

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

**Голінки-Безшийко Лариси Олександрівни**

**«Ізмерні стани продуктів фотоядерних реакцій  
на ядрах з  $51 < A < 116$  з множинним вильотом частинок»,**

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Дослідження ядерних реакцій з  $\gamma$ -квантами проводяться вже тривалий час і накопичений великий експериментальний матеріал. Однак ці дослідження, в основному, проводилися в області енергій до 30 МеВ. Становлять значний інтерес і дослідження в області енергій 30-100 МеВ, тому що при таких енергіях може виявитися значний внесок передрівноважних процесів і напівпрямих реакцій. Роль таких реакцій вивчена недостатньо добре в теоретичних моделях, в основному через нечисленність експериментальних даних про фотоядерні реакції в області енергій 30-100 МеВ. Дисертаційна робота здобувача присвячена, в основному, експериментальним дослідженням саме таких реакцій, тому актуальність представленої роботи не викликає сумнівів.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаної літератури з 138 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета, предмет і методи досліджень. Представлені основні наукові результати й т.п., у повній відповідності з вимогами ВАК.

У першому розділі представлений огляд літератури, з якого видно, що здобувач ознайомився з великим об'ємом публікацій по даній темі. У цьому розділі описані особливості виміру ізмерних відношень з  $\gamma$ -квантами від гальмівного випромінювання, описана методика на базі напівпровідникового спектрометра. Показано, як враховувалися поправки за рахунок підсумовування  $\gamma$ -квантів, ефектів самопоглинання, похибок за рахунок положення опромінених мішеней. У цілому можна зробити висновок, що погрішність за рахунок параметрів кривої ефективності реєстрації  $\gamma$ -квантів в даній роботі не перевищує (2-5)%, що дуже добре для таких експериментів.

В другому розділі описана методика вимірювання ізмерних відношень і отримані вирази для визначення величини ізмерних відношень з урахуванням того, що в даних вимірах аналізувався сумарний фотопік з розпаду основного й ізмерного станів. Ці вирази здобувачем були отримані вперше.

У цьому ж розділі наведений опис експериментальних досліджень для конкретних ядер і результати вимірювань ізмерних відношень на ядрах срібла й індію. У результаті проведених досліджень були отримані нові дані про величини ізмерних відношень в  $(\gamma, 3n)$ -реакції на  $^{107}\text{Ag}$ ,  $^{113}\text{In}$  у діапазоні енергій (33-415) МеВ.

Особливо хотілося б відзначити дані, отримані в  $(\gamma, 5n)$ -реакції на  $^{109}\text{Ag}$  і  $^{115}\text{In}$ , з опису цих експериментів можна зробити висновок про високу надійність отриманих даних. Ну й можна вважати майже унікальними дані про  $(\gamma, 7n)$ -реакції на  $^{115}\text{In}$ . В даний час інформація про такі реакції дуже нечисленна, що також вказує на актуальність проведених досліджень.

У третьому розділі представлені результати дослідження ізомерних відношень у реакціях з вильотом заряджених часток на ядрах цирконію й заліза. У таких реакціях необхідно враховувати внесок  $\beta$ -розпаду ядер, які перебувають у ланцюжках ізобарного розпаду. Для таких ядер здобувачем вперше отримані аналітичні вирази для визначення ізомерних відношень з даних про розпад трьох ядер. В результаті проведених досліджень були отримані нові дані про величини ізомерних відношень при граничній енергії  $\gamma$ -квантів 84 MeV у реакціях  $^{90,91}\text{Zr}(\gamma, xn p)^{87}\text{Y}$ . Усі ці дані отримані вперше. Опис обробки вимірних  $\gamma$ -спектрів переконливо показує достовірність отриманих результатів.

На мішені заліза, збагаченої  $^{54}\text{Fe}$ , в результаті проведених вимірів  $\gamma$ -спектрів отримані нові дані про ізомерні відношення в  $(\gamma, np)$ -реакції. Ці дані також хотілося б відзначити, тому що інформація про ізомерні відношення в легких ядрах обмежена. Отримані здобувачем результати фактично є єдиними для цього ядра, тому що отримані раніше дані вказують на якісь методичні погрішності, при, що водять до систематичних погрішностей. Знову хотілося б відзначити, що всі ці дані отримані вперше.

У четвертому розділі наведений теоретичний аналіз отриманих результатів. Для цього здобувач використовував розрахункові коди TALYS. У цьому кодi використовуються сучасні модельні підходи для опису прямих реакцій, передрівноважних процесів, реакцій з утворенням складеного ядра й реакцій поділу. У розділі описана методика розрахунків ізомерних відношень за допомогою коду TALYS. З урахуванням того, що мішені опромінювалися гальмівним спектром  $\gamma$ -променів, здобувачем була розроблена методика розрахунків ізомерних відношень для таких умов і для перевірки було проведено моделювання ядерних процесів методом Монте-Карло на основі реального експерименту. Отримані результати добре узгодяться один з одним.

Використовуючи код TALYS, в роботі були проведені розрахунки ізомерних відношень з урахуванням передрівноважних процесів. У цілому був отриманий задовільний опис експериментальних даних.

При проведенні розрахунків необхідно використовувати параметри гігантського дипольного резонансу (ГДР). Ці дані одержуються при теоретичному описі експериментальних даних про перерізи фотоядерних реакцій. Для проведення такого аналізу здобувачем були проведені теоретичні розрахунки для середніх і важких ядер. Були уточнені параметри ГДР для ядер  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Cu}$  і  $^{64}\text{Zn}$ . Для розрахунків здобувачем використовувався код EMPIRE II. Для більшості ядер була отримана задовільна згода між експериментальними й розрахунковими величинами. На основі проведеного аналізу був зроблений висновок про важливість врахування процесів з вильотом заряджених часток. Запропонований спосіб визначення параметрів ГДР дозволяє коректно знаходити ці параметри навіть при відсутності експериментальних даних про парціальні перерізи з вильотом заряджених часток.

Як видно із усього вищевикладеного, здобувачем проведена велика експериментальна й теоретична робота. Отримано багато нових даних, які важливі для розуміння процесів, що протікають при фотоядерних реакціях в області енергій (30-90) MeV.

Результати роботи добре викладені й оформлені. Однак, як у будь-якій роботі, присутні й певні недоліки. Зокрема, основний масив отриманих експериментальних даних має похибки близько 10%, однак ряд значень має похибки (20-30)%. Бажано було б пояснити ці значення. Ряд  $\gamma$ -спектрів наведений без вказівки, при якій енергії  $\gamma$ -

квантів вони отримані. Є ряд зауважень редакційного характеру. Здобувач вживає вислів «максимальна енергія  $\gamma$ -квантів» – у фотоядерних реакціях використовується словосполучення «гранична енергія  $\gamma$ -квантів». У підписах до схем рівнів використовується фраза «спрощена схема рівнів», треба «фрагмент схеми рівнів». По осі ординат в  $\gamma$ -спектрах зручніше використовувати  $10^n$ , а не великі числа.

Однак ці зауваження ні в якій мірі не применшують високого рівня виконаної роботи. Результати проведених досліджень опубліковані в 11 реферованих виданнях. Неодноразово доповідалися на вітчизняних і міжнародних конференціях і викликали великий інтерес у наукової громадськості.

Автореферат дисертації повністю відбиває зміст дисертації.

На підставі всього вищевикладеного можна зробити висновок, що представлена дисертаційна робота повністю відповідає п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, а Л.О. Голінка-Безшийко заслуговує присудження їй ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 01.04.16 – фізика ядра, елементарних часток і високих енергій.

Провідний науковий співробітник  
відділу структури ядра Інституту  
ядерних досліджень НАН України,  
доктор фіз.-мат. наук

В.О. Желтоножський

Підпис В.О. Желтоножського засвідчую:  
Вчений секретар Інституту ядерних  
досліджень НАН України, к. ф.-м. н.

Н.Л. Дорошко

