

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Артура Тагировича Шайхиева «Поиск тяжелых нейтрино в распадах положительных каонов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа А.Т. Шайхиева посвящена экспериментальному поиску тяжелых нейтрино в распадах положительных каонов, в частности, поиску распада  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_n$ . Поиск и изучение явлений, выходящих за рамки Стандартной Модели, или «новой физики», является одним из наиболее актуальных направлений в физике элементарных частиц, поскольку существует ряд проблем которые не позволяют считать Стандартную Модель (СМ) окончательной теорией.

Открытие явления осцилляций нейтрино в экспериментах с солнечными, атмосферными, реакторными нейтрино, а также в ускорительных нейтринных экспериментах с длинной базой привело к принципиальному изменению нашего понимания физики нейтрино, так как существование этого явления требует наличия у нейтрино ненулевой массы. В рамках СМ генерация массы нейтрино не происходит из-за отсутствия в модели правых нейтрино и различные типы нейтрино не смешиваются.

Преобладание вещества над антивеществом в видимой части Вселенной (барионная асимметрия) не может быть объяснено в рамках СМ. Исследование скоростей вращения вещества, расположенного на периферии галактик, вокруг галактического центра и изучение реликтового излучения указывают на наличие скрытой массы Вселенной или «темной материи», наличие которой не согласуется с положениями Стандартной Модели.

Многочисленные теоретические модели, способные объяснить эти экспериментальные факты, предсказывают наличие новых массивных нейтральных лептонов или стерильных нейтрино, но не предсказывают точные массы этих частиц. Диапазон масс новых частиц варьируется от нескольких электрон-вольт до сотен ГэВ. Обнаружение тяжелых нейтрино с массами  $\leq 1$  ГэВ явилось бы настоящим прорывом в понимании механизма образования масс нейтрино и существенным шагом на пути объяснения барионной асимметрии Вселенной и возможно природы «темной материи». Таким образом, экспериментальный поиск массивных нейтрино и получение новой информации о смешивании тяжелых нейтрино с активными нейтрино является

исключительно важной задачей, и актуальность работы А.Т. Шайхиева не вызывает никаких сомнений.

Для поиска тяжелых нейтрино А.Т. Шайхиев использовал данные эксперимента E949, БНЛ (США), основной целью которого было измерение редкого распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ . Данные, накопленные в этом эксперименте, никогда не рассматривались с точки зрения поиска тяжелых нейтрино, поэтому А.Т. Шайхиев предложил и разработал метод поиска распада остановленных каонов на одиночный мюон при отсутствии какого-либо другого сигнала в детекторе с использованием основного пионного триггера эксперимента, с которым была набрана основная статистика. Предложенный метод позволил извлечь события с мюоном в конечном состоянии, которые идентифицировались как пионы. А.Т. Шайхиев провел детальное Монте Карло моделирование эксперимента, измерил вероятности нескольких каонных распадов и измерил акцептанс эксперимента к искомому распаду  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_H$  в зависимости от массы тяжелого нейтрино.

В диссертации получен ряд важных научных результатов. Получены новые модельно независимые ограничения на параметр смешивания мюонных и тяжелых нейтрино в диапазоне масс тяжелых нейтрино 175 - 300 МэВ, так как при таком поиске тяжелых нейтрино в момент распада каона не было сделано никаких предположений относительно природы тяжелых нейтрино и их смешивании с другими частицами Стандартной модели. Эти результаты примерно на два порядка улучшают ограничения, полученные в предыдущих экспериментах по исследованию распадов каонов, а также примерно на порядок превосходят модельно зависимые ограничения, полученные в эксперименте PS191 (ЦЕРН). Полученные ограничения являются лучшими в мире в данном интервале масс тяжелых нейтрино и могут быть использованы для ограничений на параметры теоретических моделей с тяжелыми нейтрино. В диссертации разработаны и успешно использованы методы идентификации мюонов и режекции распадов с пионами в конечном состоянии, методы поиска пиков от тяжелых нейтрино в спектре импульсов мюонов от распада  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \text{anything}$ . Предложенные в этой работе методы поиска тяжелых нейтрино могут быть использованы при поиске нейтральных лептонов в экспериментах NA62 и SHIP в ЦЕРНе и эксперименте E36 в J-PARC (Япония).

Во время работы над диссертацией А.Т. Шайхиев проявил себя как самостоятельный и инициативный исследователь, хорошо понимающий проблему, владеющий современными методами обработки данных физического эксперимента, способный решать сложные и трудоемкие задачи. Разработанные им методы позволили провести новый анализ данных эксперимента E949 и открыли возможности по поиску редких распадов, например, положительного каона на мюон и три нейтрино. Кроме работы по теме диссертации, он также активно участвует в других экспериментах по нейтринной и каонной физике. Научный уровень А.Т. Шайхиева соответствует уровню высоко-

квалифицированного специалиста в области физики атомного ядра и элементарных частиц.

Результаты, полученные в диссертации, неоднократно докладывались А.Т. Шайхиевым на российских и международных конференциях, семинарах, школах и опубликованы в реферируемых журналах.

Считаю, что диссертация «Поиск тяжелых нейтрино в распадах положительных каонов» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, А.Т. Шайхиев, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

05 марта 2015 г.

Заведующий Отделом физики  
высоких энергий ИЯИ РАН,  
д.ф.-м.н., профессор

Ю.Г. Куденко

Подпись Ю.Г. Куденко заверяю,  
Ученый секретарь ИЯИ РАН,  
канд. физ.-мат. наук

А.Д. Селидовкин