

## ОТЗЫВ

официального оппонента А. М. Анохиной  
на диссертационную работу Тана Найнг Со

«Исследования на основе трековой методики элементарных частиц и ядер в экспериментах по поиску сверхтяжелых ядер в природе и в тестовых работах по изучению безнейтринного двойного бета-распада.»,

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - «приборы и методы экспериментальной физики»

Работа Тана Найнг Со посвящена исследованиям, проведённым на автоматизированном комплексе ПАВИКОМ (ФИАН). Эта работа в первую очередь заключалась в совершенствовании и модификации программного обеспечения, осуществляющего измерения и анализ характеристик треков заряженных частиц в твёрдотельных детекторах и ядерной фотоэмульсии. На основе усовершенствованных программ Таном Найнг Со были произведены исследования в рамках двух физических задач и получены важные методические и физические результаты.

Актуальность диссертации Тана Найнг Со заключается в физических задачах, выбранных для исследования. Одна из них связана с изучением состава космических лучей в области тяжёлых и сверхтяжёлых ядер на основе измерений треков ядер в оливинах из метеоритов. Поведение распространённости ядер в этой области отражает процессы, происходящие в недрах звёзд, при взрывах сверхновых и ряд других. Поэтому знание соответствующих распределений важно при построении моделей образования и эволюции звёзд.

Вторая задача – поиск безнейтринного двойного бета-распада, направлена на выяснение природы нейтрино: является ли оно дираковским

или майорановским. Поскольку нейтрино участвует во многих процессах ядерной физики и физики элементарных частиц, ответ на этот вопрос может в некоторой степени поменять соотношение многих фундаментальных ядерных реакций и выводы, следующие из них. В том числе о процессах эволюции Вселенной.

Таким образом, изучение этих двух задач может помочь при решении ряда важных физических задач, в частности, при построении и уточнении современных астрофизических моделей.

В работе сделан ряд новых предложений и получены новые результаты, среди которых отметим:

1. Обнаружено более 6000 сверхтяжёлых ядер ( $Z > 40$ ) в оливинах из метеоритов. Построено общее распределение более 11500 ядер.

2. Предложен оригинальный метод совмещения источника и детектора частиц, путём внедрения мелкодисперсного порошка радиоактивного изотопа  $^{100}\text{Mo}$  в объём ядерной фотоэмульсии. Это позволяет проследить трек испущенного электрона, начиная с расстояния 1-2 микрона от источника, что повышает эффективность восстановления его трека.

3. Разработаны и реализованы в виде компьютерных программ алгоритмы распознавания и восстановления трека электрона на прямолинейных и криволинейных участках.

4. Созданы программы для оценки качества ядерной фотоэмульсии и проведены тестовые измерения, которые позволили намного ускорить процесс восстановления технологии её приготовления, утраченной в последние десятилетия.

Достоверность полученных результатов обеспечивается хорошим согласием с результатами, полученными в других экспериментах.

## Основные результаты работы.

1. Проведена модификация программного обеспечения комплекса ПАВИКОМ с целью повышения эффективности восстановления треков тяжёлых ядер на последовательных этапах среза и травления кристаллов оливина.

2. Проведено измерение характеристик треков более 6000 тяжёлых ядер в оливине и произведены оценки их зарядов.

3. Разработаны и реализованы в виде программ алгоритмы распознавания треков электронов и звёзд от распада ядер, эффективность которых была проверена на реальных изображениях треков и звёзд.

4. Проведены многочисленные тестовые измерения качества ядерной фотоэмульсии, позволившие, в результате сложного поиска оптимальной технологической цепочки, восстановить её производство.

Практическая значимость работы заключается в том, что в процессе исследований Таном Найнг Со было разработано несколько алгоритмов и созданы программы, которые могли бы быть рекомендованы для использования:

1. Программы распознавания треков электронов и звёзд от распада ядер могут быть использованы при обработке экспериментов с ядрами в ОИЯИ (Дубна) и других научных центрах, использующих ядерную фотоэмульсию для регистрации частиц.

2. Программы оценки качества ядерной фотоэмульсии могут быть использованы при подготовке технической документации о её свойствах при промышленном масштабе производства на ОАО «Славич».

3. Пятипараметрическая формула связи между зарядом ядра, остаточным пробегом и скоростью травления оливина может служить в качестве эмпирической зависимости при проведении исследований треков тяжёлых ядер в оливине.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. Примеры распознавания треков электронов приведены для изображения на одной глубине. Более полным был бы случай восстановления трека в пространстве с учётом изображений на разной глубине.
2. В разделе 2.3 приводится алгоритм распознавания звёзд от распада ядер. Однако из текста не ясно, каким образом при распознавании строится описывающий её прямоугольник и каков количественный критерий малости отношения площадей звезды и прямоугольника.
3. В разделе 2.4 описана процедура и результаты обработки микрофотографий зёрен AgBr фотоэмульсии. Однако остаётся неясным происхождение этих микрофотографий. Получены они автором диссертации или кем-то ещё.
4. Автором выносятся на защиту программное обеспечение. В то же время, ничего не сказано о том, на какой статистике треков электронов и фоновых событий программа протестирована. Не приведены никакие данные о точностях восстановления треков электронов или качестве поиска фоновых событий. По единичным примерам трудно оценить точность алгоритма.
5. В разделе 3.5 на стр.79 приведены результаты определения заряда с помощью программного обеспечения в пакете OriginPro7.5. К сожалению, формат Рис. 35 и подписи не позволяют понять, как выглядит вся процедура определения заряда частицы от сканирования слоев, определения характеристик треков и использования зависимостей типа (2).

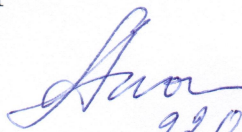
Перечисленные замечания носят скорее рекомендательных характер и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Тана Найнг Со.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.01 — «приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация Тана Найнг Со является законченным научным исследованием. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в четырёх статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК полно и своевременно. Они докладывались на семинарах в России и за рубежом.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, в ней представлены важные результаты. Тан Найнг Со продемонстрировал высокую квалификацию, а выполненный им анализ экспериментов свидетельствует о хорошей научной эрудиции автора. Представленная диссертация удовлетворяет требованиям Положения ВАК России, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук, а соискатель заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности - приборы и методы экспериментальной физики.

Кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры физики космоса  
физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова  
119991, ГСП-1, Москва  
Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова  
Дом 1, строение 2, Физический Факультет  
Тел.: +7(495)939-36-06

  
А.М.Анохина  
22.01.2016

Декан физического факультета МГУ  
имени М.В.Ломоносова,  
профессор

