

Warszawa, 14.02.2017 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marzeny Prętkiej pt. „Polaryometr fourierowski o wysokiej czułości do pomiarów małych zmian dwójłomności liniowej”.**

Omawiana praca dotyczy nowego układu optycznego wykorzystującego zjawiska polaryzacji i interferencji światła do precyzyjnego pomiaru małych zmian dwójłomności ośrodków anizotropowych. Doktorat składa się z siedmiu rozdziałów oraz bibliografii liczącej 84 pozycje. Pierwszą część stanowi wstęp prezentujący krótki rys historyczny na temat dwójłomności optycznej oraz jej najważniejszych zastosowań. W rozdziale drugim podano podstawowe pojęcia i definicje związane ze zjawiskiem dwójłomności. Dalej autorka przedstawia wiele różnych metod pomiaru ośrodków dwójłomnych. Dotyczą one układów opisanych w 28 pozycjach literaturowych. Metody te pozwalają na realizację różnorodnych pomiarów nie tylko dwójłomności, ale również innych parametrów i wielkości jak np.: kąty azymutu, kąty eliptyczności, składowe wektorów Stokesa, osie własne, współczynniki transmisji fal własnych. Część druga kończy się rozważaniami na temat fazy geometrycznej.

Najważniejszą partię doktoratu stanowią rozdziały trzeci i czwarty. Część trzecia opisuje polaryometr do pomiarów dwójłomności i dyskutuje jego właściwości. Układ składa się z takich elementów jak polaryzator, kompensator Wollastona, ciekłokrystaliczny modulator (przesuwnik fazy), badana próbka ośrodka dwójłomnego, ćwierćfalówka, analizator oraz kamera CCD. Na wyjściu polarymetru tworzy się pole prążkowe, które przesuwają się wraz ze zmianą różnicy faz między szybką i wolną falą próbki. Odpowiednie zjustowanie urządzenia pozwala uzyskać znaczną translację prążków nawet przy małych zmianach dwójłomności. Umożliwia to osiągnięcie bardzo wysokiej czułości pomiaru zmian dwójłomności kosztem ograniczonego zakresu pomiarowego i małego kontrastu prążków interferencyjnych. Autorka dyskutuje powyższe parametry i związki między nimi. Dalej opisane jest justowanie polarymetru oraz charakterystyka pola prążkowego przy pomocy transformaty Fouriera. W rozdziale czwartym przeanalizowano numerycznie wpływ

jakości elementów układu oraz ich wzajemnego zjustowania na pomiary. Zgodnie z przeprowadzonymi symulacjami istotne jest odpowiednie ustawienie azymutalne dwójłomnych próbek oraz jakość i orientacja ćwierćfalówki. Posłużono się też bardziej ogólnym wzorem teoretycznym (4.1), pozwalającym dopasować wyliczone krzywe fazy geometrycznej do wyników eksperymentalnych. W części czwartej również przedyskutowano niedokładności pomiarowe wynikające m.in. z następujących czynników: błędy charakterystyki pola prążkowego spowodowane szumami, słaby kontrast prążków, niedokładne wyznaczenie transformaty Fouriera, ograniczenia kamery CCD.

Rozdziały piąty i szósty analizują bardziej ambitne zagadnienie dotyczące pomiarów rozkładów przestrzennych małych zmian dwójłomności. Niestety wyników symulacji numerycznych dla układu z Rys. 3.1 nie udało się potwierdzić doświadczalnie. Z tego względu autorka podjęła próbę modyfikacji polarymetru proponując wzajemne przestawienie elementów i oświetlenie części z nich wąską wiązką laserową. W jednej z zaproponowanych aranżacji udało się zaobserwować przewidywany rozkład przestrzenny dwójłomności, co zdaniem doktorantki może zachęcać do dalszych prac w kierunku ulepszenia układu pomiarowego. Rozprawę kończy rozdział siódmy w postaci podsumowania.

Po przeczytaniu rozprawy nasuwają się dwa wnioski. Pierwszy jest taki, że autorka posiada znaczną wiedzę z zakresu optyki stosowanej, obejmującą m.in. optykę ośrodków anizotropowych, polaryzację światła, analizę fourierowską interferogramów. Potrafi zastosować tą wiedzę do opisu analitycznego oraz przeprowadzenia symulacji numerycznych i doświadczeń. Dodatkowym potwierdzeniem kwalifikacji doktorantki jest jej dorobek naukowy składający się z 4 artykułów w czasopismach z listy JCR oraz 3 innych recenzowanych publikacji naukowych. Drugi wniosek jest mniej optymistyczny. Tematykę swoich badań można przedstawić w sposób przyjazny i ciekawy zgodnie z maksymą „patrzcie jakie to proste i interesujące” lub w sposób zagmatwany i trudno przyswajalny według reguły „patrzcie jakie to mądre i trudne”. Niestety autorka przyjęła tą drugą opcję. Praca zawiera nadmiarowe, zbędne informacje natomiast ważne partie rozprawy posiadają luki lub są przekazane w mało jasny sposób. Z tego powodu rozprawa traci na przejrzystości i jej odpowiednie przyswojenie wymaga wiele wysiłku, szczególnie od

czytelników nie specjalizujących się w zagadnieniach polarymetrii, do których się zalicza niżej podpisany recenzent. Powyższe zarzuty są dokładniej sprecyzowane w niektórych uwagach krytycznych, które przedstawiam poniżej:

- 1) Nie bardzo wiem do czego ma służyć rozdział pierwszy w postaci wstępu. Są to ogólne informacje luźno związane z doktoratem. We wstępie czytelnik oczekuje z reguły zwartej charakterystyki pracy, ale bardziej rozwiniętej niż streszczenie – opisu układu rozprawy, sformułowania jej celu, możliwych zastosowań praktycznych oraz tezy, którą się chce udowodnić. Tymczasem teza pojawia się pod streszczeniem oderwana od kontekstu doktoratu. O zastosowaniach praktycznych polarymetru nie ma wyraźnie wyodrębnionej informacji nie tylko we wstępie, ale i w całej pracy.
- 2) Podrozdział 2.2 opisuje pomiary różnorodnych właściwości ośrodków dwójłomnych. Charakteryzowanych metod jest bardzo dużo i są one prezentowane w oderwaniu od tematyki pracy. Nie bardzo wiadomo, które z nich są powiązane z układem pomiarowym doktorantki i są ważne dla zrozumienia jego zalet. Ponadto tekstowy opis na ponad 5 stronach bez poglądowej ilustracji fizyki zjawisk, jakichkolwiek rysunków i schematów prawie uniemożliwia sensowne przyswojenie tego materiału.
- 3) Podrozdział 2.3 w całości jest poświęcony fazie geometrycznej i w ogóle nic nie wnosi do zrozumienia pracy, gdzie tego rodzaju parametr pojawia się w sposób naturalny we wzorze (3.3) jako wynik klasycznego podejścia wyrażonego równaniem (3.1).
- 4) Układ pokazany na Rys. 3.1 jest kluczowy dla całej rozprawy. Jego szkic i omówienie wydają się bardzo zdawkowe. Brakuje schematu oświetlenia oraz modulatora ciekłokrystalicznego ważnego z punktu widzenia przeprowadzonych doświadczeń. Nigdzie w pracy nie zilustrowano ani nie opisano działania takiego przesuwnika fazy. Dopiero przy końcu rozprawy na podstawie Rys. 6.1 można zorientować się, że układ powinien być oświetlony falą płaską a modulator umieszczony w sąsiedztwie badanej próbki anizotropowej.
- 5) Uzyskany efekt wysokiej czułości pomiaru zmian dwójłomności, lepszej około 1000 razy od osiągniętych w klasycznych polarymetrach jest

intrygujący i zasługuje na fizyczne wyjaśnienie. Brakuje wnikliwej analizy powstawania pola prążkowego oraz jego znacznego przesunięcia nawet przy znikomych zmianach dwójłomności badanej próbki. Opis teoretyczny nie wnika w fizykę zjawiska i opiera się na „suchych” rachunkach przy pomocy macierzy Mullera, prowadzących do wzorów (3.2)-(3.5).

- 6) Nie jest dla mnie dostatecznie zrozumiałe powiązanie wzorów (3.2)-(3.5) z wykresami pokazanymi na Rys. 3.2. W szczególności budzi wątpliwość czarna krzywa pokazana na Rys. 3.2 c, gdzie  $\cos 2\alpha_s = \cos(90,4^\circ) < 0$ . Porównując równania (3.2) i (3.3) można określić kąt  $\varphi_G$  z dokładnością do wielokrotności kąta pełnego. Uzyskuje się następujące wyniki:

$$\sin(\varphi_G) = \frac{-\cos 2\alpha_s \sin \gamma_s}{\sqrt{\cos^2 2\alpha_s \sin^2 \gamma_s + \cos^2 \gamma_s}},$$

$$\cos(\varphi_G) = \frac{-\cos \gamma_s}{\sqrt{\cos^2 2\alpha_s \sin^2 \gamma_s + \cos^2 \gamma_s}},$$

$$\frac{d\varphi_G}{d\gamma_s} = \frac{\cos 2\alpha_s}{\cos^2 2\alpha_s \sin^2 \gamma_s + \cos^2 \gamma_s}.$$

Ostatnie równanie prowadzi do funkcji malejącej  $\varphi_G(\gamma_s)$ , która przy ograniczeniu się do przedziału kąтового  $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$  przybiera następujące wartości:  $\varphi_G(0^\circ) = 180^\circ$ ,  $\varphi_G(90^\circ) = 90^\circ$ ,  $\varphi_G(180^\circ) = 0^\circ$ . Odmienna monotoniczność i wartości funkcji  $\varphi_G(\gamma_s)$  na Rys. 3.2 c mogą zastanawiać, biorąc pod uwagę, iż jest to ilustracja ścisłego podejścia analitycznego. Szczęśliwie taka prezentacja nie wpływa na ogólne wyniki rozprawy, gdyż najważniejsze są tutaj wartości bezwzględne przyrostów  $\varphi_G$ .

- 7) Zaproponowana aranżacja polarymetru pokazana na Rys. 3.1 stanowi istotną wartość prezentowanego materiału. Autorka nie informuje jednoznacznie czy była jednym z pomysłodawców tego układu czy jedynie jej wkład sprowadza się do jego wnikliwej charakterystyki. Moje

wątpliwości wynikają z faktu, że w pierwszej publikacji z roku 2012 (Ref.[39]) opisującej polarymetr doktorantka nie występuje jako współautor. Jej nazwisko pojawia się dopiero w niecytowanym w pracy artykule, opublikowanym w 2014 r. w materiałach konferencyjnych SPIE (Zdunek Marzena, Woźniak Władysław, Borwińska Monika, Kurzynowski Piotr: „Performance of a new high sensitivity polarimeter”) oraz w publikacji zamieszczonej w ubiegłym roku w *Applied Optics* (Ref. [41]).

- 8) Nie bardzo wiadomo na jakiej podstawie wyprowadzono przybliżony wzór (4.1). Uzasadnienie teoretyczne jest o tyle istotne, że w dalszej części pracy autorka wykorzystuje ten wynik przedstawiając rezultaty pomiarów, np. na Rys. 4.29.
- 9) W podrozdziale 4.3.2 doktorantka prezentuje pomiar różnicy faz wprowadzanej przez ćwierćfalówkę, stwierdzając, że nie da się zweryfikować słuszności pomiarów, gdyż element płytki nie został dokładnie scharakteryzowany. Jeżeli tak, to liczbowa wartość pomiaru jest bezwartościowa. Tutaj nasuwa się ogólniejsza wątpliwość – jak brak możliwości charakteryzacji ćwierćfalówki ma się do wcześniejszego spostrzeżenia, iż jej wysoka jakość jest ważna do prawidłowego funkcjonowania polaryskopu.
- 10) Moja ostatnia uwaga ma związek z pierwszą dotyczącą wstępu. Rozprawa opisuje pomiary zmian dwójłomności o bardzo wysokiej czułości, dużo lepszej od dotychczas osiągniętych. Czytelnikowi od razu nasuwają się potencjalne zastosowania prezentowanego polarymetru, być może prowadzące do układów pomiarowych o aplikacjach komercyjnych. Przychodzą na myśl skojarzenia z czujnikami optycznymi parametrów wpływających na zmiany dwójłomności (czujniki naprężenia, ciśnienia, temperatury itp.). Tymczasem w pracy jakiegokolwiek sensowne zastosowania nie są w ogóle dyskutowane. Przeprowadzone doświadczenia sprowadzają się do pomiarów i tak znanych zmian dwójłomności modulatora ciekłokrystalicznego lub pomiarów dwójłomności ćwierćfalówki, które nie mogą zostać zweryfikowane.

Pomimo powyższych uwag krytycznych uważam, że recenzowana praca doktorska stanowi istotną wartość w obszarze optyki stosowanej. Autorka teoretycznie i doświadczalnie scharakteryzowała oryginalny układ polarymetryczny do pomiaru małych zmian dwójłomności. Zaprezentowała szeroką wiedzę z zakresu optyki stosowanej i analizy fourierowskiej. Najważniejsze części rozprawy zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych SPIE oraz w czasopiśmie *Applied Optics* Amerykańskiego Towarzystwa Optycznego, wysoko cenionym w środowisku naukowym optyków. **Z tego względu uważam, że praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie pani mgr inż. Marzeny Prętkiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**



prof. dr hab. inż. Andrzej Kołodziejczyk

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
WYDZIAŁ FIZYKI  
00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75  
tel.: (022) 629 61 24, 234 72 67, fax (022) 628 21 71  
-2-