

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Дании Раушановны Зинатулиной «Исследование мюонного захвата в ядрах ^{48}Ti , ^{76}Se , ^{82}Kr , ^{106}Cd и ^{150}Sm », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Исследование двойных бета-процессов является одним из основных направлений современной неускорительной физики. Повышенный интерес к безнейтринному двойному бета-распаду связан с проблемой массы нейтрино – если такой распад будет зафиксирован, то, по современным теоретическим представлениям, это автоматически будет означать, что масса покоя хотя бы одного нейтрино отлична от нуля и эта масса – майорановского типа. Это также будет означать нарушение лептонного числа на две единицы, что будет иметь серьезные следствия для физики и астрофизики. Регистрация и изучение процессов безнейтринного двойного бета-распада позволит прояснить к тому же многие актуальные вопросы нейтринной физики – определить тип иерархии в нейтринном секторе, получить важную информацию о массе самого легкого нейтрино и о СР нарушении в нейтринном секторе. Одной из проблем двойного бета-распада является существующая до сих пор неопределенность в оценке значений ядерных матричных элементов (ЯМЭ) 2β -переходов. Различные модели расчета ЯМЭ дают значения, отличающиеся в 2-3 раза. И эта ситуация сохраняется уже более 30 лет. Предпринятые серьезные усилия по улучшению надежности расчетов прояснили много отдельных моментов, но, к сожалению, не снизили общую неопределенность. Большие надежды сейчас связаны с возможностью использовать экспериментальные данные, получаемые в зарядово-обменных реакциях и при захвате мюона дочерними ядрами (дочерними по отношению к ядрам-кандидатам на двойной бета-распад). Кроме того, эксперименты по мюонному захвату могут помочь прояснить ситуацию с возможным подавлением значения аксиально-векторной константы в ядре (так называемый g_A «квенчинг»). Это сравнительно новая проблема в двойном бета-распаде. Меньшее значение аксиально-векторной константы приводит к подавлению скорости 2β -распада и это может стать проблемой для планируемых экспериментов. Мюонный захват и безнейтринный двойной бета-распад в определенном смысле схожие процессы. Поэтому

информация, получаемая в мюонном захвате, может быть использована для лучшего понимания процессов безнейтринного двойного бета-распада.

Данная диссертация как раз и посвящена измерению полных и парциальных скоростей мюонного захвата, продуктов реакции (μ^- , v xn ур) в ядрах ^{48}Ti , ^{76}Se , ^{82}Kr , и ^{150}Sm , которые являются дочерними ядрами для 2β -процессов в ^{48}Ca , ^{76}Ge , ^{82}Se и ^{150}Nd . Такая же информация была получена и для ядра ^{106}Cd — кандидата на $2\beta^+$, β^+EC и EC $\bar{E}C$ процессы. Параллельно в процессе выполнения экспериментов были измерены спектры мезорентгеновского излучения для различных мишеней с целью расширения табличных данных, необходимых при идентификации энергетических спектров в подобных измерениях. На основе этих данных был создан электронный атлас мезорентгеновских спектров излучения. Таким образом, актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения, Заключения и трех разделов содержательной части:
1) разработка и создание газовой мишени для исследования мюонного захвата и проведение измерений (глава 2), 2) обработка данных (главы 2 и 3) и 3) получение результатов и их интерпретация (главы 3 и 4).

Создание газовой мишени позволило провести исследования мюонного захвата в газообразных мишенях (^{82}Kr и ^{nat}Kr) и, тем самым, расширить список исследуемых изотопов. В будущем это, видимо, позволит исследовать и другие интересные газовые образцы (например, ^{130}Xe). Была проведена целая серия измерений с различными мишенями (газовыми и твердотельными). Измерения были выполнены на высоком экспериментальном уровне с проведением всех необходимых калибровок, настроек мюонного пучка и т.д.

Сбор и обработка данных были также проведены на хорошем экспериментальном уровне, что позволило получить большой массив данных. В результате обработки были получены следующие основные результаты:

1. Из анализа временных и энергетических спектров, измеренных в μ -захвате, получены значения полных скоростей мюонного захвата с обогащенными изотопами (^{48}Ti , ^{76}Se , ^{106}Cd , ^{82}Kr , ^{150}Sm) и с натуральными мишенями (^{nat}Se , ^{nat}Cd и ^{nat}Kr).
2. Из анализа данных, полученных в мюонном захвате с обогащенными изотопами (^{48}Ti , ^{76}Se и ^{106}Cd) определены парциальные вероятности μ -захвата на связанные состояния ^{48}Sc , ^{76}As и ^{106}Ag . Эти результаты необходимы для расчетов ЯМЭ в двойном бета-распаде и могут помочь в определении эффективного значения аксиально-векторной константы.
3. Определены выходы продуктов реакции в ядрах ^{76}Se и ^{150}Sm (μ^- , v xn ур).

4. Создан интерактивный атлас спектров мезорентгеновского излучения для 75 элементов. Каталог размещен на сайте ОИЯИ и находится в открытом доступе.

Достоверность результатов и выводов автора обеспечена правильным выбором методики эксперимента, квалифицированным исполнением и обстоятельным анализом полученных результатов с учетом литературных данных и теоретических расчетов.

Результаты Д.Р. Зинатулиной имеют несомненную научную и практическую ценность. Данные по мюонному захвату используются ведущими теоретиками в области двойного бета-распада для улучшения качества расчетов ЯМЭ и прояснения ситуации со значением g_A в ядерном веществе, а созданный электронный каталог (находящийся в открытом доступе) используется (и будет использоваться!) многими научными группами, поскольку эти данные нужны при планировании и проведении экспериментов на мюонных пучках.

Новизна результатов также не вызывает сомнений:

- Получены на порядок более точные значения полных скоростей мюонного захвата для ^{48}Ti , ^{150}Sm и различных изотопов Cd, Se и Kr .
- Впервые измерены парциальные вероятности μ -захвата ядрами ^{48}Ti , ^{76}Se и ^{106}Cd на связанные состояния ^{48}Sc , ^{76}As и ^{106}Ag . Полученные результаты в настоящее время используются для вычисления ЯМЭ $0\nu2\beta$ -распада в ^{48}Ca , ^{76}Ge и ^{106}Cd .
- Впервые определены выходы продуктов реакции в изотопах ^{76}Se и ^{150}Sm (μ^- , в хр ур) .
- Впервые создан атлас мезорентгеновских спектров излучения для 75 химических элементов (K-, L-, M -, N -серии и выше).

Диссертация написана простым, понятным языком и хорошо структурирована. К замечаниям по изложению материала диссертации следует отнести следующее:

- 1) На Рис. 4 не указаны единицы для периода полураспада (ось «игрек»).
- 2) На Рис. 17 нет числовой разметки по оси «игрек» и не указаны единицы (% или доли?).
- 3) Рисунки 28, 29, 30, 32 даны с англоязычной разметкой по осям.
- 4) На Рис. 31 по оси «игрек» указано просто «число событий» без нормировки на цену канала.
- 5) На Рис. 34-37 не указано - что отложено по оси «игрек».

Указанные замечания не снижают главных достоинств диссертационной работы Д.Р. Зинатулиной – получение важных экспериментальных результатов по исследованию мюонного захвата в ядрах ^{48}Ti , ^{76}Se , ^{82}Kr , ^{106}Cd , ^{150}Sm и измерению спектров

мезорентгеновского излучения для различных мишеней с целью расширения табличных данных.

В целом диссертация Д.Р. Зинатулиной является завершенным исследованием, выполнена на высоком научном уровне и свидетельствует о высокой квалификации автора.

Диссертационная работа основана на результатах, представленных на российских и международных конференциях, семинарах, совещаниях, школах по физике и опубликованных в авторитетных отечественных и зарубежных журналах. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация Д.Р. Зинатулиной выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, несомненно, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент:

Доктор физ.-мат. наук,

Начальник лаборатории «Физика слабых взаимодействий»

НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ

(117218 Москва, ул Б.Черемушкинская 25; т. 499-7896468;

barabash@itep.ru)

[Signature]

А.С. Барабаш

07.06.2019

Полпись А.С. Барабаша заверяю:

Ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ

кандидат физ.-мат наук



Б.В. Васильев