



AUTOREFERAT

I. DANE PERSONALNE:

Nazwisko: Andrzej Tucholski
Adres: ul. Chopina 2
05-075 Warszawa-Wesoła, Poland
Stan cywilny: żonaty, dwoje dzieci
Telefon: +48 501 03 00 31
e-mail: Andrzej.Tucholski@fuw.edu.pl
Data urodzenia: 12 marca 1959, Warszawa, Poland

II. EDUKACJA

1992 **Doktor fizyki**
Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Świerk, 1992.
Tytuł: *Study of fluctuations in nucleus-nucleus collisions at energy of 1 GeV/nucleon and 600 MeV/nucleon. Promotor: Prof. dr hab. Ziemowid Sujkowski*

1983 **Magister fizyki**
Uniwersytet Warszawski, wydział fizyki (specjalność: fizyka jądrowa i cząstek elementarnych), 1983

III. STYPENDIA NAUKOWE:

1989 - 92 RESEARCH FELLOW – trzyletni kontrakt naukowy w GSI – DARMSTADT, Niemcy (Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt). Udział w przygotowaniu eksperymentów zderzeń ciężkich jonów w grupie ALADIN. Udział w opracowaniu wyników danych i publikacjach grupy. Samodzielne prowadzenie jednego z nurtów badań dotyczącego możliwych przejść fazowych i zjawisk krytycznych w rozgrzanej materii jądrowej. (Szereg publikacji w *Phys. Rev. Letters* i *Phys Review*).

1993 - 95 RESEARCH FELLOW – udział w trzyletnim grantie naukowym w GINIL – Francja (GRAND ACCELERATEUR NATIONAL D'IONS LOURDS) Caen in France, in Normandie. Analiza wyników eksperymentu fuzji uranu U^{238} przy energii wiązki 24.3 MeV/A.

IV. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH LUB ARTYSTYCZNYCH

1984 - 92 ASYSTENT - Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Świerk

1992 - 96 ADIUNKT - Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Świerk

1989 - 92	KONTRAKT NAUKOWY - GSI – DARMSTADT, Niemcy (Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt) – (VISITING SCIENTIST).
1993 - 95	GRANT EUROPEJSKI – GINIL, Francja – (GRAND ACCELERATEUR NATIONAL D'IONS LOURDS) i Uniwersytet Warszawski, SLCJ– realizacja grantu
2013 - do teraz	Uniwersytet Warszawski, SLCJ

V. RECENZENT:

recenzent czasopism: *Physical Review Letters* and *Physical Review*
61 zrecenzowanych prac

VI. OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ

(zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.)

Przedmiotem rozprawy habilitacyjnej jest wyznaczanie czasów życia i momentów magnetycznych dla jąder atomowych o liczbach atomowych $44 < Z < 64$. W ciągu ostatnich 10 lat opublikowałem na ten temat 27 prac współautorskich.

W ramach osiągnięcia naukowego przedstawiam trzy publikacje, w których jestem pierwszym autorem, lub autorem korespondencyjnym i mój kluczowy udział nie budzi wątpliwości.

Prace te dotyczą badania natężenia pola magnetycznego w bezpośrednim sąsiedztwie jądra atomowego, pomiaru czasów życia stanów wzbudzonych metodą przesunięcia dopplerowskiego, w skrócie nazywaną RIV (**R**ecoil **i**n **v**acuum). Jednak metoda RIV jest bardzo czuła na straty energii jonu poruszającego się w materii, co jest przedmiotem ostatniej pracy.-

Trzy prace cyklu:

H1. A. Tucholski and Z. Patyk, *Magnetic field at nucleus for ionized atom, Nuclear Physics A Volume 1059, July 2025, 123073, Impact factor 2.5*

H2. A. Tucholski, Ch. Droste, J. Srebrny, C. M. Petrache, J. Skalski, P. Jachimowicz, M. Fila, T. Abraham, M. Kisieliński, A. Kordyasz, M. Kowalczyk, J. Kownacki, T. Marchlewski, P. J. Napiorkowski, L. Próchniak, J. Samorajczyk-Pyśk, A. Stolarz, A. Astier, B. F. Lv, E. Dupont, S. Lalkovski, P. Walker, E. Grodner, and Z. Patyk, *Lifetime of the recently identified 10^+ isomeric state at 3279 keV in the ^{136}Nd nucleus, Phys. Rev C 100, 014330 (2019), Impact factor: 3.4*

H3. A.A. Pasternak, I. Sankowska, A. Tucholski*, J. Srebrny, T. Morek, Ch. Droste, E. Grodner, M. Salata, J. Mierzejewski, M. Kisielinski, M. Kowalczyk, J. Perkowski, L. Nowicki, R. Ratajczak, A. Stonert, J. Jagielski, G. Gawlik, J. Kownacki, A.

Kordyasz, A.A. Korman, W. Plociennik, E. Ruchowska, M. Wolinska-Cichocka *The stopping power of heavy ions for energies below 0.2 MeV/nucleon measured by the semi-thick target method, Nuclear Instruments & Methods in Physics A774, (2016)*, Impact factor: 1.4

H1. Pierwsza praca

Praca H1 jest chronologicznie ostatnią pracą z prezentowanego cyklu. Jest pracą przeglądową pomiarów natężenia pola magnetycznego wytwarzanego przez powłokę elektronową w bezpośrednim otoczeniu jądra atomowego z liczbą protonów Z , w zakresie $44 < Z < 64$. Należy podkreślić, że w pracy zaobserwowano, **po raz pierwszy**, liniową zależność zmierzonego natężenia pola magnetycznego w otoczeniu jądra od efektywnego ładunku jonu Q podzielonego przez główną liczbę kwantową n . Jony o ładunku Q powstają przy przechodzeniu atomu przez materię po odarciu Q elektronów.

Ponieważ w reakcji jądrowej znana jest prędkość powstałego jonu, to jego efektywny ładunek Q wyznaczany został z tablic [1,2], zawierających doświadczalne dane o stopniu jonizacji atomu w zależności od jego prędkości i grubości ośrodka. Należy podkreślić, że w pracy H3 niniejszego cyklu dokonano znacznego postępu w zrozumieniu strat energii na jednostkę odległości (tzw. stopping power) w zakresie energii jonów mniejszej niż 1 MeV/u.

Główna liczba kwantowa n wyznaczona została ze znajomości budowy jonu o $Z-Q$ elektronach i ładunku jądra Z .

Odkryta w pracy H1 doświadczalna zależność liniowa natężenia pola magnetycznego od Q/n wprowadza nową metodę pomiaru momentów magnetycznych dla krótko-życiowych stanów wzbudzonych jąder atomowych.

Pomiary natężenia pola magnetycznego oraz czasu życia zwykle dokonuje się tzw. metodą RIV (Recoil In Vacuum) w urządzeniu zwanym plungerem. W metodzie tej rejestrowane są fotony gamma pochodzące z przejść jądrowych. Bezpośrednio za tarczą umieszcza się ruchomą metalową płytkę. Fotony rejestrowane przez detektory pochodzą z jąder atomowych poruszających się, jak i zdeponowanych w tak zwanym stoperze (zwykle jest to ołowiana lub złota płytka). Łatwo odróżnić takie fotony – te emitowane z jąder będących w ruchu mają energie zmienione przez przesunięcie Dopplera. Dla fotonów z dopplerowskim przesunięciem można ustalić ich ilość $N(d, \theta)$ w funkcji odległości d pomiędzy stoperem a tarczą oraz kątem θ pomiędzy kierunkiem lotu jonu a

detektorem. Aby ustalić zależności czasowe, należy odległość $d=v*t$ przeliczyć na czas lotu jonu t , od tarczy do stopera w plungerze. Do tego wymagana jest dokładna znajomość prędkości jonu v w chwili wylotu z tarczy. Prędkość ta z kolei zależy od energii początkowej pocisku użytego do reakcji oraz prędkości utraty energii na jednostkę długości mnożoną przez gęstość ośrodka dE/dx (tzw. stopping power) w tarczy (podawanej często w $\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$). Widać, jak bardzo istotne były pomiary stopping power i ich modelowanie opisane w pracy H3. Opisaną metodą można wyznaczyć czasy życia od pikosekund do setek nanosekund.

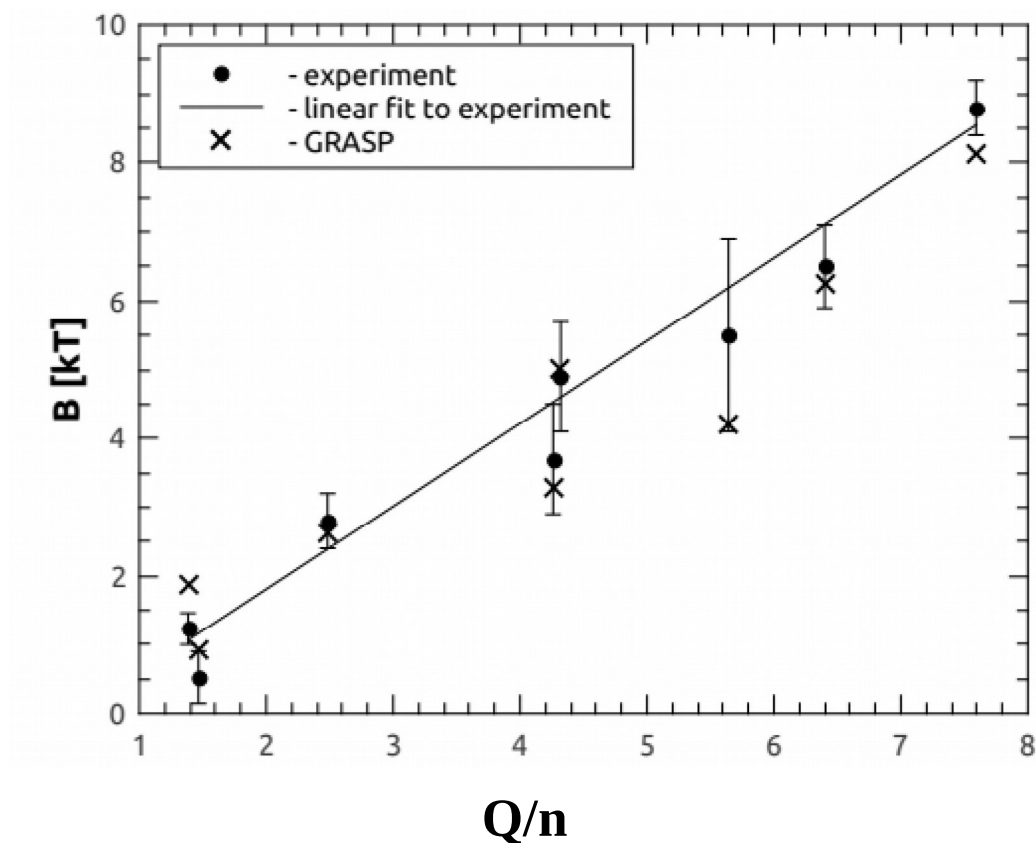
Ponieważ krótko-życiowe stany nie pozwalają na zaobserwowanie częstotliwości precesji jądra w polu magnetycznym wytwarzanym przez elektronowe powłoki, mierzone jest tzw. tłumienie – zależne od iloczynu natężenia pola magnetycznego i momentu magnetycznego stanu jądra atomowego. Znając moment magnetyczny stanu jądra atomowego można wyznaczyć wartość natężenia pola magnetycznego. Na odwrót, znając natężenie pola magnetycznego można wyznaczyć momenty magnetyczne stanów jądrowych.

Znaleziona w pracy H1 liniowa zależność natężenia pola magnetycznego od stanu ładunkowego Q/n jest tym bardziej ciekawą obserwacją, że w jonie wodoro-podobnym o ładunku Z zależność od Z/n jest funkcją sześcienną i w przybliżeniu nierelatywistycznym ma postać

$$B = 16,685 \times (Z/n)^3,$$

gdzie natężenie B wyrażone jest w Teslach. Wzór powyższy zachodzi tylko dla stanów n_s o symetrii sferycznej. Dla innych stanów elektronowych wartość natężenia pola magnetycznego w bezpośrednim otoczeniu jądra atomowego jest bliska zeru, a w centrum wynosi zero.

W pracy wykonano skomplikowane obliczenia natężenia pola magnetycznego w jonach o ładunku Q w otoczeniu jądra atomowego uwzględniające efekty relatywistyczne oraz wieloelektronowy charakter funkcji falowej w modelu Diraca-Hartree-Focka. W tym celu wykorzystano pakiet GRASP, opracowany przez zespoły badawcze z Uniwersytetu Oksfordzkiego i Uniwersytetu Vanderbilta [3-6].



Rys. 1. Wartość natężenia pola magnetycznego B w okolicy jądra atomowego w funkcji Q/n , dla liczby protonów od $Z=44$ do $Z=64$.

Okazało się, że obliczone natężenie B pochodzące od elektronów z orbitala s jest znacznie silniejsze niż w przypadku elektronów z orbitali p lub wyższych. Warto podkreślić, że dla ciężkich jonów udało się odtworzyć w przybliżeniu liniową zależność natężenia pola magnetycznego w otoczeniu jądra od ładunku efektywnego Q/n jonu dzielonego przez główną liczbę kwantową n (Rys 1.).

- [1] G. Schiwietz, P.L. Grande, Nucl. Instrum. **Methods Phys. Res., Sect. B** 175–177 (2001) 125
- [2] H.D. Betz, **Rev. Mod. Phys.** 44 (1972) 3
- [3] G. Goertzel, **Phys. Rev.** 70 (1946) 897.
- [4] A. Abragam, R.V. Pound, **Phys. Rev.** 92 (1953) 943.
- [5] T.K. Alexander, J.S. Forster, **Adv. Nucl. Phys. (United States)** 10 (2013) 1.
- [6] A.E. Stuchbery, N.J. Stone, **Phys. Rev. C** 76 (2007) 034307

Mój udział w pracach H1:

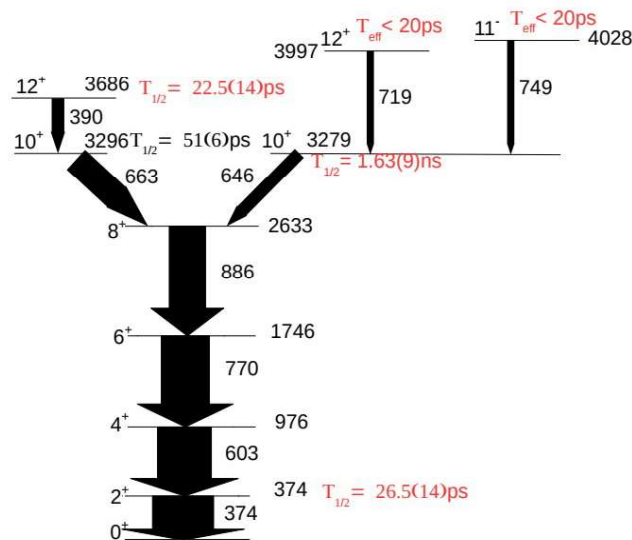
Jestem pierwszym autorem z naruszeniem porządku alfabetycznego. Wykonałem wszystkie obliczenia natężenia pola magnetycznego w otoczeniu jądra atomowego programem GRASP. Ponadto przeanalizowałem wyniki i porównałem je ze zmierzonymi natężeniami pól magnetycznych. Obliczenia natężenia pola magnetycznego w jądrze zostały wykonane dla szerokiego zestawu konfiguracji elektronowych w ramach relatywistycznej metody Diraca-Hartree-Focka. Całą pracę również zredagowałem i prowadziłem korespondencję z recenzentami.

Załączam opinię współautora prof. Zygmunta Patyka.

H2. Druga praca

Badanie jąder przejściowych w pobliżu zamkniętych powłok dostarcza szczegółowych informacji zarówno o zachowaniach kolektywnych, jak i o wzbudzeniach pojedynczych nukleonów. Wiedza ta jest szczególnie istotna w przypadku wzbudzeń o niskim spinie, gdzie jądro może zmieniać kształt z prolate na oblate przy niewielkich zmianach energii wzbudzenia.

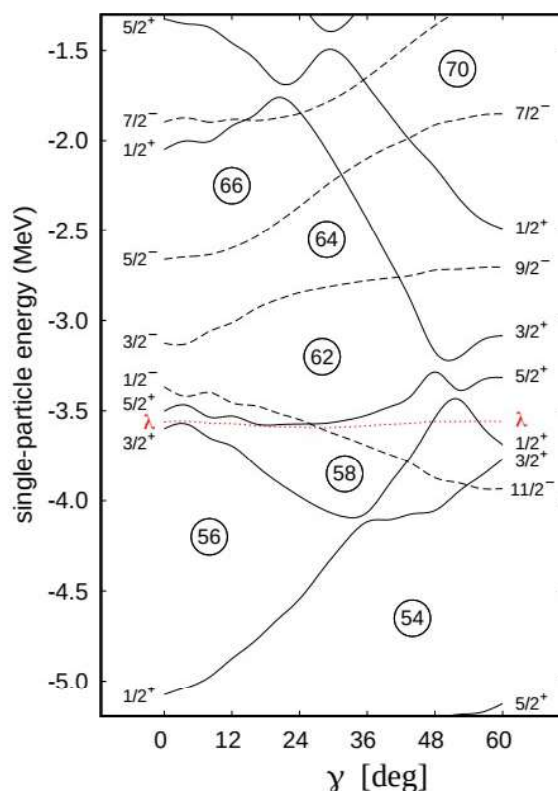
W pracy H2 zmierzono **po raz pierwszy** czas życia 1.63(9) ns w jądrze ^{136}Nd dla stanu wzbudzonego o energii 3279 keV, o spinie 10^+ (dodatnia parzystość). Ponadto wyznaczono czasy życia dla stanów 2^+ o energii 374 keV oraz 12^+ o energii 3686 odpowiednio 26.5(14) ps oraz 22.5(14) ps. Jądro ^{136}Nd zostało otrzymane w reakcji $^{120}\text{Sn}(^{20}\text{Ne}, 4n)^{136}\text{Nd}$, a czasy życia były wyznaczone metodą RIV, opisaną powyżej w części H1. Jądra bogate w protony mogą być produkowane w reakcjach fuzji z użyciem stabilnych wiązek, co umożliwia zebranie wystarczających statystyk do wyznaczenia czasów życia stanów wzbudzonych, które służą jako testy dla modeli struktury jądrowej. Schemat poziomów dla ^{136}Nd omawianych w pracy H2 zamieszczono na Rys. 1. Wartości zmierzonych oraz oszacowanych (od góry) czasów życia wyróżniono kolorem czerwonym.



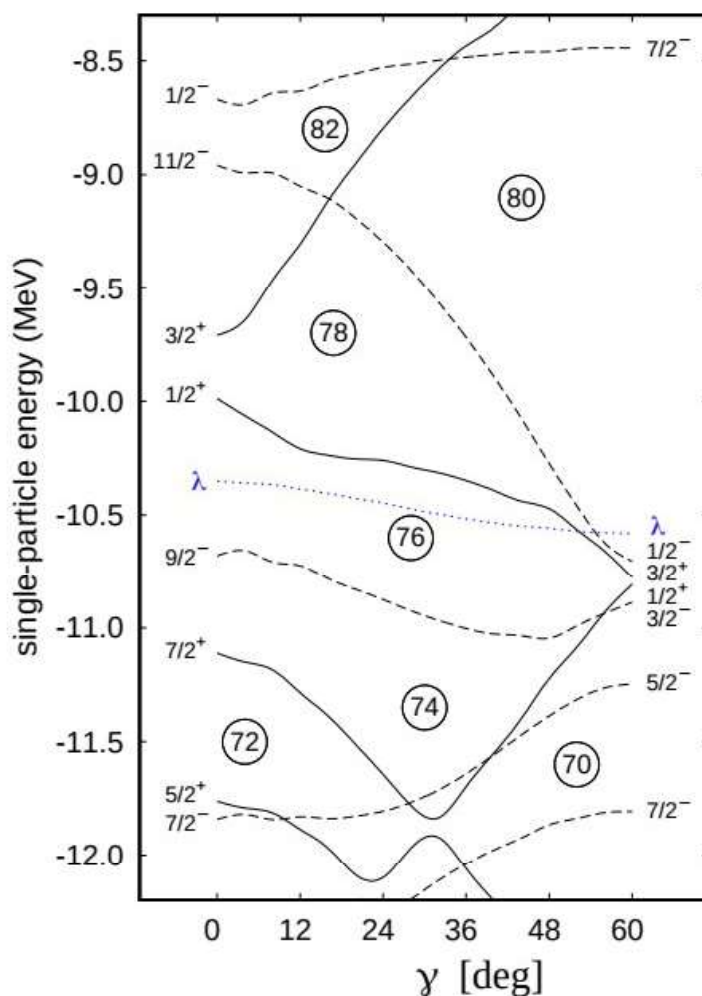
Rys. 1 Schemat energii i czasów życia dla wybranych nisko-leżących stanów wzbudzonych w jądrze ^{136}Nd .

Izomer 10^+ (3279 keV) o czasie życia 1.63(9) ns ma bardzo małą wartość zredukowanego elementu macierzowego $B(E2)=0.073$ W.u. dla przejścia $10^+ \rightarrow 8^+$, podczas gdy dla podobnego przejścia $10^+ \rightarrow 8^+$, ale ze stanu o energii wzbudzenia 3296 keV, zredukowany element ma wartość $B(E2)=2.09$ W.u.. Warto dodać, że jednostka Weisskopfa (W.u) kwadrupolowego przejścia elektrycznego $10^+ \rightarrow 8^+$, jest równa zredukowanemu elementowi macierzowemu dla przejścia $B(E2)$ otrzymanemu przy założeniu, że wartości radialnych funkcji falowych j_1, j_2 mają stałą wartość w objętości jądra. Wówczas wartość radialnego elementu macierzowego (unormowanego) wynosi $(j_2|r^2|j_1)=3/5R^2$, gdzie R promień jądra. Niska wartość $B(E2)$ dla stanu 3279 keV jednoznacznie wskazuje na jego jednocząstkowy charakter.

W pracy zostały przeprowadzone obliczenia całkowitej energii jądra atomowego w podejściu makroskopowo-mikroskopowym z poprawką powłokową Strutinskiego i makroskopową energią Yukawa-plus-exponential. Na rysunkach 2 i 3 wykreślono energie stanów jednocząstkowych w potencjale Woodsa-Saxona dla protonów i neutronów w funkcji deformacji nie-osiowej γ . Okazało się, że całkowita energia izotopu ^{136}Nd względem kąta γ ulega niewielkim zmianom.



Rys 2. Poziomy jednocząstkowe w potencjale Woodsa-Saxona dla protonów w okolicy poziomu Fermiego.



Rys 3. Poziomy jednocząstkowe w potencjale Woods-Saxona dla neutronów w okolicy poziomu Fermiego.

W przypadku ^{136}Nd rozpatrzono wzbudzenia polegające na przeskoku jednego neutronu z obsadzonej (przez dwa neutrony) powłoki $9/2^-$ poniżej poziomu Fermiego (kolor czerwony) na nieobsadzoną powłokę $11/2^-$, powyżej poziomu Fermiego. Po przeskoku łączny rzut momentu pędu dwóch niesparowanych neutronów wynosi $9/2+11/2=10$.

Można także spodziewać się przeskoku jednego protonu ze stanu $11/2^-$ na stan $9/2^-$, odwrotnie niż w przypadku neutronów. Minimalizacja całkowitej energii z dwoma zablokowanym stanami neutronowymi lub protonowymi $11/2^-$ i $9/2^-$, jak opisano powyżej, pokazuje, że jest ona wyższa od wartości stanu podstawowego odpowiednio o 3.05 MeV i 3.5 MeV. Widać, że wartości te są bliskie energii stanu izomerycznego o spinie 10^+ i energii 3279 keV. Kształt jądra przy minimum całkowitej energii dla

zablokowanej konfiguracji neutronowej jest wyraźnie trójosiowy, podczas gdy dla konfiguracji protonowej występuje płytkie minimum typu oblate (podobne do monety).

Z powyższego wynika, że funkcją falową stanu izomerycznego 10^+ jest konfiguracja neutronowa $11/2^-$ i $9/2^-$, której energia jest niższa od konfiguracji protonowej o blisko 0.5 MeV.

Przy analizie eksperymentu zostały wykorzystane poprawki, opisane w pracy H3, dotyczące stopnia utraty energii na jednostkę odległości tzw. stopping power (dE/dx) jonu przechodzącego przez materię. Odstępstwo stopping power od wartości tablic Zieglera dochodzące do 15% w przypadku niskich energii zaobserwowane w pracy H3 zostało potwierdzone w pracy H2 w eksperymencie z neodymem. W eksperymencie była możliwość precyzyjnego porównania prędkości jądra złożonego wynikająca ze znajomości energii wiązki padającej z pomiarem prędkości mierzonym z przesunięcia Dopplera energii emitowanych fotonów. Okazało się, że jony neodymu poruszające się w srebrnej tarczy tracą o 15% więcej energii niż wynikałoby to z tablic Zieglera [2,3]. Ziegler nie dysponował eksperymentalnymi danymi z obszaru energii wiązki padającej o energiach znacznie niższych od 1 MeV/u i wartości dE/dx wyliczał z ekstrapolacji wzoru Bethego-Blocha opisującego poprawnie dE/dx dla energii wyższej niż 1 MeV/u. W naszych oszacowaniach zastosowaliśmy wzór J. Lindharda, M. Scharffa, H.E. Schiotta (LSS), który lepiej odtwarza straty energii w zakresie badanych przez nas energii.

Bibliografia

- [1] J.F. Ziegler, Journal of Applied Physics/Applied Physics Reviews 85 (1999) 1249.
- [2] J.F. Ziegler, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 219–220 (2004) 1027.

Mój udział w pracy H2.

Chcę podkreślić, że jestem pierwszym autorem z wyraźnym naruszeniem porządku alfabetycznego. Do moich obowiązków należała analiza danych eksperymentalnych, z których otrzymałem wartości czasów życia.

Obliczenia energii dla konfiguracji neutronowo-protonowych w ramach podejścia mikroskopowo-makroskopowego wykonał prof. Janusz Skalski. Zredukowane wartości przejść zostały wyznaczone przeze mnie. Ponadto kierowałem przygotowywaniami do eksperymentu oraz jego realizacją. Również zredagowałem artykuł do publikacji w Phys. Rev. C i prowadziłem korespondencję z recenzentami.

Załączam opinię współautora prof. Zygmunta Patyka.

H3. Trzecia praca

We wszystkich metodach wykorzystujących efekt Dopplera, w szczególności opisaną wcześniej metodzie RIV, kluczowym parametrem jest prędkość jądra złożonego po wyjściu z tarczy. Dlatego tak ważna jest wielkość tzw. stopping power (dE/dx). Od czasów pierwszych prac Nielsa Bohra, poprzez wzór Bethego–Blocha [1] oraz teorię LSS [2], posiadamy dobry opis strat energii przez **lekkie** jony - protony, cząstki alfa i hel. Wyniki pomiarów zostały zgromadzone w tablicach Zieglera oraz zaimplementowane w programach SRIM/TRIM [3,4].

W przypadku **ciężkich** jonów ich złożona struktura atomowa prowadzi jednak do znacznych rozbieżności między teorią a eksperymentem. Wzór Bethego–Blocha z poprawkami powłokowymi dokładnie opisuje wyniki eksperymentalne powyżej 1 MeV/u. Jednak znacznie poniżej 1 MeV/u straty energii jonu prawidłowo opisuje teoria Lindharda, Scharffa i Schiotta [2]. Ciężkie jony przechodząc przez materię zmieniają swoje stany ładunkowe na skutek wychwytu i jednoczesnej emisji elektronów. Pociąga to za sobą zmiany średniego potencjału jonizacyjnego oraz trudności w ilościowym opisie tego procesu.

Przy pomiarach czasów życia metodami dopplerowskimi, jak to było wspomniane przy omawianiu metody RIV w pierwszej części, do zamiany odległości na czas używane są prędkości jąder po opuszczeniu tarczy. Aby je precyzyjnie wyznaczyć musimy znać energię pocisku oraz wartości strat energii w tarczy. W przedstawionej pracy odwróciliśmy kolejność: wykorzystując wcześniej zmierzone i znane z tablic wartości czasów życia stanów 2^+ w jądrach ^{129}La , ^{127}Cs i ^{125}Cs wyznaczyliśmy prędkości, a w konsekwencji wartości strat energii tychże jonów w ośrodku Sn (tarczy). Została zastosowana tzw. metoda średniej grubości tarczy (Semi-Thick Target Method - STM) [5,6] do badania strat energii jonów La i Cs (jąder złożonych powstałych w reakcji wiązki z tarczą). Ponieważ energia jąder złożonych jest niższa od 0.2 MeV/u, to wzór Bethego–Blocha nie ma zastosowania.

Dla małych prędkości jonów, porównywalnych ze średnią prędkością elektronów powłoki K atomów tarczy, wzór LSS może stanowić dobre przybliżenie. W niektórych przypadkach elektrony walencyjne ośrodka mogą być traktowane jak gaz elektronowy. W eksperymencie opisanym w pracy H3 zmierzono stopping power przy początkowej energii jonów rzędu 40 keV na nukleon. Teoretyczne oszacowania elektronowego i jądrowego składnika stopping power w ciałach stałych, a także zasięgu i rozrzutu, można uzyskać z teorii LSS [2] oraz z tablic Northcliffe'a i Shillinga [7].

W eksperymencie pokazaliśmy, że formuła znaleziona przez Bethego i Blocha nie stosuje się przy niskich energiach (poniżej 0.2 MeV) i należy używać formuły LSS (J. Lindhard, M. Scharff, H.E. Schiott) [4]. Ponadto okazało się, że tablice Zieglera oparte na ekstrapolacji równań Bethe-Blocha zaniżają stopping power o 15% dla niskich energii jonów. To bardzo ważne dla wszystkich nisko-energetycznych eksperymentów, w których prędkość jądra złożonego musi być precyzyjnie oszacowana na podstawie tablic.

Jak pokazaliśmy, badanie stopping power jest bardzo ważne w zastosowaniach i wciąż pojawiają się zakresy energii, dla których wartości tablicowe różnią się od mierzonych. W naszym przypadku dla energii 0.2 MeV/u rozbieżności dochodziły do 15%. Dwa lata temu ukazała się bardzo ciekawa praca [8] w której wykryto rozbieżności stopping power dla jonów ^{208}Pb w zakresie energii 35-280 MeV/u sięgające 27%!

Z powyższego widać, że trzy przedstawione prace poruszają bardzo aktualne zagadnienia i wnoszą bardzo istotny wkład w rozwój eksperymentalnej fizyki jądrowej.

Bibliografia:

- [1] H. Bethe, Zeitschrift für Physik 76 (1932) 293.
- [2] J. Lindhard, M. Scharff, H.E. Schiott, Matematisk-fysiske Meddelelser udgivet af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab 33 (14) (1963) 10.
- [3] J.F. Ziegler, Journal of Applied Physics/Applied Physics Reviews 85 (1999) 1249.
- [4] J.F. Ziegler, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 219–220 (2004) 1027.
- [5] E.O. Lieder, A.A. Pasternak, R.M. Lieder, R.A. Bark, E.A. Lawrie, J.J. Lawrie, S.M. Mullins, S. Murray, S.S. Ntshangase, P. Papka, N. Kheswa, W.J. Przybyłowicz, P.T. Sechogela, K.O. Zell, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A A607 (2009) 591.
- [6] J. Srebrny, Ch. Droste, T. Morek, K. Starosta, A. Wasilewski, A.A. Pasternak, E.O. Podsvirova, Yu.N. Lobach, G.B. Hagemann, S. Juutinen, M. Piiparinen, S. Tormanen, A. Virtanen, Nuclear Physics A 683 (2001) 23.
- [7] L.C. Nortcliffe, R.F. Shilling, Nuclear Data Tables A7 (3–4) (1970).
- [8] S.Ishikawaa, H.Geissel, et al. “Accurate simultaneous lead stopping power and charge-state measurements in gases and solids: Benchmark data for basic atomic theory and nuclear applications”, Physics Letters B 846 (2023) 138220.

Mój udział w pracy H3.

W pracy jestem autorem korespondencyjnym. Inicjatorem metody grubej tarczy był A.A. Pasternak. Przeprowadziłem analizę wyników oraz zredagowałem pracę, za wyjątkiem części poświęconej opisowi konfiguracji eksperymentu. Przeprowadziłem obliczenia stopping power, porównanie z tablicami Ziglera i interpretację wyników. W szczególności mój udział w pracy można streścić w następujących punktach:

- edycja tekstu artykułu, za wyjątkiem opisu ustawienia eksperymentu
- obliczenia w paragrafie 2)
- obliczenia w paragrafach 6) i 7)
- prowadzenie korespondencji z recenzentami

Chcę dodać, że będąc autorem korespondencyjnym otrzymałem wiele gratulacji od fizyków zajmujących się stopping power. Między innymi od nieżyjącego już profesora Helmuta Paula z Uniwersytetu w Linzu, który od 1990 roku zbierał dane eksperymentalne stopping power do własnych, opublikowanych tablic.

(dostępne w internecie: <https://www.fis.unam.mx/~serkovic/StoppingPower/index.html>)

VII. INFORMACJA O WYKAZANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

- 1989 – 92 RESEARCH FELLOW – trzyletni kontrakt naukowy w GSI – DARMSTADT, Niemcy (Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt). Udział w przygotowaniu eksperymentów zderzeń ciężkich jonów w grupie ALADIN. Udział w opracowaniu wyników danych i publikacjach grupy. Samodzielne prowadzenie jednego z nurtów badań dotyczącego możliwych przejść fazowych i zjawisk krytycznych w rozgrzanej materii jądrowej. (Szereg publikacji w *Phys. Rev. Letters* i *Phys Review*).
- 1993 - 95 RESEARCH FELLOW – udział w trzyletnim grantie naukowym w GINIL – Francja (GRAND ACCELERATEUR NATIONAL D'IONS LOURDS) Caen in France, Normandie. Analiza wyników eksperymentu fuzji uranu U^{238} przy energii wiązki 24.3 MeV/A.
- 2016 Uniwersytet Jyväskylä, Finlandia – 23.10.2016 – 31.10 2016 – udział w eksperymencie
- 2018 GANIL - Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, Caen, Francja.- 16.07.2018 – 24.07.2018 - udział w eksperymencie
- 2018 Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering - IFIN HH, Rumunia - 19.05.2018 – 25.05.2018 – udział w eksperymencie

Moje publikacje z ostatnich 10 lat dotyczące tego tematu to jeszcze 27 publikacji (źródło: Brookhaven database lub Web of Knowledge lub orcid). Są wymienione w opisie moich osiągnięć.

.....
(podpis wnioskodawcy)