

РЕЦЕНЗИЯ

на Дисертация за получаване на образователната и научна степен “ДОКТОР”

на Милена Кристианова Стоянова

на тема

“Експериментално изследване на структурата на атомни ядра с $120 \leq N \leq 126$ ”

Професионално направление: 4.1 Физически науки

Научна специалност: Ядрена физика

от доц. Елена Александрова Стефанова, ИЯИЯЕ-БАН

Биографична справка

Милена Стоянова е завършила специалност физика с придобита магистърска степен и специализация ”Физика на ядрото и елементарните частици” във Физическия факултет на СУ “Св. Кл. Охридски”. Редовната ѝ докторантура е под ръководството на проф. дфзн Георги Райновски. От септември 2020 е назначена като физик в катедра “Методика на обучението по физика”. Владее английски, френски и руски езици.

Общо описание на представената дисертация и свързаните с нея материали

Дисертацията съдържа 102 страници, текстът е разделен в 6 глави, съдържа 11 таблици, 35 фигури и 53 библиографични цитата. Глава първа дава изчерпателно описание на теоретичните модели, свързани с представеното научно изследване. Поставените експерименти и последвалите анализи са описани детайлно и изчерпателно в глава 3. Получените резултати са разгледани в глава 4. Дискусията на получените резултати е представена в глава 5. Глава 6 съдържа заключение и основни научни приноси. Авторефератът съответства на дисертацията и отговаря на изискванията.

Дисертационният труд се основава на три публикации във Physical Review C, което е реномирано списание с импакт фактор 3.240 за 2019-2020 и сериозно рефериране. В една от публикациите Милена Стоянова е първи автор, а в друга, която е изпратена, но все още не е приета и публикувана е втори автор, което показва съществен принос на докторантката в изследванията. Има и трета публикация, в която докторантката не е в първите позиции на списъка със съавтори. Има и 2 публикации в пълен текст от доклади, изнесени лично от нея на реномирани международни форуми, както и представяне на резултати на постер сесия.

Съавтор е в множество публикации, несвързани с дисертацията.

Научни постижения

Научните постижения могат да се оценят като новост в науката, по-точно нови експериментални открития, както и обогатяване на съществуващи знания. Дисертацията е базирана върху изследване на ядра в областта на класическото за ядрената физика двойно-магично ядро ^{208}Pb . Въпреки че изследването и описването на ядрата около двойно-магичното ядро ^{208}Pb е от ключово значение за ядрената структура и по-специално за развитието на слоестия модел, изключително важна експериментална

информация все още липсва. От няколко години групата на проф. Райновски работи по запълването на част от липсващата експериментална информация в тази област. В настоящата работа са измерени общо 7 времена на живот в ядрата ^{204}Po , ^{206}Po , ^{208}Po , и ^{209}Po , като 5 от тези времена на живот са измерени за първи път, а две са измерени със значително по-малка грешка в сравнение с предишни измервания. Измерени са времената на живот на 4_1^+ състоянията в ^{204}Po , ^{206}Po , и ^{208}Po , горната граница на времето на живот на 2_1^+ състоянието в ^{204}Po , времената на живот на $5/2_1^-$, $9/2_1^-$, и $11/2_1^-$ състоянията в ^{209}Po . Трябва да се наблегне на важността от измерването на 4_1^+ състоянията в ^{204}Po , ^{206}Po , и ^{208}Po . Тъй като тези състояния се намират между дългоживущите, от порядъка на стотици ns, 8_1^+ състояния и краткоживущите, от порядъка на няколко ps, 2_1^+ състояния, технически трудности са възпрепятствали измерването на времената на живот на 4_1^+ състоянията в тези ядра с класическите методи на високо-спиновата експериментална физика.

От времената на живот се изчисляват приведените вероятности за преход, което е величина, даваща важна информация за структурата на състоянието, чието време на живот е измерено.

Целта на изследванията е да се провери валидността на сеньорити схемата при полониевите изотопи с $N < 126$ и евентуално да се установи къде става преходът от едночастичен към колективен мод. Това е задача с фундаментално значение за ядрената структура. В четно-четните Po изотопи с $N < 126$, в случая ^{204}Po , ^{206}Po , и ^{208}Po , сеньорити мултиплетната схема би се изявила със състояния 2_1^+ , 4_1^+ , 6_1^+ , 8_1^+ , имащи структурна конфигурация $\pi(h_{9/2})^2$, като енергиите на нивата и приведените вероятности за преход, както и техните отношения трябва да следват също определено поведение, а 8_1^+ състоянието е изомер.

Наистина, сравнението на теоретични изчисления с измерените в настоящата работа приведени вероятности за преход $B(E2; 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ приближава до отговора на въпроса за преход от едночастичен към колективен характер на ниско-лежащите възбудени състояния в Po изотопи с $N < 126$.

Описание на научните изследвания представени в дисертацията

Дисертацията е базирана върху изследване на ядра в областта на двойно-магичното ядро ^{208}Pb с 82 протона и 126 неутрона. Измерени са времената на живот на 4_1^+ състоянията в ^{204}Po , ^{206}Po , ^{208}Po , горната граница на времето на живот на 2_1^+ състоянието в ^{204}Po , времената на живот на $5/2_1^-$, $9/2_1^-$, $11/2_1^-$ състоянията в ^{209}Po . Експериментите за определяне на тези времена на живот са проведени на HORUS спектрометъра на тандем ускорителя в Института по ядрена физика в Кьолн в периода 2017 – 2019 година. Възбудените състояния на ядрото ^{204}Po и ^{206}Po са заселени в следните реакции на сливане с изпарение, $^{197}\text{Au}(^{11}\text{B}, 4n)^{204}\text{Po}$, с енергия на снопа 55 MeV и $^{198}\text{Pt}(^{12}\text{C}, 4n)^{206}\text{Po}$, с енергия на снопа 65 MeV. Възбудените състояния на ядрото ^{208}Po са заселени в следната реакция на трансфер $^{204}\text{Pb}(^{12}\text{C}, ^8\text{Be})^{208}\text{Po}$, с енергия на снопа 62 MeV. Възбудените състояния в ядрото ^{209}Po са заселени в доста нетривиален експеримент, а именно чрез последователни алфа-разпад и реакция на електронен захват от ядрото ^{213}Fr . Самото ядро ^{213}Fr е заселено в

реакция на сливане с изпарение $^{206}\text{Pb}(^{11}\text{B},4n)^{213}\text{Fr}$, при енергия на снопа 65 MeV. Ядрото ^{213}Fr има период на полуразпад $T_{1/2} = 34.14(6)$ s и се разпада чрез алфа-разпад до основното състояние на ядрото ^{209}At , което ядро ^{209}At от своя страна има период на полуразпад $T_{1/2} = 5.42(5)$ h и се разпада чрез електронен захват до възбудени състояния в ядрото ^{209}Po . По този начин, времената на живот на тези възбудени състояния в ^{209}Po са станали достъпни за измерване.

За експериментално определяне на времената на живот е утилизирани електронният метод на бързи гама-гама съвпадения с използване на $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ детектори. Гама квантите от разпада на възбудените състояния са детектирани на хибридна установка, състояща се от 8 HPGe детектори и 9 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ детектори. Времената на живот на състоянията от интерес са получени от разликите във времевите разпределения прилагайки Обобщения метод на разлика в центроидите (Generalized Centroid Difference Method).

На базата на измерените времена на живот е разгледано възможното пораждање и еволюция на квадруполната еволюция в изследваните полониеви изотопи с $N < 126$. Пораждането и еволюцията на квадруполната колективност в четно-четните ядра е диагностицирана по следните 4 експериментални характеристики: енергия на първото 2_1^+ състояние, стойността на вероятността за преход от първото 2_1^+ състояние до основното 0_1^+ състояние, отношението $R_{4/2}$ на енергията на второто възбудено състояние 4_1^+ към първото възбудено състояние 2_1^+ , и отношението на съответните вероятности за преход $V_{4/2}$. Резултатите от анализите на тези характеристики дават противоречиви резултати. Една характеристика говори за запазване на едночастичния характер, друга за колективност. На базата на резултатите за $V_{4/2}$ е заключено, че 2_1^+ и 4_1^+ състоянията в ^{210}Po може би са резултат от смесване на $\pi(h_{9/2})^2$ и $\nu(f_{5/2})^2$ конфигурации. Направени са опростени изчисления по модела на смесване за 2^+ и 4^+ състоянията в ^{206}Po . На базата на емпирични данни, ефективното протон-неутронно остатъчно взаимодействие в ^{206}Po е оценено на стойност $V_{\text{mix}} = 308$ keV. Заключено е, че приносът на тази конфигурация е по-значителен в 2_1^+ състоянието на ^{206}Po , докато 4_1^+ състоянието би трябвало да има и сериозна колективна компонента. Предположено е, че 2_1^+ и 4_1^+ състоянията в ^{204}Po проявяват по-колективен характер и оценките по модела на смесване стават все по-невалидни. За 4_1^+ състоянието в ^{204}Po са предположени доминиращи колективни възбуждания.

От друга страна, 6_1^+ и 8_1^+ състоянията в изследваните ядра $^{204,206,208}\text{Po}$ по-скоро запазват едночастичния характер и за тях е валиден сеньорити модела.

За ядрото ^{209}Po са направени слоест модел изчисления. Заключено е, че премахването на един неутрон от ядрото ^{210}Po не води до допълнителна колективност в ниско-лежащите нечетни състояния в ядрото ^{209}Po .

Дискусия за ^{208}Po

За състоянието $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ в ^{208}Po е измерена приведена вероятност за преход 0.7 W.u. Обаче на базата на други съобщения е заключено, че има преобладаващ колективен

характер. Може би това е прекалено силно заключение, което лично аз трудно бих приела. Това не е забележка към дисертацията, въпросът е по-фундаментален.

Принос на кандидата

Кандидатът е участвал във всички етапи на извършеното изследване, включващи провеждането на експеримента, анализите на данните, дискусиата и подготовката на публикацията. Подробното описание на анализите показва, че са правени от кандидата.

Критични забележки

В дисертацията се забелязват технически грешки, има пропуснати думи в изречения, думата “seniority” е изписана на български “сениорити” вместо “сеньорити”. В абстракта е дадено, че прехода от едночастичен към колективен характер се случва между ядра с неутронен брой $124 \leq N < 125$, което чисто математически дава $N = 124$. Таблица с всички измерени времена на живот на едно място, в допълнение към дадените локални таблици за всяко ядро, щеше да онагледи по-добре приносите и да подпомогне четенето на дисертацията.

Енергията 686 keV на 2_1^+ състоянието в ^{208}Po е драстично по-ниска от енергията 1181 keV на 2_1^+ състоянието в ^{210}Po . На базата на това наблюдение е заключено нарастване на колективността при 2_1^+ състоянието в ^{208}Po . Това заключение в конкретния случай може би е пресилено, особено без да е измерена приведената вероятност за преход от 2_1^+ до 0_1^+ състоянието в ^{208}Po .

Обобщено заключение в края на дискусиата за всички ядра щеше да придаде по-завършен вид на дискусиата.

Въпрос

В заключението се казва, че преходът от едночастичен към колективен режим става при $N \leq 125$, а в статията, че този преход става над неутронен брой 124, а в абстракта е при $124 \leq N < 125$?

Заклучение

Дисертацията се основава на прецизно измерени времена на живот в ядрена област, която е много важна за фундаменталното разбиране на ядрената структура. Дисертацията е написана изчерпателно. Подробното описание на анализите разкрива участието на кандидата в тях. Дисертационният труд се основава на две публикувани и една изпратена статии в реномирани международни списания с импакт фактор.

С убеденост препоръчвам на уважаемото научно жури да присъди образователната и научна степен “доктор” на Милена Кристианова Стоянова.

27.01.2021

Рецензент:

доц. Елена Стефанова