

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу С.В. Розова «Поиск частиц темной материи в эксперименте EDELWEISS», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Поиск темной материи является одной из самых актуальных задач в современной физике и астрофизике. Природа темной материи в настоящее время совершенно не ясна. Не ясно также, как темная материя взаимодействует с «видимой» материей. Это только гравитация, или возможны другие типы взаимодействий? Предложено много кандидатов на роль темной материи. Одним из вероятных кандидатов на темную материю являются слабовзаимодействующие массивные частицы (WIMP). Такие частицы предсказываются, например, в суперсимметричных теориях. Проверка предсказаний этих теорий имеет важнейшее значение как для астрофизики, так и для физики элементарных частиц. Одним из способов регистрации WIMP является поиск их упругого рассеяния на ядрах рабочего вещества детектора. Процесс рассеяния WIMP является очень редким процессом, поэтому для надежной регистрации таких событий необходимо обеспечить низкий уровень фона (в идеале - полное отсутствие фоновых событий). В связи с этим, важнейшим условием проведения успешных экспериментов по поиску WIMP является возможность достижения низкого уровня фона, разработка и внедрение в экспериментальную практику более чувствительных детекторов и новых методов подавления фона.

Полупроводниковые германиевые детекторы были одним из первых приборов, которые использовались для прямой регистрации WIMP. В дальнейшем это привело к созданию низкотемпературных германиевых и кремниевых детекторов с одновременной регистрацией теплового и ионизационного сигналов, которые сегодня играют исключительно важную роль в поиске темной материи.

Данная диссертация посвящена поиску WIMP с помощью низкотемпературных германиевых болометров, разработке новых типов германиевых детекторов и способам снижения фона в такого рода экспериментах. Т.о. актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

В диссертации представлены результаты эксперимента по поиску WIMP EDELWEISS-II/III. Для WIMP массой равной 85 ГэВ/c<sup>2</sup> получено ограничение сечения взаимодействия WIMP-нуклон на уровне  $4.4 \times 10^{-44}$  см<sup>2</sup>, а для WIMP с массой 4 ГэВ/c<sup>2</sup> получено ограничение на уровне  $1.6 \times 10^{-39}$  см<sup>2</sup>. Для области лёгких WIMP полученные ограничения позволяют полностью закрыть область предположительной регистрации частиц темной материи в ряде других экспериментов (DAMA, CRESST,...). И, что

особенно важно, полностью закрыть область положительного результата эксперимента CoGeNT, полученного с тем же ядром (Ge).

Значительная часть диссертационной работы посвящена методам борьбы с фоном и улучшению параметров используемых детекторов. Были получены следующие важные результаты:

- был разработан новый метод изготовления детекторов-болометров большого объема со специальной схемой электродов (чередующейся кольцевой структурой), позволяющих проводить высокоэффективное подавление фоновых событий ( $\sim 1000$  кг $\times$ суток работы детекторов без фона);

- был разработан метод всестороннего изучения фона для эксперимента EDELWEISS.

Был проведен мониторинг и создана расчётная модель фоновых условий эксперимента EDELWEISS (гамма-фон, поля нейтронов и радона). Измерена величина потока нейтронов в разных местах подземной лаборатории LSM (Франция) -  $\sim 10^{-6}$  нейтрона/см<sup>2</sup>/с. Измерен поток нейтронов внутри защиты установки EDELWEISS.

Определено, что флуктуации нейтронного потока в LSM составляют не более 5%;

- разработан метод улучшения пассивной защиты эксперимента EDELWEISS. В третьей фазе эксперимента удалось снизить величину фоновых событий, образованных как гамма, так и нейтронным фоном, что позволило достичь чувствительности по поиску WIMP на уровне лучших мировых результатов. Средний экспериментальный индекс гамма-фона для энергии от 20 до 200 кэВ в EDELWEISS-III снижен на 15% и составил 0,39 события на кг/кэВ/день.

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 С.В. Розова имеют несомненную научную и практическую ценность. Полученные им ограничения на существование WIMP активно используются экспериментаторами и теоретиками во многих лабораториях, эти результаты широко цитируются в научной литературе. Германиевые детекторы нового типа несомненно будут использоваться на следующем этапе эксперимента EDELWEISS и могут найти применение в других экспериментах. Информацию о потоке нейтронов в разных местах подземной лаборатории LSM (Франция) используют (и будет использоваться в дальнейшем) участниками других экспериментов, проводимых и планируемых в LSM (NEMO-3, SuperNEMO, SEDINE, TGV и др.). А информация о потоке нейтронов внутри пассивной защиты представляет интерес для других низкофоновых экспериментов (темная материя, двойной бета-распад, поиски редких распадов и т.п.).



К замечаниям по изложению материала диссертации следует отнести следующее:

1) во введении утверждается, что «аксионы были введены для решения проблемы барионной асимметрии во Вселенной». Это не совсем так — аксионы были введены в теорию в 1977 году для сохранения СР-инвариантности в квантовой хромодинамике;

2) во введении (для полноты картины) не хватает данных по ограничениям на WIMP, полученных на Большом адронном коллайдере;

3) один из наиболее интересных результатов, представленных в диссертации — это «закрытие» положительного результата эксперимента CoGeNT. На мой взгляд следовало бы более подробно обсудить эксперимент CoGeNT, сравнить полученные результаты и т. д. К сожалению этого сделано не было.

Указанные замечания не снижают главных достоинств диссертационной работы С.В. Розова – получение важных экспериментальных результатов по поиску WIMP на установке EDELWEISS-II/III; разработка германиевых детекторов нового типа и методов подавления фона в низкофоновых экспериментах.

В целом диссертация С.В. Розова 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 и опубликованных в авторитетных отечественных и зарубежных журналах. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация С.В. Розова 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;

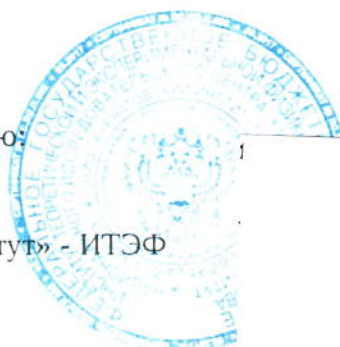
barabash@itep.ru)

А.С. Барабаш

Подпись А.С. Барабаша заверяю:

Ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ



В.В. Васильев