

Dr hab. Marek Scholz
Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
marek.scholz@ifj.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Dobromiła Załogi,
pt. "Badania emisji promieniowania widzialnego i rentgenowskiego oraz oceny
temperatury elektronowej w wyładowaniach typu Plasma-Focus"

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Dobromiła Załogi została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych.

Wstęp

Rozprawa doktorska została wykonana pod kierunkiem prof. dr. hab. Marka J. Sadowskiego w Narodowym Centrum Badań Jądrowych. Promotorem pomocniczym pracy była dr Elżbieta Składnik-Sadowska

Rozprawa dotyczy eksperymentalnych metod analizy emisji promieniowania widzialnego i miękkiego promieniowania X z kolumny plazmowej układu Plasma-Focus, która jest także źródłem szybkich jonów, elektronów oraz jeśli gazem roboczym jest deuter, neutronów, protonów i innych produktów reakcji syntezy jądrowej deuter-deuter. Autor oparł swoje badania na urządzeniach generujących tego typu wyładowania, znane pod nazwą PF-360 pracującym w NCBJ oraz PF-1000 - w IFPiLM.

Praca składa się z 7 rozdziałów, spisu literatury oraz jest uzupełniona o streszczenie w języku polskim i angielskim. Praca liczy sumarycznie 98 stron.

W Rozdziale 1, stanowiącym wprowadzenie do omawianych zagadnień, Autor na początku przedstawia układ Plasma-Focus na tle innych układów termojądrowych związanych z magnetycznym i inercyjnym utrzymaniem plazmy. W dalszej części omawia charakterystykę układów Plasma-Focus opisując kolejne fazy wyładowania, tworzenia się tzw. ogniska plazmowego, jego ewolucji i końcowego rozpadu. Autor wyjaśnia, jakie zjawiska fizyczne powodują emisję promieniowania rentgenowskiego i widzialnego, wiązek szybkich jonów, elektronów oraz produktów reakcji syntezy deuter-deuter ze szczególnym uwzględnieniem prędkich neutronów i protonów. Wymienione są tutaj także, krótkie opisy układów diagnostycznych stosowanych do rejestracji tej emisji.

Takie wprowadzenie dobrze pokazuje tło prowadzenia eksperymentów opartych na pomiarach promieniowania widzialnego i rentgenowskiego. W Rozdziale 2 podsumowano wyniki badań prowadzonych na układach Plasma-Focus koncentrując się głównie na układach PF-360 i PF-1000, zrealizowanych w latach poprzedzających pracę doktorską Autora i przed ich modyfikacją.

Na podstawie podsumowania tych danych eksperymentalnych Autor uznał, iż istnieje uzasadniona potrzeba kontynuowania badań charakterystyk eksploatacyjnych i emisyjnych na zmodyfikowanych układach PF-360 i PF-1000U.

Podsumowując Autor ocenił, że dane eksperymentalne dotyczące w szczególności formowania się włókien plazmowo-prądowych („filaments”) i mikrostruktur plazmowych typu „hot-spot”, nie wyjaśniają jednoznacznie przyczyn i charakteru formowania się takich struktur w kolumnie plazmowej układu PF. Oceniał również, że aktualnie dostępna, nowoczesna aparatura pomiarowa oraz przeprowadzenie zaproponowanych przez niego analiz pozwoli na lepsze zrozumienie ich formowania.

Te analizy i oceny doprowadziły Autora do sformułowania głównej tezy pracy i zakresu zadań badawczych niezbędnych dla jej potwierdzenia, które zawarł w Rozdziale 3.

Realizacja zaproponowanych zadań badawczych przedstawiona jest w kolejnych rozdziałach, na które składają się: opis układów eksperymentalnych, przy użyciu których Autor prowadził badania (Rozdział 4) oraz opis aparatury pomiarowej, metod i urządzeń diagnostycznych wykorzystywanych do pomiarów (Rozdział 5).

Najistotniejsze z punktu widzenia pracy są Rozdziały 6 i 7. W Rozdziale 6 Doktorant przedstawił opis realizacji eksperymentów ze swoim udziałem, otrzymane wyniki oraz dokonał ich analizy. Podsumowanie i końcowe wnioski zostały przedstawione przez Doktoranta w Rozdziale 7.

Praca zawiera także spis literatury przedmiotu zawierający 151 pozycji. Dziesięć prac jest współautorstwa Doktoranta. Zostały one opublikowane w latach 2014-2016 w recenzowanych czasopismach i zawierają wybrane opisy badań zawartych w omawianej rozprawie.

Teza pracy i jej potwierdzenie

Pan mgr Dobromir Załoga sformułował następującą tezę swojej rozprawy doktorskiej:

„Formowanie różnych mikrostruktur wewnątrz kolumny gęstej i gorącej plazmy w wyładowaniach typu PF zależy silnie od warunków eksperymentalnych, a zwłaszcza warunków gazowych. Przy zachowaniu takich samych warunków eksperymentalnych mikrostruktury w postaci włókien plazmowo-prądowych są stosunkowo dobrze powtarzalne w skali makroskopowej, ale mikrostruktury w postaci „hot-spots” są niepowtarzalne. Ze względu na stochastyczny charakter formowania rozpatrywanych mikrostruktur ich parametry (położenie, czas istnienia, koncentracja i temperatura elektronowa) mogą się silnie różnić”.

W celu udowodnienia postawionej tezy Doktorant przeprowadził serię pomiarów na urządzeniach PF-360 oraz PF-1000, a następnie przeanalizował wyniki integralnych i spektroskopowych pomiarów promieniowania widzialnego oraz rezultaty integralnych i rozwiniętych w czasie pomiarów promieniowania rentgenowskiego. Na podstawie tych rezultatów Doktorant dokonał oszacowania lokalnych wartości elektronowej temperatury plazmy. Wyniki eksperymentalne zostały uzyskane przez Doktoranta, albo z jego dużym udziałem, głównie na układzie PF-1000U.

Badania eksperymentalne obejmowały:

1. Pomiary emisji promieniowania widzialnego przy użyciu spektrometru Mechelle[®]900 zostały wykonane na układzie PF-1000 i PF-360 w celu oszacowania gęstości elektronowej swobodnych strumieni plazmy oraz określenia momentu pojawienia się zanieczyszczeń z elektrod w ognisku plazmowym układu PF. Pomiary za pomocą optycznej spektroskopii emisyjnej przeprowadzono również w warunkach impulsowej iniekcji różnych gazów z zaworu typu „gas-puff” z różnymi czasami opóźnienia momentu otwarcia zaworu w stosunku do maksymalnej kompresji plazmy w ognisku plazmowym. Badania te miały pokazać na ile istnieje zgodność pomiędzy wartościami koncentracji elektronowej określonej z interferometrii i spektroskopii.

2. Integralne w czasie fotografie kształtu i struktury ogniska plazmowego podczas wyładowań w układzie PF wykonano przy użyciu kamer rentgenowskiej typu „pinhole”. Fotografie kształtu i struktury ogniska, ale w rozdzielczości czasowej wykonano specjalną kamerą rentgenowską typu „pinhole” z detektorami Micro-Chanel Plate (MCP). Badanie te miały na celu pokazania w jakich warunkach eksperymentalnych, gdzie i kiedy w układzie PF mogą pojawić się mikrostruktury z wysoką emisją miękkiego promieniowania rentgenowskiego, które były utożsamiane z obszarami o wysokiej temperaturze elektronowej plazmy rzędu setek eV.

3. Najważniejszą częścią pracy były pomiary emisji miękkiego promieniowania X w funkcji czasu z wybranych obszarów ogniska plazmowego na układzie PF-1000U wykonanych w warunkach normalnej pracy układu oraz z iniekcją dodatkowej ilości gazu zaworem typu „gas-puff” przy zastosowaniu domieszek helu i neonu. Wykorzystano do tego specjalny układ czterech półprzewodnikowych detektorów typu PIN, umieszczonych za oddzielnymi kolimatorami i filtrami berylowymi z możliwością niezależnego ustawiania każdego detektora na wybrany obszar ogniska plazmowego PF. Na podstawie stosunku amplitud sygnałów z detektorów umieszczonymi za filtrami berylowymi o różnej grubości, ale obserwujących ten sam obszar ogniska plazmowego szacowano wartości elektronowej temperatury plazmy. Obszar z tak oszacowaną temperaturą elektronową porównywano z integralnymi fotografiami kształtu i struktury ogniska wykonanymi rentgenowską kamerą typu „pinhole”. Na tej podstawie Doktorant identyfikował mikrostruktury typu „hot-spot” powstające wewnątrz ogniska plazmowego. Pozwoliło to również na określenie dla jakich warunków eksperymentalnych związanych szczególnie z warunkami gazowymi, pojawiają się takie mikrostruktury.

Zastosowana metodyka badawcza i przeprowadzone badania potwierdziły tezę pracy mówiącą o tym, że formowanie się różnych mikrostruktur wewnątrz ogniska plazmowego w wyładowaniach typu PF zależy silnie od warunków eksperymentalnych, a zwłaszcza warunków gazowych. Dalej Doktorant pokazał, że ze względu na stochastyczny charakter formowania rozpatrywanych mikrostruktur ich parametry (położenie, czas istnienia, koncentracja i oszacowana temperatura elektronowa) mogą się silnie różnić. Tym samym udowodniona została główna hipoteza naukowa dysertacji

Ocena pracy

Praca doktorska mgr Dobromira Załogi stanowi zwartą, jednolitą merytorycznie całość prezentującą badania eksperymentalne na układach typu Plasma-Focus. Wprowadzenie w

zagadnienia wytwarzania i utrzymania plazmy, obserwowane zjawiska fizyczne świadczą o przygotowaniu merytorycznym Doktoranta.

Zalety tej pracy można przedstawić następująco:

1. Sformułowanie bardzo ważnej tezy związanej z mikrostrukturami powstającymi w plazmie w obecności pola magnetycznego generowanego prądem płynącym w plazmie, co zachodzi w układach PF. Te mikrostruktury prawdopodobnie mają znaczenie dla powstawania w ognisku plazmowym PF-a pól elektrycznych powodujących akcelerację jonów i elektronów w takiej plazmie. W przypadku plazmy deuterowej te procesy mają wpływ na szybkość reakcji syntezy jąder deuteru.
2. Przedstawienie bardzo dużej liczby wyników pomiarowych, które przeanalizowano ze szczególnym uwzględnieniem wpływu warunków gazowych na powstawanie mikrostruktur. Wnikliwe omówienie przyczyn rejestrowanych różnic.
3. Wykorzystanie synergii pomiędzy układem 4 detektorów typu PIN do rejestracji z rozwinięciem czasowym impulsów miękkiego promieniowania X z różnych obszarów plazmy z fotografiami otrzymanymi za pomocą rentgenowskiej kamery typu „pinhole”. Analiza wyników otrzymanych na tej podstawie pozwoliła na stwierdzenie, że tworzące się w plazmie mikrostruktury typu „hot spot” są niepowtarzalne w wyładowaniach wykonywanych w takich samych warunkach. Te wyniki są oryginalnym rezultatem i potwierdzają sformułowaną tezę pracy
4. Pokazanie na podstawie widm z emisyjnej spektroskopii optycznej momentu pojawienia się zanieczyszczeń pochodzących z elektrod układu w wybranym miejscu ogniska plazmowego. Omówienie wpływu warunków gazowych na pojawienie się tych zanieczyszczeń.

Niedociągnięcia tej pracy można przedstawić następująco:

1. Tytuł pracy jest słabo związany z postawioną tezą, ponieważ główne analizy prowadzące do udowodnienia tezy są oparte o pomiary miękkiego promieniowania X. Pomiary w zakresie widzialnym są dla tak sformułowanej tezy na drugim planie, co wymagałoby krótkiego komentarza w pracy.
2. W pracy nie odniesiono się w żaden sposób do hipotez związanych z przyczynami powstawania badanych struktur, co znacznie podniosłoby poziom pracy.
3. Do oszacowań temperatury elektronowej plazmy przyjęto amplitudę rejestrowanych impulsów utożsamiając ją z intensywnością. W takim przypadku należałoby podać w pracy uzasadnienie tak przyjętego założenia.
4. Podane wartości błędu względnego bez analizy są mocno wątpliwe. Na podstawie rozciągniętych w czasie i „zaszumionych” sygnałów o małej amplitudzie, przedstawionych na niektórych rysunkach, trudno jest dokładnie określić ich amplitudy, a zależności stosunku intensywności od temperatury przedstawione na rys. 6.39 i 6.46 mają charakter wykładniczy.

Praca zredagowana jest czytelnie i starannie, czytelnik bez trudu może prześledzić historię każdego typu eksperymentu począwszy od opisu zastosowanej aparatury przez przebieg pomiaru, uzyskane wyniki i ich analizę. Zamieszczone zdjęcia, rysunki, wykresy są dobrze dobrane do omawianych zagadnień, chociaż czytelnik wolałby mieć na tym samym rysunku integralną fotografię zrobioną kamerą typu „pinhole” i skorelowane z nim sygnały z detektorów PIN dla danego strzału z jednoczesnym podaniem całkowitego wyjścia neutronów i warunków wyładowania.

Błędy redakcyjne są sporadyczne, z zauważonych mogę wymienić źle podane odniesienie do numeru rysunku na stronie 89 gdzie autor odsyła czytelnika do rys. 6.32, a powinien chyba odesłać go do rysunku 6.46

Podsumowanie

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską uważam za samodzielny i wartościowy dorobek naukowy pana mgr. Dobromira Załogi, stanowiący oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Cel pracy został osiągnięty, a całość rozprawy jest konsekwentną realizacją postawionych we wstępie tez.

Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk fizycznych, dyscyplinie fizyka, zgodnie ze znowelizowaną ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami, por. Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455, Nr 112, poz. 654, z 2012 r. poz. 1544) i wnoszę do Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych o dopuszczenie Doktoranta, pana mgr. Dobromira Załogi, do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.



Kraków, 06/06/2017