

Р Е Ц Е Н З И Я

на дисертационен труд представен за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ по научна специалност 4.1. Физически науки, Ядрена физика

Дисертант: Милена Кристианова Стоянова

Тема: Експериментално изследване на структурата на атомни ядра с $120 \leq N \leq 126$

Рецензия от: проф. дфз Венцислав Русанов Янков, Физически факултет на СУ “Св. Климент Охридски” катедра Атомна физика

1. Общо описание на представените материали. Представените в електронен вид материали включват дисертация и автореферат. Допълнително са представени копия от публикации върху, които е построен дисертационният труд и автобиография. Всички публикувани научни материали са свързани с дисертацията и най-общо мога да ги класифицирам по тематика като Експериментална ядрена физика свързана с изследване на ядрената структура. Въпреки забелязаните повторения в публикациите редуциране не се налага и всички представени материали се приемат за рецензиране. От годината на публикуване, а и от разговор с научния ръководител на докторант Стоянова става ясно, че публикациите са нови и са включени само в дисертацията за получаване на образователната и научна степен „доктор“. Докторант Стоянова е представила и списък с други осем излезли от печат работи, които не са включени в дисертацията, но са тематично близки до нея. В абстракта на дисертацията се формулира основната цел на дисертационния труд - експериментално изследване на свойствата на нисколежащите състояния в полониевите ядра, които се намират в околността на двойно магичното ядро ^{208}Pb . Изследват се полониеви изотопи от веригата $120 \leq N \leq 126$. В дисертацията са разгледани три четно-четни изотопа ^{204}Po , ^{206}Po , ^{208}Po както и четно-нечетният изотоп ^{209}Po . Много сериозен е опитът чрез моделни пресмятания да се даде една по-прецизна интерпретация на експерименталните резултати за нисколежащите възбудени енергийни състояния, търсене на причината и обяснение на прехода от колективен към едночастичен характер на възбудените състояния. Абстрактът, както и детайлно описание на съдържанието, списъци на фигурите и таблиците са отделени в десет номерирани с римски цифри начални страници на дисертацията. Освен тази част, дисертационният труд съдържа 6 глави, като последната включва заключение и списък на основните научни приноси. Разбира се, представен е списък на публикациите, върху които е построен дисертационния труд, благодарности и библиографска справка. Дисертационната работа е разработена на 102 страници. Цитираната литература включва 53

библиографски източника, от учебници и монографии до журнални статии, много от които нови и пряко свързани с темата.

Няма да се спирам на първите две глави, които имат обзорен характер и последователно обсъждат: едночастични и колективни възбуждания в ядрата, слоест модел и сениорити схеми за случая на едночастични и колективни възбудени състояния, характеристики на ядрените възбудени състояния и вероятности за преходи. Глава втора завършва с обсъждане на еволюцията, на ядрената структура в полониевите ядра, въз основа на известните литературни данни.

2. Обща характеристика на научната тематика. Основната научна дейност, както отбелязах е в областта на Експерименталната ядрена физика и ядрената структура. Научната и научно-изследователска дейност е основната дейност на колежката Стоянова, свързана е с изпълнението на програмата и като докторант.

3. Обща характеристика на педагогическа дейност. Нямам преки наблюдения, но автобиографичната справка съдържа за последните години дейности и задачи към катедра Методика на обучението по физика и дейности и задачи по програма Млади учени и постдокторанти. Ако има и други дейности те могат да бъдат добавени в отговора на рецензията.

4. Основни научни и научноприложни приноси. Основните научни и научноприложни приноси са представени както следва:

Глава 3 също съдържа елементи свързани с обзорната част, защото обсъжда основния експериментален метод прилаган в дисертацията, а именно метода на задържаните съвпадения прилаган за измерване на къси времена на живот в ядрената физика. Много бързо обаче от класическата схема с два детектора даващи стартовия и стоповия сигнал се преминава към Огледално-симетричен метод на отместване на центроидите (MSCD), в който последователността на сигналите във времето е и разменена. Обсъжда се така наречената PRD функцията, за дадена енергийна комбинация от преходи, която се използва като единична корекция при определянето на времето на живот на дадено възбудено състояние. PRD кривата представлява енергийната зависимост на времевия отклик на детекторната система и е специфична за всяка детекторна система и геометрични условия на експеримента. С това обаче не свършват проблемите. От простата двудетекторна система се преминава към проблеми свързани с многодетекторния характер на системата и влиянието на площта на

пика (p) към площта на фоновата подложка (b) за да се стигне накрая до заветната формула (3.15) за определяне на средното време на живот τ на възбуденото състояние. Изложението е подробно и необходимо за разбирането на проведените експерименти по определяне на средни времена на живот на ядрени състояния. В мен възникнаха някои въпроси: Огледално-симетричен метод на отместване на центроидите (MSCD) е сравнително нов, как преди са се справяли без всички обсъдени корекции, какви може да са били допусканите систематични грешки, не неопределености при определяне на средни времена на живот на ядрени състояния? Съществени ли са? Може ли да направите някакъв коментар?

В Глава 4 се описват експериментите по определяне времената на живот на нисколежащи състояния в ядрата ^{204}Po , ^{206}Po , ^{208}Po , ^{209}Po и ^{211}At , проведени в периода 2017 - 2019 година на тандемния ускорител в Института по ядрена физика, Университет Кьолн, Германия. Накратко се обсъжда тандемния ускорител и хибридна детекторна система, съставена от полу-проводникови детектори от свръхчист германий и сцинтилационни детектори от $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ с активна компютърна защита от BGO сцинтилатори, ядрените реакции по заселване на състоянията, енергетичните и времеви калибровки на детекторната система. PRD кривата е индивидуална за различните детекторни конфигурации и за всеки експеримент е построявана отделна PRD крива. Така изложението за всеки експеримент започва с нея и завършва с резултатите за определените времена на живот на първите 2^+ и 4^+ възбудени състояния. За ядрата ^{204}Po , ^{206}Po и 4^+ състоянията те са съответно 23(6) и 89(7) ps. За състоянието 2^+ в ^{204}Po поради много малката наблюдавана разлика в центроидите е определена горна граница на времето на живот ≤ 9 ps. За измерване на времена на живот в ядрото ^{208}Po е създадена по-различна установка за fast-timing измерване, в която се използва сигнал от соларни клетки, с цел да се регистрира нужният канал на реакция. Друга цел на проведения експеримент е да се провери дали соларните клетки са подходящи за прилагане в такъв метод. Като резултат от тази процедура е измерено време на живот на 4^+ състоянието в ядрото ^{208}Po от $\tau = 125(31)$ ps. Възбудените състояния в ядрото ^{209}Po са заселени в реакция на сливане с изпарение $^{206}\text{Pb}(^{11}\text{B},4n)^{213}\text{Fr}$, следващо алфа-разпадане до ^{209}At и електронно захващане до възбудените състояния в ядрото ^{209}Po . Експерименталните резултати позволяват измерване на времето на живот на $9/2^-$ състоянието в ядрото ^{209}Po от $\tau = 30(6)$ ps и измерване на времената на живот на състоянията $11/2^-$ и $5/2^-$. За състояние $11/2^-$ е получена стойност $\tau = 105(6)$ ps в съответствие с цитираната в литературата, но с намалена неопределеност. Измереното време на живот за

състояние $5/2^-$, което е първото възбудено състояние в ядрото ^{209}Po , $\tau = 66(5)$ ps не е в съответствие с времето на живот, което е цитирано в литературата.

Глава 5 започва с дискусия върху смесването на състояния и спектроскопичния фактор без и с отчитане на изотопичния спин. При интерпретацията на резултатите пораждането и еволюцията на квадруполната колективност в изследваните изотопи на полония се базира на четирите експериментални критерия: 1. енергията на първото 2^+ възбудено състояние; 2. стойност на вероятността за преход $B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$; 3. отношението на енергията на второто възбудено състояние към енергията на първото възбудено състояние **R4/2** и 4. отношението на съответните вероятности за преход **B4/2**. В дисертационния труд на 26 страници е направен детайлен анализ на тези критерии отнесен към изследваните четно-четни полониеви изотопи. Допълнително за ^{209}Po са проведени теоретични пресмятания в рамките на слоестия модел с използването на компютърния код NuShellX. Въпреки, че в редица случаи една или друга ядрена характеристика на преходите добре се описва от теоретичните пресмятания за друга съответствието между експерименталните и пресметнатите стойности не е задоволително. Например, експерименталните енергии на възбуждане на нисколежащите нечетни състояния в ядрото ^{209}Po са много добре възпроизведени от теорията, докато съгласието за електромагнитните свойства е по-малко задоволително. Прави се заключението, че за случая на полониевите изотопи с неутронен брой $N \leq 126$, еволюцията на тези четири критерия не може да се обясни еднозначно. Рецензентът трябва да признае, че не е специалист особено по отношение на моделните пресмятания и трудно може да оцени тяхната тежест и значение. Определено обаче, паралелите между експерименталните резултати и теоретичните изчисления са важни за направените в заключението изводи и после при формулиране на научните приноси.

В глава 6 Заключение кратко са описани проведените изследвания и получените резултати, които са обобщени и като научни приноси: 1. Изследвани са различни подходи по калибриране на fast-timing експерименти и построяване на PRD кривите; 2. Измерени са седем времена на живот в четири изотопа на полония - ^{204}Po , ^{206}Po , ^{208}Po и ^{209}Po , като пет от тях са измерени за пръв път. От тези времена са изчислени съответните вероятности за преход, които са интерпретирани в рамките на слоестия модел и сениорити схемата; 3. Демонстрирано е, че 8^+ и 6^+ състоянията в четно-четните Po ядра с $120 \leq N \leq 126$ имат едночастичен характер, а 2^+ и 4^+ състоянията в тези ядра имат колективен характер; 4. Преходът от едночастичен характер към колективен характер има спинова зависимост, като

2^+ и 4^+ състоянията придобиват колективност при по-малък брой неутронни дупки спрямо 8^+ и 6^+ състоянията; 5. Структурата на нечетните състояния в ядрото ^{209}Po е доминирана от сдвояването на неутронната дупка в това ядро до някое от ираст състоянията в ядрото ^{210}Po ; 6. Отстраняването на един неутрон от ядрото ^{210}Po не предизвиква никаква допълнителна квадруполна колективност в ядрото ^{209}Po ; 7. Прехода от едночастичност към колективност, за нискоспиновите състояния в полониевите ядра с неутронен брой $120 \leq N \leq 126$, се случва при неутронен брой $N \leq 125$.

Като цяло научните приноси може да бъдат обобщени както следва: 1. Доказване с нови средства на съществени нови страни на вече съществуващи научни области, проблеми и теории; 2. Получаване и доказване на нови факти и стойности, в обсъждания случай, на ядрени характеристики; 3. Получаване на потвърдителни факти.

5. Отражение на научните публикации в нашата и чуждестранна литература. Оригиналните резултати са отразени в 3 научни публикации, две от които са излезли от печат във Phys. Rev. C и 3 доклада на научни форуми, публикувани в пълен текст. Представен е и допълнителен списък с публикации на автора включващ 8 работи несвързани с дисертацията, но тематично близки до нея. Публикационната активност е добра и покрива препоръчителните критерии на Физическия факултет за представяне на докторски дисертации за образователната и научна степен „доктор“. Публикациите свързани с дисертацията са излезли от печат сравнително скоро. Не са представени данни за цитирания и индекс на Хирш. Ако има такива докторант Стоянова може да ги представи на защитата.

6. При колективни публикации да се отдели приносът на кандидата. Имайки предвид спецификата на проведените изследвания, публикациите в които е включена докторант Стоянова са подписани от сравнително малки авторски колективи. Оставам с впечатление, а това беше потвърдено и от други участници в колаборацията, че нейният принос съвместно с другите членове на изследователските колективи е видим и добре защитим.

7. Критични бележки и въпроси по представените трудове. Към проведените експериментални изследвания, получените резултати, тяхната обработка и получените числени стойности нямам съществени забележки. В текстът на дисертацията се забелязват умерен брой, предимно технически неточности, които не пречат съществено на запознаването с материала по време на четенето. Имам няколко въпроса към докторант Стоянова:

1. Възможно ли е изследването на ядрата $^{204,206}\text{Po}$ да се извърши по друг метод, така че да се получат по-точно времена на живот на първите 2^+ състояния и да се верифицират резултатите за времената на живот на 4^+ състоянията получени в настоящата работа?

2. Ядрото ^{209}Po е изследвано в реакция на α трансфер като докторантката споменава, че са били конструирани тройни съвпадения от типа Solar-LaBr-Ge. За какво са използвани тези данни и можели от тях да се извлече информация за времена на живот?

3. При описанието на експерименталните резултати за ядрото ^{209}Po е заключено, че несъответствието между изчислените и експерименталните стойности за вероятността за преход $V(E2; 5/2^-_1 \rightarrow 1/2^-)$ се дължи на неправилна протонна компонента в изчисленото $1/2^-_1$ състояние. Защо се изключва възможността проблемът да е свързан с изчисленото $5/2^-_1$ състояние? Как на практика може да се постигне относителното увеличаване на приноса на конфигурацията със сениорити число равно на 3: $\pi(1h_{9/2})^2_2 \otimes \nu(2f_{5/2})^{-1}_{5/2}$, което е предложено като решение на проблема?

8. Лични впечатления за кандидата. Имам само бегли впечатления и не познавам добре работата на докторанта. Някои разговори със съавтори на дисертанта и участници в колаборацията ме карат да считам, че по време на докторантурата, кандидата активно и целенасочено е работил по поставените му задачи както у нас така и в чужбина.

9. Авторефератът правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд. Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и правилно отразява основните резултати изложени по-подробно в дисертационния труд.

10. Заключение. Представената ми дисертация поставя цели и задачи постижими с избраните за тези изследвания методи. Начинът на изпълнение, количеството и качеството на проведените изследвания и публикуваните резултати, както и формулираните приноси покриват препоръчителните изисквания на Физическия факултет за присъждане на образователната и научна степен „доктор“. Като цяло оценявам подчертано положително труда на докторанта и препоръчвам на уважаемото Научно жури да присъди на **Милена Кристианова Стоянова** образователната и научна степен “доктор”. На окончателното заседание на Научното жури ще гласувам “ЗА”.

18.01.2021

София

Рецензент:

(проф. дфзн Венцислав Русанов Янков)