

Warszawa, dn. 12 maja 2022 r

dr hab. inż. Katarzyna A. Rutkowska, prof. uczelni
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani magister Hue Thi Nguyen
pt. *Optical properties and development of flat-surface nanostructured gradient*
index micro-optical vortex phase components

Głównym celem rozprawy doktorskiej pani mgr Hue Thi Nguyen **było wykazanie możliwości wykorzystania mikroelementów optycznych typu nGRIN** (*nanostructured gradient index*) **do wytworzenia nanostrukturyzowanej maski fazowej** (ang. *nanostructured vortex phase mask*, nVPM) **do efektywnej generacji wirów optycznych**. Praca ta, wykorzystująca całkowicie nową koncepcję kształtowania przestrzennego rozkładu efektywnego współczynnika załamania światła wytwarzanego elementu optycznego, poprzez zbudowanie go z nanostrukturalnych elementów (tutaj - z dwóch rodzajów pręcików szklanych różniących się współczynnikiem załamania), powstała pod kierunkiem profesora Ryszarda Buczyńskiego z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, a przeprowadzone badania powiązane były z realizacją projektu FNP TEAM TECH 2016-1 (pt. *Nanostructures microoptical components - towards new functionalities and applications*). Rolę promotora pomocniczego pełnił doktor Krzysztof Świtkowski z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej.

Istotną zaletą zaproponowanego rozwiązania (w formie nanostrukturyzowanych masek nVPM), w odróżnieniu od tzw. spiralnych płytek fazowych (ang. *spiral phase plates*, SPPs) powszechnie wykorzystywanych do generacji wirów optycznych, **jest płaskość jego powierzchni**. Taka geometria zwiększa wyraźnie zakres możliwych zastosowań praktycznych w różnych dziedzinach fotoniki. Chodzi tutaj nie tylko o brak konieczności wykonywania bardzo precyzyjnego reliefu na powierzchni płytki fazowej (tj. geometrycznej modyfikacji powierzchni koniecznej do uzyskania skoku grubości w spiralnych płytkach fazowych), ale również o możliwość wykorzystania raz zaprojektowanej maski fazowej typu nVPM do uzyskania wiązki wirowej o dokładnie tej samej wartości



ładunku topologicznego w przypadku umieszczenia omawianego elementu w ośrodkach o różnych współczynnikach załamania.

Warto przy tym zaznaczyć, że **niniejsza praca doktorska obejmuje szeroki zakres prac eksperymentalnych wspartych dodatkowo analizą teoretyczną** (w tym głównie numeryczną). W szczególności, maski fazowe zostały zaprojektowane z wykorzystaniem teorii ośrodka efektywnego (ang. *effective medium theory*, EMT) i z wykorzystaniem algorytmu typu symulowanego wyżarzania (ang. *simulated annealing method*, SAM). Dodatkowo przeprowadzono symulacje numeryczne z wykorzystaniem metody propagacji wiązki (ang. *beam propagation method*, BPM) w celu doboru odpowiedniej różnicy współczynników załamania zastosowanych szkieł oraz grubości masek, służącego w rezultacie optymalizacji rozkładów natężenia i fazy generowanej wiązki wirowej. **Bardzo ważnym elementem przeprowadzonych prac badawczych było określenie jakości wiązek wirowych generowanych za pomocą wytworzonych masek w warunkach eksperymentalnych** w trzech różnych ośrodkach (powietrzu, wodzie oraz alkoholu etylowym), **wskazując z jednej strony na możliwość zastosowania zaprojektowanych i wykonanych elementów optycznych do efektywnej generacji wirów optycznych** (o wartości ładunku topologicznego wynoszącej jeden i dwa), jak również **na brak wpływu ośrodka znajdującego się wokół maski na jakość generowanych wiązek wirowych**. Ogólną wartość pracy i jej potencjał aplikacyjny podnoszą kolejne osiągnięcia wchodzące w jej skład, do których zaliczyć można: (i) skonstruowanie, wykonanie i charakteryzację mikrosondy optycznej bazującej na zaproponowanej masce nVPM umieszczonej na specjalnie przygotowanej końcówce klasycznego światłowodu jednomodowego; (ii) właściwy dobór szkieł tworzących maskę, tak, aby uzyskać jej achromatyczną wersję.

Rozprawa doktorska, napisana w języku angielskim, **składa się** ze streszczenia (zarówno w języku angielskim, jak i w języku polskim), 8 rozdziałów (z pierwszym będącym wprowadzeniem i ostatnim stanowiącym podsumowanie całej pracy), oraz spisu referencji (obejmującego 199 pozycji literaturowych). Ważnym elementem opracowania jest pojawiająca się na stronie vii lista sześciu publikacji oraz ośmiu wystąpień konferencyjnych, stanowiących podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej. **Praca napisana jest bardzo starannie i klarownie**, a jej struktura jest zgodna ze standardami typowymi dla publikacji naukowych. Wszystkie rozdziały (oprócz pierwszego i ostatniego) charakteryzują się taką samą strukturą – tj. rozpoczynają się od skrótowego nakreślenia zawartości danego rozdziału, a następnie, po przedstawieniu właściwej jego treści, zakończone są przedstawieniem



podsumowania i konkluzji. Taka forma, mimo, że może wydawać się obarczona niepotrzebnymi powtórzeniami, z pewnością zwiększa czytelność pracy i ułatwia analizę uzyskanych wyników przez czytelnika.

Jak już wcześniej wspomniano, rozprawa doktorska pani Hue Thi Nguyen adresuje zagadnienia związane z możliwością wytworzenia masek fazowych w formie nanostrukturyzowanych mikrokomponentów, będących w pełni funkcjonalnymi elementami optycznymi (o grubości kilkudziesięciu mikrometrów i płaskich powierzchniach), pozwalających na efektywną generację wirów optycznych. Rozprawa zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych prac koncepcyjnych i analitycznych (związanych z zaprojektowaniem odpowiednich elementów optycznych, wykonanych z właściwie dobranych materiałów w konkretnej konfiguracji geometrycznej), działań związanych z praktycznym wytworzeniem struktur, badań eksperymentalnych służących ich charakteryzacji, jak również weryfikacji postawionych tez i słuszności założeń konstrukcyjnych. Możliwość uzyskania dobrej jakości masek fazowych jest jednym z istotnych tematów badawczych z zakresu generacji i propagacji wiązek wirowych, prowadzonych obecnie w wiodących ośrodkach naukowych na świecie. W związku z tym można bezsprzecznie uznać, że wyniki przedstawione w niniejszej rozprawie mogą mieć istotny wpływ na rozwój badań z zakresu wykorzystania zaproponowanych nanostrukturyzowanych elementów mikrooptycznych w badaniach nad wiązkami wirowymi, w tym przykładowo w przypadku zastosowania układów światłowodowych oraz optofluidycznych.

We wstępie swojej pracy Doktorantka postawiła trzy tezy wskazujące odpowiednio na możliwość: **(i)** uzyskania optycznych wiązek wirowych o różnych ładunkach topologicznych zarówno w powietrzu, jak i w cieczy stosując ten sam nanostrukturyzowany gradientowy element fazowy (o zminimalizowanej niejednorodności profilu natężenia wynikowej wiązki wirowej); **(ii)** wytworzenia światłowodowej mikrosondy z wbudowaną maską fazową (o gradientowym rozkładzie współczynników załamania) umożliwiającą na wydajną konwersję wiązki gaussowskiej w wiązkę wirową; **(iii)** generacji achromatycznych wiązek wirowych stosując maski typu nGRIN wykonane z pary szkieł o właściwie dobranych właściwościach dyspersyjnych. Wszystkie postawione tezy zostały systematycznie zbadane a otrzymane wyniki przedstawione w niniejszej rozprawie i ostatecznie pozytywnie zweryfikowane. Można przyjąć, że zasadnicza treść pracy doktorskiej mgr Hue Thi Nguyen składa się z dwóch odrębnych części. Pierwsza z nich została podzielona na dwa rozdziały (tj. Rozdział 1 i 2), stanowi teoretyczne i merytoryczne



wprowadzenie – obejmując odpowiednio cel i motywację pracy, jak również aktualny przegląd stanu wiedzy w tematyce rozprawy. Druga część pracy, obejmująca kolejno Rozdziały 3-7, zawiera oryginalne wyniki prac badawczych Doktorantki. Jak już wspomniano, całość zamyka podsumowanie zawarte w Rozdziale 8.

W **Rozdziale 1** znajduje się wstęp, w którym oprócz z grubsza nakreślonej motywacji znajdują się wspomniane już trzy tezy niniejszej rozprawy. Dodatkowo, rozdział ten zawiera konspekt pracy, w postaci krótkiej zapowiedzi, co zostanie przedstawione w dalszej jej części. **Rozdział 2** zawiera wstęp teoretyczny, obejmujący wymagane podstawowe pojęcia związane z wirami optycznymi, w tym opis technik służący ich eksperymentalnej detekcji i weryfikacji jakości. Rozdział ten stanowi bardzo dobre wprowadzenie do tematyki doktoratu, zaopatrując czytelnika w wiedzę niezbędną do zapoznania się z typowymi metodami generacji wirów optycznych. Autorka w sposób przystępny wprowadza podstawowe wzory, zagadnienia i pojęcia z omawianego zakresu. Zawarte w nim zostały wszystkie informacje niezbędne do zrozumienia dalszej części rozprawy, jak również przywołane wiele przykładów z aktualnej literatury światowej, dając czytelnikowi szansę na szybkie zapoznanie się z aktualnym stanem wiedzy z danej dziedziny. Doktorantka zadała sobie wiele trudu, aby w uporządkowany sposób pokazać aktualne trendy, w tym również z zakresu praktycznego wykorzystania wiązek wirowych – zwiększając tym samym wartość aplikacyjną swojej pracy i zaproponowanych w niej rozwiązań. Jeśli chodzi o **Rozdział 3**, to służy on wprowadzeniu i szczegółowemu wytłumaczeniu koncepcji, a następnie sposobu praktycznej realizacji gradientowej maski fazowej, służącej do generacji wiązek wirowych. W rozdziale omówiono między innymi podstawowe narzędzia obliczeniowe i optymalizacyjne (tj. wspomnianą już teorię ośrodka efektywnego oraz algorytm typu symulowanego wyżarzania), jak również kryteria doboru odpowiednich materiałów. Szczególną uwagę poświęcono opisowi procesu produkcji, bazującym na zmodyfikowanej metodzie składania i wyciągania (ang. *stack-and-draw technique*) końcowego elementu z odpowiednio stworzonej preformy w zoptymalizowanych warunkach. Jest to o tyle ważne, że Doktorantka uczestniczyła bezpośrednio w wytworzeniu preformy (złożonej z 7 651 prętów szklanych), jak również w wyciąganiu mikrostruktury. W kolejnym rozdziale rozprawy, tj. w **Rozdziale 4**, Doktorantka dokładnie opisuje uzyskane przez nią wyniki symulacji numerycznych przeprowadzonych w celu poprawy jakości generowanych wirów optycznych (służące przede wszystkim ujednoliceniu przestrzennego rozkładu jej natężenia – tj. zlikwidowania tzw. efektu falowodowego). Badania, których wyniki zostały zaprezentowane w niniejszym rozdziale (jak również w publikacji *Opt. Expr.*



28, 21143 (2020)) i służyły potwierdzeniu pierwszej tezy pracy, obejmowały przeprowadzenie symulacji numerycznych z wykorzystaniem opisanej w rozdziale metody propagacji wiązki, wykorzystującej transformatę Fouriera. Pani Nguyen zbadała wpływ różnicy współczynników załamania składowych szkieł, jak również grubości maski fazowej na jakość generowanego wiru optycznego (gdzie determinantą był wprowadzony w niniejszym rozdziale współczynnik jakości Q). Stosowne obliczenia i analizę przeprowadzono również w przypadku wirów optycznych o ładunku topologicznym powyżej 1 (tj. aż do +8 w przypadku jednej z par szkieł). Na podstawie przeprowadzonych analiz, Doktorantka wykazała, że wykorzystując gradientową maskę fazową o odpowiedniej geometrii możliwe jest wygenerowanie wiązek wirowych o wyższych wartościach ładunków topologicznych, co zostało wykorzystane w trakcie dalszych badań, opisanych w kolejnych rozdziałach niniejszej rozprawy. **Rozdział 5** został wprowadzony do rozprawy w celu przedstawienia wyników symulacji numerycznych i badań eksperymentalnych związanych z wykazaniem właściwości optycznych masek fazowych umożliwiających generację wiązek wirowych w przypadku różnych ośrodków otaczających płytkę fazową (powietrze, woda i etanol). Otrzymane wyniki, będące podstawą publikacji *Opt. Comm.* **463**, 125435 (2020), wskazują na brak wpływu zmiany współczynnika załamania otoczenia na generację optycznych wiązek wirowych. Co więcej okazuje się, że płytka fazowa o tej samej strukturze, lecz o większej grubości może zostać z powodzeniem wykorzystana do wytworzenia wiązki wirowej o większej wartości ładunku topologicznego. Bardzo ciekawe wyniki zostały przedstawione w **Rozdziale 6**, opisującym jeden z przykładów praktycznego zastosowania zaproponowanej maski fazowej w układzie światłowodowym, (co pozwoliło na potwierdzenie drugiej tezy niniejszej pracy i zostało przedstawione w *Opt.Comm.* **477**, 126345 (2020)). W szczególności Autorka opisuje w nim wyniki przeprowadzonych symulacji numerycznych, jak również testów eksperymentalnych służących określeniu charakterystyki optycznej zaprojektowanego i wykonanego światłowodowego konwertera pozwalającego na przekształcenie wiązki gaussowskiej (propagującej się w światłowodzie jednomodowym) w wiązkę wirową. Dodatkowe badania zostały przeprowadzone również w odniesieniu do wykazania braku wpływu ośrodka otaczającego dany konwerter. Następny aspekt praktyczny i aplikacyjny pojawia się w kolejnym rozdziale, tj. w **Rozdziale 7**, w którym Autorka udowodniła możliwość uzyskania szerokopasmowego (achromatycznego) generatora optycznych wiązek wirowych, przedstawiając projekt koncepcyjny, jak również wyniki stosownych obliczeń numerycznych (przeprowadzonych z wykorzystaniem



metody BPM). Te ostatnie pozwoliły potwierdzić możliwość konwersji wiązki Gaussowskiej na optyczną wiązkę wirową (o ładunku topologicznym 1) przy użyciu pojedynczej maski fazowej w szerokim zakresie widmowym (ponad 500 nm), co stanowi potwierdzenie trzeciej tezy stawianej w niniejszej pracy. Rozprawę doktorską kończy **Rozdział 8**, w którym znalazło się podsumowanie całej pracy oraz weryfikacja tez rozważanych w niniejszej rozprawie. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autorka nie ograniczyła się jedynie do podsumowania najważniejszych wyników i weryfikacji tez rozprawy, ale poddała pod dyskusję możliwy wpływ uzyskanych przez Nią wyników na rozwój dziedziny. Doktorantka wskazała kolejne aspekty badawcze, które mogą zostać podjęte w ramach rozwinięcia prac opisanych w dysertacji.

Odnosząc się do formy i treści rozprawy, należy stwierdzić, że **praca napisana jest bardzo starannie**, z dbałością o szczegóły. Nie zawiera ona istotnych błędów merytorycznych, czy formalnych. Nie zauważyłam również znaczących błędów językowych (w pracy można znaleźć dosłownie kilka literówek), chociaż trudno nie przywołać w tym miejscu listy własnych publikacji Doktorantki (strona vii), zawierającej wiele pomyłek, jeśli chodzi o nazwiska współautorów. Dużo ważniejsze jest jednak, że **otrzymane wyniki zostały dokładnie opisane i przeanalizowane**, jak również właściwie zilustrowane wykresami, ułatwiającymi zrozumienie przedstawionych wyników i analiz. Ogólnie należy zauważyć, że praca jest starannie zredagowana i wzbogacona w dużą liczbę kolorowych ilustracji.

Jeśli chodzi o niedociągnięcia, jakie znalazłam w pracy, należałoby wskazać na: (i) brak konsekwencji w oznaczeniach przy przejściu między wzorem (2.1) a (2.2); (ii) błędne użycie symbolu ϕ (powinno być θ) w ostatniej linii na stronie 5; (iii) określenie "(z) ... - the beam radius of z" pod wzorem (2.4) nie jest poprawnie zdefiniowane; (iv) parametr/zmienna występująca we wzorze (2.5) nie została nazwana i zdefiniowana; (v) określenie ładunek topologiczny pojawia się dopiero na stronie 7 – powinno zostać wprowadzone trochę wcześniej; (vi) pomyłki w opisie pod wzorem (2.11) – pojawia się "(r)", jak również wektor e_ϕ ; (vii) brak czytelności Rys. 3.4. – co więcej nie daje on więcej informacji niż rysunki przedstawione już wcześniej w niniejszym rozdziale; (viii) sformułowania "*the light would not see the individual rods ...*", "*nice mathematical properties*" pojawiające się odpowiednio na stronie 26 i 27 są kolokwializmami; (ix) brak jawnej definicji parametru f pojawiającego się w ostatnim akapicie na stronie 26, (x) przy okazji ostatniego wzoru na stronie 26 warto byłoby się odnieść co oznaczają poszczególne indeksy dolne przy przenikalnościach elektrycznych (wcześniej wprowadzone jedynie w tekście); (xi) na stronie 31 pojawia się stwierdzenie w odniesieniu do zastosowanych materiałów – "*Firstly, their refractive index contrast*



should be constant for all wavelengths in the considered range." – moje pytanie, czy rzeczywiście taki warunek był spełniony i co więcej czy to rzeczywiście chodzi o stałość Δn dla całego rozważanego zakresu widmowego? (xii) dlaczego w przypadku danych w Tabeli 3.1. zostały one z różną dokładnością (nawet w odniesieniu do tego samego rodzaju szkła)? (xiii) czy w przypadku wykresów umieszczonych na Rys. 3.9 uwzględniono zależność Δn z wykresu z Rys. 3.8b, czy przyjęto jedynie stałą wartość 0.025? (xiv) w tekście na stronie 34 pomyłono numerację rysunków – powinno być 3.10 a nie 3.6; (xv) u dołu strony 34 wykorzystano stwierdzenie "vortex structure" – powinno być raczej "mask structure"; (xvi) na początku Rozdziału 4 doszło do pomyłki w numeracji bibliografii – powinno być [57] a nie [58]; (xvii) we wzorach (4.1) oraz (4.3) nieprawidłowo zapisano drugie pochodne cząstkowe po zmiennych przestrzennych; (xviii) we wzorze (4.11) i bezpośrednio nad nim doszło do przesunięcia oznaczenia uśrednionej wartości współczynnika załamania; (xix) patrząc na wykres przedstawiony na Rys. 4.5 trudno zgodzić się z założeniem, że w przypadku szkieł UP kontrast ich współczynników załamania pozostaje stały w zakresie światła widzialnego; (xx) dlaczego wszystkie pary szkieł przedstawiane na stronach 42–43 nie zostały opisane i omówione we wcześniejszej części pracy – np. na stronie 32; (xxi) nie bardzo rozumiem czemu ma służyć analiza przypadku przedstawionego na Rys. 4.7 – czy Doktorantka mogłaby wskazać taką parę szkieł, w których uzyskałoby się tak duży kontrast współczynników załamania; (xxii) przy okazji omawiania wyników przedstawionych w podrozdziale 5.2 pojawia się informacja, że do obliczeń wykorzystano wiązkę o średnicy $18\mu\text{m}$ – pojawia się zatem pytanie, czy w przypadku wcześniej omawianych symulacji numerycznych brano pod uwagę wiązkę/wiązki o konkretnej szerokości; (xxiii) w przypadku schematów przedstawionych na Rys. 5.10 nie opisano konkretnych przypadków (a) i (b); (xxiv) w przypadku wykresów przedstawionych na Rys. 5.11, 5.13, 5.14, 5.15 warto byłoby wskazać miejsca na zdjęciach wiązek wirowych, w których wzięto przedstawione przekroje. Warto by było również przedstawić zastosowaną definicję współczynnika kontrastu dla wiązki wirowej "intensity contrast ratio of the vortex"; (xxv) omawiając wyniki uzyskane w przypadku zastosowania cieczy warto byłoby wspomnieć jaka była szerokość kuwety (czy maska przylegała do ściany kuwety) i jaka była grubość jej szklanych ścianek; (xxvi) dlaczego badania w wiązkami wirowymi wyższego rzędu opisywane pod koniec podrozdziału 5.3 nie zostały przeprowadzone z wykorzystaniem cieczy? (xxvii) wynik dotyczący dłuższej przekątnej struktury – w dolnej części strony 65 został zapisany w złej notacji; (xxviii) zastanawiające jest, czy przyjęcie kroku propagacyjnego $\Delta z = 1\mu\text{m}$ w przypadku symulacji numerycznych omawianych w podrozdziale 6.2 było właściwe



– czy sprawdzono wynik symulacji w przypadku zastosowania mniejszej wartości? (xxix) w przypadku wyników przedstawionych na Rys. 6.8–6.10 można byłoby zastanowić się nad przedstawieniem wejściowego profilu wiązki; (xxx) Rys. 6.9 najprawdopodobniej nie został opisany prawidłowo – znajdują się na nim 4 kolumny rysunków, natomiast w opisie jest odniesienie do 3 grubości przejściówek; (xxxi) zastanawiające jest połączenie punktów przedstawionych na wykresie na Rys. 6.17 – czy oznacza to, że znana jest zależność między odległością przesunięcia a promieniem zgięcia całym zakresie przedstawionych danych – czy tylko w miejscach oznaczonych punktami na wykresie? Przy okazji przeprowadzonych symulacji nie pojawia się informacja na temat długości fali; (xxxii) czy w odniesieniu do stwierdzenia podanego na początku podrozdziału 7.2.1 można rzeczywiście przyjąć, że $\Delta n(\lambda)$ jest niemalże stałe w całym rozpatrywanym zakresie fal ale co więcej, czy przypadkiem nie jest jednak tak, że należałoby rozpatrywać stałość wartości wyrażenia $\Delta n(\lambda)/\lambda$ i to ono powinno być wykreslane na dalszych wykresach? (xxxiii) nad Rys. 7.11 pojawia się "and"; (xxxiv) wydaje się, że Rys. 7.13 mógłby zyskać na czytelności, gdyby kolumny z wykresami zostały posortowane według długości fali.

Dodatkowo pewien niedosyt budzi brak wyraźnego zaznaczenia w treści rozprawy, które z wyników przedstawionych w rozprawie stanowią osobisty wkład Dyplomantki w przeprowadzone badania (takie stwierdzenia pojawiają się jedynie we wprowadzeniu zawartym w podrozdziale 1.2). Niezrozumiały jest również dla mnie brak konsekwencji, jeśli chodzi o rozważane długości fali. Analiza przedstawiona w poszczególnych rozdziałach jest przekonująca, ale nie wiadomo, dlaczego obliczenia zostały przeprowadzone dla długości fali 633 nm w Rozdziałach 3, 5 i 6 oraz dla długości fali 1550 nm w Rozdziale 4.

Podsumowując tę część recenzji należy zaznaczyć, że powyższe uwagi, stanowiące zgodnie z subiektywną oceną recenzentki słabsze elementy rozprawy, nie podważają bardzo wysokiej oceny rozprawy doktorskiej i oryginalnych osiągnięć Doktorantki.

Recenzowaną pracę należy ocenić, jako wartościową mając na uwadze, że wyniki zawarte w składających się na nią publikacjach (stanowiących oryginalne rozwiązanie problemów naukowych) zostały opublikowane w renomowanych czasopismach recenzowanych ($3 \times \text{Opt. Expr.}$, $2 \times \text{Opt. Comm.}$ oraz $1 \times \text{Opt. Lasers Eng.}$). Pani mgr Hue Thi Nguyen jest w nich pierwszym lub drugim autorem, co świadczy w znaczącej roli, jaką pełniła w przeprowadzonych badaniach.



Forma rozprawy (w sensie wydrukowanego dzieła), rozumianej, jako osobne, spójne wewnętrznie opracowanie, jest bardzo dobra. Praca scala w sposób bardzo przejrzysty i systematyczny otrzymane wyniki obliczeń numerycznych z wynikami badań eksperymentalnych, wyraźnie potwierdzając stawiane na początku tezy.

Należy stwierdzić, że **rozprawa doktorska Pani mgr Hue Thi Nguyen stanowi niezaprzeczalny wkład Doktorantki w rozwój tematyki związanej z efektywną generacją wiązek wirowych. Praca zawiera szereg wartościowych i ciekawych wyników** analiz i badań eksperymentalnych dotyczących aspektów ważnych z punktu widzenia współczesnej optyki. Można założyć, że prowadzone przez Dyplomantkę prace będą kontynuowane a uzyskane wyniki znajdą grono potencjalnych odbiorców i z uwagi na wysoki aspekt aplikacyjny prac).

Dorobek naukowy Doktorantki dobrze świadczy o jej zaangażowaniu w prace naukowe i może wskazywać na umiejętność samodzielnego ich prowadzenia. Na uwagę zasługuje dorobek poza tematyką samej rozprawy – w tym wartościowe publikacje w pobocznej tematyce związanej z światłowodami fotonicznymi i mikrostrukturalnymi.

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa doktorska pani mgr Hue Thi Nguyen jest dziełem wartościowym a uzyskane wyniki stanowią zauważalny wkład w rozwój współczesnej optyki i fotoniki. Praca zawiera nowe, wartościowe wyniki (łącznie rozważania teoretyczne, aspekty technologiczne i badania eksperymentalne) dotyczące możliwości generacji wirów optycznych. Otrzymane wyniki mają dużą wartość poznawczą i aplikacyjną z zakresu generacji i wykorzystania wiązek wirowych. Mają również bardzo duży potencjał praktyczny i aplikacyjny. Praca stanowi niewątpliwie bardzo ważny wkład do aktualnych badań światowych. Otrzymane wyniki są nie tylko oryginalne, ale wykraczają znacznie poza zakres dotychczasowej wiedzy i stosowanych do tej pory rozwiązań.

Stwierdzam jednocześnie, że praca doktorska jak i dorobek naukowy jej Autorki spełniają warunki ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, stąd wnoszę o dopuszczenie pani mgr Hue Thi Nguyen przez Radę Naukową Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Dodatkowo, mając na uwadze bardzo aktualną tematykę pracy i jej złożoność, jak również znaczący potencjał aplikacyjny, **wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr Hue Thi Nguyen.** W szczególności na wyróżnienie zasługują



oryginalne prace badawcze związane z nowym podejściem do efektywnej generacji wiązek wirowych. Doktorantka zaprojektowała i wykonała odpowiednie maski fazowe, badając następnie ich właściwości optyczne w warunkach eksperymentalnych. Ponadto wykazała możliwość wykorzystania zaproponowanego rozwiązania w przykładowym układzie światłowodowym, co jest jedynie małym fragmentem, jeśli chodzi o potencjalne zastosowania. Można zatem stwierdzić, że wyniki prac prowadzonych przez Doktorantkę mogą stanowić istotny wkład w rozwój nowych technik telekomunikacyjnych, ale nie tylko, o dużym potencjale wdrożeniowym.

Katarzyna A. Rutkowska