

dr hab. Szymon Chorąży, prof. UJ

Kierownik Grupy Wielofunkcyjnych Materiałów Luminescencyjnych

Zakład Chemii Nieorganicznej

Wydział Chemii, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

ul. Gronostajowa 2, 30-387 Kraków

Tel. +48(12) 686 2607, e-mail: simon.chorazy@uj.edu.pl



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Kraków, 23.05.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr Agaty Hajdy** zatytułowanej „**New fluorescent markers for one- and two-photon microscopy with emphasis on amyloid detection**”

Otrzymana do recenzji rozprawa doktorska pani mgr Agaty Hajdy zatytułowana „**New fluorescent markers for one- and two-photon microscopy with emphasis on amyloid detection**” została wykonana w Grupie Nanobiofotoniki Instytutu Zaawansowanych Materiałów Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej pod opieką dr. hab. Joanny Olesiak-Bańskiej, prof. PWr, uznanej badaczki zajmującej się syntezą i charakterystyką fizykochemiczną, zwłaszcza właściwościami optycznymi, nanocząstek i nanoklasterów opartych na metalach szlachetnych, jak również nieliniową spektroskopią optyczną oraz właściwościami optycznymi białek i amyloidów.

Wydział Chemii

Pani Agata Hajda przygotowała rozprawę doktorską w formie komentarza do trzech wybranych artykułów naukowych opublikowanych w dobrych i bardzo dobrych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, w tym *Chemical Communications*, *Chemical Science* oraz *ACS Applied Bio Materials*. We wszystkich trzech wymienionych artykułach mgr Agata Hajda jest pierwszym autorem, mając wiodący wkład w ich powstanie, na co wskazują oświadczenia autorki pracy załączone do każdej z tych prac. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że do zadań autorki rozprawy doktorskiej należało przede wszystkim badanie właściwości optycznych prezentowanych materiałów, podczas gdy ich synteza była wykonywana przez współpracowników będących współautorami artykułów. Osiągnięcia naukowe pani Agaty Hajdy, zawarte w rozprawie, dotyczą zatem selekcji odpowiednich materiałów, opracowania metod badania, wykonania pomiarów i ich interpretacji, wysunięcia wniosków z badań i przygotowania pierwszej wersji manuskryptów. W tym kontekście pani Agata Hajda przygotowała rozprawę doktorską odpowiednio dostosowaną do tego typu przypadku osiągnięcia naukowego zawartego w opublikowanych już pracach, w których autorka pracy wykonała ściśle określone i jednocześnie bardzo ważne etapy badań. Wobec tego rozprawa zawiera spis publikacji (z podziałem na prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego opisywanego w rozprawie doktorskiej oraz pozostałe prace autorki rozprawy), streszczenia, opis zakresu i celów rozprawy, przegląd literaturowy, opis wyników naukowych zawartych w publikacjach wraz z treściami tych artykułów oraz materiałami dodatkowymi, podsumowanie i perspektywy dalszej pracy naukowej w dyskutowanej tematyce badawczej oraz spis cytowanych referencji.

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

W rozprawie zostały zawarte wszystkie kluczowe elementy pozwalające na jej rzetelną ocenę. Ze względu na specyfikę pracy autorki, która (zgodnie z oświadczeniami) odpowiadała za metodologię i wykonanie zaawansowanych pomiarów optycznych, warto byłoby przedstawić osobny rozdział dyskutujący szerzej kwestie pomiarowe. Odpowiednie informacje dotyczące pomiarów kluczowych właściwości optycznych można oczywiście znaleźć w materiałach dodatkowych lub częściach eksperymentalnych artykułów wchodzących w skład recenzowanej rozprawy. Jednak ciekawa dla czytelnika byłaby lektura choćby krótkiej dyskusji używanego zestawu eksperymentalnego, jego sposobu działania i wiarygodności uzyskanych wyników, zwłaszcza na tle innych podejść eksperymentalnych do badania omawianych efektów optycznych. Kilka słów takiej dyskusji autorka rozprawy powinna wprowadzić na etapie publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Wydział Chemii

Zawarte w rozprawie streszczenia są rzetelnym i dokładnym opisem tematyki prowadzonych badań, konstrukcji samej rozprawy, głównych elementów wstępu, hipotez prowadzonej pracy badawczej, celów pracy oraz ich realizacji poprzez wyniki badawcze zawarte w trzech publikacjach naukowych. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy poszukiwania nowych fluoroforów molekularnych do zastosowań w mikroskopii i spektroskopii, zwłaszcza z wykorzystaniem nieliniowego efektu absorpcji dwufotonowej (2PA) oraz ze szczególnym uwzględnieniem związków, które mogą być efektywnie wykorzystane do luminescencyjnego wykrywania cząsteczek amyloidów w organizmie ludzkim. Tematyka badawcza zaprezentowana w rozprawie wpisuje się zatem doskonale w obecne nurty badań dotyczących nowych fotoluminescencyjnych związków chemicznych, które mogą spełnić szereg wymogów pozwalających na ich skuteczne zastosowania w optycznym wykrywaniu ważnych analitów w organizmie ludzkim. Ponadto prezentowane badania są ukierunkowane na wykorzystanie związków luminescencyjnych, które można efektywnie wzbudzać na drodze efektu 2PA, co jest niezwykle ważne, ponieważ pozwala na wzbudzanie emisji w zakresie widzialnym lub bliskiej podczerwieni poprzez użycie wzbudzenia z zakresu bliskiej podczerwieni. Jest ono mniej inwazyjne dla badanego materiału i może bardzo dobrze wpisywać się w biologiczne okna przepuszczalności światła. Nie mam zatem wątpliwości, że podjęta przez panią Agatę Hajdę tematyka badawcza jest ważna i ma na celu uzupełnienie rzeczywistych luk w wiedzy w rozwijającej się dziedzinie badań nowych znaczników fluorescencyjnych do zastosowań biologicznych i medycznych.

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl

Poza jednym ze streszczeń w języku polskim, cała rozprawa doktorska została przygotowana w języku angielskim. Po streszczeniach autorka rozprawy zamieściła rozdział wprowadzający do tematyki realizowanych badań, zaczynając od określenia zakresu i celów pracy. Zarówno określone luki w wiedzy, które autorka pracy chciała zapełnić, jak również hipotezy i cele badawcze zostały wyraźnie podzielone na dwie części związane z dwoma różnymi grupami związków badanymi w ramach realizacji pracy doktorskiej. Pierwszą grupą związków były fluorofory molekularne oparte na



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Wydział Chemii

organicznych cząsteczkach zawierających ugrupowanie BF/BF₂, dla których kluczowe było badanie efektu 2PA oraz możliwości optymalizacji ich zastosowania do wykrywania amyloidów, między innymi z wykorzystaniem luminescencji wzbudzonej poprzez efekt 2PA. Drugą grupą związków były luminescencyjne nanoklastry oparte na samokładaniu atomów/jonów srebra z oligomerami DNA, które w ramach pracy doktorantki również badano pod kątem efektu 2PA i innych właściwości fizykochemicznych dla przyszłych zastosowań tego typu układów molekularnych w bioobrazowaniu. Zarówno cele, jak i zakres pracy zostały precyzyjnie określone we wspomnianym pierwszym podrozdziale wstępu, który nie budzi moich zastrzeżeń. W dalszej części wprowadzenia, autorka rozprawy zamieściła przegląd literaturowy obejmujący podstawy i zastosowania dwufotonowej absorpcji (2.1.1.), dwufotonową mikroskopię fluorescencyjną (2.1.2), efekt 2PA w cząsteczkach organicznych (2.2.1), nanoklastry Ag z DNA (2.2.2), w tym ich właściwości optyczne (2.2.2.b), dyskusję amyloidów (2.3), w tym definicje (2.3.1), ich powiązanie z chorobami (2.3.2), ich wykrywanie fluorescencyjne (2.3.3), oraz ich znakowanie fluorescencyjne z udziałem efektu 2PA (2.3.4). Generalnie wprowadzenie literaturowe do rozprawy zostało sporządzone rzetelnie; kontekst literaturowy został odpowiednio nakreślony, dzięki czemu bez problemu można zrozumieć koncepcję i cele pracy na tle badań innych zespołów. Cenny jest rozdział dotyczący podstaw i zastosowań dwufotonowej absorpcji, w którym autorka rozprawy prezentuje kluczowe równania i mechanizmy tego efektu. Na rysunku 2 autorka rozprawy przedstawia realizację efektu 2PA dla cząsteczek centrosymetrycznych i niecentrosymetrycznych. W przypadku pierwszych z nich podkreślona jest rola rzeczywistego pośredniego stanu elektronowego w indukowaniu efektywnej 2PA. Jak w tym kontekście przebiega proces 2PA dla badanych w pracy związków chemicznych? Bardziej generalnie, jaki jest stan wiedzy dotyczący roli tego pośredniego stanu elektronowego w generowaniu silnego efektu 2PA? Jak zmieniałaby się efektywność tego procesu dla badanych w pracy cząsteczek, gdyby wyposażone były w grupy chiralne? Byłbym wdzięczny za odpowiedzi na te pytania w kontekście mechanizmów zaprezentowanych na rysunku 2. W rozdziale dotyczącym dwufotonowej mikroskopii fluorescencyjnej brakuje nieco szerszej dyskusji, wraz z wizualizacją, choćby pojedynczego przykładu zastosowania tej techniki w bioobrazowaniu, co podkreślałoby postulowaną znaczącą rolę tej metody w zrozumieniu procesów biologicznych i potrzebę poszukiwania nowych znaczników fluorescencyjnych do tego rodzaju mikroskopii. Podobnie, brakuje w rozdziale dotyczącym zastosowania cząsteczek organicznych do generowania efektu 2PA wizualizacji przykładów najczęściej badanych układów. W kontekście dyskusji stanu wiedzy dotyczącego nanoklastrów Ag z DNA, autorka pracy wspomina o kilku znanych strukturach krystalicznych tych związków. Jakie były metody krystalizacji takich cząsteczek? Jakie oddziaływania supramolekularne rządzą ich upakowaniem w ciele stałym i jakie przeciwjony uzupełniają ładunek takich struktur krystalicznych? Czy ich

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



specyficzne właściwości optyczne są nadal obserwowane w ciele stałym? W kontekście ich właściwości optycznych ciekawym aspektem wartym przedyskutowania są możliwości transferu energii między oligomerami DNA a nanoklastami. Jak dobrze poznane są takie ścieżki wzmacniania emisji dla tego typu cząsteczek? Z kolei w kontekście obszernego rozdziału dotyczącego amyloidów ważne byłoby dodatkowe wyjaśnienie autorki rozprawy w kwestii najbardziej optymalnej obecnie metody optycznego wykrywania tego typu cząsteczek w organizmie. Jakie związki są uznawane za najbardziej efektywne na obecny stan wiedzy?

Po wprowadzeniu autorka rozprawy dyskutuje najważniejsze wyniki naukowe uzyskane w trzech artykułach naukowych będących podstawą jej pracy. Pierwsza z tych prac (A. Hajda et al. *ACS Appl. Bio Mater.* **2023**, 6, 5676) dotyczy badania właściwości optycznych trzech wybranych cząsteczek organicznych opartych na ugrupowaniu benzotiazolowym i grupie BF₂ oraz zbadania ich oddziaływania z amyloidami. Do badań wybrano trzy cząsteczki różniące się obecnością różnie umiejscowionych grup metoksy prowadzących do układów typu: (1) donor-akceptor (DA), (2) akceptor-donor (AD), (3) donor-akceptor-donor (DAD). Dla tych fluorescencyjnych cząsteczek zaobserwowano znaczący wzrost intensywności emisji w wyniku wiązania do amyloidów, co jest związane z ograniczeniem niekorzystnych rotacji wewnątrzcząsteczkowych po związaniu z amyloidem. Obserwowany wzrost emisji po wzbudzeniu jednofotonowym okazał się być silnie zależny od zastosowanego rozmieszczenia podstawników. Co więcej, zależnie od układu podstawników, zwiększa się lub zmniejsza się czułość na amyloidy insulinowe względem amyloidów HEWL, co pozwala rozważać tego typu cząsteczki jako potencjalne selektywne markery. W pracy pokazane zostały właściwości dwufotonowej absorpcji, które pojawiają się dla wszystkich badanych cząsteczek i są modyfikowane po związaniu z amyloidami. Wspomniana modyfikacja efektu 2PA, obserwowanego poprzez emisję po dwufotonowej absorpcji, jest zależna od podstawnika, przy czym jedynie dla układu DA następuje wzrost parametru σ_2 w wyniku wiązania z amyloidem. Otrzymane w ramach tej pracy wyniki są cennym wkładem w bieżące badania naukowe, pokazującym przydatność badanych cząsteczek jako znaczników fluorescencyjnych zarówno z udziałem jedno- jak i dwufotonowej absorpcji oraz pokazującą możliwość modulowania odpowiedzi optycznej tych związków na wiązanie z amyloidami poprzez modyfikacje strukturalne. W dyskusji wyników autorka rozprawy dyskutuje wpływ zmian strukturalnych w obrębie badanych cząsteczek na szybkości radiacyjnej i nieradiacyjnej dezaktywacji stanu wzbudzonego, reprezentowanych przez parametry k_r i k_{nr} . W tym kontekście nasuwa się pytanie dotyczące roli obu tych parametrów we wzmożeniu odpowiedzi optycznej związków na wiązanie z amyloidami. Zmiana którego z tych parametrów jest kluczowa dla wykrywania fluorescencyjnych amyloidów? Autorka rozprawy podkreśla też wzrost parametru σ_2 jedynie dla układu DA. Czy to oznacza, że najbardziej obiecującą ścieżką optymalizacji odpowiedzi



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Wydział Chemii

badanych związków na obecność amyloidów jest modyfikacja strukturalna w obrębie pierścienia benzotiazolowego, który wydaje się być odpowiedzialny za wzrost wspomnianego parametru? Byłbym wdzięczny za komentarz dotyczący takiej modyfikacji i innych możliwych, dla których (w świetle uzyskanych wyników) można spodziewać się wzrostu czułości na amyloidy, zwłaszcza przy zastosowaniu efektu 2PA. Czy autorka rozprawy w badaniach luminescencji zarówno pochodzącej od wzbudzenia jednofotonowego, jak i dwufotonowego zakłada identyczną wydajność kwantową emisji, a różnice w intensywności emisji są związane wyłącznie z kwestiami absorpcji? Czy w przypadku badanych związków można rozważyć inne metody określenia efektywności procesu 2PA bez śledzenia tego efektu poprzez sygnał fotoluminescencji? Autorka wspomniała w pracy, że stężenie badanych cząsteczek było optymalizowane pod kątem najbardziej intensywnego sygnału emisji. Jak wyglądają zależności stężeniowe dla tego typu układów i jakie są główne mechanizmy rządzące spadkiem intensywności emisji w zakresie mniejszych lub większych stężeń od wskazanych wartości optymalnych?

Drugi z artykułów naukowych (A. Hajda et al. *Chem. Sci.* **2025**, *16*, 1737) dotyczy pionierskich badań dwufotonowej absorpcji (poprzez badanie generowanej w jej wyniku emisji) światła w serii nanoklastrów Ag z oligomerami DNA. Badania były wykonywane dla wyizolowanych nanoklastrów ze ściśle zdefiniowanym składem atomowym, co pozwala na większe możliwości interpretacji uzyskanych wyników oraz korelacji otrzymanych parametrów efektywności procesu 2PA ze strukturą nanoklastrów. Przeprowadzone staranne badania spektroskopowe wskazały na wysokie wartości parametru σ_2 w zakresie poniżej 900 nm dla wszystkich rozważanych cząsteczek, co odpowiadało mniej intensywnym pasmom wzbudzenia dla efektu emisji jednofotonowej. Jedynie związek Ag₁₆-DNA-Cl₂ wykazywał wysoką wartość σ_2 powyżej 1000 nm, czyli w zakresie długości fali odpowiadającym silnemu pasmu wzbudzenia standardowej emisji. Autorka pracy wskazuje na trudności w pełnej interpretacji tego zjawiska. Nie zmienia to jednak faktu, że uzyskane parametry efektu 2PA pokazują, że nanoklastry Ag-DNA o zdefiniowanym składzie wykazują efektywny proces 2PA otwierający ich potencjalne zastosowanie w bioobrazowaniu. Artykuł ten jest zatem istotnym wkładem w poszukiwania nowych związków, które mogą być przydatne w bioobrazowaniu z wykorzystaniem efektu 2PA i emisji w zakresie bliskiej podczerwieni. W kontekście przedstawionych w tym rozdziale wyników kilka kwestii jest wartych przedyskutowania. W tabeli 1 pokazano zestawienie parametrów fizykochemicznych badanej serii nanoklastrów. Na uwagę zwraca bardzo znacząca różnica w przesunięciu Stokesowskim pomiędzy nanoklastrami Ag₁₅/Ag₂₁/Ag₁₉ a zawierającymi jony chlorkowe nanoklastrami Ag₁₆. Jakie są przyczyny tych różnic i jak kluczowa jest rola jonów chlorkowych w tych różnicach? Wydajności kwantowej fluorescencji również znacząco różnią się w serii związków. Jakie są zazwyczaj podawane przyczyny tych różnic? Jak precyzyjne są pomiary tej wydajności w przypadku badania

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



nanoklastrów? Ostatnia kwestia jest o tyle ważna, że dwie z podanych wartości wydajności kwantowych pochodzą z literatury, zatem zapewne wyznaczone są z udziałem innego zestawu aparaturowego. Z punktu widzenia parametrów efektu 2PA najciekawszym związkiem są nanoklastry $\text{Ag}_{16}\text{-DNA-Cl}_2$, co wskazuje, że warte rozważenia w przyszłych badaniach byłyby cząsteczki o podobnej budowie. Czy znane są takie nanoklastry? W załączonej publikacji znajduje się stwierdzenie, że ścieżka transferu energii prowadząca do emisji nanoklastrów $\text{Ag}_{16}\text{-DNA-Cl}_2$ obejmuje przejścia pomiędzy atomami/ionami srebra oraz pomiędzy srebrem a cząsteczkami DNA. Czy można stwierdzić, która z tych ścieżek jest dominująca i jak bardzo wspomniane ścieżki transferu energii wpływają na efektywność obserwowanej fotoluminescencji? W artykule można znaleźć stwierdzenie, że połączenie nanoklastrów Ag-DNA z innymi emiterami może pozwolić na bioobrazowanie oparte na dwukolorowej emisji z udziałem efektu 2PA. Jakie będą zalety takiej strategii? Czy koncepcja takiej strategii może opierać się na racjometrycznej detekcji optycznej, którą stosuje się w przypadku termometrów luminescencyjnych opartych na dwóch emisyjnych jonach lantanowców?

Trzeci z artykułów wchodzących w skład rozprawy doktorskiej (*Chem. Commun.* **2025**, *61*, 3990) dotyczy poszukiwania nowych cząsteczek organicznych z ugrupowaniem BF/BF_2 , które mogą być obiecującymi kandydatami do zastosowania jako fluorescencyjne znaczniki amyloidów wykorzystujące efekt 2PA. Autorka pracy prezentuje swoje badania fizykochemiczne dotyczące dwóch cząsteczek (otrzymanych przez współpracowników) różniących się układem donorowo-akceptorowym. Barwnik 1 zawiera układ A-D, z kolei kluczowy barwnik 2 układ D-A-D. Właśnie ten drugi ze związków okazał się być niezwykle obiecujący w kontekście oznaczania amyloidów, zarówno w porównaniu do barwnika 1, jak i referencyjnego związku MeO-X04. Wykazuje on silniejsze wzmocnienie fluorescencji po związaniu z amyloidami, emisję powyżej 600 nm z pasmem sięgającym do nawet 700 nm, wyższe wartości parametru σ_2 efektu 2PA, szersze pasma wzbudzenia i możliwość wzbudzenia w oknie biologicznym NIR-II. Jest to cenne odkrycie pokazujące nie tylko potencjał aplikacyjny tego typu cząsteczek, ale również możliwość rozwinięcia tej ścieżki badawczej w kontekście optymalizacji pożądaných parametrów fizykochemicznych. Przedstawione badania są rzetelne i staranne, jakkolwiek ze względu na formę komunikatu artykułu kilka kwestii wymaga komentarza autorki. W pracy zostało pokazane, że wydajność kwantowa fluorescencji barwnika 2 rośnie po związaniu z amyloidami do ok. 10% w stosunku do 0.6% w dmsu. Z drugiej strony, w roztworze chloroformu barwnik ten wykazuje wydajność kwantową rzędu 22%. Czym można tłumaczyć różnicę między wartością dla chloroformu a wartością dla amyloidów? Zostało również wspomniane w artykule i rozdziale rozprawy, że otrzymane barwniki wykazują rozszerzony zakres pasma wzbudzenia z użyciem efektu 2PA przekraczający nawet 1000 nm. Jakie mogą być potencjalne kierunki dalszej modyfikacji tego typu cząsteczek, które mogą ten zakres rozszerzyć w kierunku jeszcze dłuższych fal? W artykule pada stwierdzenie, że stała



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Wydział Chemii

relaksacji nieradiacyjnej (k_{nr}) jest większa dla barwnika 1 niż dla barwnika 2, co można powiązać z topologiami fragmentów cząsteczek zawierających grupę BF/BF₂. Prosiłbym o szersze wyjaśnienie tej korelacji. Przedstawione w artykule wyniki wskazują na większe zmiany fluorescencji po związaniu z amyloidami dla obu badanych barwników w stosunku do referencyjnej cząsteczki MeO-X04. Jakie oddziaływania supramolekularne są odpowiedzialne za wiązanie badanych barwników z amyloidami? Czy różnice pomiędzy barwnikami a referencyjną cząsteczką wynikają z silniejszego wiązania do amyloidów czy też z większą czułością optyczną barwników na to wiązanie? W artykule można znaleźć stwierdzenie, że po związaniu z amyloidami grupa NMe₂ ma ograniczone możliwości zmian konformacyjnych, co prowadzi do zwiększenia intensywności fluorescencji. Czy efekt ten można przypisać do specyficznych oddziaływań supramolekularnych tej grupy z fragmentami amyloidów czy też do efektów sterycznych?

Powyżej opisane rozdziały rozprawy wyraźnie potwierdzają nowość naukową zawartą w opublikowanych artykułach. Uzyskane wyniki są w każdym przypadku z trzech załączonych publikacji istotnym wkładem we współczesne badania dotyczące nowych cząsteczek do zastosowań jako znaczniki fluorescencyjne w bioobrazowaniu, zwłaszcza w wykrywaniu amyloidów. Pionierskim elementem przedstawionych wyników jest wykorzystanie w tym kontekście efektu 2PA, którego efektywność w badanych związkach jest obiecująca i może być dalej optymalizowana na drodze dalszych modyfikacji na poziomie molekularnym. Najważniejsze osiągnięcia zawarte w rozprawie doktorskiej zostały precyzyjnie wymienione w kolejnym rozdziale pracy zawierającym podsumowanie i perspektywy dalszych badań. Podano również ewentualne przyszłe cele badań. W rozdziale tym podjęta została interesująca kwestia trudności eksperymentalnych związanych z czasochłonną procedurą pomiarową oraz koniecznością powtarzania pomiarów kilka razy. Byłbym wdzięczny za szersze przedyskutowanie tej kwestii podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej. Jakie odstępstwa od pokazywanych wyników obserwowano i jak wykluczono błędne wyniki pomiarów od tych, które uznano za wiarygodne? Po rozdziale „podsumowanie i perspektywy” załączono spis literatury obejmujący 227 pozycji wskazujących na odpowiednio wysoką znajomość obecnego stanu wiedzy.

Podsumowując powyższą recenzję, chciałbym stwierdzić, że rozprawa doktorska pani mgr Agaty Hajdy została przygotowana na wysokim poziomie merytorycznym oraz edytorskim i zawiera rzetelne wprowadzenie do tematyki badawczej oraz równie rzetelną prezentację uzyskanych wyników badań. Ich jakość potwierdza opublikowanie trzech artykułów naukowych będących podstawą rozprawy w uznanych czasopiśmie naukowych o zasięgu międzynarodowym. Osiągnięcia naukowe pani mgr Agaty Hajdy zawarte w rozprawie doktorskiej są cenne w kontekście obecnie prowadzonych badań nad nowymi znacznikami fluorescencyjnymi i wykorzystaniem efektu dwufotonowej absorpcji do zwiększenia ich efektywności i przydatności w realnych zastosowaniach

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

w bioobrazowaniu. Rozprawa doktorska wskazuje na bardzo dobry poziom merytoryczny i umiejętności eksperymentalne autorki rozprawy w prowadzeniu pracy naukowej na światowym poziomie. **Wobec tego, w mojej opinii, przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska pani Agaty Hajdy jest oryginalnym rozwiązaniem przedstawionego problemu badawczego i spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z zapisami art. 187 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U.2024.1571, t.j. z dnia 2024.10.24).** W związku z tym wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Chemiczne Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr Agaty Hajdy do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie nauki chemiczne. Jednocześnie ze względu na wysoki poziom naukowy uzyskanych przez autorkę rozprawy wyników jej pracy badawczej (zwłaszcza wskazanie cząsteczek organicznych i nanoklasterów Ag-DNA o znaczącym potencjale aplikacyjnym w kontekście fluorescencyjnego oznaczania amyloidów z wykorzystaniem efektu dwufotonowej absorpcji), co potwierdza ich opublikowanie w renomowanych czasopismach naukowych (*Chem. Sci.*, *Chem. Commun.*, *ACS Applied Bio Mater.*), wnoszę o wyróżnienie tej rozprawy doktorskiej.

Wydział Chemii

Podpisany elektronicznie przez:
Szymon Chorąży
23.05.2026
15:30:28 +02'00'

ul. Gronostajowa 2

30-387 Kraków

tel. +48 12 686 26 00

fax +48 12 686 27 50

sekretar@chemia.uj.edu.pl

www.chemia.uj.edu.pl