

Prof. Zbigniew Kłos

Recenzja rozprawy doktorskiej

„Opracowanie metodologii analizy amplitudowo-fazowej interferogramów kompleksowych i jej zastosowanie do pomiaru spontanicznych pól magnetycznych w plazmie laserowej na eksperymencie PALS”

Autorstwa mgr inż. Agnieszki Zaraś-Szydłowskiej

Diagnozowanie pola magnetycznego powstającego w plazmie indukowanej laserowo i jego wpływu na procesy w plazmie takie jak transport energii i absorpcja stanowią ważne ale i trudne badanie. Dokładne określenie przestrzennego rozkładu tego pola i jego ewolucji w czasie uważa się za konieczną wiedzę dla poznania mechanizmów jego generacji. Powszechną techniką używaną w tym diagnozowaniu jest określenie kąta skręcenia płaszczyzny fali w efekcie rotacji Faradaya. Polarymetria pozwala mapować pole w obszarze plazmy korony gdzie pole to znacznie może modyfikować transport energii nadtermicznymi elektronami. Jednakże dodatkowo konieczna jest znajomość przestrzennego rozkładu gęstości plazmy. Tak więc oprócz polarymetrii konieczne jest jednoczesne użycie interferometrii.

Te dwie techniki stosowano we wcześniejszych badaniach jednocześnie używając dwóch niezależnych systemów pomiarowych ale ich zsynchronizowanie utrudniało osiągnięcie koniecznych dokładności. Doprowadziło to do techniki, w której informacje o rozkładzie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji i koncentracji elektronowej uzyskuje się na podstawie analizy amplitudowo-fazowej jednego i tego samego interferogramu nazwanego kompleksowym. Dla analizy interferogramu kompleksowego odpowiednie algorytmy przedstawione były już pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku.

Autorka przedstawionej pracy doktorskiej wyraża zdziwienie, że od tego czasu nikt nie przedstawił użytecznego oprogramowania wykorzystywanego dla potrzeb operacyjnej tej diagnostyki.

Opracowanie takiego oprogramowania i wykorzystanie go dla interpretacji do interpretacji interferogramów kompleksowych pozyskanych na układzie plazmy laserowej PALS w Czeskiej Pradze dla interpretacji spontanicznych pól magnetycznych stanowi główny trzon pracy.

Tak więc w tej 7-mio rozdziałowej pracy zawierającej 84 cytacje literaturowe i 64 ilustracje, we wstępie stanowiącej rozdział I autorka krótko omawia możliwe mechanizmy generacji spontanicznych pól magnetycznych w plazmie laserowej i ich rolę w realizacji konfiguracji fuzji inercyjnej czy symulacji zjawisk w plazmie astrofizycznej. Przedstawia to czytelnie

Uwagi odnośnie merytorycznej zawartości pracy

W Rozdz.2 przedstawiony jest stan wiedzy w zakresie polarymetrii, interferometrii plazmowej oraz interferometrii kompleksowej przytaczając znane wzory z zakresu magnetoptyki i ich uproszczenia. Przede wszystkim skupiając się na stosowanych rozwiązaniach równania Abela w przypadku magnetoptycznego efektu Faraday'a w plazmie. Dyskutuje również wpływ niejednorodności intensywności wiązki diagnostycznej w przekroju poprzecznym. Powodować to może trudności odczytu wartości kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Dlatego też w przeprowadzanych eksperymentach stosowana jest rejestracja polarogramu referencyjnego bez obecności plazmy. Analizuje autorka również metodykę poszukiwania funkcji rozwiązań równania Abela argumentując, że zastosowanie szybkiej transformaty Fouriera(FFT) daje efektywny sposób rekonstrukcji abelizowanej funkcji rozwiązania rozkładu fazy.

Eksperymenty zrealizowane na układzie PALS, gdzie 1-harmoniczną lasera jodowego o energii 250J w impulsie o szerokości 350ps z płaskimi tarczami masywnymi z Cu oraz plastiku pokazały, że jest różnica w ekspansji plazmy i generacji SPM w tych dwóch przypadkach. SPM generowane z tarcz CU skoncentrowane są wzdłuż osi symetrii i mają nieco większą amplitudę zaś z tarcz plastikowych są szersze i podobne do efektu fontanny. Zrealizowanie tego typu pomiarów metodą interferometrii kompleksowej jest dużym wyzwaniem.

W rozdziale 3 autorka przywołuje tezę pracy tj. pomiarów metodą interferometrii kompleksowej spontanicznych pól magnetycznych

generowanych w układzie plazmy inercyjnej wytwarzanej na systemie PALS. Badania te objęły:

1. Opracowanie metody amplitudowo-fazowej analizy interferogramów kompleksowych
2. Zastosowanie tej metody do badania SPM generowanych przy oddziaływaniu lasera jodowego z tarczami o różnej liczbie atomowej
3. Pomiarów SPM w oddziaływaniu z tarczami o konstrukcji ślimakowej

Rozdział ten w zasadzie powtarza wiedzę zawarta w rozdziałach wcześniejszych ale edycyjnie nie przeszkadza taka konfiguracja

Rozdział 4 zawarty jest główny dorobek autorki przytoczony jest algorytm M. Kalała dla interferometrii kompleksowej. Korzystając z faktu, że wiązka diagnostyczna lasera Ti:Sa o profilu czasowym zbliżonym do gaussowskiego i czasie trwania 40 fs zapewnia prawie stałe przesunięcie fazowe pozwala na przyjęcie warunków jak dla obiektu niezmienniczego pod względem amplitudy i fazy. Przy tym założeniu autorka opracowuje oprogramowanie. Na pochwałę zasługuje staranność z jaką autorka testuje opracowane oprogramowanie do amplitudowo fazowej analizy interferogramów kompleksowych. Opracowane oprogramowanie w zadawalający sposób odtwarza funkcje testowe, a błąd względny odtwarzania wartości fazy i amplitudy wynosi odpowiednio 7% i 1,4%. Autorka stworzyła skuteczne narzędzie do analizy zarówno fazy jak i kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji.

Ciekawych wyników dostarcza Rozdz.5. gdzie autorka diagnozuje spontaniczne pola magnetyczne w plazmie laserowej wytwarzanej z płaskich tarcz o różnej liczbie atomowej. Autorka odnosi te pomiary do wyników uzyskanych za pomocą klasycznej polaro-interferometrii, gdzie stwierdzono wpływ charakteru ekspansji plazmy ablacyjnej na rozkłady SPM. Tu stwierdzono:

- Płaską osiową ekspansję wymuszona plazma ciężką oraz
- Sferyczną ekspansję szybkiej składowej w przypadku tarcz plastikowych.

Przy użyciu nowej metodyki wykazano również wpływ osiowej i sferycznej ekspansji na rozkład gęstości prądu jak i prąd całkowity związany z przepływem elektronów w kierunku od jak i do tarczy, rozkłady energii elektronów czy energie lasera zdeponowaną w polu magnetycznym.

Analizę przeprowadzono w trzech fazach trwania impulsu lasera jodowego generującego plazmę na układzie PALS. Wynik analizy interferogramów

kompleksowych jednoznacznie pokazał azymutalną geometrię pola magnetycznego w badanej plazmie. Wyraźnie też ujawnia się różnica w efekcie Faradaya jak i rozkładu fazy dla tarcz Cu jak i plastikowych. Te różnice w ekspansji z tarcz Cu oraz plastiku mają wpływ na rozkład SPM a w rezultacie i na rozkład gęstości prądu. Autorka prezentuje różne konfiguracje SPM w różnych chwilach ekspansji plazmy.

W oparciu o uzyskane rozkłady SPM autorka obliczyła rozkłady gęstości prądu w charakterystycznych fazach ekspansji plazmy ablacyjnej. Otrzymane przestrzenne rozkłady prądu sugerują, że prąd odpowiedzialny za generację SPM jest formowany przez szybkie elektrony generowane przez bezzderzeniowe mechanizmy absorpcji promieniowania laserowego, zdaniem autorki jest to mechanizm rezonansowej absorpcji promieniowania laserowego. **Czy może to być mechanizm efektywny?**

Autorka szacuje, że największa całkowita energia SPM jest deponowana w końcowej fazie oddziaływania impulsu lasera z kreowaną przez niego plazmą i wynosi w chwili $t=245\text{ps}$ $E=0.115\text{ J}$ co stanowi mniej niż 1% energii impulsu laserowego oświetlającego tarczę. Interesujące też są szacunki, że maksymalne energie elektronów mogą osiągać wartości powyżej 1MeV

Ostatecznie więc interferometria kompleksowa jakkolwiek potwierdziła w dużej mierze wyniki uzyskane polarno- interferometrią klasyczną to jednak dokładności jakie oferuje są o wiele lepsze. Pozwoliła również lepiej powiązać struktury SPM z prądem „direct” i ekspansją plazmy i rozkładami energii szybkich elektronów.

W Rozd.6 stanowi nieco odmienną klasę zagadnień i wiąże się z wytwarzaniem plazmy namagnesowanej metodą oddziaływania lasera z tarczami o specyficznej ślimakowej konstrukcji. Opracowana interferometria kompleksowa umożliwiła pomiar pól magnetycznych w reżimie wielokadrowym.

Autorka omawia technikę wytwarzania plazmy z oddziaływania z tarczą ślimakową a następnie przedstawia prezentuje uzyskane interferogramy kompleksowe w różnych sekwencjach ekspansji impulsu laserowego. Wyniki te w połączeniu z wynikami uzyskanymi z innych diagnostyk (elektronowych i jonowych) pokazują jednoznacznie efektywność generacji plazmy ablacyjnej przy pomocy tego typu tarcz

Ogólne uwagi odnośnie Pracy

Praca jest napisana wyjątkowo starannie. Jakkolwiek autorka nie prezentuje żadnej samodzielnej publikacji to jednak jej znajomość detali stosowanej diagnostyki wskazuje, że w ramach zespołów, w których pozyskiwała wyniki jej rola była niezmiernie istotna. Opracowane przez nią narzędzie programistyczne stanowi moim zdaniem istotny przyczynek w zakresie diagnostyki interferometrycznej plazmy w kontekście ponad 30 lat od sformułowania algorytmu dla tego zagadnienia.

Z zauważonych błędów tekstowych zauważyłem jedynie zachowanie czasu w wyrażeniu przesunięcia fazowego równania 4.5

Przykład Rozdziału 7 pokazuje niezwykle użyteczność wypracowanego przez autorkę narzędzia.

Oceniam prace bardzo dobrze i wnioskuję o dopuszczenie autorki do dalszych etapów procedury

Proponuje również wyróżnienie pracy.



Zbigniew Kłós