

prof. dr hab. Józef Eugeniusz Sienkiewicz
Katedra Fizyki Teoretycznej i Informatyki Kwantowej
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Politechnika Gdańska

Gdańsk, dn. 28.01.2017 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Ewy Węder
„Diagnostyka plazmy generowanej różnymi metodami na podstawie struktur
charakterystycznych linii rentgenowskich metali”

Przedmiotem recenzji jest mająca postać książki rozprawa doktorska mgr Ewy Węder zatytułowana „Diagnostyka plazmy generowanej różnymi metodami na podstawie struktur charakterystycznych linii rentgenowskich metali” stanowiąca zbiór 10 opublikowanych, kolejno ponumerowanych od R1 do R10, wieloautorskich artykułów. Rozprawę poprzedzonych odpowiednim autoreferatem, który zawiera wprowadzenie, opis różnorodnych sposobów generowania plazmy, wyjaśnienie celu i zakresu przeprowadzonych przez doktorantkę badań, przedstawienie metod teoretycznych oraz przewodnik po artykułach wchodzących w skład rozprawy. Całość jest uzupełniona oświadczeniami współautorów załączonych artykułów wyjaśniającymi wkłady pracy poszczególnych osób.

Celem przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej jest rozwinięcie metod diagnostycznych nisko- i wysokotemperaturowej plazmy. Doktorantka osiągnęła postawiony cel. Opanowała i wykorzystała obliczeniowe podejście w ramach wielokonfiguracyjnej metody Diraca-Focka, które pozwoliło jej na wykonanie całego szeregu obliczeń dotyczących przesunięcia jonizacyjnego i kształtu linii serii K i L promieniowania rentgenowskiego dla wybranych metali przejściowych. Z kolei w przypadku plazmy wysokotemperaturowej doktorantka obliczyła położenia i kształty linii L molibdenu i linii M tungstenu. Doktorantka wykazała się również umiejętnością modelowania widm dla wybranych wartości temperatury i gęstości plazmy w ramach modelu biorącego pod uwagę różne radiacyjne i zderzeniowe procesy, położenie poziomów energetycznych atomów i jonów, momenty przejść, procesy jonizacyjne i rekombinacyjne. Wykonane obliczenia posłużyły do diagnostyki plazmy laboratoryjnej otrzymanej w wyniku użycia wyładowań w lampach rentgenowskich lub wielkiej mocy impulsów laserowych, jak również do analizy rentgenowskich widm tungstenu

i molibdenu otrzymanego z tokamaku JET i zarejestrowanych przez wysokorozdzielcze spektrometry. Doktorantka przewiduje, że jej dokładnie obliczone linie widmowe tungstenu będą mogły również posłużyć do rozwoju diagnostyki plazmy w tokamaku WEST.

Do wykonania obliczeń numerycznych zostały użyte dostępne pakiety obliczeniowe. Należy tutaj wymienić znany pakiet obliczeniowy GRASP stworzony w grupie I. P. Granta. Program ten był stosowany przez doktoranta do obliczeń parametrów przejść promienistych. Z kolei pakiet obliczeniowy FAC napisany w grupie M. F. Gu został użyty do opisu różnych zderzeniowych i radiacyjnych procesów w plazmie. Wszystkie wykorzystane przez doktorantkę pakiety obliczeniowe są oparte o równanie Diraca i wykorzystują wielokonfiguracyjną metodę Diraca-Hartree-Focka.

Pierwsza praca przedstawia wyniki obliczeń przesunięcia energetycznego dla linii rentgenowskich K jako funkcji jonizacji zewnętrznych powłok ciężkich metali. Otrzymane dla dysprozu, iterbu, wolframu i irydu. przesunięcia pokazują zróżnicowaną czułość różnych linii K na stopień jonizacji. W ogólności słabsze linie $K\beta$, w tym szczególnie $K\beta_3$, wykazują większe zmiany, zaczynające się już w przypadku usunięcia kilkunastu elektronów. Z kolei silniejsze linie $K\alpha$, wykazują nieco mniejsze przesunięcie energetyczne wraz ze stopniem jonizacji. Warty podkreślenia jest fakt, że otrzymane w tej pracy wyniki zostały wykorzystane w doświadczeniach wyznaczających stopnie jonizacji irydu i iterbu w plazmie laboratoryjnej. Dodatkowo, pozwoliły one na jednoznaczną interpretację linii $K\beta$ iterbu.

Druga praca stanowi kontynuację pierwszej, gdzie zbadano zależności przesunięcia linii $K\alpha$ i $K\beta$ molibdenu. Szczegółowe obliczenia pozwoliły na wyciągnięcie wniosku o liniowej zależności zmiany przesunięcia energii względem stopnia jonizacji. Przy czym kąt nachylenia zależy od rodzaju podpowłoki, z której jest usuwany elektron. Również tutaj udało się przeprowadzić interpretację widm rentgenowskich plazmy laboratoryjnej.

W następnej pracy zaprezentowano wyniki przesunięcia energii w funkcji stopnia jonizacji atomów metali przejściowych molibdenu i palladu oraz atomów ziem rzadkich dysprozu i iterbu. Znowu okazało się, że linie rentgenowskie $K\beta$ są zdecydowanie bardziej wrażliwe na jonizację niż silne linie $K\alpha$. Usunięcie już kilkunastu elektronów wpływa na energię linii $K\beta$.

W czwartej pracy znajdujemy wyniki obliczeń przejść serii K, L i M wolframu i jego jonów. Również w tym wypadku została potwierdzona ogólna właściwość względnie małego wpływu stopnia jonizacji na silne linie serii $L\alpha_1$ i $L\beta_1$, które dopiero po usunięciu więcej niż 30 elektronów wykazują wyraźnie przesunięcia. Lepsze do diagnostyki są słabsze, ale

bardziej wrażliwe na jonizację linie $L\beta_2$, $L\gamma_1$, $L\gamma_2$ i $L\gamma_3$. Bardzo wrażliwe na stopień jonizacji są linie serii M, gdzie wyraźne przesunięcia wstępują już dla niskich stopni jonizacji.

Po tej mini serii czterech prac podających położenia linii rentgenowskich serii K, L i M wykorzystywanych do diagnostyki niskotemperaturowej plazmy, doktorantka opisuje dwie prace opublikowane w High Energy Density Physics dotyczące diagnostyki cieplej i gęstej plazmy. Pierwsza z nich, motywowana trudnościami interpretacyjnymi zarejestrowanych doświadczalnie widm rentgenowskich miedzi i jej jonów, bada oprócz przesunięcia energetycznego linii rentgenowskich $K\alpha_1$ i $K\alpha_2$ jonów miedzi, także ich kształt za pomocą trzech rodzajów widm, obejmujących widma słupkowe, będące sumą funkcji Lorentza oraz uwzględniające funkcję instrumentalną. Otrzymane i systematycznie przedstawione kształty emisyjnych widm rentgenowskich mają dużą wartość w oznaczeniu widm doświadczalnych. Druga z prac potwierdza zależności położenia linii i ich kształtu od stopnia jonizacji dla dwóch następnych jonów jakimi są jony niklu i cynku.

Ostatnie cztery artykuły, z przedstawionego przez doktorantkę cyklu, zajmują się modelowaniem widm rentgenowskich jonów molibdenu i wolframu w celu ułatwienia interpretacji emisyjnych widm rentgenowskich plazmy wytwarzanej na maszynie Z oraz w tokomakach JET i WEST. Szczególnie imponująco wygląda porównanie zsumowanej struktury rentgenowskiej serii M dla jonów wolframu W^{+45} , W^{+46} i W^{+47} oraz serii L dla jonu molibdenu Mo^{+32} z doświadczalnym widmem zarejestrowanym na tokomaku JET za pomocą spektrometru krystalicznego o wysokiej rozdzielczości.

Problemy do dyskusji na obronie mogą dotyczyć: (1) kształtu funkcji instrumentalnej, (2) kryterium przydatności różnych linii w diagnostyce, w sensie intensywność linii a jej wrażliwość na przesunięcia jonizacyjne i (3) roli różnych cechowań w badaniu zbieżności relatywistycznych obliczeń.

Jest rzeczą niewątpliwą, że doktorantka bardzo dobrze opanowała podstawy warsztatu naukowego polegające na umiejętnym wykorzystaniu pakietów obliczeniowych i odpowiedniej interpretacji otrzymanych wyników.

W konkluzji stwierdzam, że według mojej oceny praca doktorska mgr Ewy Węder spełnia formalne i zwyczajowe wymogi. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Zgłaszam również wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Ewy Węder. W uzasadnieniu pragnę zwrócić uwagę na świadome wyjście naprzeciw trudnościom związanym z interpretacją linii rentgenowskich $K\alpha$ miedzi, niklu i cynku w plazmie produkowanej w wyniku wyładowań impulsowych w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w

Warszawie. Wyniki otrzymane przez doktorantkę obecnie służą do przeprowadzania szczegółowej interpretacji widm rentgenowskich emitowanych z różnych obszarów plazmy. Z kolei przedstawione w pracy doktorskiej wyniki dla iterbu pozwoliły na dokonanie pierwszej jednoznacznej interpretacji niewyjaśnionego wcześniej zachowania się linii rentgenowskiej $K\beta_{1,3}$ zarejestrowanej w Naval Research Laboratory w Waszyngtonie.

Ponadto, uważam na zasługujące na wyróżnienie zaproponowanie nowej metody diagnostyki parametrów wysokotemperaturowej plazmy generowanej w reaktorach jądrowych typu tokomak, w celu zapewniania optymalnych warunków dla kontrolowanej syntezy termojądrowej deuteru i trytu. Pozwoliła ona na interpretację widm rentgenowskich zarejestrowanych na tokomaku JET. Wyniki badań doktorantki posiadają istotne znaczenie dla zapewnienia bezpiecznych alternatywnych źródeł energii opartych o kontrolowaną syntezę termojądrową.

Jan G. Sienkiewicz