

Федеральное
государственное
бюджетное
учреждение
науки

Институт
ядерных
исследований
Российской
академии
наук



Уникальная
научная установка

ТРОИЦК НЮ-МАСС ИЯИ РАН

аналитическая
справка

2016

Федеральное
государственное
бюджетное
учреждение
науки

Институт
ядерных
исследований
Российской
академии
наук



Уникальная
научная установка

ТРОИЦК НЮ-МАСС ИЯИ РАН

аналитическая
справка

2016



Основные проводимые исследования

Поиск новых явлений за пределами Стандартной модели физики элементарных частиц, поиск стерильных нейтрино в космологически интересной области масс, разработка экспериментальных методик и математического обеспечения для экспериментов по прямому измерению массы нейтрино.

Уникальность

- ◆ На установке получено лучшее в мире прямое ограничение на массу электронного нейтрино. Результат входит в ведущие базы данных и справочные материалы по физике элементарных частиц.
- ◆ Установка и оборудование являются уникальными в мировом масштабе. Новый спектрометр электронов, запущенный несколько лет назад, обладает рекордным разрешением, а газовый молекулярный источник на данный момент не имеет в мире аналогов. Единственным конкурентом через несколько лет может стать установка **KATRIN** в Германии, создаваемая на основе разработок группы **Троицк ню-масс**.
- ◆ Многие элементы установки спроектированы и изготовлены в единичном экземпляре и не имеют аналогов.
- ◆ В состав установки входит высокопродуктивный ожижитель гелия на 60 литров жидкого гелия в час стоимостью более 2 млн Евро фирмы **LINDE**.

Состав установки

В состав установки входит оборудование, характеристики которого существенно превосходят мировые аналоги, рис.1. Основными составляющими являются:

- ◆ электростатический спектрометр электронов объемом более 36 м³ и разрешением около 1 электрон-вольт (в процессе эксперимента, вакуум в спектрометре достигает 10⁻⁹ мбар, что является рекордным значением для подобных установок),



Рис. 1. Вид установки "Троицк ню-масс"

- ◆ безоконный газовый источник изотопов водорода,
- ◆ уникальная криогенная система охлаждения гелия
- ◆ развитая сеть крио и вакуумных элементов,
- ◆ высокоточная высоковольтная система,
- ◆ прецизионная электронная пушка с разрешением пучка лучше, чем 0.3 вольт, и с возможностью работы в импульсном режиме.

Спектрометр и газовый источник состоят из ряда магнитов со сверхпроводящими обмотками. Газовый источник снабжен уникальной системой газовой циркуляции, обеспечивающий перепад давлений между распадным объемом и спектрометром на уровне 10^9 раз (без использования перегородок любого вида).

Охлаждение сверхпроводящих криогенных магнитов осуществляется при помощи гелиевого охладителя TCF-50. Охладитель оснащен криогенной транспортной системой, разработанной и созданной специально для эксперимента **Троицк ню-масс**. Питание сверхпроводящих магнитов осуществляется при помощи дистанционно управляемых источников высокого тока до 200 А.

Neutrino Properties

A REVIEW GOES HERE – Check our WWW List of Reviews

$\bar{\nu}$ MASS (electron based)

Those limits given below are for the square root of $m_{\nu_e}^{2(\text{eff})} \equiv \sum_i |U_{ei}|^2 m_{\nu_i}^2$. Limits that come from the kinematics of ${}^3\text{H}\beta^- \bar{\nu}$ decay are the square roots of the limits for $m_{\nu_e}^{2(\text{eff})}$. Obtained from the measurements reported in the Listings for " $\bar{\nu}$ Mass Squared," below.

VALUE (eV)	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
< 2	OUR EVALUATION			
< 2.05	95	¹ ASEEV	11	SPEC ${}^3\text{H}\beta$ decay
< 2.3	95	² KRAUS	05	SPEC ${}^3\text{H}\beta$ decay



Рис.2. Часть сводной общемировой таблицы (**Review of Particle Properties 2012**) с данными на массу нейтрино. Красной линией отмечена публикация результатов, полученных на установке «Троицк ню-масс»

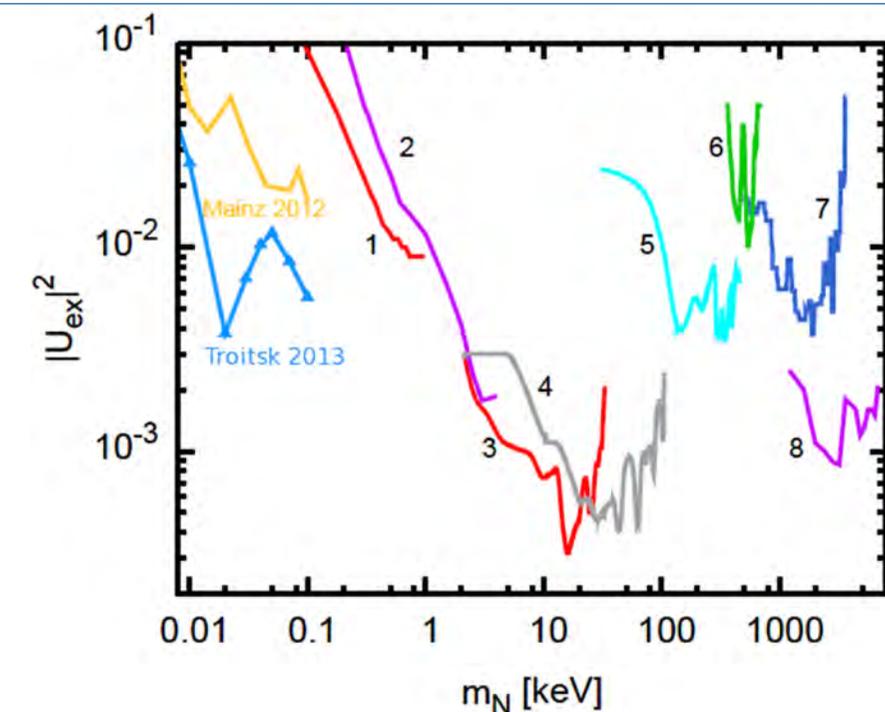


Рис.3. Верхний предел на элемент матрицы смешивания стерильных нейтрино в зависимости от массы стерильных нейтрино. Полученные на данной установке результаты помечены как "Troitsk 2013"



Разгрузка корпуса нового спектрометра



Монтаж внутреннего электростатического электрода.



Вызовы для России, вынуждающие развивать проект:

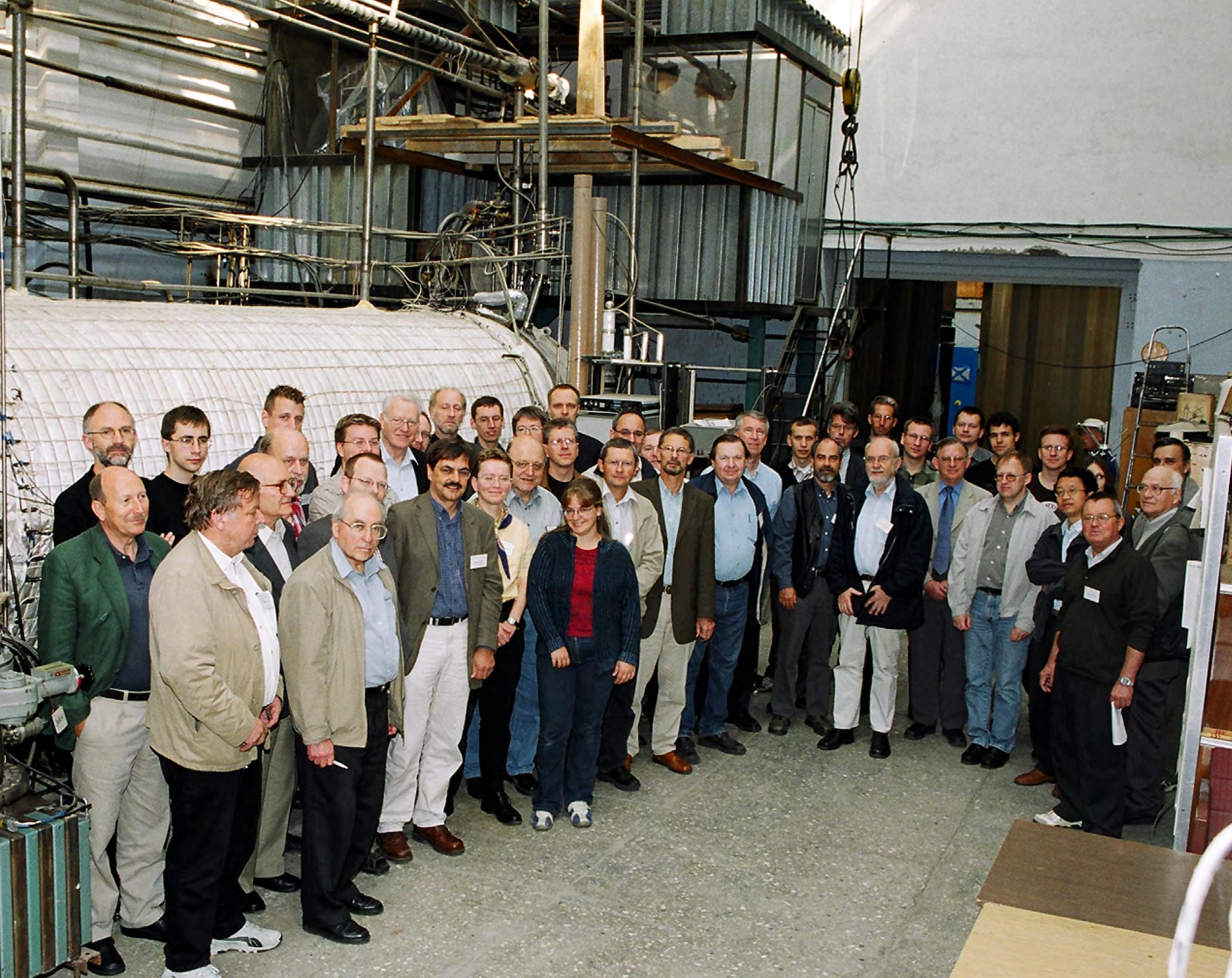
- ◆ На существующем оборудовании получены фундаментальные научные результаты, превосходящие мировые достижения, рис.2. Достигнутое ограничение на массу нейтрино ещё долго будет являться лучшим в мире. Оборудование имеет характеристики, превосходящие мировые аналоги. Эта ситуация сохранится по крайней мере в течении следующих пяти лет. В Германии осуществляется проект **KATRIN**, который будет конкурировать с установкой «Троицк ню-масс», однако реализация этого проекта существенно затягивается и дорожает. В части поиска стерильных нейтрино **KATRIN** не приблизится к проблеме в ближайшие 8–10 лет.
- ◆ Установка продолжает получать результаты мирового уровня — **за последние 5 лет** опубликован ряд статей в ведущих мировых журналах с лучшими в мире ограничениями на примесь стерильных нейтрино в диапазоне масс до 100 электрон-вольт, рис.3.

Перспективы развития проекта (научно-технологический прогноз)

Характеристики проекта

Проект направлен на прямые лабораторные поиски стерильных нейтрино. Важность такого рода поисковых экспериментов в дополнение к ограничениям, вытекающим из разных теоретических моделей, неоспорима. Конкретная задача — значительное улучшение существующих ограничений на угол смешивания стерильных и активных нейтрино в области масс от десятков электронвольт и вплоть до 15–17 кэВ. Эта область значений масс недоступна в осцилляционных экспериментах, планирующихся в ряде мировых научных центров.

Существенным преимуществом установки является наличие газового источника изотопов водорода. Такой тип источника позволяет избежать крайне нежелательных эффектов искажения спектра электронов из имплантированных или замороженных источников. Для решения задачи мы планируем, в отличие от проводившихся ранее измерений вблизи граничной точки, прецизионное измерение спектра бета-распада трития во всей кинематически доступной области энергий. В лаборатории имеется большой опыт работы на этой установке. В 2013 году была завершена су-







ществленная модернизация отдельных элементов и всей системы электропитания установки.

В другом параллельном подходе нами будут проводиться измерения по классической технике с применением цилиндрического газового пропорционального счетчика для регистрации электронов от распада трития. Очевидным преимуществом газового счетчика в случае с тритием служит естественное совмещение источника с мишенью, что, в сочетании с низким порогом (вплоть до 0.2 кэВ), дает возможность регистрации практически всего спектра энергосигналов. Современный уровень развития цифровой обработки сигналов позволяет обеспечить накопление значительных объемов данных в непрерывном режиме. Такой подход для поиска примеси стерильных нейтрино в распадах трития до настоящего времени не применялся.

Параллельно с основным проектом по поиску стерильных нейтрино ведется поиск компактного твердотельного источника для проведения нового поколения экспериментов. В частности, перспективной является разработка твердого безопасного источника трития на основе графена. Источники водорода на графене, в общем плане, рассматриваются как вариант для безопасного хранения водорода в качестве топлива нового поколения.

Цели и задачи

Модернизация существующего оборудования с целью повышения точности измерений, существенное расширение диапазона энергий.

Разработка системы медленного контроля за вакуумными, криогенными и другими параметрами установки.

- ◆ Разработка и создание прецизионной высоковольтной системы.
- ◆ Разработка высокоточных методик калибровки системы с помощью электронных и радиоактивных пучков частиц.
- ◆ Проведение измерений бета-спектра в широкой области энергий.

Ожидаемые результаты

- ◆ Будет осуществлена полномасштабная модернизация большинства элементов установки с целью получения более точных измерений, с гораздо большими скоростями набора данных и существенным увеличением статистики.
- ◆ Будут получены уникальные данные, которые важны для развития фундаментальной физики частиц, космологии и астрофизики.
- ◆ Будет расширен список образовательных дисциплин для студентов и аспирантов в высокотехнологических областях вакуумной техники, криогеники, электроники и многих других.

Кадровый состав установки

Коллектив группы, работающей на установке, составляет 15 высококвалифицированных специалистов. Из них 2 доктора наук, 6 кандидатов наук, 3 инженера по криогенной технике, несколько научных сотрудников, 3 механика, а также 2 аспиранта и 2 магистерских студента.



Установка способна работать до 2000 часов в год (в случае соответствующего финансирования).

Образовательный потенциал установки

Установка предоставляет уникальные **образовательные** возможности для инженеров и физиков, поскольку студенты и аспиранты могут не только решать узко специфичные задачи, над которыми они работают, но и изучать многие аспекты физики и инженерного дела, такие как вакуумная техника, криогеника, электроника и многое другое. На данный момент в исследования вовлечены 2 студента МФТИ и два аспиранта ИЯИ.

Составитель: д.ф.-м.н. В.С. Пантуев
Дизайн Н.Л. Нольде
Фото Е.Ю. Еремина, сотрудников ОЭФ

Подп. в печать 01.06.2016. Заказ № 22390
Печать цифровая. Издательский отдел ИЯИ РАН
117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

