

До г-н Председателя на журито
за защита на дисертационен труд
за придобиване на научната и
образователна степен „доктор“

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р Ани Петрова Минкова, Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ (пенсионер от 2006 г.)

върху дисертационния труд на Станимир Петров Кисъов на тема:
„ Структура на нисколежащи състояния в слабо деформирани и преходни ядра”

Г-н Станимир Петров Кисъов е завършил висше образование по физика във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски”, специалност „Физика на ядрото и елементарните частици“. Бакалавърска и магистърска дипломни работи е направил под ръководството на гл.ас.д-р Стефан Лалковски. Зачислен е за докторантура през 2013 г. в катедра Атомна физика към Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“. Работата му по дисертацията е извършена в сътрудничество с учени от Националния институт за физически изследвания и ядрено инженерство Хория Холубей в Магуреле, Букурещ, Румъния (IFIN-HH : Horia Holubei National Institut for R&D in Physics and Nuclear Enguneering). В дисертацията са включени и резултатите от експерименти, проведени в Института Лауе-Ланжвен (ILL) в Гренобъл, Франция, и Лабораторията по тежки йони (Heavy Ion Laboratory – HIL) във Варшава, Полша.

Научен ръководител на г-н Кисъов е доц. д-р Венцислав Русанов, а негов научен консултант е гл. асистент Стефан Лалковски.

Дисертацията е написана на 113 страници, като съдържа 47 фигури и 10 таблици. Цитираната литература е от 126 статии и книги. Резултатите от проведените експерименти и извършените теоретични изчисления са оформени в 7 статии и един текст в процес на подготовка за публикация. Съдържанието на дисертацията включва „Увод” , 7 глави и заключение с научните приноси. В текста на дисертацията е включен списък на фигурите и списък на таблиците (общо 3 страници).

Изследванията в предложената дисертация са с фундаментален характер и са в областта на ядрената структура. Те са посветени на

изучаване на преходни ядра в масовата област $A \sim 100$ и $40 < Z < 50$. Получаването на експериментални данни за нови нива в известните схеми на разпадане, както и определяне времена на живот, са много съществени за интерпретацията на схемите и структурата на тези ядра във възбудените състояния. Изследванията са основно за нечетните изотопи на Cd ($A=103, 105, 107$) и Ru ($A=99, 101, 103$) и за тях са определени периодите на полуразпадане на нисколежащите възбудени състояния. В дисертацията са изчислени редуцираните вероятности за преход за същите нива и е направено сравнение със систематичното поведение на състоянията в изотопичните вериги.

Първите три глави на дисертацията са увод и обща част от 2 глави, в която са разгледани обстойно и с разбиране основните наблюдаеми величини в областта на ядрената спектроскопия, свързана със структурата на ядрото. Специално внимание е отделено на методите за определяне времената на живот на възбудените състояния и редуцираните вероятности за преход, както и на матричните елементи. Тези текстове обхващат 25 страници и са написани много ясно и с разбиране на материята. Разгледани са и особеностите на едночастичните и колективните степени на свобода, както и основните положения на сферичния и деформирания слоести модели. Специално внимание е отделено и на два алгебрични модела. Това са моделът на взаимодействащите бозони (IBM) и моделът на взаимодействащите бозони и фермиони (IBFM). Именно в рамките на тези модели докторантът прави изчисления, които използва за интерпретация на експерименталните си резултати.

Експерименталните методи са описани подробно в глава 4. Разгледани са свойствата на новите детектори от лантанов бромид ($\text{LaBr}_3:\text{Ce}$), тъй като те играят основна роля в многодетекторната система ROSPHERE (ROmanian array for γ -SPectroscopy in Heavy ion REactions). Тази система се състои от 11 полупроводникови детектора от свръхчист германий и 14 сцинтилационни детектора от лантанов бромид. Много съществена част за получаването на резултатите е изградената схема на забавени съвпадения, която е описана детайлно в дисертацията.

Резултатите от тези изследвания са публикувани в 4 статии в реномирани списания като Physical Review C и European Physical Journal. В 3 от тези публикации Кисъв е пръв съавтор. Една от статиите още не е публикувана. Първата от тези статии (от 2010 г.) дава описание на експерименталната постановка и съавтори са целият румънско-български колектив. Една от статиите (от 2016 г.) се отнася до теоретичното описание на нисколежащите състояния в изотопите на рутения с $A \sim 100$ с алгебрични модели. Другите две статии се отнасят до резултатите, получени за $^{103,105,107}\text{Cd}$, това е статията, публикувана през 2011 г. Резултатите за $^{99,101,103}\text{Ru}$ са в подготовка за печат.

Резултатите са представени и на няколко международни конференции, като са публикувани в материалите от тези конференции в Bulg. J. Phys. (2015 г.), J. Phys.: Conf. Ser. (2012 г.), Proc. Int. Workshop on Nucl. Theory (2013 г.) и Научни трудове на ПУ „Паисий Хилендарски“. В тях Кисъв е на първо място измежду съавторите.

Докторантът е съавтор на още 11 публикации, свързани с изследвания, в които той е участвал.

Същността на използвания метод се изразява в измерването на времеви интервали, определени от разликата в моментите на регистриране на частици или γ -кванти. Полученото разпределение носи информация както за функцията на отклик на апаратурата, така и за времето на живот на изследваното междинно състояние. В ядрената физика първообразът на този метод се появява през 50-те и 60-те години на миналия век, когато са измервани времевите разпределения от съвпадения между заредени частица и γ -кванти. През 70-те години се разработват детекторите от свръхчист германий и това предизвиква революция в γ -спектроскопията. Методът е модифициран с водещо българско участие на акад. Андрейчев. В рамките на тази модификация, времената на живот на възбудени ядрени състояния се измерват чрез схема на съвпадения, реализирана с един Ge детектор и един бърз пластмасов сцинтилатор. Бързият сцинтилационен детектор се използва за задаване началото на събитието, докато Ge детектор задава момента на регистрация на разреждащия преход. Едно от най-късите времена на живот, измерено чрез тази модификация на метода е от порядъка $0,1 \text{ ns}$. През 80-те години на миналия век се разработват сцинтилационни детектори от BaF_2 , които се характеризират както с бързодействие така и със сравнително добра разделителна способност по енергии. Разработват се методи за измерване времена на живот на възбудения ядрени състояния след бета-разпад като се използва бърз пластмасов детектор, германиев детектор и един детектор от BaF_2 . Пластмасовият детектор се използва за START, детекторът от BaF_2 – за STOP, а чрез Ge детектор се подбира пътеката на разпад. Този метод, става известен като “ultra fast-timing”, е приложим за измерване времена на живот на състояния, заселени от бета-разпад, където множествеността на гама-квантите в съвпадение е ниска. Най-късите времена на живот, измерени по този начин, са от порядъка на около 10 ps .

Ефективността на Ge детектори беше съществено увеличена чрез поставянето на основния детектор в антикомтонова защита от детектори BaF_2 . Бяха изградени многодетекторни системи, характеризиращи се както с висока разделителна способност по енергии, така и с висока ефективност за съвпадение, което доведе до бум в изследванията на високоспиновите състояния и откриването на супердеформирани ивици. В комбинация с плънджер, тези системи позволиха измерването на стотици, а може би и хиляди, времена на живот във времеви диапазон от няколко десети от ps

до около няколко ps, но останаха неизследвани състояния с времена на живот от около 10 ps до около 1 ns. Тъй като германиевите детектори не се характеризират с бързодействие, а детекторите от BaF_2 имат не особено висока разделителна способност по енергии, се оказа проблематично прилагането на “ultra fast-timing” метода за измерване на времена на живот на възбудени състояния, получени в реакция. През последните 10-15 години ситуацията се промени с разработването на сравнително големи кристали от LaBr_3 . Сцинтилационните детектори, изработени от LaBr_3 се характеризират с добра разделителна способност по енергия (~3% за линията на ^{137}Cs), а по време разделянето е по-добро от 200 ps. Това позволи изграждането на хибридни системи от HPGe и LaBr_3 , които се характеризират с висока разделителна способност както по енергия, така и по време и които позволяват измерването на времена на живот на възбудени състояния, заселени в реакция.

В периода 2007-2010 г., подобна система беше изградена и тествана в NIPNE-Magurele с активно българско участие (екип, воден от д-р Стефан Лалковски). Данни от тези пилотни експерименти са публикувани в списанието Phys. Rev. C с водещото участие на дисертанта (статията за $^{103,105,107}\text{Cd}$).

При експериментите, проведени в Румъния, данните се записват събитие по събитие. Системата е тригерирана при съвпадение на поне три γ -кванта, два от които регистрирани от детекторите от LaBr_3 и един – от HPGe. Сигналят от HPGe се използва за подбор на канала на реакцията и пътечката на разпад, водеща до изследваното състояние. Сигналите от LaBr_3 служат за измерване на времевите интервали, дефинирани от моментите на регистриране на зареждащия и разреждащия състоянието γ -кванти. В използваната система детекторите от HPGe са с активна комптонова защита, а детекторите от LaBr_3 имат пасивна комптонова защита, което позволява по-плътна конфигурация и съответно по-висока ефективност. При това вероятността за разсейване към съседен кристал е подтисната и с това - комптоновия фон намален. Комптоновият фон е допълнително редуциран от използване на тройни съвпадения и налагане на многомерни условия по енергии. Направен е внимателен анализ на фоновите времеви разпределения. Направен е анализ и на апаратурната функция като функция на енергията на зареждащия и разреждащия преход.

През 2013 г., в ILL Grenoble, е проведена кампания за измерване на времена на живот на възбудени състояния в ядра, произведени като фрагменти на делене. При този тип експерименти се получават около стотина ядра, всяко от което излъчва средно по няколко десетки γ -кванти, което налага много високи изисквания към детекторната система. Резултатите от този експеримент също са представени в дисертацията на г-н Кисъв .

За мен няма никакво съмнение, че г-н Кисъв е използвал най-модерна експериментална техника за решаване на поставените задачи. Прави много добро впечатление дълбокото разбиране на отклика на системата. Направен е задълбочен анализ на механизмите, генериращи систематични отклонения, и на източниците на статистически неопределености.

От гледна точка на ядрената спектроскопия, работата би била непълна без сравнение на резултатите с изчисления за изследваните ядра с някои ядрени модели. Систематиката на Ru изотопи с $A \sim 100$ обосновава използването на модела на твърд триаксиален ротор плюс частица. Изчисленията с този модел дават добро описание на енергиите на възбудените нива за $^{99,101,103}\text{Ru}$ и електромагнитните моменти на първите състояния. Тези резултати се съгласуват с идеята за нарастване на квадруполната деформация с увеличаване на броя неутрони в изотопичната верига, а също и с наличието на триаксиалност в изследваните ядра. За сравнение и обосновка на интерпретацията са проведени и изчисления с два алгебрични модела. Моделът на взаимодействията бозони (IBM) е използван за получаване на характеристиките на четните изотопи $^{98-108}\text{Ru}$, за които е известно, че има възможен преход от $U(5)$ към $O(6)$ -границите на модела. Резултатите са в съгласие с известните данни за тези ядра и обосновават еволюция от вибрационна структура (^{98}Ru) към γ -нестабилност при по-тежките изотопи. Моделът на взаимодействията бозони и фермиони (IBFM-1) е използван за изследване на нечетните изотопи $^{99-105}\text{Ru}$. Въз основа на сравнението с експерименталните данни е предложена интерпретация за нисколежащите състояния в ядрата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Без колебание изразявам мнението си, че дисертацията на г-н Станимир Петров Кисъв отговаря напълно на критериите за образователната и научна степен „доктор“ и препоръчвам на уважаемите членове на журито да му присъди тази степен.

25. 07. 2016 г.

Рецензент:

Ани Петрова Минкова
доц. д-р Физически факултет на
СУ „Св. Климент Охридски“