



Государственный научный центр Российской Федерации –  
**Институт физики высоких энергий**  
Национального исследовательского центра  
«Курчатовский институт»

ИФВЭ 2014–18  
ОП, ОУК, ОЭФ

А.Г. Афонин<sup>1</sup>, А.С. Вовенко<sup>1</sup>, В.И. Гаркуша<sup>1</sup>, С.С. Герштейн<sup>1</sup>,  
О.Д. Далькаров<sup>2</sup>, А.М. Зайцев<sup>1</sup>, В.Г. Заручейский<sup>1</sup>, С.В. Иванов<sup>1</sup>,  
В.В. Кабаченко<sup>1</sup>, В.А. Калинин<sup>1</sup>, Л.В.Кравчук<sup>3</sup>, Ю.Г. Куденко<sup>3</sup>,  
О.П. Лебедев<sup>1</sup>, Ф.Н. Новоскольцев<sup>1</sup>, А.Г. Ольшевский<sup>4</sup>,  
В.А. Рябов<sup>2</sup>, М.Д. Скорохватов<sup>5</sup>, А.А. Соколов<sup>1</sup>, Е.М. Сыресин<sup>4</sup>,  
Н.Е. Тюрин<sup>1</sup>, В.И. Шевченко<sup>5</sup>

## **Нейтринный эксперимент с длинной базой с использованием ускорительного комплекса ИФВЭ**

(Концепция эксперимента)

---

<sup>1</sup> Государственный научный центр Российской Федерации - Институт физики высоких энергий  
НИЦ «Курчатовский институт»

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований Российской академии наук

<sup>4</sup> Объединенный институт ядерных исследований

<sup>5</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Протвино 2014

**Аннотация**

Афонин А.Г. и др. Нейтринный эксперимент с длинной базой с использованием ускорительного комплекса ИФВЭ. (Концепция эксперимента): Препринт ИФВЭ 2014–18. – Протвино, 2014. – 12 с., 1 табл., библиогр.: 15.

В работе представлена концепция нейтринного эксперимента с длинной базой с использованием ускорительного комплекса ИФВЭ.

**Abstract**

Afonin A.G. et al. Long Baseline Neutrino Experiment with the IHEP Accelerator Complex. (Concept of Experimental Design): IHEP Preprint 2014–18. – Protvino, 2014. – p. 12, table 1, refs.: 15.

Design concept for a long baseline neutrino experiment with the IHEP accelerator complex is presented in the paper.

## Введение

В 2012 году рабочая группа, созданная из специалистов по нейтринной физике ряда российских институтов, предложила концепцию эксперимента по исследованию нейтрино с использованием высокоинтенсивного нейтринного канала, который может быть создан на базе ускорительного комплекса ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт". По прошествии двух лет основные положения этой концепции сохраняют актуальность. Более того, предложенные подходы вызывают значительный интерес и требуют дальнейшей проработки. Это побудило нас опубликовать в виде препринта предлагаемый текст, разрабатывавшийся первоначально в качестве рабочего документа.

Нейтрино – одна из наиболее распространенных частиц во Вселенной, изучение свойств и взаимодействий которой продолжается более полувека. Но, несмотря на интенсивность работ в этой области и значительный прогресс экспериментальной техники, исследования свойств нейтрино и сегодня остаются наиболее востребованными и актуальными. Центральные проблемы связаны с выяснением природы нейтрино, которые могут быть дираковскими или майорановскими фермионами; с определением значений и иерархии масс нейтрино; с прецизионными измерениями свойств нейтрино в процессе их распространения в вакууме и веществе.

Осцилляции нейтрино явились наиболее важным открытием последних десятилетий в области физики частиц. Гипотеза осцилляций нейтрино впервые высказана Б.М. Понтекорво в 50-х годах прошлого века [1,2] (см. также работы Маки и др. [3] и Понтекорво [4]), а окончательное экспериментальное подтверждение эта идея получила

в нескольких экспериментах с солнечными, атмосферными, реакторными и ускорительными нейтрино на рубеже тысячелетий. Для феноменологического описания осцилляций используется схема с тремя активными нейтрино ( $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$ ), связанными с массовыми состояниями ( $\nu_1$ ,  $\nu_2$  и  $\nu_3$ ) через  $3 \times 3$  матрицу смешивания Понтекорво - Маки - Накагава – Саката (ПМНС). Структура матрицы ПМНС определяется тремя углами смешивания  $\theta_{12}$ ,  $\theta_{23}$ ,  $\theta_{13}$  и, возможно, комплексными параметрами – фазами, отражающими нарушение зарядовой и пространственной инвариантности (CP-инвариантности) у лептонов.

Открытие осцилляций имело первостепенное значение для физики элементарных частиц. Впервые было получено доказательство о существовании новой физики за пределами Стандартной Модели. Поэтому дальнейшие исследования свойств нейтрино открыли возможность изучения явлений для построения более фундаментальной теории субатомной материи. Другой важнейший аспект этих исследований связан с решением фундаментальных проблем астрофизики и космологии, с пониманием роли нейтрино на ранних стадиях эволюции Вселенной, вкладом нейтрино в формирование наблюдаемой барионной асимметрии и ее связью с CP нарушением в лептонном секторе.

Попытки решения этих проблем будут в значительной степени **определять и формировать основные направления развития физики элементарных частиц в ближайшие десятилетия.**

К настоящему времени большинство параметров нейтринных осцилляций, а именно углы смешивания матрицы ПМНС, были измерены, хотя и с ограниченной точностью [5]. За последние 3 года в нескольких независимых экспериментах удалось измерить угол смешивания  $\theta_{13}$  – ключевой элемент матрицы ПМНС, который определяет возможность экспериментального наблюдения нарушения CP-симметрии в нейтринных экспериментах. Неожиданно большая величина угла смешивания  $\theta_{13} \sim 9^\circ$ , найденная в экспериментах T2K, MINOS, Daya Bay, RENO и Double Chooz в 2011-2012 гг. [6-10], кардинально изменила планы исследований осцилляций нейтрино. Учитывая большие величины углов смешивания, эффект CP нарушения в лептонном секторе может потенциально быть очень большим (в зависимости от значения фазы CP нарушения  $\delta_{CP}$ ) по сравнению с кварковым сектором. Таким образом, изучение нейтринных осцилляций открывает уникальную возможность для поиска нового источника CP нарушения.

Сложилась уникальная ситуация для определения иерархии масс нейтрино и поиска нарушения CP-инвариантности в нейтринных осцилляционных экспериментах с длинной базой,  $\sim 1000$  км и более, с использованием интенсивных пучков нейтрино от протонных ускорителей в широком диапазоне энергий. Полученная величина угла  $\theta_{13}$  позволяет с большой определенностью планировать эксперименты, которые будут обладать высокой чувствительностью, в том числе за счет эффекта вещества при прохождении нейтрино через Землю.

Однако большая пролетная база приводит к необходимости максимально возможного увеличения интенсивности нейтринного пучка и создания новых детекторов большой массы для набора статистики. Таким образом, реализация программы исследований в этом направлении возможна лишь при условии **модернизации существующих ускорительных комплексов и создания нейтринных детекторов нового поколения на основе самых передовых технологий**. Следует подчеркнуть, что новые крупномасштабные нейтринные детекторы предполагается одновременно использовать для фундаментальных и междисциплинарных исследований в области нейтринной астрофизики, поисков распада протона, изучения гео-нейтрино и др.

### **Предложения экспериментов с длинной базой**

Ускорительные нейтринные эксперименты с длинной базой предлагается создать в нескольких зарубежных научных центрах. Эти эксперименты имеют там самый высокий приоритет.

**LBNE (США)** [11]. В эксперименте предлагается использовать пучок нейтрино из 120 ГэВного инжектора Фермилаб, направленный в лабораторию Homestake в штате Южная Дакота. База эксперимента 1300 км. “Дальний” детектор, который представляет собой жидкоаргоновую время-проекционную камеру (TPC) массой около 35 кт, предлагается разместить в подземной нейтринной обсерватории (Sanford Underground Research Facility) и проводить измерения в пучке нейтрино с энергией в диапазоне 1.0 – 5.0 ГэВ с мощностью протонного пучка 1.2 МВт ( $\sim 2024$  г.). В дальнейшем эту мощность планируется удвоить ( $\sim 2030$  г.). Эксперимент обладает хорошей

чувствительностью к CP нечетным эффектам в осцилляциях нейтрино. Кроме того, в эксперименте можно будет изучать атмосферные и солнечные нейтрино, проводить поиск распада протона, изучать нейтрино от различных астрофизических источников. В эксперименте предполагается начать работу на нейтринном пучке от ускорителя в ~2024 г. и проводить набор статистики до 2035 г.

**HyperKamiokande (Япония)** [12]. В этом предложении предлагается создание двух новых водных черенковских детекторов общей массой около 1 Мт, которые будут расположены в подземной лаборатории, недалеко от работающего детектора СуперКамиоканде на расстоянии около 295 км от сильноточного протонного ускорителя J-PARC. Используя протонный пучок с энергией 30 ГэВ с проектной мощностью около 750 кВт (в настоящее время 240 кВт), в J-PARC создан интенсивный внеосевой пучок нейтрино с энергией в максимуме спектра около 600 МэВ. Эта энергия оптимизирована таким образом, чтобы проводить измерения в первом осцилляционном максимуме для переходов мюонных нейтрино в тау-нейтрино. Изучается возможность создания протонного пучка с мощностью 1-2 МВт. Проведение измерений с пучком мюонных нейтрино и антинейтрино позволит провести чувствительный тест CP нарушения и выполнить измерение CP нечетной фазы в значительном диапазоне (около 70%) ожидаемых значений, если будет известна иерархия масс нейтрино из других экспериментов, поскольку из-за короткой базы и слабого эффекта вещества, этот эксперимент не обладает чувствительностью к иерархии масс.

**LAGUNA-LBNO (Европа)** [13]. Проект LAGUNA-LBNO предложен в рамках европейской организации АрПЕС/ASPERA. В эксперименте предлагается использовать нейтринный пучок, направленный из ЦЕРН в подземную лабораторию Пихасалми (Финляндия), где предполагается расположить комплекс детекторов нейтрино – жидко-аргоновую время проекционную камеру GLACIER массой около 20 кт в комбинации с массивным 35 кт магнитным сцинтилляционным детектором MIND. Одним из ключевых элементов этого эксперимента должна являться программа модернизации ускорительного комплекса ЦЕРН, в результате которой мощность пучка может быть доведена

до 750 кВт. Длинная база эксперимента около 2300 км позволяет за счет эффекта вещества надежно разделить эффект, связанный с иерархией масс, и для всего диапазона возможных значений CP нечетной фазы ожидается получить чувствительность к иерархии масс нейтрино на уровне  $5\sigma$ . Нарушение CP инвариантности в этом эксперименте может быть изучено с худшей чувствительностью, на уровне  $3\sigma$  для 70% всего диапазона возможных величин CP нечетной фазы, а сама фаза может быть измерена с точностью около 15 градусов.

**Все приведенные выше проекты носят долгосрочный характер.** Например, в эксперименте LBNE предполагается начать работу на нейтринном пучке от ускорителя в ~2024 году и проводить набор статистики до 2035 года.

## **Развитие ускорительной нейтринной физики в России**

Последние открытия и ясное понимание вектора развития нейтринных исследований делают эту область, наряду с исследованиями на LHC, ключевой для физики элементарных частиц. Это отражается и в готовящейся программе Европейской стратегии по физике частиц. Поэтому в настоящее время появилась прекрасная возможность для участия российских организаций в долгосрочной Европейской программе по нейтринной физике. Целесообразность и возможность такого участия определяется несколькими факторами.

### **1. Модернизация ускорительных комплексов.**

Центральной проблемой является создание интенсивных нейтринных пучков, направленных в низкофоновые лаборатории, где предполагается размещение нейтринных детекторов. В проекте LAGUNA-LBNO предлагается использовать нейтринный пучок, получаемый на ускорителе SPS в ЦЕРН. Для этого необходима модернизация всего ускорительного комплекса с целью увеличения мощности протонного пучка, который используется для генерации нейтрино, и разработка и создание нового нейтринного канала с широким нейтринным пучком в направлении подземной лаборатории Пихасалми (Финляндия).

Предварительный анализ российских специалистов показывает, что существует принципиальная возможность сооружения на основе протонного ускорителя У-70 ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт" высокоинтенсивного нейтринного канала, направленного в Пихасалми. Эксперимент в новой постановке, в которой два нейтринных пучка – один из ЦЕРН (база 2300 км), другой из ИФВЭ (база 1160 км), радикально меняет ситуацию с проектом LAGUNA-LBNO. Измерения с двумя базами позволят удвоить статистику нейтринных событий, существенно снизить погрешности эксперимента (и его стоимость) за счет использования общего “дальнего” детектора, и получить уникальную чувствительность к CP нечетным эффектам.

Для получения нейтринного пучка предлагается использовать ускоритель У-70, проведя соответствующую модернизацию, позволяющую повысить мощность выведенного пучка протонов до 400-500 кВт [14]. Более подробно характеристики нейтринного пучка, представляющие интерес для реализации проекта представлены ниже. **Следует отметить, что реконструкция ускорителя не ограничивается только потребностями нейтринного эксперимента. Обновленный ускорительный комплекс будет интенсивным источником частиц (протонов, нейтронов, мюонов, каонов) для прочих исследований в области физики высоких энергий.**

## 2. Создание “дальних” детекторов.

Принципиальным условием для исследования осцилляций на длинной базе является строительство мега детекторов следующего поколения с массой мишени в несколько десятков килотонн и более, которых ранее не было. Очевидно, что разработка и создание таких детекторов возможны только в рамках широкого международного сотрудничества при сложении финансового, ресурсного обеспечения и накопленного опыта ученых. Для реализации многоцелевых исследований экспериментальный комплекс должен обладать ультранизким уровнем фоновых характеристик. В этом случае ключевым фактором является внедрение новейших технологий, строительство заводов по глубокой очистке жидкостей и газов, установок синтеза ультрачистых жидкостей и сцинтилляторов, развитие информационных технологий.

Одновременное использование нейтринных пучков ЦЕРН-Пихасалми (2300 км) и ИФВЭ-Пихасалми (1160 км) имеет уникальную особенность. Пучок мюонных

нейтрино (антинейтрино) из ИФВЭ с энергией в максимуме спектра 2-3 ГэВ может быть настроен на первый осцилляционный максимум, а пучок из ЦЕРНа с энергией в максимуме 1-2 ГэВ соответствует второму осцилляционному максимуму, который более чувствителен к CP нарушению.

Участие российских институтов в сооружении детекторов в Пихасалми востребовано международным научным сообществом. В течение многих лет российские физики участвуют в различных нейтринных экспериментах в нашей стране и за рубежом. Накопленный опыт в создании детекторов, в том числе ультра низкофоновых, и проведении исследований показывает, что российские специалисты могут занять лидирующее положение в новых экспериментах.

### 3. Создание “ближних” детекторов.

Другой аспект связан с разработкой и созданием “ближних” нейтринных детекторов. В частности, должны быть созданы:

- “ближний” детектор нейтрино - детектирующий комплекс, расположенных на расстоянии  $\sim 500$  м от мишенной станции, позволяющий изучать все нейтринные процессы, идущие через заряженные и нейтральные токи, для измерения интенсивности, энергетического спектра и состава нейтринного пучка вблизи мишени до проявления эффектов осцилляций;
- детектор мюонов для контроля за параметрами и направлением нейтринного пучка.
- детектор для проведения измерений сечений рождения  $\pi$ - и  $K$ -мезонов в адрон-ядерных взаимодействиях для прецизионного предсказания спектров и потоков нейтрино.

Следует особо подчеркнуть, что “ближний” детектор нейтрино, расположенный на расстоянии несколько сотен метров, является многоцелевой установкой для исследования осцилляций нейтрино с короткой базой. В частности, на этой установке может осуществляться чувствительный поиск стерильных нейтрино с массами около 1 эВ. В последние годы появились серьезные экспериментальные основания для проведения

исследований в этом направлении. Обнаружение стерильного нейтрино имело бы революционное значение в физике частиц.

В работе над сооружением “ближних” детекторов могут принять участие все научные центры России, и ряд исследований могут быть выполнены целиком силами наших специалистов.

#### 4. Долгосрочные перспективы.

В ведущих зарубежных ускорительных центрах разрабатываются программы модернизации ускорительных комплексов, в которых прорабатываются варианты повышения мощности протонных ускорителей до 2 МВт и выше. Такие проекты существуют в США (Фермилаб), Японии (J-PARC) и в Европе (ЦЕРН). Использование таких пучков позволит в перспективе получить высокоинтенсивные нейтринные пучки, которые будут использоваться на втором этапе нейтринных экспериментов с длинной базой. Генерация пучков такой мощности - сложная техническая и пока не решенная задача. Перспективы создания высокоинтенсивного источника могут быть рассмотрены и в России, например, на основе строительства нового ускорителя протонов в тоннеле УНК. Создание нового ускорительного центра в Протвино, как международного европейского центра, может быть весьма привлекательно для международного научного сообщества. В современных условиях ограниченного финансирования и приоритетности программы развития ЛНС, руководство ЦЕРН может быть заинтересовано в поддержке проекта создания альтернативного международного центра с ускорительным комплексом с протонными пучками высокой мощности для проведения фундаментальных исследований.

### **Нейтринный канал на базе У-70**

Создание высокоинтенсивного нейтринного канала на базе У-70 может стать решающим фактором успешной реализации масштабных долгосрочных исследований в области физики частиц. Последовательная модернизация ускорительного комплекса и сопутствующей экспериментальной базы может создать условия, при которых ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт" вновь станет центром исследований мирового уровня.

Для реализации этих планов на первом этапе настоящей программы необходимо сооружение нейтринного канала из Протвино в Пихасалми и достичь мощности около 500 кВт протонного ускорителя У-70, чтобы для расстояния 1160 км получить за одинаковое время работы ускорителя такую же статистику нейтринных событий, как и с нейтринным пучком из ЦЕРН. Требования к параметрам ускорителя У-70 и нейтринному пучку представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Требования к параметрам ускорителя У-70 и нейтринному пучку в направлении Пихасалми (Финляндия).

Параметр	
Энергия протонного пучка	70 ГэВ
Интенсивность протонного пучка	$2.25 \cdot 10^{14}$ протонов в 27 сгустках
Период следования протонных импульсов	5.2 сек
Мощность протонного пучка	460 кВт
Быстрый вывод пучка на мишень	5 мксек
Система фокусировки пионов	2 импульсных магнита (горн и рефлектор)
Длина нейтринного канала	150-200 м
Диаметр нейтринного канала	3 метра
Наклон канала относительно поверхности земли	около 5 градусов
Необходимый диапазон энергий нейтрино	0.5 – 3.0 ГэВ
Примесь электронных нейтрино	менее 2%
Материал пионорождающей мишени	графит
Мишень	цилиндр длина ~100 см, радиус ~4 мм
Мишенная станция, нейтринный канал	заполнены гелием при 1 атм.
Расстояние от мишени до “ближнего” детектора	500-700 метров
Уровень “ближнего” детектора	50 метров ниже поверхности земли
“Ближний” нейтринный детектор	комплексная установка

Для эксперимента необходим нейтринный пучок с широким энергетическим спектром мюонных нейтрино с энергиями 0.5-3.0 ГэВ. Это позволит одновременно измерять осцилляции мюонных нейтрино в электронные в первом осцилляционном максимуме при энергии нейтрино около 2 ГэВ и во втором осцилляционном максимуме при энергии нейтрино около 0.7 ГэВ. Примесь электронных нейтрино в пучке мюонных нейтрино должна быть менее 2%. Энергия протонного пучка может быть

уменьшена до 50 ГэВ, чтобы увеличить поток нейтрино низких энергий, длина нейтринного канала составит в этом случае около 300 м.

Следует также отметить, что возможно проведение эксперимента с длинной базой в направлении Баксанской подземной нейтринной обсерватории (БНО) ИЯИ РАН [15]. База такого эксперимента составляет около 1350 км. Для этого необходим интенсивный пучок нейтрино с энергией 1-5 ГэВ и массивный “дальний” нейтринный детектор, расположенный в БНО. Исходя из основной задачи такого эксперимента – изучение CP нарушения в лептонном секторе – для данной базы и диапазона энергий нейтрино оптимальным детектором является время-проекционная камера с использованием жидкого аргона. Принципиальная реализуемость этого варианта, как в пучковой части, так и в части “дального” детектора, требует отдельного рассмотрения.

### **Заключение**

В представленной работе кратко изложены основные направления развития ускорительной нейтринной физики на ближайшие десятилетия. Для российских ученых появляется уникальная возможность оказаться на переднем фронте этих исследований и восстановить утраченные за последние годы позиции.

В заключение можно констатировать следующее:

1. В ближайшие десятилетия важнейшим фактором развития физики частиц будет сооружение высокоинтенсивных ускорительных комплексов для проведения многоцелевых исследований, в том числе для экспериментов с использованием интенсивных нейтринных пучков.
2. Увеличение мощности ускорительного комплекса ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт" и сооружение нейтринного канала в направлении подземной лаборатории Пихасалми (Финляндия) может стать решающим условием успешного старта Европейского проекта LAGUNA-LBNO, нацеленного на изучение ключевых проблем - иерархии нейтринных масс и нарушения CP инвариантности в лептонном секторе. В настоящее время существует уникальная возможность для нейтринного эксперимента с двумя базами с использованием двух интенсивных нейтринных пучков – из ЦЕРН и ИФВЭ.

3. Реализация проекта будет способствовать глубокой модернизации российской ускорительной и экспериментальной базы, даст возможность всем российским институтам участвовать в создании детекторов нового поколения, в проведении широкой программы исследований в области ускорительной нейтринной физики, а также нейтринной астрофизики, изучения темной материи, исследования гео-нейтрино в низкофоновых подземных экспериментах.
4. Прогресс в этой области даст громадный импульс для развития высоких технологий в России, привлечению молодежи в науку, воспитанию научных кадров и формированию новых научных школ.

### Список литературы

- [1] Б.М. Понтекорво, ЖЭТФ, **33**, 549 (1957).
- [2] Б.М. Понтекорво, ЖЭТФ, **34**, 247 (1958).
- [3] Z. Maki, M. Nakagawa, S. Sakata, Prog. Theor. Phys. **28**, 870 (1962).
- [4] Б.М. Понтекорво, ЖЭТФ, **53**, 1717 (1967).
- [5] K.A. Olive et al., (Particle Data Group), Chin. Phys. C, **38**, 090001 (2014).
- [6] K. Abe et al., (T2K Collab.), Phys.Rev.Lett. 107 (2011) 041801;  
K. Abe et al., (T2K Collab.), Phys.Rev.Lett. 112 (2014) 061802.
- [7] P. Adamson et al., (MINOS Collab.), Phys. Rev. Lett. **110**, 171801 (2013).
- [8] F.P. An et al., (Daya Bay Collab.), Phys. Rev. Lett. **108**, 171803 (2012);  
F.P. An et al., (Daya Bay Collab.), Chinese Phys. C**37**, 011001 (2013).
- [9] J.K. Ahn et al., (RENO Collab.), Phys. Rev. Lett. **108**, 191802 (2012);  
S.-H. Seo, talk at the XV International Workshop on Neutrino Telescopes,  
March 11-15, 2013, Venice.
- [10] Y. Abe et al., (Double Chooz Collab.), Phys. Rev. Lett. **108**, 131801 (2012);  
Y. Abe et al., (Double Chooz Collab.), Phys. Rev. D**86**, 052008 (2012).
- [11] C. Adams et al. (LBNE Collab.), The Long-Baseline Neutrino Experiment:  
Exploring Fundamental Symmetries of the Universe," arXiv:1307.7335 [hep-ex].

- [12] K. Abe, H. Aihara, C. Andreopoulos et al. A Long Baseline Neutrino Oscillation Experiment Using J-PARC Neutrino Beam and Hyper-Kamiokande. arXiv:1412.4673v1 [physics.ins-det].
- [13] S.K. Agarwalla et al., (LAGUNA-LBNO Collab.), JHEP 1405 (2014) 094.
- [14] Ускорительный комплекс интенсивных адронных пучков. Новости и проблемы фундаментальной физики № 2 (9), Протвино, 2010.
- [15] <http://www.inr.ru/rus/structura/obno.html>

*Рукопись поступила 29 декабря 2014 г.*

А.Г. Афонин и др.

Нейтринный эксперимент с длинной базой с использованием ускорительного комплекса ИФВЭ. (Концепция эксперимента.)

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

---

Подписано к печати 16.01.2015.                      Формат 60 × 84/16.      Цифровая печать.

Печ.л. 1.                      Уч.– изд.л. 1,34.                      Тираж 100.      Заказ 24.                      Индекс 3649.

---

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»  
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

---

ПРЕПРИНТ 2014-18,  
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2014

---