

**Важнейшие достижения
ИЯИ РАН в 2014 г.
в фундаментальных
исследованиях и инновациях**

Установлены ограничения на потоки нейтрино от аннигиляции тёмной материи.

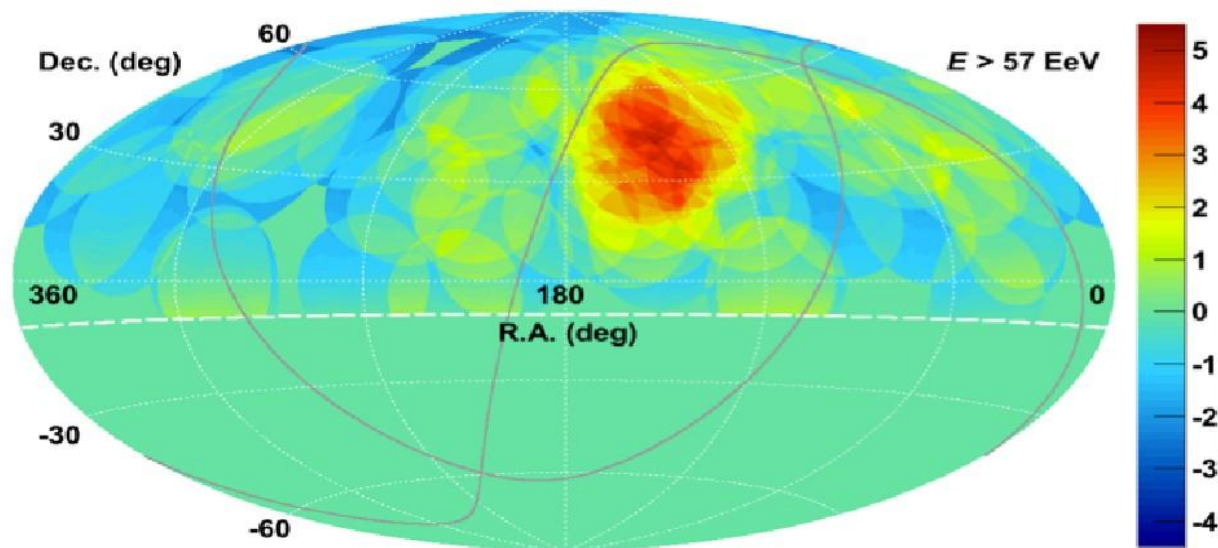
Ограничения Байкальского глубоководного нейтринного телескопа на потоки нейтрино солнечного происхождения от предполагаемого источника аннигиляции реликтовых частиц темной материи и на вероятность их рассеяния в Солнце.

Выполнен новый анализ данных Байкальского глубоководного нейтринного телескопа НТ200 за 5 лет наблюдений в задаче выделения нейтринного сигнала с энергиями выше 10 ГэВ в направлении от Солнца. Решена задача оптимизации сигнал-фон в определении углового размера конуса на источник в зависимости от типа нейтринного спектра от аннигиляции частиц тёмной материи (DM), что позволило получить ограничения на уровне мировых на потоки осциллирующих нейтрино и на сечения взаимодействия DM частиц с солнечным веществом. (ИЯИ РАН, ОИЯИ, ИГУ)

Обнаружено «горячее пятно» на карте космических лучей ультравысоких энергий.

В результате поиска анизотропии направлений прихода космических лучей с энергиями выше 57 ЭэВ по данным 5 лет наблюдения обсерватории Telescope Array с участием ИЯИ РАН обнаружена область на небесной сфере радиусом 20 градусов, в которую попадает 19 из всех известных 72 событий.

В предположении изотропного распределения космических лучей, в этой области могло бы наблюдаться в среднем 4.5 события. Статистическая значимость обнаруженной анизотропии 3.4 стандартных отклонения. Горячее пятно может быть указанием на положение ближайшего к нам источника космических лучей предельно высоких энергий. (ИЯИ РАН в коллаборации Telescope Array)



Превышение числа фотонов в круге с центром в данной точке и радиусом 20 градусов над фоном, ожидаемым для изотропного распределения (в стандартных отклонениях).

Ткачев Игорь Иванович, Троицкий Сергей Вадимович, Рубцов Григорий Игоревич, (495)8510190, tkachev@ms2.inr.ac.ru, ОТФ, ОЭФ

Публикация: **Indications of Intermediate-Scale Anisotropy of Cosmic Rays with Energy Greater Than 57 EeV in the Northern Sky Measured with the Surface Detector of the Telescope Array Experiment**, Telescope Array Collaboration, *Astrophys.J.* 790 (2014) L21 (2014)

Найдено четвертое тау нейтрино в пучке мюонных нейтрино.

В международном эксперименте OPERA (Гран Сассо, Италия), с участием российских учёных ИЯИ РАН, обнаружено четвертое событие-кандидат на появление тау нейтрино в пучке мюонных нейтрино, направляемом из ЦЕРНа. (ИЯИ РАН в коллаборации OPERA)

Аномальная прозрачность Вселенной для гамма-излучения высоких энергий.

На основе анализа большой выборки источников гамма-квантов показано, с высокой статистической достоверностью, что труднообъяснимых особенностей восстановленных спектров этих источников можно избежать, предположив аномально высокую прозрачность Вселенной для гамма-излучения высоких энергий.

Высокоэнергичное гамма-излучение, проходя через Вселенную, рассеивается на мягких фоновых фотонах, рождая электрон-позитронные пары. Учёт этого поглощения позволяет восстановить спектр излученных в далеких источниках гамма-квантов с энергиями от 100 ГэВ до нескольких ТэВ. Ранее было отмечено, что для наиболее далёких источников такие восстановленные спектры имеют труднообъяснимые загибы вверх при высоких энергиях. Показано, на уровне статистической достоверности 12.4 сигма, что положение и величина такого загиба зависят от расстояния, а не от физического типа источника, что указывает на искусственный характер загибов, связанный с переоценкой величины поглощения даже в минимальной наблюдательно разрешенной модели фонового излучения. Такая аномальная прозрачность Вселенной может быть объяснена с помощью ранее неизвестной аксионоподобной частицы.

(ИЯИ РАН)

ОТФ, Григорий Рубцов, Сергей Троицкий. Сергей Троицкий, +7(915)1163048, st@ms2.inr.ac.ru

Публикация: Breaks in gamma-ray spectra of distant blazars and transparency of the Universe. By G.I. Rubtsov, S.V. Troitsky. Письма ЖЭТФ 100 (2014) 397-401 (arXiv:1406.0239 [astro-ph.HE]).

Объяснён ядерный gloria-эффект ('Свет Будды' кумулятивных частиц).

Впервые дано объяснение ядерного gloria эффекта, или эффекта обратной фокусировки, обнаруженного экспериментально в ОИЯИ (Дубна) и ИТЭФ (Москва) в 70-е и 80-е годы, и состоящего в увеличении дифференциального сечения рождения кумулятивных частиц вблизи направления строго назад.

Объяснение дано аналитически в рамках механизма многократных взаимодействий. Предсказан такой же эффект для кумулятивных гиперонов, каонов и других частиц.

(ИЯИ РАН)

Получено ограничение на величину нарушения CP инвариантности.

В нейтринном эксперименте с длинной базой T2K с участием ИЯИ РАН впервые получено ограничение на величину CP нечётной Дираковской фазы. Функция максимального правдоподобия для всех возможных значений δ от $-\pi$ до π показана на рисунке 1.

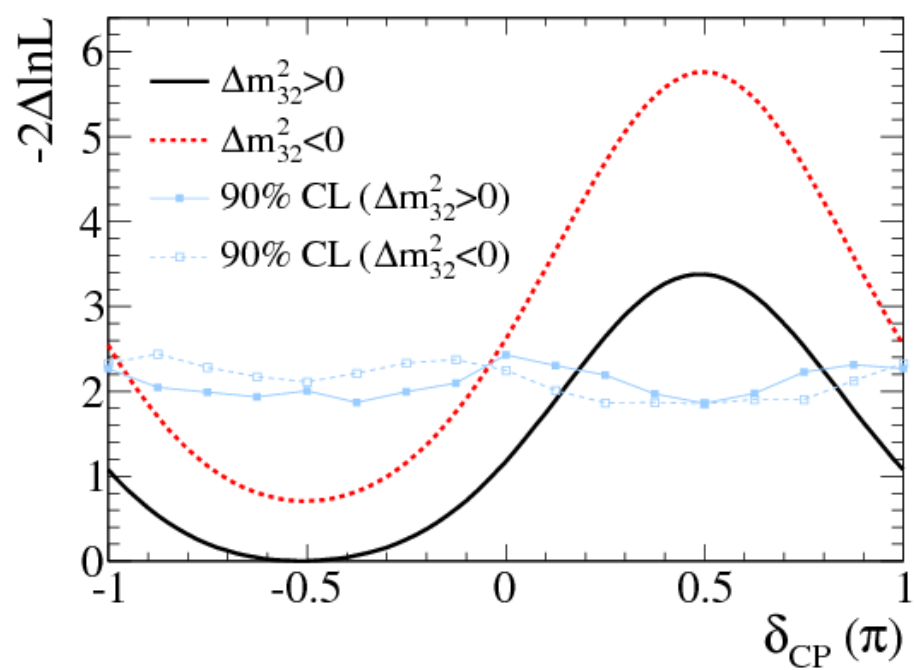


Рис.1. Функция максимального правдоподобия для нормальной и инверсной иерархии масс нейтрино и всех возможных значений CP нечетной фазы δ_{CP} .
Для нормальной иерархии масс область значений $\delta_{CP} = (0.19 - 0.80)\pi$ исключена на уровне 90% CL. Для инверсной иерархии масс нейтрино область δ_{CP} от -0.04π до π исключена на уровне 90% CL. Наиболее вероятным является значение $\delta_{CP} = -\pi/2$, соответствующее максимальному CP нарушению в лептонном секторе. Куденко Ю.Г. Тел: 495-851-0184 Email: kudenko@inr.ru

Доказано точное соотношение в суперсимметричной квантовой электродинамике.

В 1983 году сотрудниками ИТЭФ А.И.Вайнштейном, В.И.Захаровым, В.Н.Новиковым и М.А.Шифманом, исходя из общих теоретических соображений, было сформулировано

соотношение между квантовыми поправками в суперсимметричных теориях. В работах

А.Л.Катаева (ИЯИ РАН) и К.В.Степаньянца (Физический факультет МГУ) впервые доказано, что это соотношение справедливо во всех порядках теории возмущений при использовании конкретного перенормировочного предписания. Справедливость полученных результатов была подтверждена явными вычислениями в третьем порядке теории возмущений.

(ИЯИ РАН, МГУ)

Получены рекордные ограничения на массы правого W бозона и тяжёлого нейтрино.

Сотрудники эксперимента CMS на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе с участием ИЯИ РАН произвели поиск тяжёлых правых нейтрино и правого W бозона на основе данных 2012 года с полной интегральной светимостью 19.7Фб^{-1} . Для $SU_c(3) \times SU_L(2) \times SU_R(2) \times U(1)$ калибровочной модели с лево-правой симметрией в плоскости параметров (M_{WR}, M_N) получены рекордные ограничения на параметры моделей, в частности, масса правого W бозона исключена вплоть до 3 ТэВ для массы тяжёлого нейтрино равной половине массы правого W -бозона.

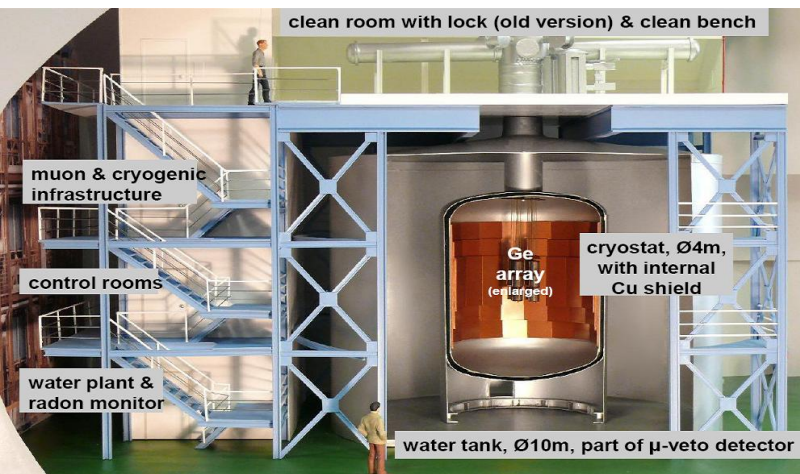
Получены также рекордные ограничения на массы суперсимметричных частиц на основе обработки экспериментальных данных CMS эксперимента 2012 года с полной энергией 8 ТэВ и интегральной светимостью 20Фб^{-1} .
(ИЯИ РАН в коллаборации CMS)

Эксперимент не подтвердил наблюдение безнейтринного двойного бета-распада.

Поиск безнейтринного двойного бета-распада ^{76}Ge , проект GERDA с участием ИЯИ РАН. В текущем году завершена первая фаза эксперимента по поиску безнейтринного двойного бета-распада с помощью германиевых детекторов, обогащённых по изотопу ^{76}Ge , помещённых в пассивную защиту из жидкого аргона, очищенного от радиоактивных примесей до высокой степени чистоты. Полная экспозиция составила 21,6 кг·год. Из отсутствия сигнала получен верхний предел для периода искомого полураспада $2,1 \cdot 10^{25}$ лет на уровне достоверности 90%. Результат является наилучшим по сравнению с другим современными экспериментами по поиску двойного безнейтринного бета распада. Полученное значение не подтверждает, стоящий на повестке дня в течение 10 лет интригующий результат группы Клапдора, сообщившей о наблюдении этого распада с периодом полураспада $1,2 \cdot 10^{25}$ лет.

(ИЯИ РАН в коллаборации GERDA)

PHYSICAL REVIEW LETTERS, **111**, p.122501-506



Генерация нейтронов в железе мюонами космических лучей.

С помощью детектора LVD с участием ИЯИ РАН, получена экспериментальная величина выхода нейтронов, генерированных мюонами космических лучей в железе, дополнительно установленном внутрь структуры установки, равная $(16 \pm 4) \times 10^{-4} \text{ n}/\mu/(\text{г} \cdot \text{см}^{-2})$.

(ИЯИ РАН в коллаборации LVD)

Получено ограничение на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов.

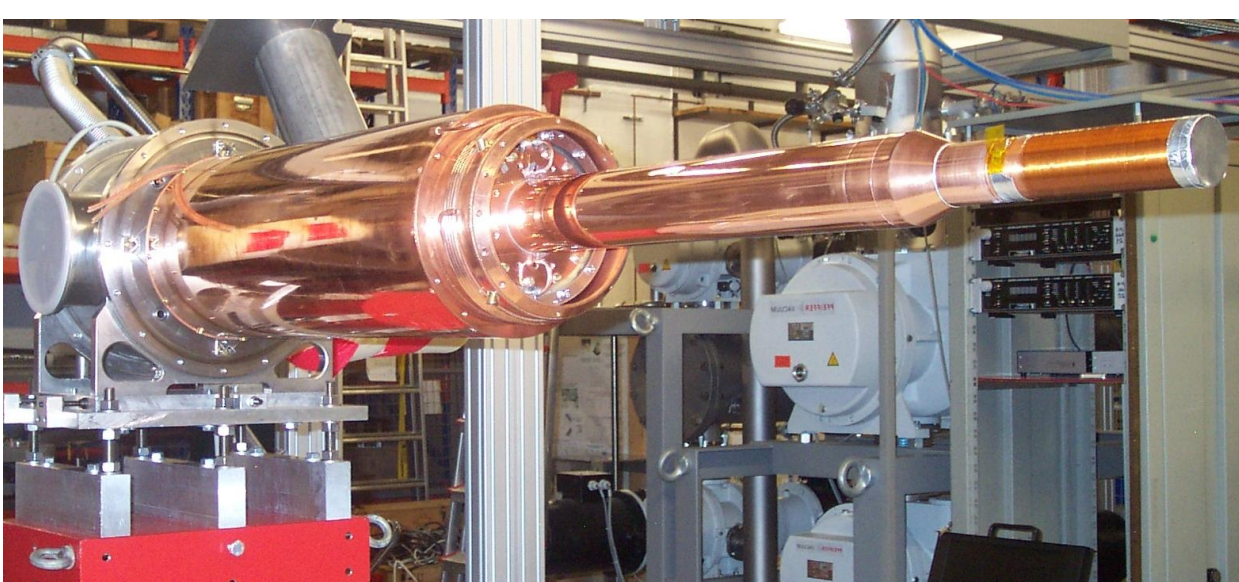
По данным работы нейтринных телескопов ИЯИ РАН: АСД (Артёмовской научной станции) и российско-итальянской установки LVD (Гран Сассо, Италия) в течение 37 лет (1977 - 2014) получено самое сильное экспериментальное ограничение на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звёзд в Галактике: менее 1 события за 16.07 года на 90% уровне достоверности.
(ИЯИ РАН, коллаборация LVD)

Первое измерение спиновых поляризуемостей протона.

В результате международного эксперимента, выполненного коллаборацией A2 на пучке поляризованных фотонов от ускорителя МAMI с использованием поляризованной протонной мишени, созданной учёными ОИЯИ и ИЯИ РАН, впервые определены все четыре спиновые поляризуемости протона, которые описывают воздействие внешнего электромагнитного поля на спиновую структуру протона. Определение этих фундаментальных структурных констант дает новую фундаментальную информацию о строении ядерной материи на уровне нуклонных степеней свободы.

(ИЯИ РАН в коллаборации A2)

ИЯИ РАН в коллаборации A2, Г.М.Гуревич (499-1354043, gurevich@cpc.inr.ac.ru), ЛФЯР.



На сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено пять сеансов.
На уникальном сильноточном линейном ускорителе протонов ИЯИ РАН проведено пять сеансов, направленных на разработку технологии получения радиоизотопов, наладку нейтронного комплекса, на исследования и модернизацию ускорительного комплекса. Общая продолжительность сеансов в 2014 году составила 1812 часов. Нароботка ускорителя составила свыше 90000 мкА·часов при среднем токе пучка до 120 мкА и энергии 143 МэВ.
(ИЯИ РАН)

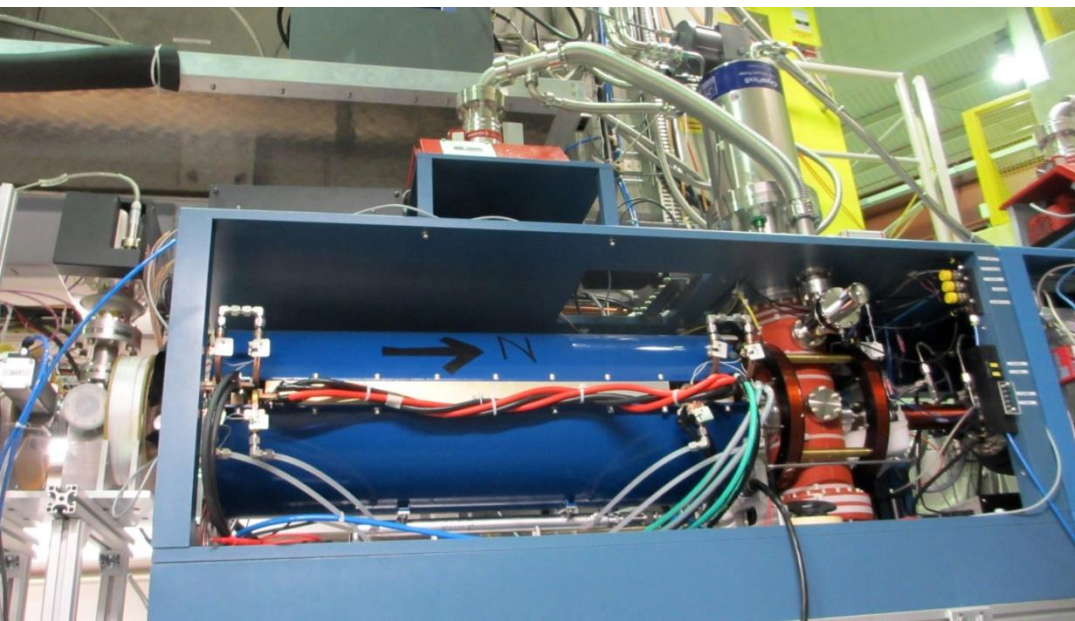
Исследовано рождение пионов на внутреннем пучке Нуклотрона.

Завершена обработка данных, полученных в двух сеансах измерений на внутреннем пучке Нуклотрона (ОИЯИ) по исследованию аномальной зависимости от энергии выхода пи-мезонов с использованием пробегового телескопа. В результате анализа данных по времени пролета и по потерям энергии выполнена идентификация пионов и протонов. Измерено отношение выходов пионов к протонам.

(ИЯИ РАН, ОИЯИ)

Создан прецизионный магнитный соленоид для позитронного накопителя. Создание прецизионного соленоидального магнита является важным этапом создания позитронного накопителя установки AEGIS (CERN), предназначенной для измерения ускорения свободного падения атомов антиводорода в поле Земли - проверки принципа эквивалентности материи и антиматерии. В текущем году соленоид был запущен в эксплуатацию для проведения первых тестовых измерений и установлен в накопитель позитронов. Достигнута требуемая величина неоднородности магнитного поля – не более 0.1 %, и была получена рекордная интенсивность накопленных позитронов, близкая к проектной величине.

(ИЯИ РАН в коллаборации AEGIS)

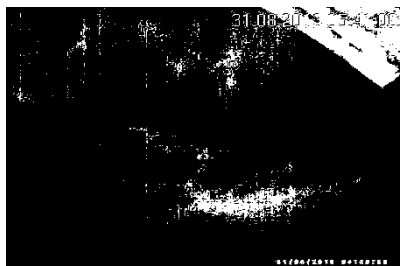


Открыт новый тип высотного крупномасштабного атмосферного разряда.

В эксперименте по изучению вариаций космических лучей во время гроз на Баксанской нейтринной обсерватории получено прямое доказательства существования нового типа медленного пробоя в атмосфере.

Наблюдение атмосферы над установкой двумя видеокамерами установленными на расстояниях 1 км и 75 км позволило зарегистрировать свечение в стратосфере совпадающее по времени с возмущениями интенсивности космических лучей.

В отличие от коротких и ярких высотных разрядов типа спрайтов и джетов новый тип разряда, гипотеза о котором основывалась на анализе прежних данных авторов, имеет длительность несколько минут или даже десятков минут и, следовательно, очень низкую яркость. Разряд, свечение которого зарегистрировано на уровне чувствительности 10^{-7} л, предположительно создается убегающими электронами в припороговом режиме. Однако, в отличие от пробоя на убегающих электронах он является аналогом не искрового разряда, а тлеющего или коронного (обладает признаками обоих).



Грозовое событие 31.08.2013 г. Снимок, сделанный удалённой камерой в момент 4 ч 41 м (местного истинного времени), соответствует максимуму свечения и значительному возмущению интенсивности мюонов космических лучей.

Яркость черно-белого снимка многократно усилена. Вверху справа указано декретное время и виден козырёк крыши дома.

Область, где яркость свечения максимальна, соответствует диапазону высот 20-30 км.

(ИЯИ РАН)

Лидванский А.С., Хаердинов Н.С., Лаб. ЛВЭ lidvansk@lebedev.ru

Инновационные разработки ИЯИ РАН в 2014 году, готовые к практическому применению.

Разработка и внедрение элементов и узлов ускорительной техники.

В 2014 году выполнены работы по проектам:

Разработка оборудования диагностики пучка для ЛУ-20 и HILAC комплекса NICA ОИЯИ;

Разработка, изготовление, поставка и наладка двух измерителей формы сгустков (BSM) для линейного ускорителя Лос-Аламосского центра LANSCE;

Разработка, изготовление, лабораторные испытания, поставка и наладка измерителя продольного распределения заряда в сгустках для канала транспортировки из ускорителя Linac-4 в бустер (ЦЕРН, Швейцария);

Оптимизация, разработка и исследование ускоряющих структур и схем фокусировки участков нормально проводящего сильноточного линейного Ускорителя (ЛУ) отрицательных ионов водорода в диапазоне энергий от 18 МэВ до 400 МэВ для проекта ОМЕГА (ФБГУ ГНЦ ИФВЭ);

Разработка технического проекта модернизации источника ионов водорода в каскаде ускорителей ЛУ-30 и У-1.5 (ФБГУ ГНЦ ИФВЭ);

Исследование и разработка систем резонатора фотоинжектора для формирования сгустков электронов сверхвысокой яркости (STFC, Великобритания).

ИЯИ РАН, А.В.Фещенко, feschenk@inr.ru , +7-495-851-00-62

Технология производства нового источника для брахитерапии на основе иттербия.

Проведены исследования, которые показали применимость и дополнительные преимущества новых отечественных источников с иттербием для различных современных направлений в брахитерапии: низкодозовая брахитерапия, высокодозовая брахитерапия, импульсная брахитерапия и брахитерапия с визуальным контролем.

ИЯИ РАН, С.В.Акулиничев, akulinic@inr.ru , +7-495-851-01-80

Разработка технологии протонной терапии.

Создана авторская программная система, позволяющая на основе методов Монте-Карло в автоматическом режиме рассчитывать конструкцию индивидуальных формирующих устройств для протонной терапии с заданной точностью. Точность формирующих устройств, полученных с помощью данной программной системы, находится на мировом уровне.

ИЯИ РАН, С.В.Акулиничев, akulinic@inr.ru , +7-495-851-01-80

Генератор рубидия для позитронной эмиссионной томографии.

Совместно с РНЦ РХТ (С-Петербург) проведены работы по изучению выхода рубидия-82 из генератора $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ с исходной активностью 160 мКи в разных режимах медицинской эксплуатации. Генератор изготавливается в условиях GMP с использованием стронция-82, произведенного в ИЯИ РАН и выделенного в Лос-Аламосе. В результате, достигнуты рекордные характеристики генератора и продемонстрирована возможность эффективной ПЭТ-диагностики в течении длительного времени (78 дн.) не только кардиологических, но и ряда онкологических заболеваний. Эта разработка внедряется также во Франции совместно с научно-производственным центром ARRONAX и компанией LEMER PAX.

ИЯИ РАН, Б.Л.Жуйков, bz@inr.ru , +7-495-851-01-85

Методика получения терапевтических радионуклидов актиния и радия.
Совместно с МГУ им. М.В. Ломоносова разработана методика получения медицинских терапевтических α -активных радионуклидов актиния-225 и одновременно - радия-223, включающая облучение металлической ториевой мишени на ускорителе ИЯИ РАН протонами средних энергий и радиохимическое выделение актиния и радия с помощью экстракционной хроматографии.
ИЯИ РАН, Б.Л.Жуйков, bz@inr.ru , +7-495-851-01-85

Способ наработки радиоизотопов на ускорителях электронов.

Использование электронных ускорителей для наработки радиоизотопа ^{18}F для медицинской позитронно – эмиссионной томографии.

Получен патент на способ наработки радиоизотопов для целей ядерной медицины (совместно с ФИАН им.П.Н. Лебедева).

Экспериментально показано (совместно с НИИЯФ МГУ им.Ломоносова), что на ускорителях электронов

с энергией 55 МэВ и средним током пучка ~ 40 мкА. в результате облучения мишени из NaOH толщиной 10 г/см^2 в

течение времени ~ 5.5 час возможно получение радиоизотопа ^{18}F в водном растворе с полной активностью $\sim (40 \div 60)$ мКи

и удельной активностью $\sim (2 \div 3)$ мКи/мл. Указанный изотоп предназначен для использования в медицинских позитронно – эмиссионных томографах.

ИЯИ РАН, Л.З.Джилавян, dzhil@cpc.inr.ac.ru , +7-499-135-21-12