

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук

Зарубина Павла Игоревича

на диссертацию Тан Найнг Со

«Исследования на основе трековой методики элементарных частиц и ядер в экспериментах по поиску сверхтяжёлых ядер в природе и в тестовых работах по изучению безнейтринного двойного бета-распада», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Тан Найнг Со посвящена ядерно-физическим исследованиям в экспериментах по поиску сверхтяжелых ядер в природе и в тестовых работах по изучению безнейтринного двойного бета-распада на основе трековой методики. Трековые детекторы широко используются в экспериментах по физике частиц на протяжении уже многих десятилетий. Столь продолжительная жизнь методики, безусловно, связана с уникальным пространственным разрешением и возможностью разделения треков частиц.

Современные эксперименты на основе трековой методики были бы невозможны без использования автоматизированных методов обработки. Кроме ускорения обработки, автоматизация измерений позволяет иметь дело с большими массивами данных и существенно улучшает их статистическую обеспеченность. Использование сканирующих станций, созданных на базе самых современных механических и оптических элементов, а также разработка и развитие необходимого для обработки данных программного обеспечения делают данную работу особенно актуальной.

Основной целью выполненной работы стало дальнейшее развитие

методики обработки данных трековых детекторов на автоматических сканирующих станциях. Трековая методика дает возможность получать приоритетные результаты, чрезвычайно важные для понимания физической картины мира. Одним из трех основных направлений деятельности автора было изучение зарядового состава ядер галактических космических лучей (ГКЛ), которое имеет большое значение для понимания свойств ядерной материи, эволюции вещества Вселенной и процессов, происходящих в ней. Измерения величин потоков сверхтяжелых ядер ГКЛ и их энергетических спектров являются одними из самых актуальных проблем астрофизики на протяжении последних примерно пятидесяти лет. Применяемая при этом методика регистрации следов торможения ядер ГКЛ в твердотельных трековых детекторах (ТТД) различного типа позволила получить большой объем экспериментальных данных по этой проблеме. Одним из наиболее перспективных и детально изученных к настоящему времени ТТД является оливин, кристаллы которого входят в состав метеоритов. Важным фактором является длительность экспозиции этих природных детекторов - метеориты находятся в космическом пространстве десятки и сотни миллионов лет. За это время они подвергаются облучению первичными космическими лучами, в том числе тяжелыми и сверхтяжелыми ядрами. Полученные автором в составе фиановской группы результаты позволяют говорить о существовании и распространенности трансурановых элементов в природе, и утверждать, что изучение треков галактических космических лучей в кристаллах оливина из метеоритов открывает новые возможности в исследовании потоков и спектров космических лучей в области тяжелых и сверхтяжелых ядер, имеющих большое значение для ядерной физики, физики элементарных частиц и астрофизики.

Важной задачей для Тан Найнг Со стала подготовка тестовых экспериментов по изучению двойного бета-распада. Особый интерес представляет экспериментальное изучение возможности безнейтринного

двойного бета-распада, в результате которого лептонное число не сохраняется, что реализуемо только в случае, если нейтрино имеет массу и является майорановским, т.е. является собственной античастицей. Успех эксперимента по поиску двойного бета-распада во многом зависит от точности измерения энергии электронов в ядерной фотоэмульсии. В предлагаемом эксперименте по двойному бета-распаду энергия электронов определяется по их пробегу в эмульсионной камере. Измеряются координаты каждого зерна и вычисляется пробег, как сумма отрезков ломаной линии. При чувствительности эмульсии около 30 зерен/100мкм, ошибка определения энергии электрона будет не больше 2-3%. Перед автором была поставлена задача не только создания программного обеспечения для работы на автоматизированном комплексе ПАВИКОМ для поиска событий двойного бета-распада в эмульсионной камере с молибденовым наполнителем, но и программы прослеживания треков электронов от бета-распада. В ходе выполнения работы возникла также необходимость стандартизированной оценки качества ядерной фотоэмульсии, напрямую влияющего на точность реализации прецизионных измерений случаев радиоактивного распада  $^{100}\text{Mo}$ . С этой целью автором было разработано специальное программное обеспечение, которое теперь успешно применяется на предприятиях российского производителя фотоэмульсий.

В диссертации четко и полно описаны характеристики автоматизированного измерительного комплекса и его особенности работы; изложены успешно реализованные автором принципиально новые подходы к проведению эксперимента по поиску событий двойного бета-распада; определены алгоритмы созданного программного обеспечения (в приложении даны тексты основных программных блоков) для оценки качества ядерных фотоэмульсий и приведены результаты измерений свойств эмульсии, произведенной в России и в Японии. В третьей главе описаны методика измерений протравленных треков в кристаллах

оливинов из метеоритов на ПАВИКОМ и полученные на их основе результаты измерения зарядового состава космических лучей в области тяжелых и сверхтяжелых ядер.

Выполненная работа имеет большое значение для развития методики автоматизированной обработки эмульсионных данных. Автором создано уникальное программное обеспечение, позволяющее успешно реализовать актуальные эксперименты в современной ядерной физике, при этом применены самые современные методы программирования. Созданное Тан Найнг Со программное обеспечение позволило впервые в России автоматизировать процесс разработки технологии производства ядерной фотоэмульсии.

В работе имеются следующие недостатки и неясности:

1. Не обсуждается наличие в зарядовом спектре ГКЛ ядер в диапазоне  $92 < Z < 100$ , о которых точно известно, что все они нестабильны.

2. Не обсуждается возможность детектирования событий обычного двойного бета-распада достаточно уникального изотопа  $^{100}\text{Mo}$ . Их наблюдение дало бы уверенность при продвижении к гипотетическим безнейтринным бета-распадам. Направление следов электронных пар из обычных распадов должно быть менее коррелированным, что упрощает интерпретацию. Будучи интересным само по себе, решение, этой задачи было бы полезно в исследованиях с имплантацией радиоактивных ядер в ядерную эмульсию.

3. Было бы весьма полезно выполнить компьютерное моделирование 4 и 2-лептонных распадов  $^{100}\text{Mo}$  с учетом отдачи дочернего ядра  $^{100}\text{Ru}$  для определения характерного вида событий и распределений по энергии и углу разлета электронов в обоих случаях.

4. При описании алгоритма распознавания искривлённой части трека электронов от бета-распада отсутствует предложения по использованию более сложных методов распознавания.

Указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы.

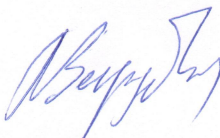
В целом диссертационная работа Тан Найнг Со по объему выполненных исследований, актуальности, новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов свидетельствует о высокой квалификации соискателя и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Результаты диссертации неоднократно докладывались на международных и российских конференциях, опубликованы в авторитетных журналах.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Считаю, что автор диссертации «Исследования на основе трековой методики элементарных частиц и ядер в экспериментах по поиску сверхтяжёлых ядер в природе и в тестовых работах по изучению безнейтринного двойного бета-распада» Тан Найнг Со заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент, начальник сектора Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, доктор физико-математических наук

20.01.2016 

Зарубин П. И.

Адрес: 141980, г. Дубна, Московской обл.,  
ул. Жолио-Кюри, д. 6,  
Рабочий телефон: (496)-216-34-03  
Мобильный телефон; (915)-054-23-09

«Подпись Зарубина П.И. заверяю»  
Ученый секретарь Лаборатории физики высоких энергий



/ Д. В. Пешехонов /