

# РЕЦЕНЗИЯ

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

на Диана Цветанова Кочева

на тема

“Експериментално изследване на нисколежащите квадруполни възбуждания в ядрото  $^{212}\text{Po}$ ”

Професионално направление: 4.1 Физически науки

Научна специалност: Ядрена физика

от доц. Елена Александрова Стефанова, ИЯИЯЕ-БАН

## Биографична справка

Диана Кочева е завършила физика с присъдена магистърска степен по специалност “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. Дисертационният труд е направена в рамките на 3 години.

## Общо описание на представената дисертация и свързаните с нея материали

Дисертацията е написана на английски. Изложението е стегнато и ясно. Забелязаните граматически пропуски са пренебрежими, а технически грешки почти няма. Дисертацията съдържа 80 страници, текстът е разделен в 7 глави, съдържа 8 таблици, 29 фигури и 77 библиографични цитата. Текстът съдържа увод с кратко въведение в проблематиката на ядрената структура и много добре изразена и обоснована мотивация. Глава втора дава изчерпателно и същевременно кратко описание на теоретичните модели свързани с представеното научно изследване. Поставените експерименти и последвалите анализи са описани детайлно и изчерпателно. Получените резултати са дискутирани в глава 6. Представен е Автореферат, който е на български, съответства на дисертацията и отговаря на изискванията.

Дисертационният труд се основава на три публикации в реномирани списания с импакт фактор и сериозно рефериране, две във Phys. Rev. C, което е с 5 годишен импакт фактор 3.676 и една във Eur. Phys. J A, което е с 5-годишен импакт фактор 2.644. Има и 3 публикации в пълен текст от доклади изнесени лично от нея на реномирани международни форуми. Диана Кочева е първи автор във всички публикации, което показва много съществен принос в изследванията.

Участва и в две публикации в реномирани списания с импакт фактор, 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  $^{208}\text{Pb}$ . Естествено е да се очаква, че в тази област всичко по-важно е

известно. Оказва се, че дори времето на живот на първото  $2^+$  състояние в ядрото  $^{212}\text{Po}$ , имащо само два неутрона и два протона повече от  $^{208}\text{Pb}$  не е известно. В настоящото научно изследване времето на живот на първото  $2^+$  състояние в  $^{212}\text{Po}$  е измерено за първи път. Използван е методът на откатните ядра (RDDSM). Получената вероятност за преход на базата на това измерване разкрива много ниска квадруполна колективност за първото  $2^+$  състояние в  $^{212}\text{Po}$ . Направеното систематично изследване на структурата на първите  $2^+$ ,  $4^+$ ,  $6^+$  и  $8^+$  състояния в  $^{212}\text{Po}$  (времената на живот на  $6^+$  и  $8^+$  състоянията са известни от предишни изследвания) в рамките на слоестия модел в едночастично приближение разкрива неочаквано разминаване между теория и експеримент при приведените вероятности за преход на разреждащите ги състояния. Наблюдаваната особеност е потвърдена и от систематичните изследвания на последователността  $2^+$ ,  $4^+$ ,  $6^+$  и  $8^+$  в съседните  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в рамките както на едночастичен слоест модел, така и на реалистичен слоест в голямо моделно пространство, а за  $^{210}\text{Po}$  и в рамките на Квазичастично фононния модел (QPM) модела. Оказва се, че всички приведени вероятности за преход за E2 преходите разреждащи въпросните 4 състояния и в трите ядра не могат да се възпроизведат с едни и същи ефективни заряди. Силата на преходите  $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$  в трите ядра се възпроизвежда само с ефективен заряд получен от  $2^+ \rightarrow 0^+$  преходи, докато силата на преходите разреждащи  $6^+$  и  $8^+$  състоянията се възпроизвежда само с ефективни заряди оценени от по-високите преходи. Ефектът е категорично систематичен и не става въпрос за обичайното разминаване между теория и експеримент. В дисертацията е заключено, че моделите пропускат съществена част от взаимодействието и не могат да възпроизведат ниско-лежащите състояния в областта на  $^{208}\text{Pb}$ . Откриването на такъв проблем е сериозен принос на работата, тъй като поставя въпроси за разрешаване пред теорията на атомното ядро.

С цел на получаването на по-горното систематично изследване е измерено и времето на живот на  $2_1^+$  състоянието в  $^{210}\text{Po}$ , като настоящето измерване води до сериозна корекция на известната му стойност. За първи път е измерено и времето на  $2_2^+$  състоянието в  $^{210}\text{Po}$ .

Така наречените състояния със смесена симетрия (изовекторни състояния) са предсказани теоретично в рамките на IBM-2 модела от A. Arima и F. Iachello осемдесетте години на миналия век. Когато такова състояние бе открито за първи път експериментално предизвика сензация в средите на занимаващите се със структура на ядрото. Открито бе в  $^{94}\text{Mo}$ , в областта ядрото  $^{90}\text{Zr}$ . Идентифицирани бяха подобни състояния и в циркониевите изотопи. Последва идентифицирането на такива състояния в областта около двойно-магичното  $^{132}\text{Sn}$ . В настоящата работа за първи път е идентифицирано състояние със смесена симетрия в областта на двойномагичното  $^{208}\text{Pb}$  и по-специално това е второто  $2^+$  състояние в  $^{212}\text{Po}$ . В допълнение към този принос, който сам по себе си е много сериозен е установено, че това състояние е с много ниска колективност, която може да се възпроизведе в рамките на слоестия модел. Намерените до този момент състояния със смесена симетрия се характеризират със слаба квадруполна колективност, но не и с едночастична.

### **Описание на научните изследвания представени в дисертацията**

Дисертацията е базирана върху изследване на ядра в областта на двойно-магичното ядро  $^{208}\text{Pb}$  с 82 протона и 126 неутрона. Ядрото  $^{212}\text{Po}$  има два протона и два неутрона повече от

$^{208}\text{Pb}$ , което допуска наличието на състояния със смесена симетрия. Състоянията със смесена симетрия са състояния, в които протоните и неутроните се движат в противофаза. Наричат се още изовекторни, тъй като структурата им е чувствителна към изовекторната част на протон-неутронното взаимодействие. Дефинирани са в рамките на IBM-2 модела. Две от състоянията в  $^{212}\text{Po}$ , второто и третото  $2^+$  състояния са разгледани като подходящи кандидати за състояния с подобна структура. За да се установи дали наистина са състояния с подобна симетрия е необходимо да се измери силата на M1 преходите от всяко от тези състояния до първото  $2^+$  състояние. За целта в настоящото изследване са измерени времената на живот на второто и третото  $2^+$  състояния в  $^{212}\text{Po}$ . За целта е проведен експеримент на установката в Университета в Кьолн, Германия. Използвана е реакция на трансфер  $^{208}\text{Pb}(^{12}\text{C}, ^8\text{Be})^{212}\text{Po}$  с енергия на снопа 62 MeV, около 2 MeV под Кулоновата бариера. За определяне на времената на живот на дискутираните две състояния е използван Методът на отслабване на Доплеровото отместване (DSAM). Гама лъчите са регистрирани с 12 свръхчисти германиеви детектори, разположени в три подходящи направления, а леките заредени частици са регистрирани със соларни клетки също разположени в пръстен под подходящи ъгли. Записваните и впоследствие сортирани събития са при съвпадения между гама-гама, както и при гама-частица. Енергиите на изследваните преходи са 785 и 952 keV и от представените фигури се вижда добре изразено Доплерово уширение на линиите, което уверява в надежността на резултатите. Анализите на данните водещи до времената на живот на  $2_2^+$  и  $2_3^+$  състоянията са описани подробно в дисертацията. Получените резултати за силата на измерваните M1 преходи разкриват наистина изовекторния характер на второто  $2^+$  състояние, но не и за третото. Определените  $B(E2)$  стойности за съответните състояния са ниски, което говори за слаба квадруполна колективност. По този начин за първи път е идентифицирано състояние със смесена симетрия в областта на двойно-магичното  $^{208}\text{Pb}$ , като и за първи път изобщо е наблюдавано състояние със смесена симетрия което не е колективна, а е по-скоро с едночастична структура. Тези състояния досега са свързвани с наличие на квадруполна колективност, макар и сравнително слаба.

Времето на живот на първото  $2^+$  състояние в  $^{212}\text{Po}$  е измерено за първи път. За целта е проведен втори експеримент на установката в Университета в Кьолн, Германия. Използвана е същата реакция на трансфер  $^{208}\text{Pb}(^{12}\text{C}, ^8\text{Be})^{212}\text{Po}$  с енергия на снопа 64 MeV. За определяне на времената на живот на дискутираните две състояния е използван Методът на откатните ядра (RDDSM). За провеждането на експеримента е използван Кьолнския плънджер като са проведени измервания при 6 различни състояния между мишената и стопера. Гама лъчите са регистрирани с 11 свръхчисти германиеви детектори, разположени на подходящи ъгли, а леките фрагменти от реакцията са регистрирани със соларни клетки разположени в пръстен под подходящи ъгли вътре в плънджерната камера. Германиевите детектори са извън камерата. Последвалите анализи са детайлно и ясно обяснени в дисертацията. Измереното време на живот на първото  $2^+$  състояние в  $^{212}\text{Po}$  е 20.5(26) ps. Това измерване води до приведена вероятност за разреждащия го E2 преход 2.6(3) W.u., което разкрива изключително ниска квадруполна колективност. Дискутирано е, че такава слаба приведена вероятност за преход може да се очаква в рамките на едночастичния слоест модел. Дори тогава не е възможно

възпроизвеждането на толкова слаб преход ако се използват ефективни заряди оценени от E2 преходите разпадащи по-високо-лежащите състояния като  $6^+$  и  $8^+$ .

В рамките на същия експеримент е измерено и времето на живот на първото  $2^+$  състояние в  $^{210}\text{Po}$ . По този начин стойността за времето на живот на това състояние от предишен експеримент е значително коригирана. Освен това е измерено и времето на живот на  $3_1^-$  и на  $2_2^+$  състоянията в  $^{210}\text{Po}$ . Времето на живот на  $2_2^+$  състоянието в  $^{210}\text{Po}$  е измерено за първи път, а получената стойност за  $3_1^-$  е в съгласие с предишно измерване. Анализите са детайлно обяснени в дисертацията.

Благодарение на измереното наново и съответно коригирано време на живот на  $2_1^+$  състоянието в  $^{210}\text{Po}$ , и заедно с наличното измерено време на живот на  $2_1^+$  състоянието в  $^{210}\text{Pb}$ , е оценен ефективен заряд от силата на съответните E2 преходи  $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ . Оказва се, че използвайки този ефективен заряд в рамките на едночастичния слоест модел може да се възпроизведе експериментално установената приведена вероятност за преход  $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$  в  $^{212}\text{Po}$ . Обаче тогава не се възпроизвеждат силата на преходите разреждащи състоянията  $6^+$  и  $8^+$ . Това не би трябвало да е така ако е валидно т.нар. сениорити правило. Направено е подобно изследване и за  $^{210}\text{Po}$ . Ситуацията е същата както с едночастичния слоест модел, така и с изчисления направени в рамките на QPM модела. Направени са изчисления в рамките на реалистични слоест модел за първите  $2^+$ ,  $4^+$ ,  $6^+$ ,  $8^+$  състояния в  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$ . Съществена разлика няма. Във всички ядра с всички моделни пресмятания, за да се опише силата на преходите разреждащи първите  $2^+$  състояния трябва да се използват ефективни заряди определени от преходите разреждащи първото  $2^+$  състояние в съответните ядра, а за да се опишат преходите разреждащи  $6^+$  и  $8^+$  трябва ефективни заряди оценени от съответните преходи в подходящите ядра. Ефектът е систематичен. Заключено е, че наличните микроскопични модели пропускат съществена част от ядреното взаимодействие, когато се прилагат за описание на най-ниските възбудени състояния в масовата област  $A \sim 208$ . По този начин дисертационният труд поставя проблеми за разрешаване пред ядрената теория, което е ценен резултат.

### **Допълнение към теоретичната дискусията**

Бих си позволила да дам пример от друга масова област в подкрепа на заключението, направено в настоящето изследване във връзка с невъзможността да се опишат съгласувано в рамките на слоестия модел нисколежащите ираст състояния в дискутираните ядра. Още по-драматичен феномен е намерен в областта на двойномагичното ядро  $^{40}\text{Ca}$ . Там обаче вместо намаляване на колективността, е наблюдавано увеличение. В ядрата  $^{42}\text{Ca}$  и  $^{44}\text{Ca}$ , се оказва че първите  $2^+$  състояния са комбинация от сферичен слоест модел и деформирана компонента от възбуждания от ядката. Интересното е, че деформираната компонента е по-силна при нисколежащите състояния и намалява при по-високолежащите ираст състояния. Другият интересен феномен е, че в  $2^+$  състоянието в  $^{46}\text{Ca}$  деформираната компонента вече липсва и първото  $2^+$  състояние може да се опише със сферичен слоест модел. Ядрото  $^{40}\text{Ar}$  е изотон на  $^{42}\text{Ca}$ . Установено е, че и там липсва деформационната компонента в първото  $2^+$  състояние, ядрото се проявява като ядро според сферичния слоест модел. Описанието на различните ядра в областта е постигнато в някои случаи със смяна на ефективните заряди. Но това не отговаря, а повдига въпрос към теорията. И докато в случая с областта около  $^{40}\text{Ca}$  може да се спекулира, че изчисления в много голямо моделно пространство могат да опишат

деформираната компонента, дали много голямото моделно пространство ще обясни ниската колективност на  $2^+$  състоянията на ядрата около  $^{208}\text{Pb}$ ?

### **Принос на кандидата**

Кандидатът е участвал във всички етапи на извършеното изследване, включващи провеждането на експеримента, анализите на данните, дискусиата и подготовката на публикацията. Диана Кочева е работила 5 месеца в Университета в Дармщат при Проф. N. Pietralla, който е капацитет в областта на експерименталното изследване на състояния със смесена симетрия. Фактът, че Диана е първи автор при такава колаборация показва наистина много сериозен принос от нейна страна.

### **Лично впечатление**

Слушах доклад изнесен от кандидата по тематиката на дисертацията на Международната школа по ядрена физика Варна 2017. Докладът беше изнесен професионално и уверено. Дискутирах след доклада с нея проблемът с несъответствието между теория и експеримент. Впечатли ме не само колко беше навлязла в проблема, но интересът, който проявяваше към разрешаването му.

### **Критични забележки**

Не бих искала да критикувам подобен дисертационен труд, но за да се избягва занаят ще коментрам, че граматически в дисертацията, която е на английски се използва “transitional strength” с определението “low”, а е коректно с “weak”.

Не е цитирана публикацията, в която е идентифицирано за първи път експериментално състояние със смесена симетрия.

### **Въпрос**

Защо е търсено състояние със смесена симетрия точно в  $^{212}\text{Po}$ ?

### **Заклучение**

Дисертацията впечатлява не само с безспорните си научни постижения, но и с начин на изложение, изчерпателни и ясни обяснения и много добре дефинирани изводи навсякъде където е нужно. Начинът на описание разкрива добре подготвен и уверен специалист. Подробното описание на анализите показва, че са правени от кандидата. Дисертационният труд се основава на три публикации в реномирани международни списания с импакт фактор. Същественият принос на кандидата в тях е безспорен.

**С убеденост и категоричност препоръчвам на уважаемото научно жури да присъди образователната и научна степен “доктор” на Диана Цветанова Кочева.**

10.06.2018

Рецензент:

доц. Елена Стефанова