



**Институту ядерных
исследований РАН – 50**
Годы. Люди. Дела

Л.В.Кравчук

ИСТОРИЯ ИЯИ РАН

Институт ядерных исследований Российской академии наук образован постановлением Президиума Академии наук СССР от 24 декабря 1970 года № 1051 на основе решения СМ СССР, принятого по инициативе Отделения ядерной физики АН СССР, в целях создания современной экспериментальной базы и развития исследований в области физики элементарных частиц, атомного ядра, физики космических лучей и нейтринной астрофизики.

1970

ИСТОРИЯ ИЯИ РАН



Одним из основных инициаторов создания Института был академик **Моисей Александрович Марков**, чьи пионерские идеи в области физики элементарных частиц, методов детектирования событий в подземных, глубоководных и других типах детекторов легли в основу создания современных уникальных установок и успешного выполнения программы фундаментальных научных исследований Института.

Институту были переданы 3 лаборатории ФИАН, занимавшихся проблемами ядерной и ускорительной физики и принятая к строительству в Баксанском ущелье обсерватория для изучения физики космических лучей, нейтрино и астрофизики.

В НЦ АН в Красной Пахре предполагалось построить сильноточный линейный ускоритель протонов (мезонная фабрика).

Директором Института был назначен теоретик из Дубны д.ф.-м.н. Альберт Никифорович Тавхелидзе



Большую роль в создании Института сыграли выдающиеся учёные:



Николай Николаевич Боголюбов, из Лаборатории которого вышли первый и второй директоры ИЯИ, является основоположником многих перспективных направлений исследований, развивающихся в Институте



Илья Михайлович Франк, нобелевский лауреат за объяснение Черенковского излучения, возглавлял Лабораторию атомного ядра Института. Ему принадлежит целый ряд теоретических и экспериментальных исследований в различных областях атомной физики, в том числе, метод спектроскопии нейтронов по времени замедления в свинце



Владимир Иосифович Векслер, открывший принцип автофазировки, стоял у истоков Лаборатории фотоядерных реакций, где работали созданные под его руководством ускорители электронов и протонов – в том числе, первый отечественный синхротрон

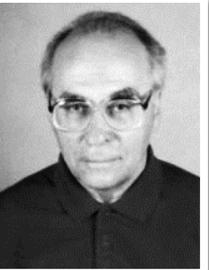
Большую роль в создании Института сыграли выдающиеся учёные:



Георгий Тимофеевич Зацепин, открывший электрон-ядерные ливни и другие процессы в космических лучах, научный руководитель сооружения и программы исследований Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН



Александр Евгеньевич Чудаков, открывший радиационный пояс Земли, исследователь космических лучей детекторами на аэростатах, ракетах и спутниках



Владимир Михайлович Лобашёв, автор открытий в области нарушения пространственной чётности, поляризационных и др. явлений в физике частиц и атомного ядра, получения ультрахолодных нейтронов, измерения массы нейтрино, возглавивший Отдел экспериментальной физики

ИСТОРИЯ ИЯИ РАН

Институт был образован на базе трех лабораторий ядерного профиля Физического института АН СССР.



Лаборатория атомного ядра,
возглавляемая лауреатом Нобелевской
премии академиком И.М.Франком



Лаборатория фотоядерных реакций,
под руководством Л.Е Лазаревой



Лаборатория "Нейтрино» под
руководством ак. Г.Т.Зацепина и
ак. А.Е.Чудакова

В 1971 году в лесу у посёлка Красная Пахра, в нынешнем Троицке началось сооружение Московской мезонной фабрики



Директор ИЯИ РАН
А.Н.Тавхелидзе
представляет
М.А.Маркову план
строительства Мезонной
фабрики



Обсуждение плана
строительства Мезонной
фабрики; Троицк 1971г.



Одновременно с Институтом в городе строились дома, детсад и школа для сотрудников. Строительством руководил заслуженный строитель Зараб Петросович Зарапетян, который за свой вклад в развитие Троицка был удостоен звания «Почётный гражданин Троицка». В число почётных граждан позже были включены также А.Н.Тавхелидзе, В.А.Матвеев, В.М.Лобашёв, Л.В.Кравчук.

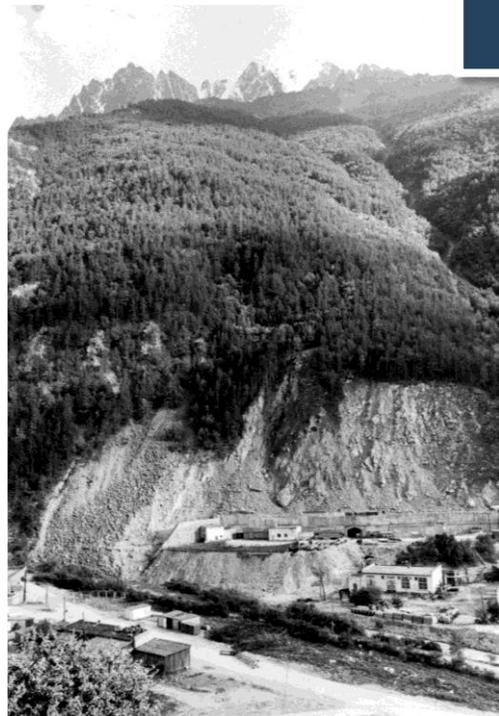


Визит делегации ОИЯИ в ИЯИ АН СССР. А.Н.Тавхелидзе, Н.Н.Боголюбов, З.П.Зарапетян, М.А.Марков, П.Н.Боголюбов, 1980г.

БАКСАНСКАЯ НЕЙТРИННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

19 июня 1963 года было принято постановление Президиума Академии наук о строительстве подземной станции в Баксанском ущелье.
К 1967 году разработан проект нейтринной станции, в том же году начато строительство.

Сборка детектора ШАЛ



Нейтринный совет на БНО

А. Е. Чудаков,
А. С. Вовенко,
В. А. Кузьмин,
Б. М. Понтекорво,
П. Е. Спивак,
Б. А. Долгошеин,
А. Н. Тавхелидзе,
1974

Проект предусматривал строительство двух параллельных горизонтальных тоннелей в горе Андырчи (высота горы более 4000 м), вдоль которых предполагалось разместить физические установки. Одновременно предусматривалось строительство необходимых инженерных и хозяйственных сооружений, и жилого поселка для сотрудников.



**А.А. Поманский, А.Н. Тавхелидзе,
Г.Т. Зацепин**

**М.В.Келдыш,
А.А. Поманский, В.Кузнецов,
Г.Т. Зацепин, Е.Н. Алексеев,
А.Е. Чудаков,
А.Н.Тавхелидзе**

ДИРЕКТОР ИЯИ РАН



**Тавхелидзе Альберт
Никифорович
Академик РАН**



**Матвеев Виктор
Анатольевич
Академик РАН**



**Кравчук Леонид
Владимирович
Член-корр. РАН**



**Либанов Максим
Валентинович
Профессор РАН**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ



**Бурлаков
Виктор
Дмитриевич**



**Матвеев
Виктор
Анатольевич**



**Рубаков
Валерий
Анатольевич**



**Кравчук
Леонид
Владимирович**



**Безруков
Леонид
Борисович**



**Коптелов
Эдуард
Алексеевич**



**Фещенко Александр
Владимирович**



**Либанов Максим
Валентинович**



**Рубцов Григорий
Игоревич**

3. П. Зарапетян



**А. П. Александров
А. Н. Тавхелидзе
В. А. Матвеев**



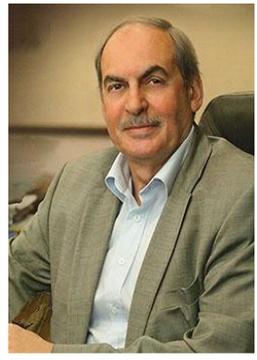
В.А.Матвеев, В.Д.Бурлаков, А.С.Жиляев, В.Н.Гаврин



В.Д.Бурлаков, С.К.Есин



Члены РАН



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЯИ РАН

физика элементарных частиц, физика высоких энергий, теория калибровочных полей и фундаментальных взаимодействий, космология

физика конденсированных сред, материаловедение, в том числе радиационное материаловедение, нейтронная физика, физика и техника источников нейтронов



физика атомного ядра, релятивистская ядерная физика

физика и техника ускорителей; физика пучков заряженных частиц

междисциплинарные исследования, прикладная ядерная физика, радиоизо-топные исследования, электроядерная трансмутация делящихся материалов, ядерная медицина, проблемы экологической безопасности, информационные технологии в экспериментальной и теоретической физике

нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационно-волновая астро-номия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях

СТРУКТУРА И ЧИСЛЕННОСТЬ ИЯИ РАН



Москва
20%



Троицк
56%



БНО
22%



Байкал
2%

СТРУКТУРА И ЧИСЛЕННОСТЬ ИЯИ РАН

В ИЯИ РАН работает 980 человек

академик РАН	член-корреспондент РАН	доктор наук	кандидат наук
3	6	50	120
профессор РАН	профессор	заслуженный профессор МГУ	
4	11	2	

В ИЯИ РАН 12 научных отделов и лабораторий, в том числе, Баксанская нейтринная обсерватория, Байкальская нейтринная обсерватория; Научно-образовательный центр, включающий 3 профилирующие кафедры и 2 совместные с университетами лаборатории, аспирантуру по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

СТРУКТУРА И ЧИСЛЕННОСТЬ ИЯИ РАН

- 20 лауреатов различных международных премий;
- 14 лауреатов Золотых медалей с премией для молодых учёных Российской академии наук;
- 6 лауреатов премий Российской академии наук имени выдающихся учёных;
- 7 лауреатов Премии Правительства РФ в области науки и техники;
- 3 лауреата Государственной премии;
- 3 лауреата Премии Правительства Москвы для молодых ученых;
- лауреат Премии Президента Российской Федерации для молодых учёных;
- лауреат Золотой медали;
- лауреат Демидовской премии;
- лауреат Ленинской премии;
- 3 Заслуженных деятеля науки и техники РФ.

ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ

Институт уделяет большое внимание, подготовке высококвалифицированных научных кадров, обучая студентов на базовых кафедрах :

- «Фундаментальные взаимодействия и космология» МФТИ
- «Физика частиц и космология» МГУ,
- на других кафедрах МГУ, МИФИ, КБГУ, Южного федерального университета и в аспирантуре.

Институт сотрудничает с МИФИ, Иркутским, Кабардино–Балкарским государственными университетами.



В Институте существует Научно-образовательный центр, координирующий обучение и научную работу студентов и аспирантов, действует Совет по защите диссертаций.

ОТДЕЛ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ



- Выполнены важные работы, связанные с формированием программы исследований по поиску новой физики на Большом адронном коллайдере, эксперимент CMS.
- Предложен эксперимент в ЦЕРН по поиску темного фотона и легкой темной материи. В настоящее время этот эксперимент под названием NA64 успешно работает в ЦЕРН и уже получил рекордные ограничения на параметры легкой темной материи и темного фотона.
- Разработан метод анализа результатов экспериментов по определению массы нейтрино.
- Построены модели физики элементарных частиц, выходящей за рамки Стандартной модели, в том числе по суперсимметричным теориям, теориям с расширенным хиггсовским сектором и др. - Выдвинуты идеи «мира на бране» в пространстве с дополнительными измерениями, ставшей весьма популярной как возможное расширение Стандартной модели и получившей важное развитие в более поздних работах. Предложена оригинальная реализация этой идеи, позволившая объяснить наличие трех поколений частиц в природе.
- Предложены нелокальная модель квантовой гравитации и показана суперперенормируемость модели.
- Проведены исследования по физике космических лучей, построению моделей происхождения космических лучей и нейтрино высоких энергий, разработке методов экспериментального исследования анизотропии направлений прихода и состава первичного космического излучения экстремальных энергий.
- Выполнены работы по теории генерации различных гипотетических типов темной материи и исследованию их свойств, а также исследованию проявлений в астрономических наблюдениях и наземных экспериментах.
- Внесен крупный вклад в теорию космических аксионов.
- Подготовка кадров, работа с аспирантами и студентами и многое другое... (доклад М.Шапошникова, буклет к 50-летию Института)

Поздравляем В. А. Рубакова с присуждением
Гамбургской премии 2020 г. по теоретической физике!

УНИКАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ УСТАНОВКИ

Московская мезонная фабрика, включая сильноточный Линейный ускоритель протонов, комплекс Импульсных нейтронных источников, Радиоизотопный комплекс и Комплекс лучевой терапии

Баксанская нейтринная обсерватория, включая ГГНТ, БПСТ, НФЛ и др.

Байкальский глубоководный нейтринный телескоп;

Исследовательский комплекс на базе ЛУЭ-8

Артемовская нейтринная станция

Установка Троицк ню-масс

Институт
создал ряд
уникальных
научных
установок
мирового
класса

КОМПЛЕКС ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ПРОТОНОВ В ТРОИЦКЕ

-  Сильноточный линейный ускоритель протонов и отрицательных ионов водорода, с проектной энергией до 600 МэВ, средним током пучка до 0.5 мА, импульсным током до 50 мА.
-  Экспериментальный зал с каналами первичных и вторичных частиц различной энергии, экспериментальными установками, системой диагностики пучков.
-  Нейтронный комплекс, включающий импульсный источник нейтронов с интенсивностью до 10^{15} н/с, спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце, комплекс нейтронографических, рентгеновских установок и мёссбауэровский спектрометр для исследования материалов.
-  Комплекс производства радиоактивных изотопов для медицины и промышленности на отводе протонного пучка 160 МэВ (^{82}Sr , ^{68}Ge , ^{109}Cd , ^{22}Na , $^{117\text{m}}\text{Sn}$, ^{225}Ac , ^{223}Ra и др.).
-  Комплекс лучевой терапии, включающий рентгеновский томограф, рентгеновскую облучательную установку, электронный ускоритель для гамма-облучения, канал протонного пучка.

ОТДЕЛ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СИЛЬНОТОЧНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ПРОТОНОВ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА



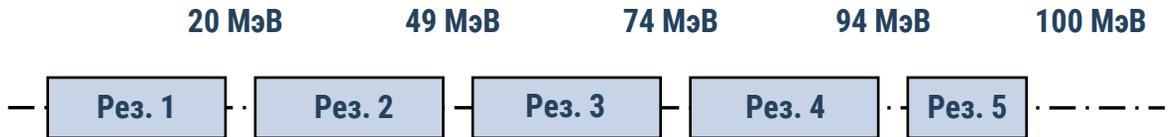
Инжекционный тракт



Инжектор протонов



НАЧАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЛУ (100 МэВ)



5 резонаторов с трубками дрейфа

Частота - 198,2 МГц

Выходная энергия - 100 МэВ

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ УСКОРИТЕЛЯ (100-600 МэВ)

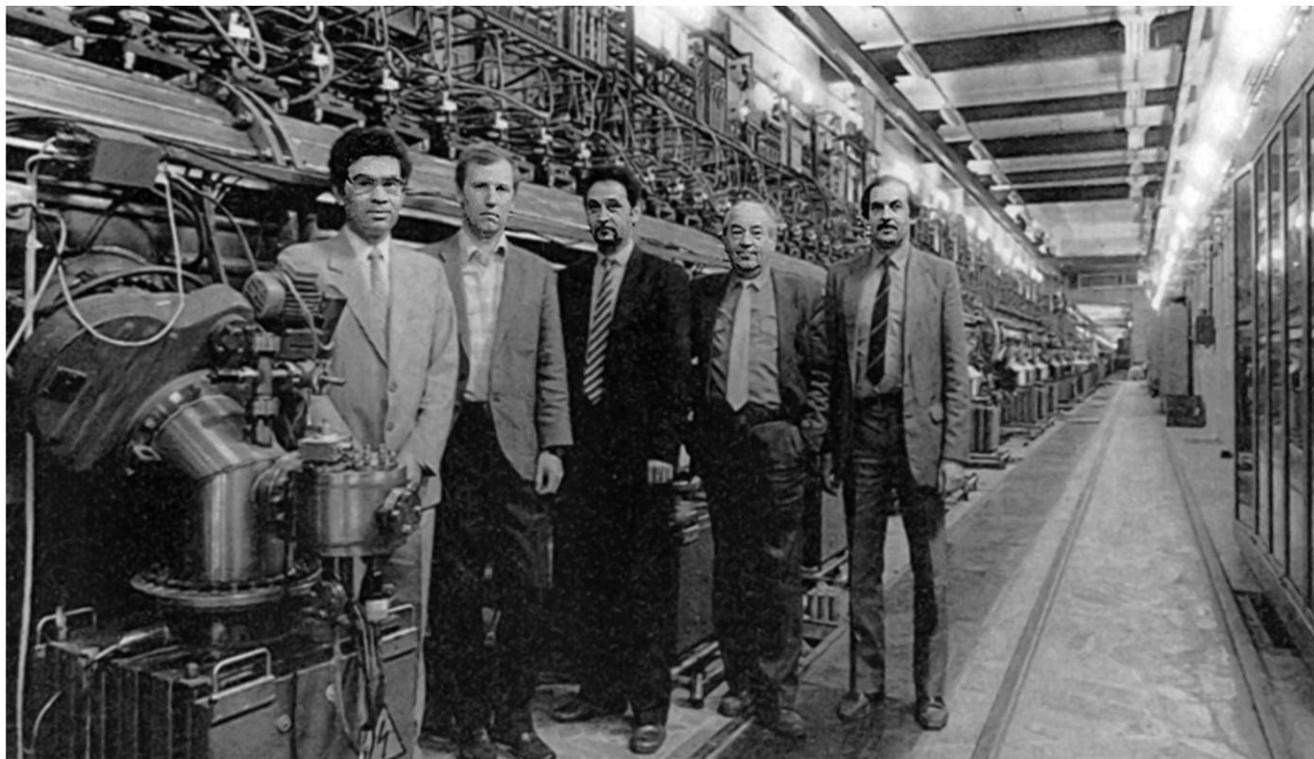
27 четырехсекционных резонаторов с шайбами и диафрагмами, частота 991 МГц.

Ускоряющие резонаторы основной части ускорителя

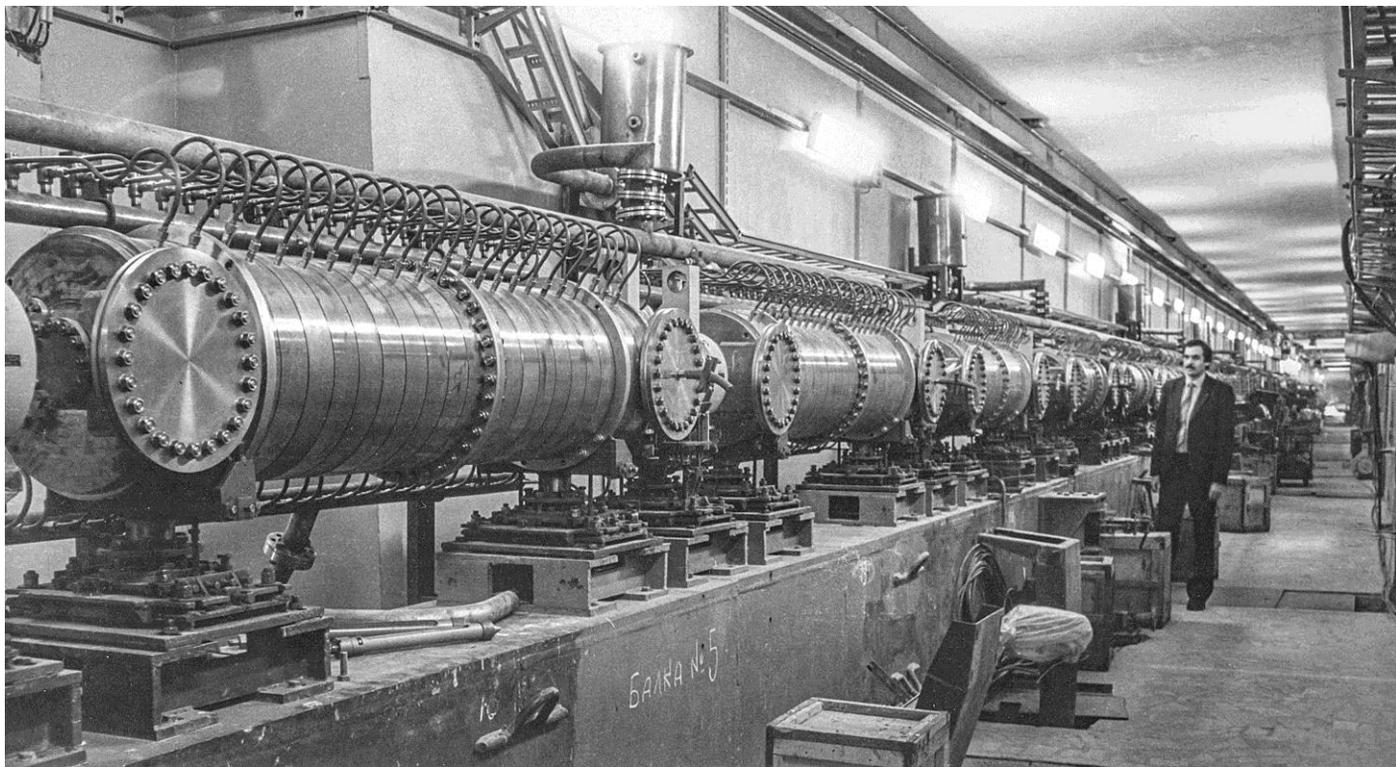


Галерея ВЧ питания основной части ускорителя





П.Н. ОСТРОУМОВ, А.В. ФЕЩЕНКО, В.Л. СЕРОВ, С.К. ЕСИН, Л.В. КРАВЧУК



**ОСНОВНАЯ (100-600 МЭВ) ЧАСТЬ ЛУ, УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА ИЗ 27
4-Х СЕКЦИОННЫХ РЕЗОНАТОРОВ, 320 М**
Л.В.КРАВЧУК

С начала регулярной работы ускорителя в 1993 году проведено 140 сеансов общей продолжительностью свыше 50 тысяч часов в том числе:

2016 год – **2050** часов (6 сеансов)

2017 год – **1680** часов (4 сеанса)

2018 год – **1016** часов (4 сеанса)

2019 год – **1296** часов (4 сеанса)

2020 год – **1100** часов (4 сеанса - план)

Реально получаемая максимальная энергия

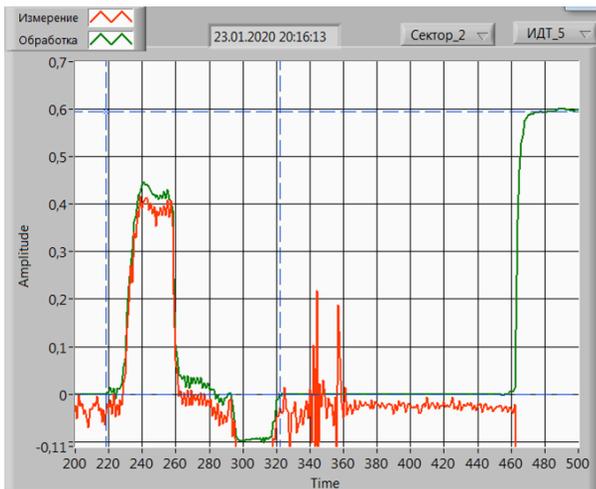
2016 год – **209** МэВ

2017 год – **209** МэВ

2018 год – **267** МэВ

2019 год – **267** МэВ

2020 -2021 годы – **305** МэВ



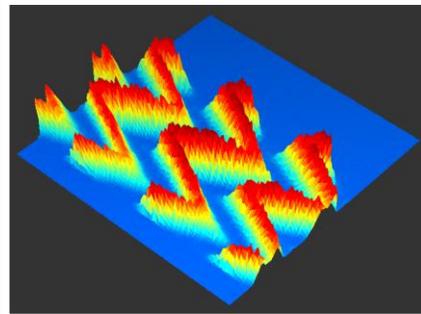
Ускорение протонов и ионов H-
в одном ВЧ импульсе

Разработка и создание измерителей формы сгустков для ведущих ускорительных лабораторий

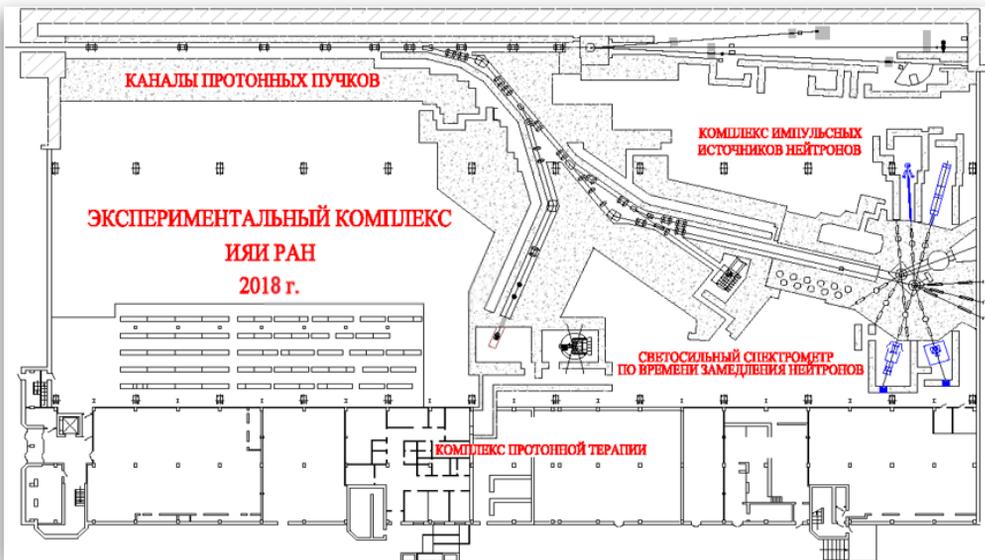


Исследование, разработка и сооружение и запуск нормально проводящих ускоряющих и отклоняющих структур

Поведение сгустков в течение импульса тока пучка в канале транспортировки из Linac-4 в бустер (CERN)



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

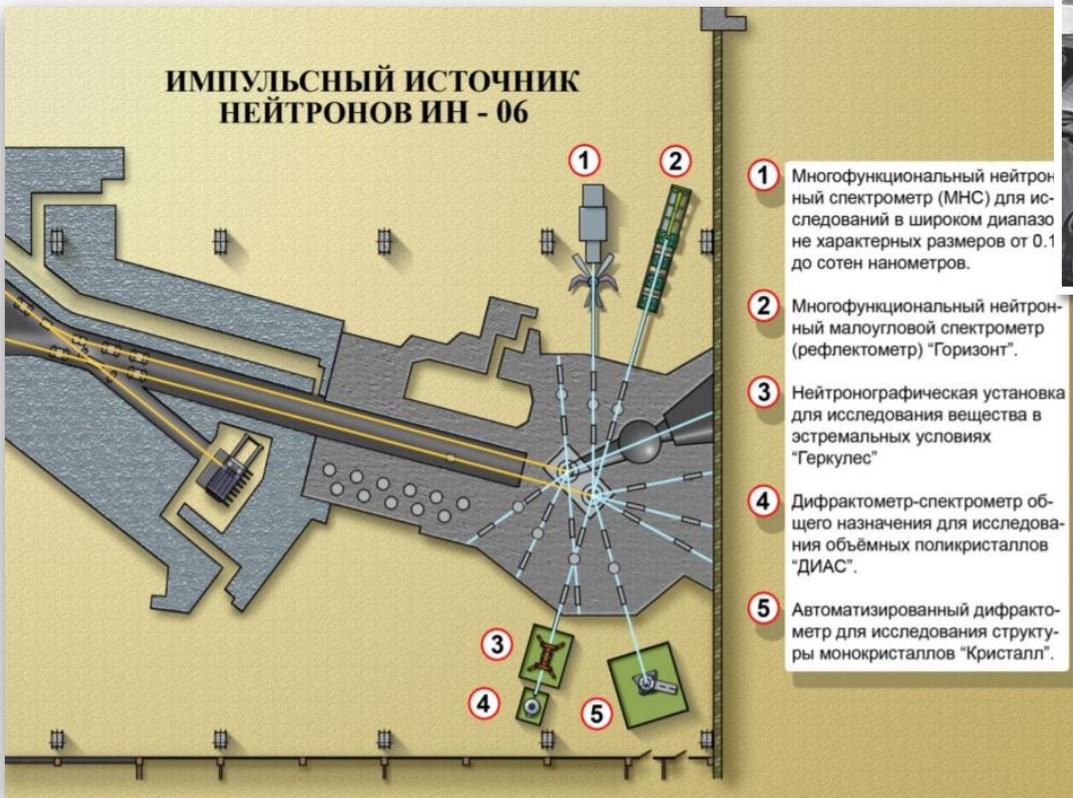




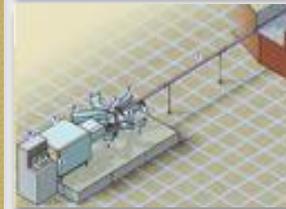
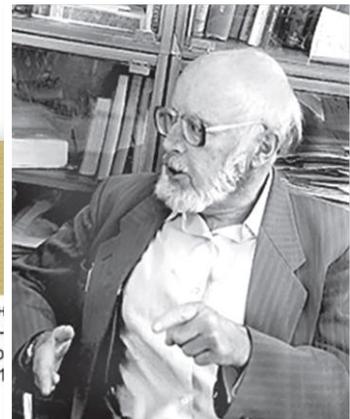
М.И.Грачев и В.А.Матвеев

НЕЙТРОННЫЙ КОМПЛЕКС

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ ИН - 06



- 1 Многофункциональный нейтронный спектрометр (МНС) для исследований в широком диапазоне не характерных размеров от 0.1 до сотен нанометров.
- 2 Многофункциональный нейтронный малоугловой спектрометр (рефлектометр) "Горизонт".
- 3 Нейтронографическая установка для исследования вещества в экстремальных условиях "Геркулес".
- 4 Дифрактометр-спектрометр общего назначения для исследования объёмных поликристаллов "ДИАС".
- 5 Автоматизированный дифрактометр для исследования структуры монокристаллов "Кристалл".



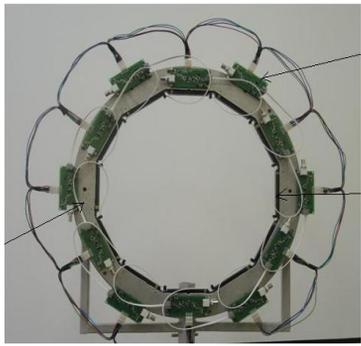
НЕЙТРОННЫЙ КОМПЛЕКС

Проблемы междисциплинарного уровня, в решении которых используются методы нейтронного рассеяния

- Исследование биологических поверхностей и поверхностей раздела. Путь к пониманию как они действуют на клеточном уровне.
- Процессы образования порядка в конденсированных средах.
- Проблемы строения жидкостей и растворов.
- Исследование сред в экстремальных состояниях (моделирование состояний внутри Земли).
- Исследование поведения многокомпонентных жидкостей в пористых средах (проблема повышения нефтедобычи и рекультивации загрязненных почв).
- Неразрушающий контроль конструкций.
- Роль водородных связей в химических радикалах (фармацевтика) – поиск путей конструирования сложных молекул и соединений выстраиванием водородных связей.
- Водородная энергетика и каталитические реакции.
- Магнитные материалы: микрополя, магнитные кластеры, квантовые точки и слои.
- Проблемы старения материалов.
- Материалы с высоким магнитным сопротивлением и высокотемпературные сверхпроводники.
- Наноструктурированные сплавы и композиты, новые полимерные материалы, нанотрубки, нанокристаллы
- Исследование аморфных и неупорядоченных материалов, явлений переноса и квантовых эффектов в них.

ДЕТЕКТОРЫ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ SIPM И ZNS:LI6

В Секторе конденсированных сред ЛНИ разработан новый тип счетчиков нейтронов на основе ZnS-кремниевых фотоумножителей и управляющей электроники[1][2]. Ведется замена счетчиков нейтронов на установках источника ИН-06 на новые высокоэффективные изготовленные по нашей технологии.



1. Патент на полезную модель, №177857, Кольцевой детектор тепловых нейтронов, 14марта, 2018г.

2. Новый тип сцинтилляционных детекторов тепловых нейтронов на основе ZnS(Ag)/LiF и лавинных фотодиодов

Письма в Журнал технической физики. 2015. Т. 41. № 18. С. 96-101

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА СВЗ-100

- Опубликован цикл работ на основе данных по сечениям деления нейтронами изотопов минорных актиноидов (U, Pu, Am, Cm), полученных на СВЗ-100 совместно с сотрудниками ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт». Изотопы младших актиноидов играют важную роль в проблеме хранения и переработки ядерных отходов. Исследовались изотопы ^{243}Am , ^{244}Am , ^{246}Am , ^{247}Am , ^{248}Cm , ^{241}Am , ^{243}Am , $^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{236}U сверхвысокой чистоты.
- Полученные результаты внесены в мировую базу данных ENDF/B-VII National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory (<http://www.nndc.bnl.gov>) и МАГАТЭ.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АДРОННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОД SHIELD



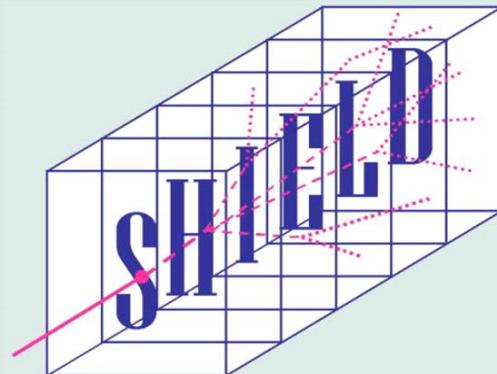
MULTIPURPOSE HADRON TRANSPORT CODE



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АДРОННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОД

[INTRODUCTION&HISTORY/ВВЕДЕНИЕ&ИСТОРИЯ](#) [SHORT WRITE-UP/КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ](#) [APPLICATIONS&REF/ПРИЛОЖЕНИЯ&ССЫЛКИ](#)

When using materials from the Web-page the reference to www.inr.ru/shield is obligatory.



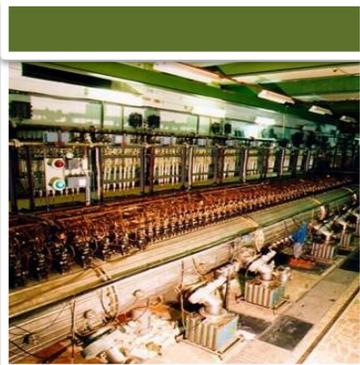
[NEWS /// НОВОСТИ](#) [CERTIFICATES /// СВИДЕТЕЛЬСТВА](#)

Contact person: **Prof. Nikolai Sobolevsky**, e-mail: sobolevs@inr.ru, tel. (495)850 42 61

WWW.INR.RU 2008 © [webmaster](#) Last updated 27.02.20

004339

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОИЗОТОПНОГО КОМПЛЕКСА



РАДИОНУКЛИДЫ, ПРОИЗВОДИМЫЕ В ИЯИ РАН, И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА ЗА ОДНО ОБЛУЧЕНИЕ (ПРИ ТОКЕ 120 мкА)

Радио- нуклид	Период полу- распада	Мишень	Диапазон энергии, МэВ	Период облучения, час	Произвед. Активность, Ci
Sr-82	25.5 дн.	Rb	100-40	250	5
Na-22	2.6 лет	Mg, Al	150-35	250	2
Cd-109	453 дн.	In	150-80	250	2
Pd-103	17 дн.	Ag	150-50	250	50
Ge-68	288 дн.	Ga, GaNi	50-15	250	0.5
Sn-117m	14 дн.	Sb, TiSb	150-40	250	3
Se-72	8.5 дн.	GaAs	60-45	250	3
Cu-67	62 час.	Zn-68	150-70	100	10
Cu-64	12.7 час.	Zn	150-40	15	15
Ac-225	10 дн.	Th	150-40	250	4
Ra-223	11.4 дн.	Th	150-40	250	13

Регулярно производится

Разработана технология, пробные образцы поставляются заказчикам

Разработаны методы получения, технология – в стадии разработки

МЕДИЦИНСКИЙ ГЕНЕРАТОР $^{82}\text{Sr} / ^{82}\text{Rb}$ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КАРДИОЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ

ПЭТ

Принцип работы $^{82}\text{Sr} / ^{82}\text{Rb}$ генератора

Инжекционная система

физиологический раствор 0,9% NaCl

Генератор

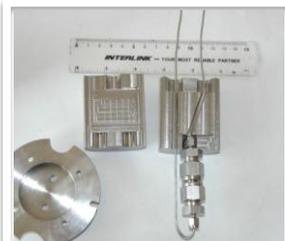
SNO2 – сорбент
адсорбированный ^{82}Sr (25 дней)
распадающийся в ^{82}Rb (1,3 мин)

$^{82}\text{RbCl}$ в растворе

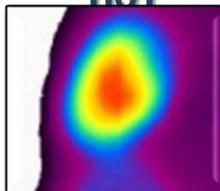
Компьютерное изображение сердца

кровеносная система пациента
распад ^{82}Rb
ПЭТ – сканнер

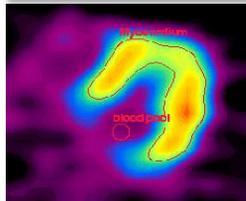
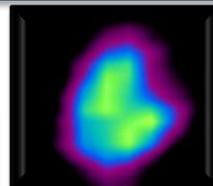
Генератор, разработанный в ИЯИ РАН



Сердце кролика здоровое



Сердце кролика с инфарктом миокарда



Сердце первого пациента в проводимых клинических испытаниях - продиагностировано более 100 человек + онкология!

Испытания генератора на позитронно-эмиссионном томографе в РНЦ РХТ Росмедтехнологий С-Петербург



ЛАБОРАТОРИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ КОМПЛЕКС ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Основная цель:

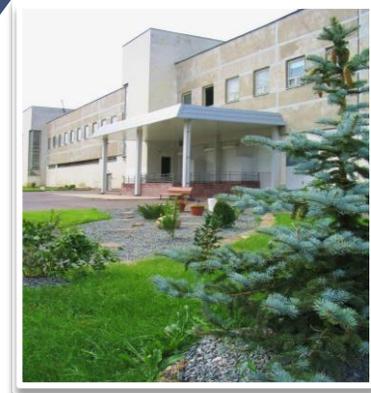
- ❑ облучение злокачественных опухолей только протонами или облучение в сочетании с фотонами.

Основные возможности:

- ❑ Линейный ускоритель протонов (энергия 74 - 247 МэВ)
- ❑ Линейный ускоритель электронов СЛ-75-5-МТ (энергия до 6 МэВ).

Комплекс включает в себя:

- ❑ транспортный канал протонного пучка,
- ❑ 2 лечебных кабинета (протоны и фотоны)
- ❑ амбулатория для 30 пациентов в день,
- ❑ рентген- лаборатория для топометрии и терапии.



ЛМФ Комплекс лучевой терапии



Камера протонной терапии

**Пучок протонов: фиксированный
горизонтальный**

Положение пациента: сидя или лежа

Точность перемещений – 40 мкм

Размер мишени: до 90 мм

Энергия протонов: 70-220 МэВ

Частота макроимпульсов: до 100 Гц

**Длительность макроимпульсов: до
200 Мкс**

Интенсивность пучка: не ограничена

Эммитанс пучка ~ 3 мрад.

ОТДЕЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ УСТАНОВКА ТРОИЦК НЮ-МАСС

Газовый тритиевый источник и электростатический спектрометр с магнитной коллимацией



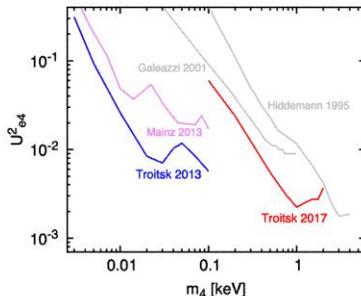
Прямое ограничение на массу
нейтрино: $m < 2,05 \text{ эВ}$

УСТАНОВКА ТРОИЦК НЮ-МАСС-II

ОЭФ, Троицк-ню масс



2003, лучшее в мире ограничение на массу нейтрино, $m_\tau < 2$ эВ



Лучшие ограничения на стерильные нейтрино



После сеанса в Троицке с немецкими и французскими коллегами, 2017



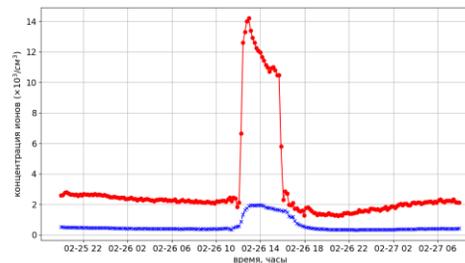
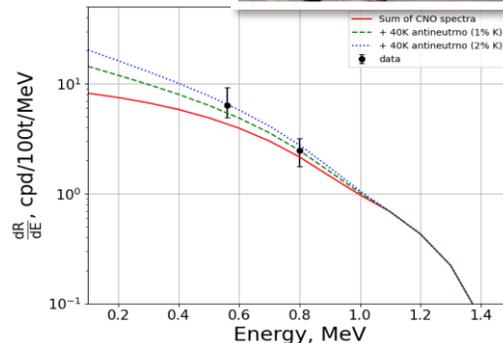
КАТРИН, преемник Троицка, 2006 г. 2019, лучшее ограничение, $m_\tau < 1$ эВ

Установка модернизирована для прецизионного измерения бета спектра от распадов трития с целью поиска стерильных нейтрино в диапазоне масс до 5-6 кэВ, возможно, до 7 кэВ, при отсутствии дополнительных систематических эффектов.

ЛАБОРАТОРИЯ ГАММА-АСТРОНОМИИ И РЕАКТОРНЫХ НЕЙТРИНО ОЭФ

ЛГАРН ОЭФ 5 лет

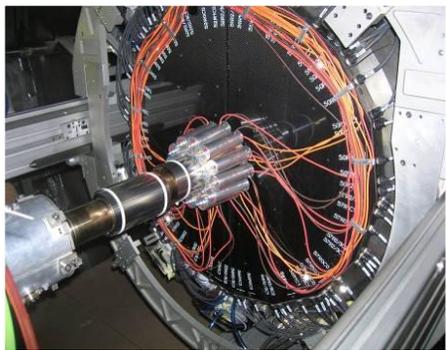
1. ЛГАРН участвует в GERDA, Dooble Chooz, JUNO, ТУНКА-ТАЙГА и др.
2. ЛГАРН развивает новое направление: разработка идей новой модели Земли «Земля богатая водородом»
 - 2.1. **Создана** новая модель земного электричества.
 - 2.2. Предсказано и **открыто** существование поля положительного заряда в коре Земли.
 - 2.3. Предсказано, что *Forexino* увидит избыток событий от CNO- ν . Наблюдаемый избыток согласуется с представлением, что **Земля содержит $1.5 \pm 1.0\%$ калия от массы Земли** и с представлением, что реализуется модель Солнца с высокой металличностью.



Лаборатория Релятивистской ядерной физики ОЭФ

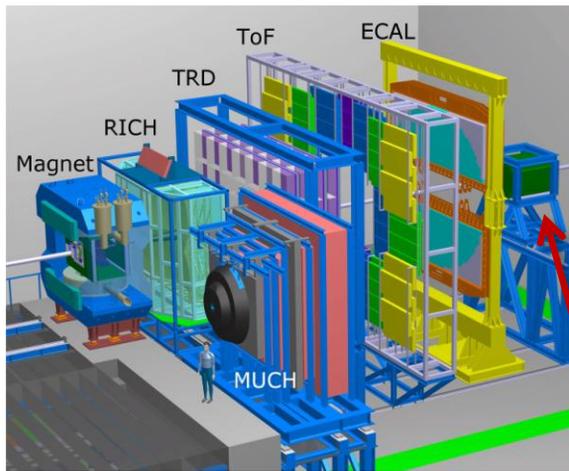
Эксперимент ALICE

- ИЯИ РАН является одним из основных институтов участвующим в разработке, создании и обслуживании переднего детектора T0
- Участие в работах по созданию и модернизации детекторов АЛИСА:
 - переднего триггерного детектора FIT
 - дифракционного детектора AD
- Участие в анализе данных, полученных в ходе физических сеансов на БАК и моделирования методом Монте-Карло:
- Вычисления триггерных (видимых) сечений и времени взаимодействия пучков с использованием детектора T0
- Исследования передних нуклонов, испускаемых в ядро-ядерных столкновениях с помощью калориметра (ZDC), исследования спектаторной материи
- Разработка модели RELDIS для ультрапериферических столкновений
- Изучение дифракционных процессов в рр столкновениях с использованием детектора AD

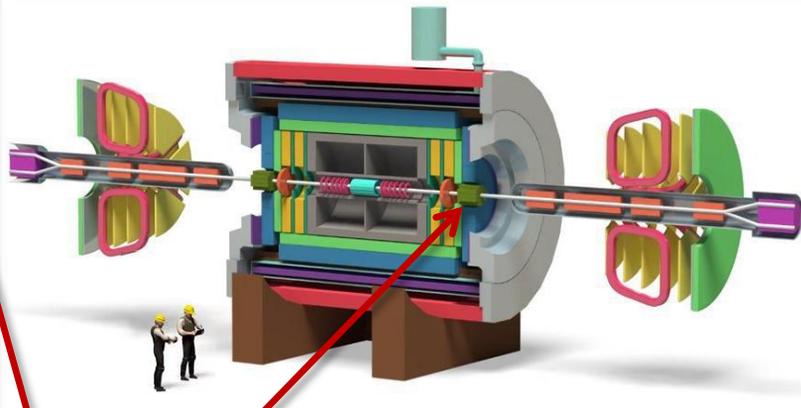


- Учитывая успешный опыт создания детектора T0, в ИЯИ РАН разработан и создан детектор ФИТ на основе микроканальных ФЭУ XR85012/A1-Q Planacon фирмы PHOTONICS, USA .
- Совместно с PHOTONICS проведена работа по модернизации этих ФЭУ для улучшения временного и амплитудного разрешения.
- Разработана электроника на основе современных FPGA и лазерная система калибровки

ОЭФ (ГРУППА Ф.Ф.ГУБЕРА) РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАЛОРИМЕТРОВ



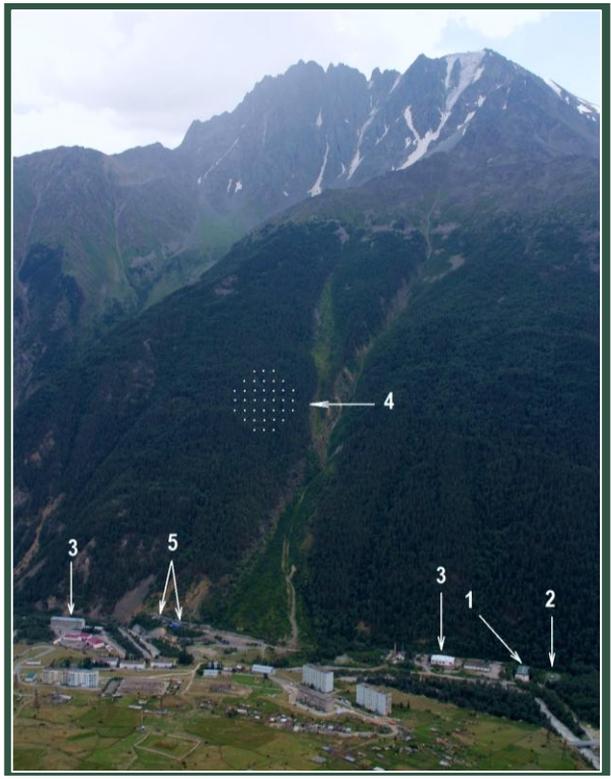
CBM в FAIR, Дармштадт



MPD в NICA, Дубна

В настоящее время в ИЯИ РАН разрабатываются новые передние адронные калориметры для будущего эксперимента CBM и MPD

БАКСАНСКАЯ НЕЙТРИННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИЯИ РАН



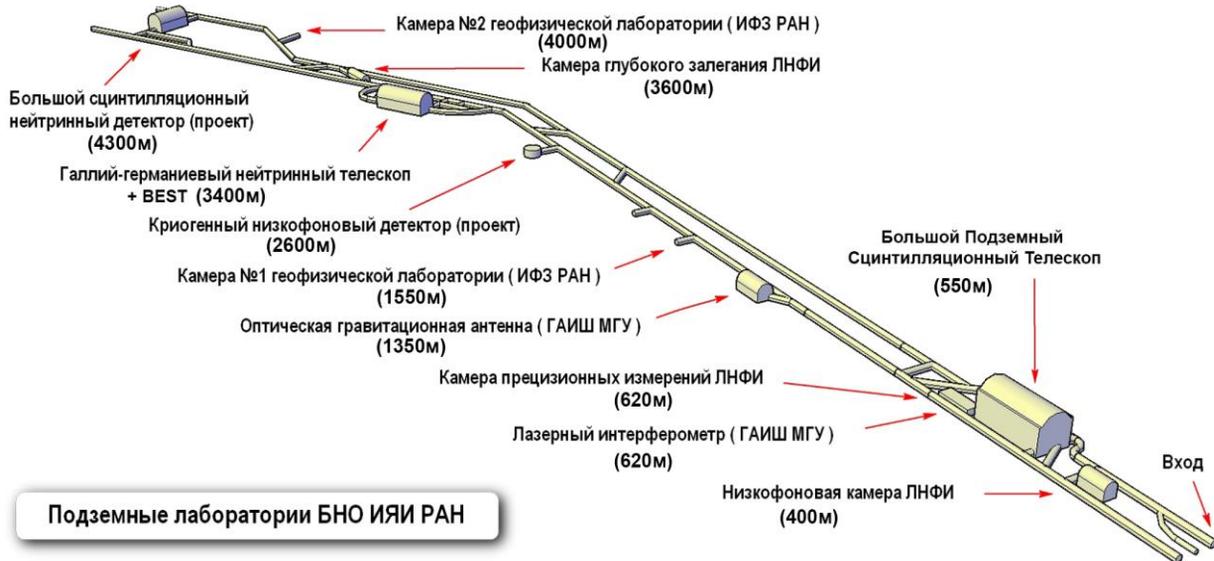
Баксанское ущелье, Эльбрусский район,
Кабардино-Балкария.

Исследования в области физики атомного
ядра, элементарных частиц, физики
космических лучей и нейтринной астрофизики.

Наземные научные сооружения БНО РАН :

- 1 - здание "Эллинг" с установкой "Ковер",
- 2 - заглубленный зал с установкой "Ковер-2",
- 3 - лабораторные корпуса,
- 4 - нагорная установка "Андырчи",
- 5 - входы в штольни "Главная" и "Вспомогательная".

БАКСАНСКАЯ НЕЙТРИННАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИЯИ РАН ПОДЗЕМНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ



Подземные лаборатории БНО ИЯИ РАН



ГАЛЛИЙ-ГЕРМАНИЕВЫЙ НЕЙТРИННЫЙ ТЕЛЕСКОП



**Ядерные и химические
технологии на Земле для
понимания термоядерных
реакций в Солнце**

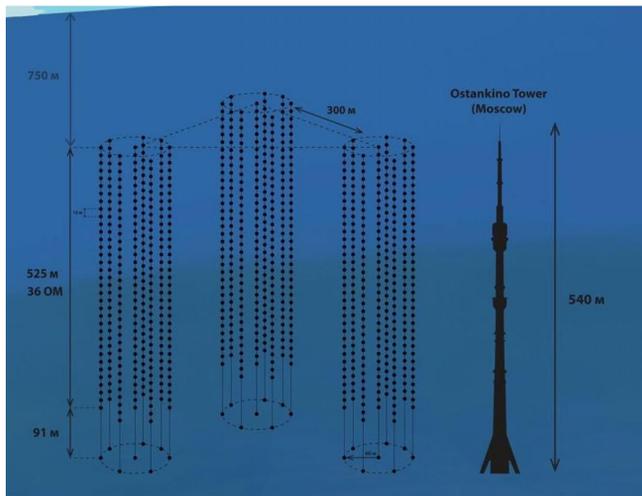
**Разработанный в ИЯИ РАН
метод радиохимического
анализа позволяет выделить
несколько атомов германия из
50 т (5×10^{29} атомов) галлия с
эффективностью 90%**

**Измерен поток солнечных
нейтрино, подтверждена
Стандартная модель
Солнца**

- 1. Эксперимент BEST – проведены измерения (2019 -2020), идет обработка и интерпретация данных.**
- 2. Ливневая установка “Ковёр-3”: продолжаются работы по расширению наземной части. Набор информации - с 2021 года.**
- 3. Сцинтилляционный детектор большого объёма: создан 1-й прототип (0.5 т), ведутся работы по созданию 2-го прототипа (5 т).**
- 4. Проведено расширение парка гамма-спектрометров для низкофоновых измерений.**
- 5. Работа по созданию проекта уникальной установки «Низкофоновая криогенная лаборатория»**



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРИННОЙ АСТРОФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ - БАЙКАЛЬСКИЙ НЕЙТРИННЫЙ ТЕЛЕСКОП



ИЯИ РАН/ ОИЯИ/ ИГУ/..

Глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD предназначен для решения широкого круга задач астрофизики, космологии и физики элементарных частиц:

- поиска точечных галактических и внегалактических нейтринных источников в диапазоне энергий ТэВ - ПэВ,
- исследования свойств диффузного потока нейтрино
- непрямого поиска темной материи,
- поиска магнитных монополей, Q- шаров и других гипотетических частиц.
- поиска переменных источников, таких как гамма-всплески и т.д

ОПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ БАЙКАЛЬСКОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА

Конфигурация Baikal- GVG Фаза I :

- ❑ 8 кластеров по 8 гирлянд, состоящих из 2304 Оптических Модулей (ОМ)
- ❑ глубина 750-1275 м (91 м до дна)
- ❑ расстояние между ОМ в гирлянде 15м
- ❑ расстояние между кластерами 300м

План развертывания

Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Планируемые Кластеры	1	2	4	6	8	10
Фактические Кластеры	1	2	3	5	7	9
ОМ	288	576	864	1440	2016	2592



Зимняя экспедиция 2020 г.



- **Нейтринный телескоп Baikal-GVD - крупнейший детектор нейтрино высоких энергий в Северном полушарии. Эффективный объем детектора составляет 0.35 куб км для каскадных событий с энергией выше 100 ТэВ.**
- **С апреля 2020 года установка работает в составе 7 кластеров, (2016 оптических модулей), в экспедиции 2021 планируется установить один-два новых кластера.**
- **Разработаны процедуры позиционирования и калибровки модулей телескопа**
- **Разработана система автоматической обработки первичных данных**
- **Получены первые предварительные результаты по восстановлению мюонов.**
- **При анализе данных 2016, 2018, 2019 г.г. выделены 12 каскадных событий с энергией свыше 100 ТэВ и два восходящих каскадных события с энергией 91ТэВ и 23 ТэВ, которые могут рассматриваться как кандидаты на события от нейтрино астрофизической природы**
- **Завершается подготовка к включению в анализ многокластерных событий.**

ОТДЕЛ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ



CMS CERN – многоцелевой детектор с широкой программой физических исследований, от изучения Стандартной модели (включая бозон Хиггса) до поиска дополнительных измерений и частиц темной материи

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel (100x150 μm) ~16m² ~66M channels
Microstrips (80x180 μm) ~200m² ~9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying ~18,000A

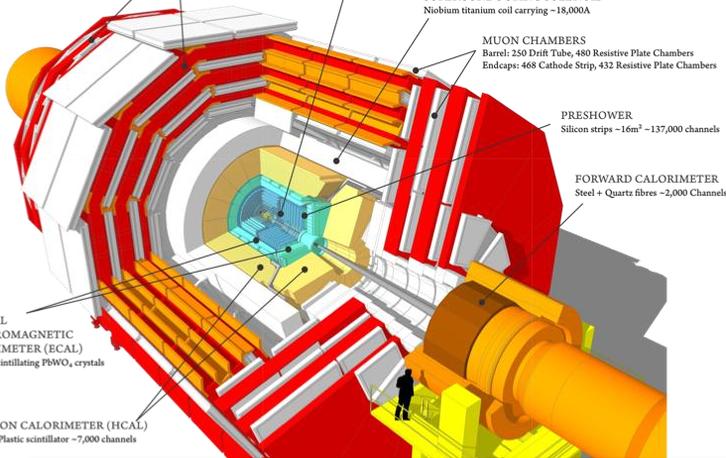
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
Silicon strips ~16m² ~137,000 channels

FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres ~2,000 Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)
~76,000 scintillating PbWO₄ crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels



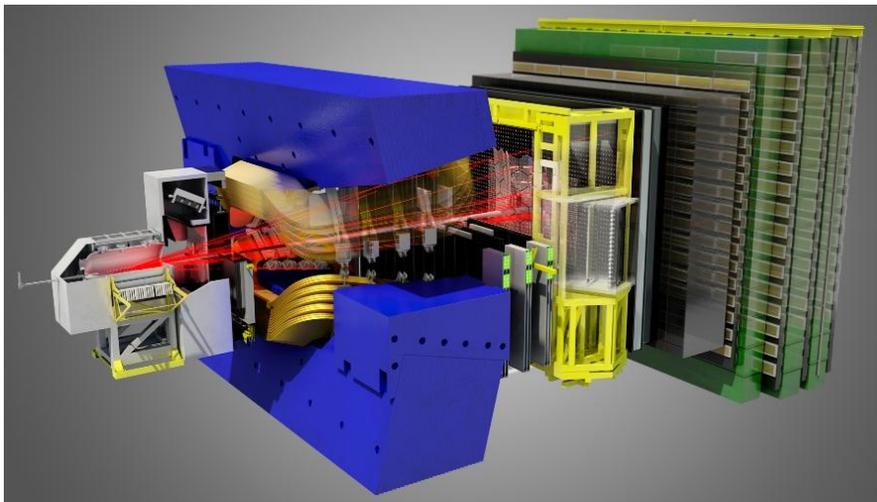
Вклад ИЯИ РАН:

- разработка, тесты и сертификация КФЭУ для адронного калориметра
- сборка и тесты электроники первого уровня для модернизированного адронного калориметра
- разработка программы реконструкции событий в адронном калориметре
- разработка и тесты генераторов Монте-Карло для моделирования процессов на CMS

Коллаборация CMS: более 4000 участников из 200 институтов и университетов 40 стран

ОФВЭ ЭКСПЕРИМЕНТ LHCb

Основная цель эксперимента - исследование CP-нарушения и поиск Новой Физики в редких распадах B-мезонов.



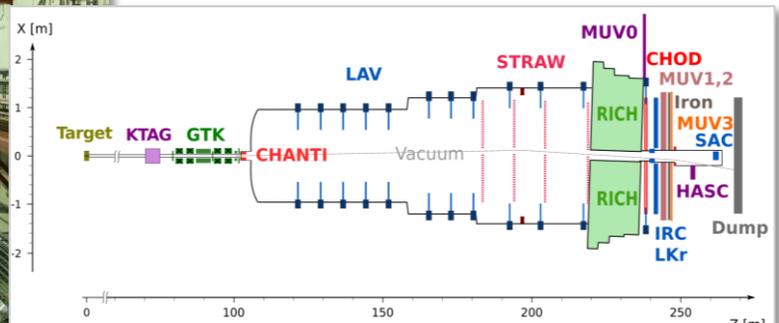
Вклад ИЯИ РАН:

- калориметрическая система, предназначенная для выработки эффективного триггера нулевого уровня;
- разделения продуктов распада - гамма-квантов и электронов;
- измерения энергии адронов и лептонов.

Коллаборация LHCb : более 700 участников из 52 институтов
173 стран

ОФВЭ ЭКСПЕРИМЕНТ NA62 CERN

Измерение вероятности распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ с точностью около 10%.
Чувствительный тест Стандартной модели



Вклад ИЯИ РАН:

- Разработка и создание детекторов CHOD и NewCHOD
- Монте Карло моделирование и анализ данных
- Поиск массивных нейтрино

ОФВЭ, ОТФ ЭКСПЕРИМЕНТ NA64 НА SPS CERN

Поиск Темной Материи и новых взаимодействий на ускорителе SPS CERN



Коллаборация:

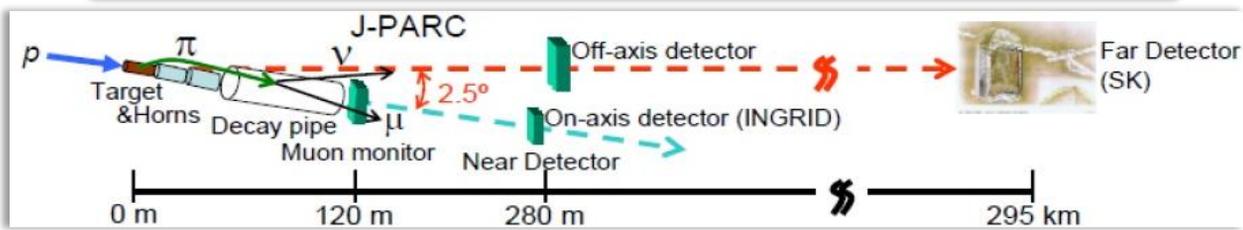
Унив. Бонна, ИЯИ, ИФВЭ, НИИЯФ МГУ, ФИАН, ТГПУ, ОИЯИ, Унив. Патрас, ETH Цюрих, ЦЕРН, UTFSM Чили

Вклад ИЯИ РАН:

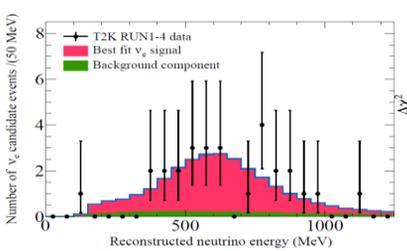
- Теоретическое обоснование проекта и основной идеи поиска;
- Разработка системы мечения 100 GeV e- за счет детектирования синхротронного излучения (СИ);
- Разработка и создание детекторов СИ и всей калориметрии установки (совместно с ИФВЭ);
- Анализ данных и получение основных физических результатов ;
- Предложение широкой программы исследований в рамках “Physics Beyond Colliders” для European Strategy Group;
- Активное участие в работе группы Physics Beyond SM программы “Physics Beyond Colliders” в CERN ;

ЭКСПЕРИМЕНТ T2K

Более 500 участников из 11 стран. Россия представлена ИЯИ РАН

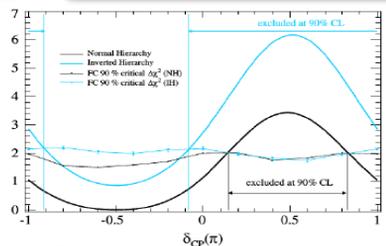


Основные результаты



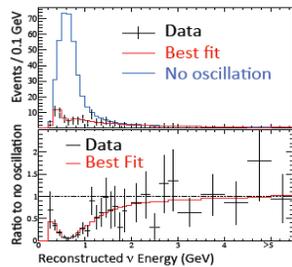
Открытие осцилляции $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

T2K ведет набор статистики с января 2010

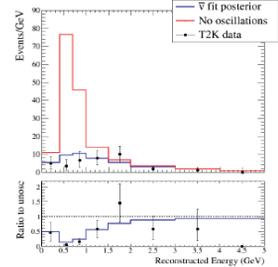


Первое указание на CP нарушение в нейтринных осцилляциях $\delta CP \sim -\pi/2$

Измерение параметров для осцилляций анти- ν_μ



Измерение осцилляций $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$ лучшее измерение угла θ_{23}



ОТДЕЛ ЛЕПТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И НЕЙТРИННОЙ АСТРОФИЗИКИ



Н.Ю. Агафонова, Р.И. Еникеев, А.С.
Мальгин, О.Г. Ряжская,



А.Е. Чудаков, Г.Т. Зацепин

ОТДЕЛ ЛЕПТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И НЕЙТРИННОЙ АСТРОФИЗИКИ

Лаборатория ЭМДН– результаты эксперимента LVD (Гран Сассо, Италия)

1. По временным рядам более пятидесяти миллионов мюонов, зарегистрированных в детекторе LVD (Детектор Большого Объема, Италия) за 24 года, под землей был измерен средний поток мюонов ($3.35 \pm 0.0005_{\text{стат}} \pm 0.03_{\text{сис}}$) $\times 10^{-4}$ м⁻² с⁻¹. Поток подземных мюонов сезонно модулируется из-за изменений температуры в стратосфере. Оценивая корреляции с использованием набора данных о температуре воздуха в верхних слоях был определен эффективный температурный коэффициент $\alpha_T = 0.94 \pm 0.01_{\text{стат}} \pm 0.01_{\text{сис}}$.

2. По данным $9 \cdot 10^6$ мюонов, прошедших через LVD, методом вычитания распадов положительных мюонов, останавливающихся в железе, из полного числа остановившихся отрицательных и положительных мюонов определена величина зарядового отношения мюонов с энергиями $E > 1.3$ ТэВ на уровне моря: $\mu^+/\mu^- = 1.26 \pm 0.11 \pm 0.04$

ОТДЕЛ ЛЕПТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И НЕЙТРИННОЙ АСТРОФИЗИКИ

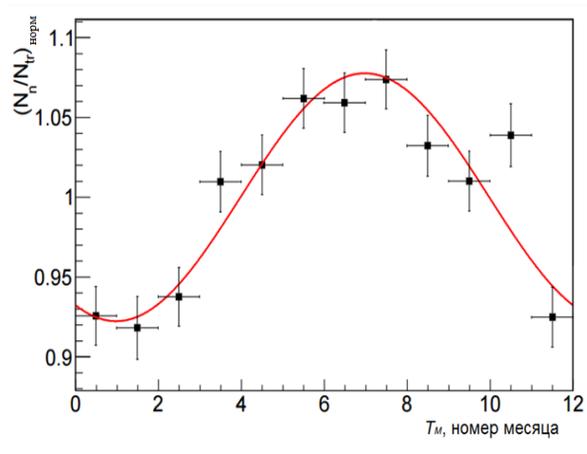
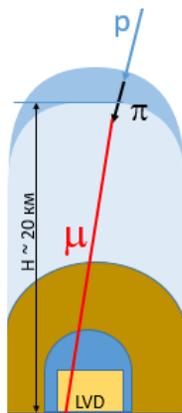
3. На подземном детекторе LVD получен энергетический спектр нейтронов в диапазоне энергий 30-450 МэВ, образуемых мюонами космических лучей в веществе детектора.

4. Измеренные выходы нейтронов, генерируемых мюонами со средней энергией 280 ГэВ

Вещество	Измерение LVD: Υ_n , n/ μ /г/см ²
Сцинтиллятор, СnН ₂ n	3.6 ± 0.01 (стат) ± 0.3 (сист) $\times 10^{-4}$
Железо, Fe	15 ± 2 (стат) ± 1 (сист) $\times 10^{-4}$
Свинец, Pb	55 ± 20 (стат) $\times 10^{-4}$

ОТДЕЛ ЛЕПТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И НЕЙТРИННОЙ АСТРОФИЗИКИ

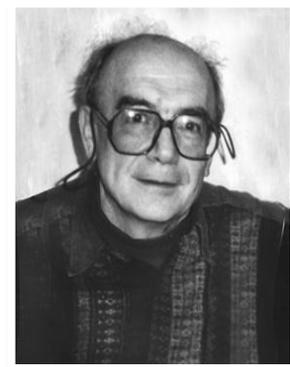
5. По сезонным вариациям потока атмосферных мюонов и космогенных нейтронов, измеренным на установке LVD, обнаружены вариации средней энергии мюонов под землей, превышающие вариации интенсивности мюонов в шесть раз.



ЛАБОРАТОРИЯ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Научно-технологический и учебный радиационный комплекс на базе линейного ускорителя электронов ЛУЭ-8-5

Энергия ускоренных электронов варьируется в пределах 5 – 10 МэВ, средний ток - до 40 мкА, спектральная ширина – 0,1 МэВ, частота повторения - до 500 Гц, длительность импульса - 3 мкс



ЛАБОРАТОРИЯ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Исследование фотоядерных реакций вблизи порога на линейном ускорителе электронов ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН и фемтосекундном лазере тераваттной мощности МЛЦ МГУ

Измерена зависимость отношения сечений возбуждения ядер-изомеров реальными и виртуальными фотонами. Обнаружен эффект изменения мультипольности фотопоглощения в области пигми резонанса

Исследование спиновой структуры нуклонов, коллаборация A2

Для эксперимента на ускорителе МАМИ-2 и ELSA (Германия) в ИЯИ РАН совместно с ОИЯИ разработана поляризованная мишень с замороженными спинами протонов и дейтронов. Проведены измерения спиновых асимметрий комптоновского рассеяния и впервые в мире получены значения спиновых поляризуемостей протона – фундаментальных структурных констант, описывающих свойства возбужденных состояний протона.

ЛАБОРАТОРИЯ АТОМНОГО ЯДРА



ЛАБОРАТОРИЯ АТОМНОГО ЯДРА

Исследование NN и 3N-взаимодействия в малонуклонных реакциях

На канале РАДЭКС проведено исследование реакции $nd \rightarrow ppn$ при энергии нейтронов 8-60 МэВ с целью получения данных о нейтрон-нейтронной длине рассеяния a_{nn} .

Активационно-измерительный комплекс ЛАЯ
(Патент РФ на изобретение № 2 634 330, G21G 4/02)

Основные направления деятельности:

1. Нейтронно-активационный анализ (НАА);
2. Изучение фотоядерных реакций с возбуждением изомерных состояний;
3. Работы по определению элементного состава атмосферных аэрозолей, биологических объектов, содержания золота, рения и других редких элементов в горных породах



С ЮБИЛЕЕМ!



Всем здоровья, успехов в науке, счастья и благополучия!

Спасибо за внимание