrozumieniu pracy z mikroskopem AFM oraz zjawisk zachodzących w trakcie skanowania.** Jednakże nie jest dla mnie zrozumiałe, na czym polegało odpowiednie dobieranie prędkości skanowania pionowo i poziomo.

W 3 części rozprawy (rozdziały 7-10), opisano metodologie otrzymywania parametrów geometrycznych pęcherzyków po ich zaadsorbowaniu na powierzchni miki, takich jak wysokość (H),



szerokość połówkowa (FWHM) oraz promień krzywizny górnej części pęcherzyków (R_c), a następnie na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono średnicę pęcherzyków swobodnie poruszających się w roztworze (d^{geom}). O ile wybór zobrazowanych pęcherzyków spełniających kryterium minimalnej wysokości Doktorantka wykonywała automatycznie, z wykorzystaniem napisanego przez siebie skryptu, to dalsza analiza wyselekcjonowanych obiektów wymagała ręcznej analizy każdego z nich poprzez wyznaczenie czterech różnych profili wysokości o kształcie podobnym do krzywych Gaussa. **Wymagało to niezwykle precyzji i niewątpliwie było bardzo pracochłonne.** Należy także podkreślić, że Doktorantka do wyznaczenia parametrów geometrycznych nanometrycznych pęcherzyków, które nie są obiektami sztywnymi i po zaadsorbowaniu na podłożu nie są kulami, uwzględniła zarówno aspekt dotyczący wyznaczenia poziomu zerowego jak i zaproponowała odpowiednie modele do wyznaczenia R_c , uwzględniając przy tym promień ostrza AFM. Mam jednak pewne zastrzeżenie co do wyznaczonych wartości FWHM, ponieważ nie uwzględniono przy tym średnicy ostrza AFM, a więc otrzymane wartości mogą być zawyżone o dwukrotność tej średnicy. Niestety brak precyzyjnego pomiaru promienia ostrza AFM może dodatkowo wprowadzać znaczący błąd pomiarowy. Na podstawie otrzymanych profili, wyznaczono zarówno FWHM jak H , z uwzględnieniem poprawki na wysokość. Niestety opis wyznaczenia punktu zero jest bardzo lakoniczny i dla osób nie mających doświadczenia w tego typu pomiarach może być niezrozumiały (paragraf 5.3.1.). Natomiast opis wykorzystanego algorytmu w pakiecie pySPM (Scholder, 2019) został całkowicie pominięty.

Otrzymane wartości parametrów H , FWHM i R_c zostały wykorzystane do wyznaczenia średnicy pęcherzyków przed zaadsorbowaniem na powierzchni miki. **W moim przekonaniu, jest to jedno z ważniejszych osiągnięć Doktorantki.** W pierwszej kolejności Doktorantka przedstawiła wyniki dla liofilizowanych pęcherzyków zewnątrzkomórkowych. Należy zauważyć, że obrazowanie AFM dla tych pęcherzyków zostało wykonane sondą AFM, której promień ostrza wynosił 10 nm. Średnia wysokość obserwowanych pęcherzyków wyniosła od 9,9 do 15,5 nm, a odpowiadające im średnie wartości szerokości połówkowych to 27,8 i 66,8 nm. Widać zatem, że pęcherzyki po osadzeniu na podłożu ulegają spłaszczeniu. Drugą obserwacją jest to, że pęcherzyki nie są jednorodne pod względem wielkości. Niezrozumiałym jest dla mnie wynik dotyczący wartości parametru R_c dla tych pęcherzyków, który jest wyraźnie wyższy niż wartości dla szerokości połówkowej. W rezultacie, Doktorantka wyznaczyła średnie wartości średnicy geometrycznej pęcherzyków przed ich unieruchomieniem na podłożu, które wyniosły od 25,1 do 66,2 nm. Widać zatem, że te wartości są bardzo zbliżone do wartości szerokości połówkowych. Otrzymane wyniki zostały przedstawione zarówno w postaci histogramów jak i tabeli z informacją o wartości średniej, medianie i odchyleniu standardowym.

W dalszym etapie dysertacji Doktorantka opisała wyniki badań otrzymanych dla pęcherzyków zewnątrzkomórkowych z komórek PC3 hodowanych w Zakładzie Fizyki Biomedycznej. Obrazowanie AFM wykonano z użyciem sondy o średnicy ostrza 1 nm. Użycie innej sondy od tej, wykorzystanej do pomiaru pęcherzyków liofilizowanych budzi zastrzeżenie jeśli chodzi o metodykę pomiarową. Promień ostrza sondy ma duże znaczenie dla wartości otrzymanych parametrów geometrycznych. Uważam, że należało wykonać pomiary z wykorzystaniem obu sond (1 i 10 nm) zarówno dla pęcherzyków liofilizowanych jak i tych otrzymanych w Zakładzie Fizyki Biomedycznej. Badania przeprowadzono po 1 i 20 h od unieruchomienia pęcherzyków na mice wykazując wzrost ich wielkości



w czasie. Średnie wartości średnicy geometrycznej pęcherzyków z komórek PC3 wynosiły 75,8 i 85,2, odpowiednio po 1 i 20 h, i podobnie jak dla pęcherzyków liofilizowanych, ich wartości były bardzo zbliżone do wartości szerokości połówkowych.

Podobne badania przeprowadzono dla liposomów zbudowanych z DPPC i DOPC, wyznaczając opisane wyżej parametry. Wykazano, że liposomy z DPPC są większe od liposomów z DOPC.

W części 4 rozprawy (rozdziały 11-12) Doktorantka podjęła się próby wyznaczenia kąta przylegania pęcherzyków do podłoża (α). Należy zaznaczyć, że kąt przylegania został wyznaczony w oparciu o parametry opisane powyżej, a interpretacja otrzymanych wyników została oparta o numeryczny model pęcherzyka unieruchomionego na podłożu, dopasowując jego parametry do danych eksperymentalnych. W modelu uwzględniono średnicę geometryczną pęcherzyka w roztworze, wyznaczoną w oparciu o pomiary AFM, oraz warunek minimalnej energii swobodnej, w skład której wchodzi (i) energia potencjalna wynikająca z reakcji na zginanie, (ii) praca sił ciśnienia osmotycznego oraz (iii) energia potencjalna związana z elektrostatycznym oddziaływaniem pęcherzyka z podłożem. Zaproponowany model pokazał, że wartość kąta przylegania dla pęcherzyków o średnicy geometrycznej poniżej 50 nm zależy głównie od modułu zginania, podczas gdy wartości kąta przylegania dla pęcherzyków większych niż 150 nm zależą przede wszystkim od ciśnienia osmotycznego. Najlepsze dopasowanie modelu do danych eksperymentalnych pozwoliło wyznaczyć wartości modułu zginania i ciśnienia osmotycznego dla badanych pęcherzyków. **Uważam to osiągnięcie za niezwykle istotne z punktu widzenia potencjalnego zastosowania pęcherzyków zewnątrzkomórkowych jako nośników leków.**

Część 5 dysertacji (rozdziały 13-17) poświęcona jest opisowi badań właściwości mechanicznych badanych pęcherzyków z wykorzystaniem AFM w trybie spektroskopii sił. Podjęcie się tego typu badań wymaga ogromnego doświadczenia zarówno w pracy z mikroskopem AFM jak i w analizie i interpretacji otrzymanych wyników. Doktorantka dokładnie opisuje trudności eksperymentalne związane z tymi pomiarami i późniejszą analizą danych. **Mimo, że otrzymane wyniki pomiarowe nie należą do najlepszych, to bardzo wysoko oceniam próbę wyznaczenia nanomechanicznych parametrów pęcherzyków, gdyż wiedza na ten temat ma istotne znaczenie dla dalszych badań w kierunku nowych nośników leków.** Na Rys. 36 przedstawiono przykładowy obraz AFM z widocznymi dużymi pęcherzykami (ok. 100 nm) wraz z siatką punktów wybranych do wykonania pomiarów krzywych F-D. Zaskakuje wielkość i ilość pęcherzyków na powierzchni, jeśli porównać to do danych przedstawionych na Rys. 6. Nasuwa się więc wątpliwość, dlaczego nie przygotowano próbek o mniejszej ilości pęcherzyków zaadsorbowanych na powierzchni? Pozwoliłoby to w dokładniejszy sposób wyznaczyć obszar miki pokryty przez pęcherzyk i w rezultacie wyznaczyć z większą precyzją odpowiednie krzywe F-D. Tak jak Doktorantka zauważa, na pomiar krzywych F-D duży wpływ ma prędkość z jaką sonda AFM zbliża się a następnie oddala od badanej próbki. Czy wykonano badania dla różnych prędkości próbkowania? Muszę także wspomnieć o bardzo lakonicznym opisie metody kalibracji sondy i wyznaczeniu tak istotnych parametrów jak poziom zerowej siły i punkt kontaktu ostrza sondy z próbka. Dodanie odpowiedniego rysunku wyjaśniającego metodologię postępowania znacząco ułatwiłoby zrozumienie tych aspektów. Kluczowym zagadnieniem w pomiarach indentacyjnych jest poprawna kalibracja sondy AFM. Niestety w pracy zagadnienie to nie zostało szczegółowo opisane. Niewłaściwa kalibracja sondy może mieć także wpływ na wartości wyznaczonej sztywności oraz wysokości pęcherzyków. W pracy nie opisano sposobu wyznaczania



wysokości pęcherzyków na podstawie krzywych F-D, podając jedynie otrzymane wartości. W dalszej części tego rozdziału dysertacji, Doktorantka opisuje procedurę wyznaczania modułu zginania w oparciu o zaproponowany model. **To kolejny punkt rozprawy, który zasługuje na podkreślenie, ponieważ prowadzi do uzyskania bardzo interesujących wyników.**

W ostatniej części Dysertacji (rozdziały 18-19), Doktorantka wyznacza średnicę hydrodynamiczną pęcherzyków poruszających się w roztworze na skutek ruchów Browna, wykorzystując metodę analizy śledzenia nanocząstek. Nie jest wiadomo, czy pomiary wykonano dla pęcherzyków zawieszonych w wodzie czy w buforze. Jest to ważna informacja, ponieważ siła jonowa roztworu silnie wpływa na otoczkę solwatacyjną nanocząstek, a więc i na ich ruch w roztworze. Otrzymane wyniki w postaci histogramów zostały opisane dopasowując do nich rozkład logarytmiczno-normalny. Czym są średnice Maximum Martin? Tak jak można było się spodziewać, średnice geometryczne pęcherzyków są mniejsze od średnic hydrodynamicznych. Niewątpliwie na wartość średnicy hydrodynamicznej mają wpływ takie parametry jak wielkość i kształt pęcherzyka oraz jego ładunek powierzchniowy. Doktorantka prowadzi krótką dyskusję dotyczącą jedynie wpływu wielkości pęcherzyków i ich sztywności na otrzymane wyniki. **Ciekawym podejściem jest wprowadzenie przez Doktorantkę, tzw. współczynnika skalowania. Uważam, że dogłębna analiza tego podejścia, poparta badaniami mogłaby zaowocować wprowadzeniem standardowej metodologii w tego typu pomiarach.**

Jedną z obserwacji Doktorantki było zauważenie, że średnica pęcherzyków osadzonych na podłożu zmienia się w czasie. Pomiary AFM wykonano dla dwóch przypadków, tj. po 1 i 20 godzinach od naniesienia pęcherzyków na mikę. Mam kłopot w zrozumieniu tych wyników, ponieważ nie wiadomo, jak nanoszono pęcherzyki. Czy po nakropieniu roztworu z pęcherzykami i odczekaniu określonego czasu, usuwano ten roztwór i umieszczano próbkę w celce AFM wypelnionej roztworem bez pęcherzyków, a następnie obrazowano ją po 1 h i po 20 h? Sądząc jednak z postawionej hipotezy:

„mniejsze pęcherzyki docierają do podłoża i przyczepiają się do niego szybciej niż większe pęcherzyki, gdyż zgodnie z teorią ruchów Browna poruszają się szybciej”

można sądzić, że pomiary AFM wykonano dla roztworu z pęcherzykami. Ta kwestia powinna zostać wyjaśniona w trakcie obrony Doktoratu. Ponadto postawiona hipoteza jest przez Doktorantkę obalona w dalszej dyskusji (Rozdział 19.2.3 „Dyskusja”), gdzie jest mowa, że:

„Mniejsze pęcherzyki docierają do podłoża wolniej.”

Przechodząc do oceny merytorycznej pracy, podkreślić należy, że do realizacji założonych celów badawczych mgr Katarzyna Życieńska wykorzystwała dwie komplementarne techniki badawcze, a mianowicie mikroskopię sił atomowych i analizę śledzenia nanocząstek. Otrzymane przez nią wyniki posłużyły jej do zaproponowania modeli pozwalających na wyznaczenie szeregu bardzo ważnych parametrów badanych pęcherzyków, takich jak średnica geometryczna i hydrodynamiczna, sztywność, promień krzywizny, moduł zginania, ciśnienie osmotyczne. W mojej ocenie zastosowany warsztat metodologiczny jest w przeważającej mierze poprawny. Pewne moje wątpliwości budzi tylko wspomniany wcześniej brak pomiarów AFM pęcherzyków z użyciem sond o jednakowym promieniu ostrza oraz brak pomiarów krzywych F-D dla sond o różnych stałych sprężystości.



Wysoko oceniam wykorzystanie niezwykle trudnych badań AFM w trybie spektroskopii sił do określenia właściwości nanomechanicznych badanych pęcherzyków. Stwierdzam, że założone cele badawcze zostały osiągnięte, a krytyczna dyskusja uzyskanych wyników, nie budzi wątpliwości.

Z obowiązku recenzenta chciałbym jednak wskazać pewne aspekty, które podczas lektury dysertacji wzbudziły moje wątpliwości. W trakcie publicznej obrony doktorskiej chciałbym, aby Doktorantka, oprócz podniesionych wcześniej aspektów metodycznych, skomentowała warunki prowadzonych eksperymentów AFM w kontekście stabilności obrazowanych pęcherzyków.

Mam także dużo zastrzeżenie co do stylistyki języka polskiego, którą posługuje się Doktorantka. Domyślam się, że większość literatury z tej tematyki napisana jest w języku angielskim, jednakże decydując się na napisanie monografii w języku polskim, należy używać go w sposób poprawny, unikając żargonu. Poniżej podaje tylko kilka przykładów, które w mojej opinii nie powinny mieć miejsca w żadnej pracy doktorskiej.

Już w tytule dysertacji jest błąd, ponieważ słowo „własność” zdefiniowane jest jako faktyczne posiadanie czegoś, np. prawo do dysponowania rzeczą. Niewątpliwie Doktorantka miała na myśli „właściwość”, czyli mierzalną cechę badanego obiektu.

W wielu miejscach można spotkać sformułowanie, że wykorzystano „podłoże mikowe”. Nie jest to właściwe określenie, ponieważ dotyczy produktu wytworzonego z miki, np. materiału izolacyjnego wykorzystywanego w elektronice. Natomiast nazwa „mika” dotyczy minerału, który to właśnie był wykorzystywany przez Doktorantkę jako podłoże do unieruchamiania pęcherzyków.

Str 19.

Nadal nie ma konsensusu co do strategii badania **własności** fizycznych pęcherzyków na AFM.

Str. 19

Nadal nie istnieje standard analizy pęcherzyków zewnątrzkomórkowych **pod** AFM

Str. 27

Pęcherzyki zewnątrzkomórkowe mają ładunek powierzchniowy ujemny, dzięki czemu **chcą przyciągać** się do podłoża pokrytego APTESem

Str 29

Obrazowanie zostało wykonane **na mikroskopie** sił atomowych Dimension Icon...

Str. 29

Pierwszym etapem przed obrazowaniem jest **nałożenie sondy na uchwyt**...

Str. 33

W obu **wypadkach** zadbano o odpowiednie rozcieńczenie próbki przed badaniem oraz kalibrację sprzętu.

Str. 39

Jednak ponieważ na Rc2 z dopasowania okręgu nie wpływa dobrze ustalona wysokość H i FWHM

Str 83

natomiast dysponujemy mocno ograniczoną liczbą prawidłowych **spektroskopii**

Z jednego obrazu uzyskuje się w zależności od **gęstości** pęcherzyków na mice

Można w tym celu skorzystać z **pojedynczej spektroskopii** pęcherzyka



IChF

Instytut Chemii Fizycznej PAN

Str. 93

Tak samo jak dla dgeom, dla dhydro mediana μ^* **wyszła ciut** większa dla liofilizowanych pęcherzyków w porównaniu

Str 97

Jak przedstawiono w rozdziale 18.4 średnice hydrodynamiczne **wychodzą** większe niż średnice geometryczne

Str 99

Przeprowadzono symulację, aby sprawdzić jak zmienia się histogram średnic w czasie po **nałożeniu** kropli na mikę

Przedstawione powyżej uwagi oraz pytania nie wpływają na moją pozytywną ocenę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej. Mają one na celu jedynie wyjaśnić niejasne kwestie i sprowokować do dyskusji mogącej przynieść nowe pomysły badawcze. Stwierdzam, że Doktorantka zrealizowała postawione cele badawcze, dobierając właściwy warsztat metodyczny. Wyciągnięte na podstawie badań wnioski są trafne i nie budzą zastrzeżeń.

Podsumowując, w mojej opinii przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, pt. „Badanie własności fizycznych i modelowanie pęcherzyków zewnątrzkomórkowych w nano-skali z użyciem mikroskopii sił atomowych oraz analizy śledzenia nanocząstek” autorstwa mgr Katarzyny Życieńskiej spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora. W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne UW o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr Katarzyny Życieńskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr hab. inż. Piotr Pięta, prof. IChF PAN