



Prof. dr hab. Wojciech M. Kwiatek

Kraków, 10 sierpnia 2022 r.

Strona | 1

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. „Rzadkie procesy atomowe w ciężkich jonach badane przy pomocy aparatury EBIT” autorstwa Pani mgr Weroniki Bieli-Nowaczyk.

Recenzowana rozprawa doktorska pt. „Rzadkie procesy atomowe w ciężkich jonach badane przy pomocy aparatury EBIT” wykonana została przez Panią mgr Weronikę Bieli-Nowaczyk w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego, pod kierunkiem prof. dr. hab. Andrzeja Warczaka jako promotora.

Badania plazmy czyli mieszaniny jonów o różnych stanach ładunkowych i liczbie nukleonów, nazywanej też czwartym stanem skupienia materii, prowadzone są od szeregu lat. Wyniki tych badań dostarczają nam wciąż nowych informacji na temat budowy Wszechświata. Badanie procesów atomowych zachodzących w plazmie istotne jest również dla fizyki jądrowej badającej struktury jąder atomowych czy zjawiska fuzji. Od szeregu lat prowadzone są badania fuzji w celu poszukiwania alternatywnych źródeł „bezpiecznej” energii, na której zapotrzebowanie wciąż rośnie. Wiele procesów zachodzących w plazmie wciąż nie zostało jeszcze dobrze zbadane czy potwierdzone eksperymentalnie. Do takich należą dwu- i trój-elektronowa rekombinacja. Zjawiska te zachodzą w wysoko zjonizowanych ciężkich jonach w obecności niezwiązanych elektronów. Do ich obserwacji wykorzystuje się spektroskopię rentgenowską. Umiejętności przeprowadzenia eksperymentu, rejestracji widma oraz analizy otrzymanych danych nie należą do tuzinkowych. Przeprowadzenie eksperymentów wymaga też dostępności do specjalistycznej aparatury pomiarowej jaką jest układ pułapki jonów z wiązką elektronów - EBIT (*Electron Beam Ion Trap*). Taki układ znajduje się właśnie w Laboratorium Ciężkich Jonów w Instytucie Fizyki UJ.



Szalenie ciekawa tematyka stawiająca przed naukowcami szereg wyzwań. Pani mgr Weronika Biela-Nowaczyk postanowiła podjąć wyzwanie i próbę obserwacji oraz opracowania rzadkich procesów atomowych jakie zachodzą w plazmie jonowo-elektronowej dla ciężkich jonów, wykorzystując aparaturę EBIT.

Recenzowana rozprawa w formie monografii została oparta o wyniki badań i obliczenia teoretyczne jakie przeprowadziła autorka rozprawy i które zostały opublikowane w dwóch publikacjach, w których pani Biela-Nowaczyk jest pierwszym autorem. Publikacje ukazały się w recenzowanych czasopismach z listy JCR. Rozprawa została opisana na 148 stronach maszynopisu i została podzielona na 7 rozdziałów: tj. *Wstęp*, *Metodyka prowadzonych badań*, *Nierezonansowe procesy atomowe*, *Analiza ewolucji czasowej rozkładu ładunkowego jonów na podstawie profilu linii promieniowania X*, *Dwuelektronowa rekombinacji*, *Trójelektronowa rekombinacja*, oraz *Posumowanie*. Rozprawa rozpoczyna się streszczeniem, abstraktem w języku angielskim, następnie umieszczony jest spis treści, spis 91 rysunków i 11 tabel. Wstęp poprzedzony jest też wykazem skrótów i symboli. Natomiast *Dodatek A – Obliczenia FAC i Bibliografia* zawierająca 99 pozycji, w tym dwie autorstwa doktorantki, kończą rozprawę.

Pierwszy rozdział rozprawy – *Wstęp* – definiuje cel wy prowadzonych badań, ich znaczenie, oraz organizację rozprawy. Niestety w rozprawie nie określono jednoznacznej **tezy**. Mam jednak nadzieję, że podczas **obrony doktorantka przedstawi tezę, skoro ma jej bronić**.

Drugi rozdział – *Metodyka prowadzonych badań* – opisuje aparaturę UJ-EBIT wraz z charakterystyką detektora promieniowania X, parametry pracy katody, proces tworzenia plazmy, oraz system akwizycji danych. W rozdziale przedstawiono też podstawy fizyczne widma promieniowania charakterystycznego, efektów pile-up i promieniowania ucieczki.

Trzeci rozdział – *Nierezonansowe procesy atomowe* - zawiera podstawy fizyczne promieniowania charakterystycznego X wraz z przykładami widm dla serii K argonu dla różnych jonów, radiacyjnej rekombinacji, promieniowana hamowania. Rozdział zawiera też porównanie danych eksperymentalnych z otrzymanymi wynikami obliczeń FAC (*Flexible Atomic Code*).



Rozdział czwarty – *Analiza ewolucji czasowej rozkładu ładunkowego jonów na podstawie profilu linii promieniowania X* – przekonuje czytelnika, że spektroskopia promieniowania X jest odpowiednim narzędziem do analizy badanych procesów. Autorka opisuje metody analizy rozkładu stanów ładunkowych z wykorzystaniem chłodzenia plazmy, analizy kształtu linii promieniowania, rekombinacji z udziałem powłoki K, L, M.

Rozdział piąty – *Dwuelektronowa rekombinacja* – i rozdział szósty – *Trójelektronowa rekombinacja* – należą do najistotniejszych niniejszej rozprawy. Zawierają one odpowiednio, wyniki badań rezonansowych procesów dwu- i trój-elektronowej rekombinacji. Omówione zostały też podstawy fizyczne tych procesów. Autorka rozprawy przedstawiła wyniki dla argonu, neonu i gazów resztkowych.

Rozdział siódmy – *Podsumowanie* – jest swoistym kompendium najważniejszych dokonań doktorantki w ramach prezentowanej rozprawy. Autorka rozprawy zwraca uwagę na zrealizowanie celu rozprawy jakim było zaprezentowanie możliwości badania rzadkich procesów atomowych przy użyciu aparatury EBIT wyposażonej w detektor promieniowania X. Doktorantka podkreśla, że niniejsza rozprawa nie wyczerpuje możliwości badawczych jednakże na szczególną uwagę zasługują wyniki badań nad wieloelektronowymi procesami rekombinacyjnymi. Zagadnienie to jest istotne z punktu widzenia metod modelowania plazmy w obiektach astrofizycznych.

W samej strukturze rozprawy zabrakło mi rozdziału z wnioskami jakie można wysunąć na bazie przeprowadzonych eksperymentów. Brak tego rozdziału wynika zapewne z braku postawionej tezy oraz precyzyjnego określenia i postawienia problemu badawczego.

Jednakże należy podkreślić, że podjęcie się przez panią mgr Weronikę Bieleń-Nowaczyk trudnego zadania jakim było określenie przydatności aparatury EBIT do analizy procesów zachodzących w plazmie ciężkich jonów i pokazanie potencjału analitycznego zastosowanych metod do obserwacji zjawiska wieloelektronowego procesu rekombinacji, stanowiło duże wyzwanie dla młodego naukowca rozpoczynającego swoją karierę naukową. Niewątpliwie, udokumentowanie możliwości badawczych nowoczesnej aparatury jaką jest EBIT było bardzo potrzebne i pokazało nowe ścieżki rozwoju badań w zakresie tej tematyki. Warto też uwypuklić



fakt, że pani mgr Weronika Biele-Nowaczyk po raz pierwszy zaobserwowała wzmocnienie promieniowania hipersatelitarnego w stosunku do promieniowania satelitarnego w procesie trójelektronowej rekombinacji o sygnaturze KK TR. Przedstawione w rozprawie wyniki są pierwszą ewidencją tego bardzo rzadkiego procesu atomowego.

Oddając się lekturze rozprawy nasunęły mi się pewne uwagi, do których należą:

1. W rozdziale 2. i później, autorka myli pojęcia *potencjał* z *napięciem*. Niestety nieszczęśliwie dokonano wyboru oznaczenia potencjału przez U (str. 28 i kolejne). Z oznaczeń wynika, że U_e jest rozumiane jako napięcie. Jeśli tak, to skoro U_K jest ujemne a U_0 jest dodatnie, podobnie jak U_a to wzory 2.1 i 2.2 są błędne. Proszę o analizę i ustosunkowanie się do tej uwagi.
2. Następstwem niezrozumienia pojęć potencjał/napięcie jest błędne ostatnie zdanie rozdziału 2.1.
3. Proszę wyjaśnić jak autorka rozumie pojęcie „*Mniejszej zdolności rozdzielczej (FWHM)*” (str. 30)
4. W rozprawie często autorka używa slangowych określeń, których należy unikać w rozprawach naukowych. Np. ostatnia linijka str. 32 „*promieniowanie to (linia $K\alpha$) położone jest przy energii ok. 1.74 keV...*”
5. Określenie „*promieniowanie ucieczki*” nie jest adekwatne do tłumaczenia (escape peak). Chodzi o pik w widmie promieniowania X, który jest określany jako pik ucieczki a nie jakieś dodatkowe promieniowanie. Czegoś co ucieka???(str. 34)
6. Zapis, że „*...z materiału katody podgrzewanej specjalnym elementem*” jest bardzo ogólnikowy i nieprecyzyjny. Czy coś wiadomo jakim to elementem? W rozprawach naukowych wymagana jest staranność i precyzja języka. (str. 36 i potem str. 39)
7. Przez B zwykle oznaczamy indukcję pola magnetycznego. W rozprawie autorka pisze „Wartość pola magnetycznego w pułapce została przyjęta jako 250 mT [58], a wartość natężenia pola $B_C = 0$ ”.



- (str. 39) A zatem o czym jest mowa? O natężeniu czy indukcji pola magnetycznego?
8. Z kursu fizyki ogólnej wiemy, że cząstka obdarzona ładunkiem porusza się pod wpływem różnicy potencjałów. Trudno zatem, chyba, mówić o potencjale przyspieszającym (str. 39 i 88). Zwłaszcza, gdy w tym samym zdaniu mamy zapis „ $E_e = eU_e$ ” Tu, wydaje się, że U_e to napięcie?
 9. Proszę o wyjaśnienie co należy rozumieć przez „*pojemność pułapki*”. Jeśli jest to liczba to mamy problem z jednostkami we wzorach 2.10 i 2.11?
 10. Proszę o wyjaśnienie co to jest „neon na poziomie $8 \cdot 10^{-10}$ mbar.” (str. 65).
 11. Na rys. 4.6 – 4.9 oś opisano jako rozkład. To chyba raczej stan ładunkowy? (str. 81-84).
 12. Rysunek 4.14 str. 90 wg autorki przedstawia również wartości eU_s , które wahają się od -14.40 eV do 11.11 eV. Proszę o wyjaśnienie jak to widać na tym rysunku.
 13. Szkoda, że na rysunku 5.5 nie zaznaczono skali w osi Z. W tekście autora odnosi się do struktury widma K_α dla procesu K-LL DR dla energii elektronów ok. 2400 eV, natomiast czy można wyjaśnić strukturę dubletową dla energii elektronów ok. 2450 eV?
 14. Proszę o wskazanie procesu QR dla stanu ładunkowego 14+ na widmie prezentowanym na rysunku 5.6.

Niestety, z uwagi na obowiązek recenzenta, muszę też zwrócić uwagę na drobne błędy edytorskie, które zazwyczaj są trudne do uniknięcia.

1. Str. 39. Opis rys. 2.10 powinno być ...odpowiadającej mu...
2. Str. 81. Druga linijka od odłtu powinno być ...dla czasu ok. 250 ms....
3. Str. 90 7 linijka od góry. Nie logiczne zdanie. Jest...może być związana jest z ... Należy go przeredagować.
4. Str. 117 3 linijka od góry powinno być....promieniowania K_α



Podsumowując, stwierdzam, że założone przez doktorantkę cele zostały osiągnięte i można mówić, iż ta praca stanowi istotny przyczynek do rozwoju Dyscypliny nauki fizyczne w Dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych.

Biorąc pod uwagę ogrom pracy, jaki został włożony przez **panią mgr Weronikę Bielę-Nowaczyk** w zaplanowanie i wykonanie tak wielu eksperymentów, opracowanie rozprawy jak też przeprowadzenie nietuzinkowych analiz danych eksperymentalnych wraz z ich interpretacją stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mimo krytycznych uwag, **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** oraz, że pani **mgr Weronika Biela-Nowaczyk** spełnia kryteria stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora jakie są określone w *Ustawie – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.)* i **wniosuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Jagiellońskiego o dopuszczenie pani mgr Weroniki Bielę-Nowaczyk do dalszych etapów przewody doktorskiego.**

Prof. dr hab. Wojciech M. Kwiatek