

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию «Измерение малых энергий β -распада нуклидов с использованием ионных ловушек Пеннинга», представленную Павлом Евгеньевичем Филяниным на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация П.Е. Филянина посвящена определению энергий бета-распада ядер измерением разности масс нуклидов, связанных этим распадом. Автор сконцентрировал внимание на случаях малых энерговыделений, которые могут представить интерес для смежных областей науки, а именно, нейтринной физики и ядерной астрофизики. Действительно, как справедливо отмечено в работе, при малых энергиях слабого взаимодействия, каковыми являются бета-превращения (бета-распад или захват ядром орбитального электрона), чувствительность к определению абсолютной массы покоя нейтрино возрастает с уменьшением полной энергии распада. Кроме того, появляются благоприятные энергетические условия для поиска стерильного нейтрино в диапазоне массовых значений от 1 до 100 кэВ.

Интерес к малым энергиям бета-превращений, как это предваряется в вводной части диссертации, вызван также возможностью определения значительного сокращения времён жизни в высокотемпературных звёздных условиях долгоживущих нуклидов, имеющих эти малые энерговыделения. Такое возможное сокращение должно существенно влиять на кинематический баланс в звёздных процессах, особенно процесса медленного захвата нейтронов (s-процесса), отвечающего за синтез тяжёлых элементов в природе.

Перечень приведённых задач, которые сформулированы диссертантом, уже впечатляет своей важностью, новизной и актуальностью для современной фундаментальной физики. Впечатляет далее и метод определения этих малых энерговыделений измерением разности масс нуклидов с использованием ионных ловушек. Эти устройства

зарекомендовали себя как лучшие приборы современной масс-спектрометрии, обладающие множеством преимуществ по сравнению с другими известными методами измерения масс. Это, прежде всего, высокая точность (благодаря измерениям частот), достоверность (благодаря прямой привязке к эталону масс – атому углерода) и высочайшая чувствительность (измерения на уровне единичных ионов).

Автор диссертации использовал в своих измерениях различные ловушки: как в режиме on-line, так и в режиме off-line их работы на пучках исследуемых искомым ионов. Так, измерения на пучке нуклидов, образуемых в реакции скалывания при бомбардировке урановой мишени протонами, были выполнены на установке ISOLTRAP в международном центре CERN, а в режиме генерации ионов долгоживущих нуклидов, выполнялись на другом флагмане масс-спектрометрии – установке SHIPTRAP в Гельмгольц-центре ГСИ (Дармштадт, Германия).

Работа на обеих установках потребовала от диссертанта глубоких знаний метода, умения приспособить его для специфических задач измерений с долгоживущими нуклидами, выразившегося в создании систем ионизации лазерным пучком и управлением устройства мишени в режиме удалённого доступа. Автор использовал методологию ловушечной масс-спектрометрии, разработанную группой ПИЯФ с его активным участием. В процедуру определения разности масс нуклидов входило сравнительное измерение частот циклотронного резонанса родительского и дочернего ионов. В качестве способа детектирования использовался развитый с его непосредственным участием метод фазового отображения радиального движения на позиционно-чувствительном детекторе, позволившем в несколько раз увеличить относительную точность измерения масс.

Описанию метода масс-спектрометрии с использованием ионных ловушек Пеннинга посвящены две главы диссертации. Во второй главе диссертации изложен метод удержания ионов в малом объёме пространства со скрещённым сильным высокооднородным магнитным полем и слабым электростатическим полем. В следующей главе даётся описание двух действующих экспериментальных комплексов: SHIPTRAP в ГСИ (Дармштадт) и ISOLTRAP в ЦЕРНе, на которых автором диссертации были выполнены успешные измерения. Доходчиво объясняется использование нового метода детектирования ионов и измерения резонансной частоты с

помощью фазового отображения на позиционно-чувствительном детекторе. Этот принципиально новый метод в масс-спектрометрии был предложен и внедрён С. Елисеевым и развит с активным участием автора диссертации.

В качестве наиболее значимых, отмечу следующие результаты, полученные в диссертации.

- 1) Измерена масса нуклида ^{202}Tl в эксперименте на установке ISOLTRAP (CERN), позволившая по измеренной ранее этой же группой массе ^{202}Pb определить энергию распада ^{202}Pb , которая оказалась равной $Q = 38.8 \pm 4.3$ кэВ. Хотя за вычетом энергии связи L1-электрона получается значение 23.5 кэВ, приходящееся на граничную энергию спектра разрядки, это значение явно уступает аналогичной величине 0.79 кэВ для нуклида ^{163}Ho , который остаётся на сегодня наилучшим кандидатом для определения абсолютной массы нейтрино.
- 2) Другим приложением ядерной информации к нейтринной физике является определение энергии распада ^{187}Re . Из литературы было известно, что она очень мала и являет собой наименьшую из всех известных величин в распадах, связывающих основные состояния ядер. Однако само значение этой энергии распада сильно различалось в измерениях различными методами. Измерения автора диссертации с помощью ионной ловушки SHIPTRAP, подтверждают результаты, полученные ранее методом криогенной микрокалориметрии. Этот вывод рассматривается как принципиально важный, так как свидетельствует об адекватности последнего при анализе вклада массы антинейтрино в калориметрическом спектре.

Из приведённого выше анализа достижений диссертации следует несомненный вывод, что работа П.Е. Филянина представляет собой весьма актуальное исследование, характеризующееся новизной и интересными достоверными результатами, имеющими выход в различные области фундаментальной науки.

Вместе с тем, в диссертации имеются недостатки. Отметим некоторые из них:

- 1) Неоднородность положений, выносимых на защиту. Так, наряду с несомненно сильными положениями, обсужденными выше, в п. 4 фигурирует «Предложение и анализ возможностей поиска сигнала от кэВных стерильных нейтрино в спектре e-захвата при помощи

совместных экспериментов, использующих метод болометрии и ионной масс-спектропии.» Более уместно было бы видеть данное положение во Введении или Заключении.

То же относится к положению в п. 3: «С использованием полученного значения показано сильное, на несколько порядков величины, сокращение периода полураспада ^{123}Te в высокотемпературных звездных условиях». Тем более, что в тексте отсутствуют формулы или выкладки, подтверждающие данное положение, а только ссылка на работу [110] японского автора. Автор диссертации и сам далее признает, что «наши оценки носят... рекомендательный характер» (стр. 63).

- 2) Небрежное оформление. Диссертация напечатана мелким шрифтом. Текст изобилует стилистическими ошибками. Например, «аппендикс» вместо «Приложения» (стр. 63). На стр. 73 указано: «идея состоит в том, чтобы производить поиск присутствия СН посредством сравнения экспериментального и теоретически полученного спектров» (чего?), или «Нуклид ^{123}Te и его электронный захват в звездах» (стр. 64), и др.
- 3) Говоря об электронном захвате в ^{123}Te и изменении его периода в звездах, автор опирается на значение $Q = 51.912(67)$ кэВ, полученное в диссертации и согласующееся с рекомендованным в Табл. 1 АМЕ2012 значением 51.9 кэВ. Автор не учитывает, однако, что данная величина сравнима с энергией образующейся в результате захвата дырки в электронной К-оболочке – 31.8 кэВ, что необходимо принять во внимание при оценке периода. Более детально этот вопрос обсужден, например, в работе *Ф. Ф. Карпешин, М. Б. Тржасковская и В. В. Кузьминов, Изв. РАН, Сер. Физ., 2012, 76, 884*. Кстати, в этом же пункте автор приводит со ссылкой на АМЕ2012 другое значение $Q = 52.7(16)$ кэВ, значительно отличающееся от полученного им в диссертации. Более того, следует ожидать, что из возбужденного уровня ядро скорее перейдет в основное же состояние путем электромагнитного $M1$ перехода, чем претерпит бета-распад.

Указанные недостатки, однако, не снижают ценности полученных в диссертации фактических результатов относительно масс нуклидов, как указано выше. Перечисленные результаты получены на высоком научном уровне, работа представляет собой интересное и важное научное исследование. Результаты, полученные в диссертации, докладывались на международных и российских научных конференциях и семинарах. Они в

полной мере опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК. Таким образом, диссертационная работа прошла широкую апробацию.

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.16. Можно констатировать, что диссертация «Измерение малых энергий β -распада нуклидов с использованием ионных ловушек Пеннинга» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Филянин Павел Евгеньевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Официальный оппонент:



Карпешин Федор Федорович

06.06.2018

ведущий научный сотрудник

Федерального государственного унитарного

предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»,

доктор физико-математических наук

адрес: 190005 Санкт-Петербург, Московский пр., 19

тел.: +7 (953) 359-2311

e-mail: f.f.karpeshin@vniim.ru, fkarpeshin@gmail.com

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом.

