

Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук в 1 квартале 2016 года

Разработка теоретических проблем физики элементарных частиц, фундаментальных взаимодействий и космологии.

О.Е.Калашевым подробно изучены свойства электронно-фотонных каскадов распространяющихся в межгалактической среде. Аналитическим и численным методами получены энергетические спектры каскадного излучения. Исследовано свойство универсальности спектра (слабая зависимость от спектральных характеристик источников и их пространственного расположения), показаны границы универсальности. На основании свежих данных телескопа Fermi LAT получены принципиальные ограничения на максимальную плотность энергии, которая может выделяться в форме электронно-фотонного каскада тем или иным образом как близкими, так и космологически удаленными (вплоть до $z=10$) источниками [1].

С.В.Демидовы и Д.С.Горбуновым получены предсказания для индуцированного распада нуклонов в классе моделей с асимметричной тёмной материей, который носит название "хилогенезис". В рамках этих моделей предполагается, что тёмная материя состоит из двух компонент, скаляра и фермиона с массами порядка 1-3 ГэВ. Их взаимодействие с кварками первого поколения осуществляется через так называемый "нейтронный" портал. Одной из наиболее ярких сигнатур, присущих данной модели, является предсказание существования распадов протона и нейтрона индуцированных столкновениями с частицами тёмной материи.

В работе [2] рассмотрены варианты индуцированных распадов с разными вариантами конечных состояний: фотоном, электрон-позитронной парой или двумя пионами. Показано, что с учётом ограничений накладываемых на эту модель поисками частиц тёмной материи на LHC соответствующие времена жизни нуклонов могут достигать значений доступных для поиска в таких экспериментах как HyperKamiokande и DUNE.

Недавно коллаборации ATLAS и CMS объявили о наблюдении небольшого избытка событий с двухфотонным конечным состоянием с инвариантной массой около 750 ГэВ. Несмотря на то, что статистическая значимость этого наблюдения пока еще не велика, интерес представляет тот факт, что этот избыток событий обнаружен независимо в обоих экспериментах при одном и том же значении инвариантной массы.

С.В.Демидов совместно с Д.С.Горбуновым исследовали возможность того, что данный резонанс представляет собой сголдстино - частицу, возникающую в суперсимметричных теориях с низким масштабом нарушения суперсимметрии. Показано, что в рамках такой интерпретации избытка событий в экспериментах ATLAS и CMS должен быть виден сигнал с конечным состоянием из двух массивных векторных бозонов. Полученные предсказания могут быть проверены при большем количестве экспериментальных данных. Результаты работы опубликованы в статье [3].

А.Л.Катаевым получена (с использованием математического метода наименьших квадратов) явная зависимость от числа ароматов тяжёлых кварков связи поправки 4-го порядка теории возмущений в КХД между фиксированной полюсной и зависящей от масштаба массами тяжёлых кварков со строгим определением теоретических неопределенностей. Проведено сравнение с результатами недавних численных расчётов данной поправки для фиксированного значения числа ароматов кварков группой авторов из Германии и МГУ на суперкомпьютере МГУ «Ломоносов». Указано на расхождение теоретических неопределенностей двух расчётов, что представляется особенно важным в случае связи масс топ-кварков, которые в настоящее время измеряются на Большом адронном коллайдере ЦЕРН. Обсуждается

возможность более детального определения теоретической неопределённости изучаемой поправки теории возмущений [4].

Публикации:

1. V. Berezhinsky, O. Kalashev / High energy electromagnetic cascades in extragalactic space: physics and features // arXiv:1603.03989 [astro-ph.HE]
2. S.V. Demidov, D.S. Gorbunov / Nucleon-decay like signatures of Hylogenesis // Phys.Rev. D93 (2016) no.3, 035009
3. S.V.Demidov, D.S.Gorbunov / On sgoldstino interpretation of the diphoton excess // Письма в ЖЭТФ, vol. 103, p. 241
4. A. L. Kataev and V.S.Molokoedov / From perturbative calculations of the QCD static potential towards four-loop pole-running heavy quark-mass relations// Invited talk at the 17th International workshop on Advanced Computing and Analysis Technique in Physics Research (ACAT-2016), 18-22 January 2016, Valparaíso, Chile (presented by A.L. Kataev)

Свойства барионов и ядер в топологических солитонных и иных моделях

Статья “Neutron-antineutron oscillations: Theoretical status and experimental prospects”, D.G.Phillips, II... V.B.Kopeliovich (63 authors) опубликована в журнале Phys.Rept. 612, 1 – 45 (2016). [1]

Статья “Simple estimates of masses of pentaquarks with hidden beauty or strangeness” Vladimir Kopeliovich, Irina Potashnikova, принята к печати в журнале Phys. Rev D и будет опубликована в апрельском номере (том 93) [2]. В этой работе сделаны оценки масс пентакварков со скрытым очарованием и странностью. О правильности этих оценок можно будет судить после экспериментального обнаружения таких пентакварков.

Продолжены (совместно с Д.Е.Ланским (НИИЯФ МГУ) и И.К.Поташниковой (Университет Санта Мария, Вальпараисо, Чили)) расчёты спектров ядерных состояний с квантовыми числами очарование и прелесть. Расчёты энергий связи проводятся в рамках топологической солитонной модели. Впервые изучается влияние на энергию связи изменения масштаба всего скирмиона (сжатия или расширения как целого). Показано, что при включении энергии возбуждения флейворов (странности, очарования и/или прелести) уменьшение размера всего солитона существенно понижает энергию состояний, в особенности для барионного числа 1, то есть для гиперонов. Это приводит к понижению энергии связи барионных систем (гиперядер), поэтому мы ожидаем отрицательные результаты во многих случаях.

1. Neutron-Antineutron Oscillations: Theoretical Status and Experimental Prospects [D.G. Phillips, II ... V.B.Kopeliovich et al.](#). Oct 4, 2014. 45 pp. Published in Phys.Rept. 612 (2016) 1-45

2. [Vladimir Kopeliovich \(Moscow, MIPT & Moscow, INR\)](#), [Irina Potashnikova \(CCTVal, Valparaíso & Santa Maria U., Valparaíso\)](#). Oct 20, 2015. 4 pp. e-Print: [arXiv:1510.05958](#) [hep-ph] |

Исследование ядро–ядерных столкновений на установке ALICE на встречных пучках ускорителя LHC CERN).

1) Модернизация установки ALICE

В 2015 году создан образец черенковского ФИТ-детектора на основе кварцевых радиаторов и микроканальных ФЭУ XR85012/A1-Q MCP-PMT Planacon для усовершенствования детекторных систем ALICE. Совместно с фирмой PHOTONIC (USA) разработан модернизированный ФЭУ XR 85012 для улучшения временных и амплитудных характеристик. Результаты испытаний модернизированного ФЭУ XR 85012 на пучках PS представляют интерес и для других экспериментов на LHC.

2) Определение и мониторинг светимости

Проведена модернизация триггерного детектора T0 для измерения и мониторинга светимости установки АЛИСА при выводе пучков с расстоянием 50 нс и 25 нс между сгустками (банчами) протонов. Произведен анализ данных сканирования Ван дер Меера, для р-р столкновений при энергии $\sqrt{s}$ 8 TeV и $\sqrt{s}$ 13 TeV с использованием передних детекторов T0, V0 для определения абсолютного сечения рождения J/ψ , $\psi(2S)$, $\psi(1S)$, $\psi(2S)$ и $\psi(3S)$.

3) Создание новых детекторов ADA и ADC (ALICE Diffraction)

Для исследования дифракционных процессов в улучшенных условиях с большим интервалом (зазором) по быстротам созданы и размещены на пучке новые детекторы ADA и ADC, каждый из 8 сцинтилляторов, ФЭУ с электроникой. Получены первые физические результаты при максимальной энергии протонов.

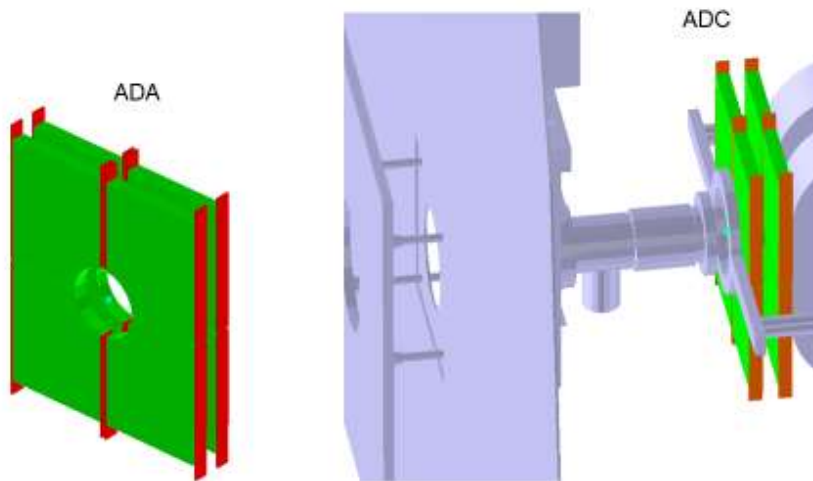


Рис. 1. Конструкция ADA и ADC детекторов

Исследование рождения векторных мезонов в адрон-ядерных и ядерно-ядерных взаимодействиях на установке HADES (GSI, Германия)

В 1 квартале 2016г. продолжался начатый ранее анализ данных Au+Au, полученных коллаборацией HADES с участием ИЯИ РАН в сеансе 2012 г. при энергии налетающих ядер золота 1.23 ГэВ на нуклон в лабораторной системе. Проведена оценка систематических ошибок в определении коллективных потоков протонов. Результаты анализа доложены на совещании коллаборации ХАДЕС 7 - 11 марта в 2016г. в ГСИ в Дармштадте.

Группой ИЯИ РАН предложен проект нового многоканального сцинтилляционного годоскопа для определения центральности и угла плоскости реакции. В рамках этого проекта ведется моделирование точности определения центральности и угла плоскости реакции, изготовлены и тестируются прототипы ячеек годоскопа со считыванием света с помощью микрописельных фотодиодов.

Исследование рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях на CERN SPS (эксперимент NA61)

В первом квартале выполнялась работа по анализу экспериментальных данных в сеансах 2011 – 2015гг, полученных в реакциях $\text{Be}^7 + \text{Be}^9$ и $\text{Ar} + \text{Sc}$ при энергиях налетающих ядер 13, 20, 30, 40, 75 и 150 АГэВ.

Завершена модернизация центральной части переднего адронного калориметра.

Проведена замена 160 микропиксельных фотодиодов на более быстрые фотодиоды производства Хамаматсу. Проведена модернизация входной электроники центральной части адронного калориметра. Усовершенствована система охлаждения фотодетекторов калориметра.

Исследование свойств сжатой барионной материи на установке CBM в GSI

В первом квартале 2016г. началась работа по созданию модулей адронного калориметра установки CBM в соответствии с контрактом ФАИР –ИЯИ. Разработана техническая документация на изготовление модулей, ведется подготовка к сборке модулей в ИЯИ РАН.

Разрабатываются методы калибровки калориметра на пучке протонов.

Изучение редких распадов B-мезонов в эксперименте LHCb

ИЯИ РАН в коллаборации LHCb, руководитель Е.Н. Гуцин

Не подтверждение кандидата в тетракварки X(5568) в спектре инвариантных масс $B_s^0 \pi^\pm$ [2].

Исследовалось утверждение коллаборации D0 [1] об обнаружении тетракваркового состояния X(5568) в спектре инвариантных масс $B_s^0 \pi^\pm$. Наблюдаемое коллаборацией D0 со статистической достоверностью 5.1σ состояние $X(5568) \rightarrow B_s^0 \pi^\pm$ должно состоять из четырех валентных кварков (b,s,u,d). При этом в его массе доминирует вклад одного конституэнтного кварка. Будучи подтвержденным, этот результат возможно дал бы ценную информацию, каким образом связаны кварки в экзотических многокварковых состояниях – непосредственно плотно связаны, так называемые «тетра»- и «пентакварки», или более свободно, как например мезон-мезон молекулы.

Проанализированы данные LHCb детектора, соответствующие светимости 3/fb при энергии в системе центра масс $\sqrt{s}=7$ и 8 TeV [2]. Количество изучавшихся распадов было в 20 раз больше, чем в анализе D0. При этом не обнаружено никакого сигнала (Рис.1) в спектре инвариантных масс $B_s^0 \pi^\pm$, установлены верхние пределы на сечение рождения возможного состояния X(5568).

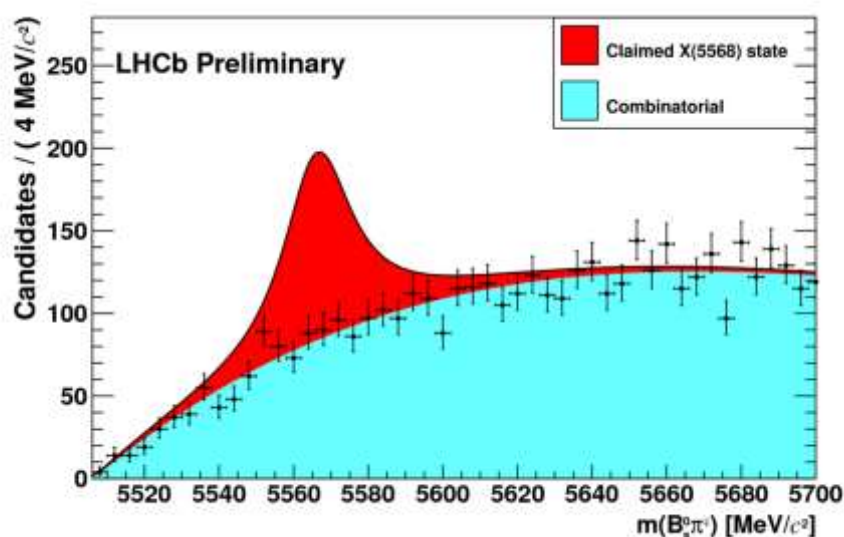


Рисунок 1. Показано распределение инвариантных масс $B_s^0 \pi^\pm$. Красным цветом наложено предполагаемый сигнал от X(5568), соответствующий данным D0 коллаборации. Таким образом LHCb не подтверждает [2] наличие сигнала в этой области.

Наиболее точное измерение CKM угла γ из комбинации $B \rightarrow DK$ распадов [3]

В LHCb выполнено измерение на древесном уровне CKM угла γ из комбинации $B \rightarrow DK$ распадов. Используя значение наилучшего фита и 68% доверительного интервала, результат измерения угла γ оказывается равен $\gamma = (70.9^{+7.1}_{-8.5})^\circ$. Полученный результат является наиболее точным единичным измерением в мире и дает важный вклад в глобальный фит параметров CKM матрицы.

1) D0 collaboration, V. M. Abazov et al., “Observation of a new $B^0_s \pi^\pm$ state”, arXiv:1602.07588.

2) By LHCb Collaborations (Roel Aaij et al.) “Search for structure in the $B^0_s \pi^\pm$ invariant mass spectrum”, LHCb-CONF-2016-004.

3) By LHCb Collaboration (Roel Aaij et al.). “Measurement of the CKM angle γ from a combination of $B \rightarrow DK$ analyses”, LHCb-CONF-2016-001.

Изучение фундаментальных свойств материи на установке P348 в ЦЕРНе: поиск лёгкой тёмной материи и новых слабовазаимодействующих частиц

Руководителем работ по проекту P348 является ведущий научный сотрудник Лаборатории моделирования физических процессов С.Н.Гниненко. В настоящее время в ЦЕРНе участниками коллаборации P348 анализируются данные, полученные в сеансе на установке в течение 2015 г. Проводится их обработка с последующей реконструкцией событий и анализом полученных результатов. В марте Комитетом SPSC CERN было принято решение об одобрении проекта P348 и придании ему статуса официального эксперимента CERN NA64. В рамках этого эксперимента планируется проведение двух сеансов на ускорителе SPS CERN в июле и октябре текущего года.



Рисунок 1 – Установка P348 на канале H4 в сеансе 2015 г.

Поиск редких мюонных процессов с нарушением лептонных чисел

Проведен анализ калибровочных измерений с помощью космических мюонов и радиоактивного источника ^{60}Co ячейки калориметра, состоящей из кристалла LYSO с двумя лавинными фото-диодами (APD 10x10мм2 Hamamatsu) для международного эксперимента Mu2e (FNAL, США). Измеренное энергетическое разрешение кристалла составляет величину равную $\sigma_E/E = 0.115\%/\sqrt{E}$ в области низких энергий (E) - 0.03 ГэВ.

Институт ядерных исследований РАН участвует в совместном международном эксперименте Mu2e (FNAL, США) по поиску процесса $\mu \rightarrow e$ конверсии с уровнем чувствительности превышающем на пять порядков современное экспериментальное ограничение на данный процесс. Основная идея эксперимента предложена и разработана сотрудниками института ядерных исследований. Поиск процессов вне рамок Стандартной модели представляет собой одну из главных задач современной физики. Повышение уровня чувствительности в эксперименте Mu2e на несколько порядков может привести к обнаружению новых взаимодействий, порождаемых новыми тяжелыми частицами с массами ≈ 1000 ТэВ, которые невозможно получить в ближайшем будущем на ускорителях. Эксперимент Mu2e был принят DOE (Department of Energy, US) 11 ноября 2009.

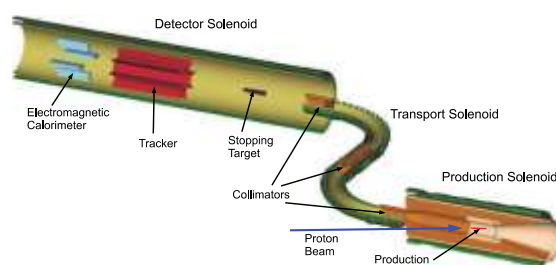


Рис. 1 Эксперимент Mu2e по поиску процесса $\mu \rightarrow e$ конверсии (web cite <http://mu2e.fnal.gov>)

В марте 2012 г. завершена первая стадия CD-0 эксперимента : разработка концепции, оценка стоимости эксперимента. Коллаборацией подготовлен CDR (Conseptual Design Report), который завершает эту работу. В 2015 г. проведена проверка выполнения стадии CD-2/3 проекта и одобрена следующая стадия CD-3 комитетом DOE США.

В первом квартале 2016 г. проводились работы по анализу калибровочных измерений с помощью космических мюонов и радиоактивного источника ^{60}Co ячейки калориметра, состоящей из кристалла LYSO (30x30x50 mm²) с двумя лавинными фотодиодами (APD 10x10мм² Hamamatsu). Измерения проводились с новым электронным блоком (WDT 5742 CAEN) по оцифровке и обработке сигналов APDs для калориметра эксперимента Mu2e. Кристалл LYSO состоит из следующих химических элементов $\text{LuY}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$.

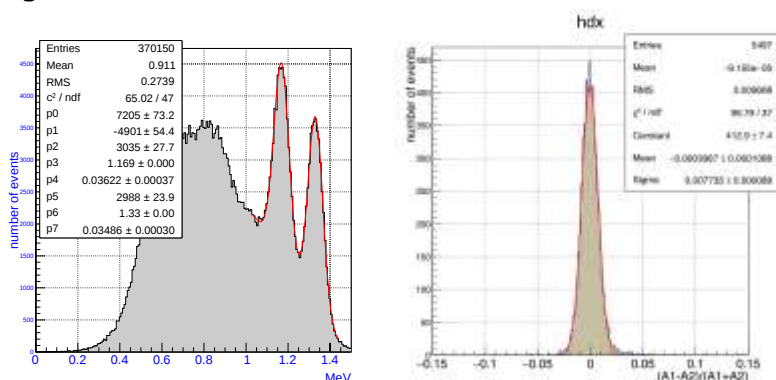


Рис. 2 Спектр суммы сигналов APD1 и APD2 от источника Co^{60} в кристалле и результат фитирования измеренного спектра суммой двух распределений Гаусса и линейной функции (слева). Спектр относительной разности сигналов от двух фото детекторов (APD) при регистрации космических мюонов в кристалле LYSO с помощью (справа).

Повышение точности измерения амплитуды с помощью блока WDT по сравнению с ADC связано с использованием более точного метода определения амплитуды сигнала. На рис. 2 (а) показан спектр суммы сигналов APD1 и APD2 от источника Co^{60} и результат фитирования измеренного спектра суммой двух распределений Гаусса и линейной функции. Линейная функция необходима для описания части спектра от фонового излучения кристалла. Результат фита двух пиков спектра в области 1.05 – 1.45 МэВ дает оценку энергетического разрешения кристалла σ_E/E равную 3.1% и 2.6% для энергий 1.17 и 1.33 МэВ, соответственно. Относительная разрешающая способность кристалла LYSO (σ_E/E) может быть оценена из спектра $(A1-A2)/(A1+A2)$ (рис. 2 б) с учетом шумов электроники и составляет величину равную $\sigma_E/E = 0.115\%/\sqrt{E}$, где E – наиболее вероятная энергия выделенная в кристалле мюоном равная 0.028 ГэВ, $A1$ и $A2$ амплитуды сигналов с APD1 и APD2, соответственно. Используя соотношение $S_{\text{ф}}/E = \sqrt{F/N_{\text{ре}}}$ связывающее число первичных фотоэлектронов $N_{\text{ре}}$ APD с энергетическим разрешением кристалла (σ_E/E) измеренным для энергий 1.17 и 1.33 МэВ, получим оценку для $N_{\text{ре}}$ равную 1900 и 2300 ф.э./МэВ, соответственно. Усредненная оценка $N_{\text{ре}}$ составляет величину равную 2100 ф.э./МэВ. Оценка $N_{\text{ре}}$, полученная из спектра с космическими мюонами с наиболее вероятным энерговыделением 28 МэВ, дает величину равную 1600 ф.э./МэВ и находится в хорошем согласии (30%) с измерениями с радиоактивным источником Co^{60} .

Прямые лабораторные поиски тяжёлой компоненты нейтрино в кинематике радиоактивных распадов

Выполнен комплекс работ по подготовке установки к сеансу измерений с тритием. Модернизированы и отлажены отдельные элементы вакуумной и крио-систем. В целях создания центра коллективного пользования, основываясь на предложениях других институтов в Троицке по проведению совместных работ, в основном завершено создание переливочного узла для жидкого гелия.

Активно ведется работа по созданию быстрого детектора электронов на основе лавинных фотодиодов. Ниже приводится фотография созданного для этих целей испытательного стенда.



Поиск тёмной материи Вселенной

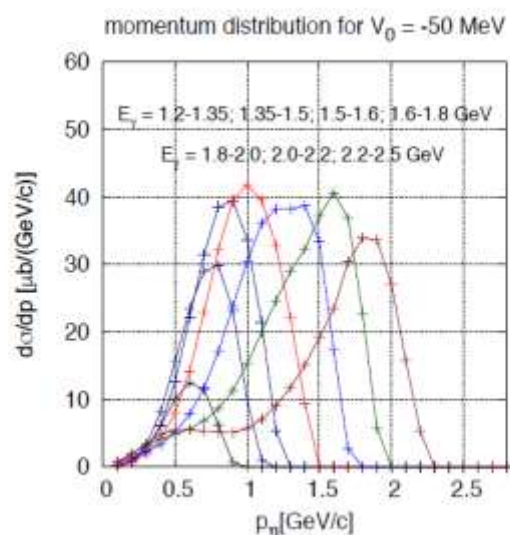
Показана возможность подавления фона электронов. Работа опубликована в ArXiv: 1603.05649 {phys.instr.det} (2016).

Исследование подпорогового рождения лёгких векторных мезонов и заряженных каонов в протон и фотоядерных реакциях

1) Проведено дальнейшее теоретическое изучение инклюзивной реакции (γ , η') на ядре ниобия при энергии первичных фотонов 1.2-2.6 ГэВ в рамках разработанной нами современной физической модели данной реакции. Для контроля правильности

определения аксептанса детекторной системы “Crystal Barrel and Mini-TAPS”, установленной на ускорителе ELSA (Бонн, Германия), были выполнены расчеты импульсных спектров η' мезонов, образованных в данной реакции, в кинематических условиях соответствующего эксперимента, проведенного коллаборацией CBELSA/TAPS (Германия) на этом ускорителе в различных сценариях модификации свойств (массы) эта-штрих мезонов в ядерной среде и в различных энергетических интервалах падающего потока фотонов (см. прилагаемые ниже рисунки).

Предварительное сравнение результатов этих расчетов с получаемыми параллельно экспериментальными данными для ядра ниобия говорит в пользу сделанного в предыдущей работе коллаборации (M. Nanova, V. Metag, E. Ya. Paryev et al., Phys. Lett. B 727 (2013) 417) вывода о величине сдвига массы η' мезонов в ядерной среде, представляющего в настоящее время большой интерес для понимания частичного восстановления киральной симметрии в ядерной среде уже при обычных ядерных плотностях.



Изучение роли собственной энергии в переходах нейтрон-антинейтрон. Обобщение на ab переходы в поглощающей среде

Отправлена в редакцию статья “Kaon regeneration in perturbation theory”, в которой с помощью теории возмущений получены результаты, принципиально отличные от общеизвестных.

Исследования нейтрон-ядерных взаимодействий методом времени пролёта на установках НСВП-ТРОНС ОЭФ ИЯИ РАН и ИРЕН, ИБР-2М ЛНФ ОИЯИ

1. Подготовлена установка РЭПС с 8-ми секционным жидкостным детектором гамма лучей на 49м пролётной базе и He-3 счётчиком на 51м пролетной базе для измерения групповых пропусков и сечений на металлических образцах-фильтрах из естественного железа и никеля различной толщины от 5мм до 20мм в диапазоне энергий от 1эВ до 100кэВ.

2. Восстановлен двухплечевой спектрометр гамма лучей на основе двух кристаллов NaI большого объема около 60л

3. Проведены расчеты нейтронных полных и парциальных сечений, их интегральных характеристик для минорных актинидов изотопа: америция, кюрия, тория, нептуния, урана, плутония в резонансной области энергий от 1 эВ до 100кэВ по программе ГРУКОН на основе оцененных данных разных национальных библиотек ENLFB, JENDL, JEFF, BNAB.

4. Сделана заявка по представлению трёх устных докладов на международный семинар ISINN—24 в г.Дубна 15—25 мая 2016г

5. Проводилась работа по исследованию нейтрон-нейтронного взаимодействия с использованием методики догоняющих нейтронов, нейтрон-электронного взаимодействия, по взаимодействию нейтронов с гравитационным и электрическим полями, по поиску нейтральных нейтронных ядер типа бинейтронов, тринейтронов и с большим содержанием нейтронов.

6. Разработана методика по определению изотопного состава в изделиях и смесях активационным способом и путем измерения функций пропускания в области энергий резонансных нейтронов.

7. Продолжена работа по созданию радиоактивных образцов из осколочных материалов для решения вопросов трансмутации.

Подготовлены следующие публикации:

1. A.A. Alekseev, Yu.V. Grigoriev, V.A. Dulin, O.N. Libanova, V.L. Matushko, Zh.V. Mezentseva, A.V. Novikov-Borodin, Yu.V. Ryabov. The TOF method for the LSDS-100 spectrometer. — Proc. Of the ISINN 23, Dubna, 2016 (in print)

2. Yu.V.Grigoriev, E.A.Koptelov, O.N.Libanova, E.V.Mezentseva, A.V.Novikov-Borodin, V.V.Sinitsa. Determination of group neutron cross-sections and their integral characteristics for minor actinides by GRUCON code based on estimated data of ENDFB, JENDL, JEFF, BNAB. — Report at the ISINN 24, Dubna, 2016.

3. Yu.V. Grigoriev, A.V. Novikov-Borodin. Power Installations based on Activated Nuclear Reactions of Fission and Synthesis — Report at the ISINN 24, Dubna, 2016.

Внедрение в широкую медицинскую практику технологии лечения смесями благородных газов с кислородом

Совместно с Больницей РАН г. Троицка показано, что терапия смесями криптона с кислородом является эффективным средством восстановления работоспособности пожилых. Метод внедряется фирмой "Тюменские аэрозоли" для производства баллончиков с этими смесями с целью продажи широким слоям населения.

Исследование аномального электромагнетизма в углеродных конденсатах

Подана заявка на грант EDF «Contactless Carbon Current Limiters»

Отправлена заявка в ФИПС на патент РФ С.Г.Лебедев, В.Э.Янц. «Радиохимический детектор плотности потока быстрых нейтронов»

Публикации

1. С.Г.Лебедев, В.Э.Янц. «Радиохимический детектор плотности потока быстрых нейтронов» заявка на патент РФ подана в ФИПС, 2016 г.

2. В.Э.Янц, С.Г.Лебедев, Н.М.Соболевский, «Геохронология и мониторинг космических лучей по накоплению космогенных изотопов ^{53}Mn , и ^{10}Be в земных породах» будет опубликована в журнале «Геохимия» в июне 2016 г.

Прецизионное исследование электромагнитных взаимодействий нуклонов и ядер; исследование свойств адронов в ядерной среде, изучение их связанных состояний (мезонные ядра, дельта-ядра, гиперядра)

Получены новые экспериментальные данные о спиновой структуре нуклона: впервые измерена асимметрия пучок-мишень F и мишенная асимметрия T для реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$ при энергии фотонов от 425 до 1445 МэВ [1]. Новизна работы обеспечена использованием поперечно поляризованной протонной мишени и продольно поляризованного пучка. Эксперимент выполнен на ускорителе MAMI (Майнц, Германия) в коллаборации A2 с участием российских учёных, которые внесли

основной вклад в создание поляризованной мишени и обработку данных. Впервые определены функции возбуждения протона с учётом спиновой зависимости, что является шагом к реализации «полного опыта», когда будут измерены все поляризационные наблюдаемые при поляризации пучка, мишени и продуктов реакции. Проведено разложение полученных поляризационных сечений по полиномам Лежандра и выполнено сравнение с предсказаниями PWA-моделей. Получены новые данные о вкладах различных барионных резонансов в поляризационные сечения для указанной реакции.

Публикация: J.R.M. Annand, G.M. Gurevich, R. Kondratiev, V. Lisin, A. Mushkarenkov, A. Polonski et al. T and F asymmetries in π^0 photoproduction on the proton. Phys. Rev. C (in print).

Галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ) Баксанской нейтринной обсерватории

Выполнены работы по проверке готовности нового комплекса установок ГГНТ для эксперимента BEST по исследованию переходов электронных нейтрино в стерильные состояния на короткой базе. С целью оценки фонового счета в измерениях на новом комплексе установок ГГНТ было проведено 8 тестовых извлечений из двух зонной мишени установки BEST (Рис.1), в результате которых был выбран оптимальный режим работы для проведения солнечных измерений. Впервые на BEST было выполнено два солнечных измерения. Извлечения и счёт атомов ^{71}Ge , рождаемых солнечными нейтрино на Ga, проводились независимо из каждой зоны. Результат объединенного анализа этих измерений составляет $66.4^{+28.1}_{-24.3}$ SNU, что хорошо согласуется с результатом за период измерений с 1990 по 2014 год, 64.6 ± 2.4 SNU (указаны только статистические ошибки измерений). Ежемесячные измерения солнечных нейтрино на установке BEST будут продолжены в течение 2016 года.

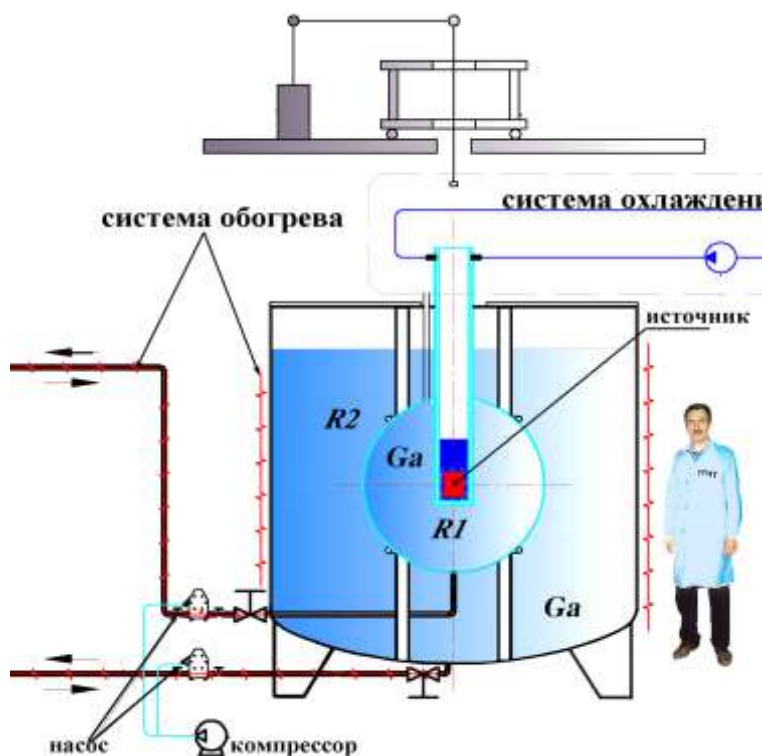
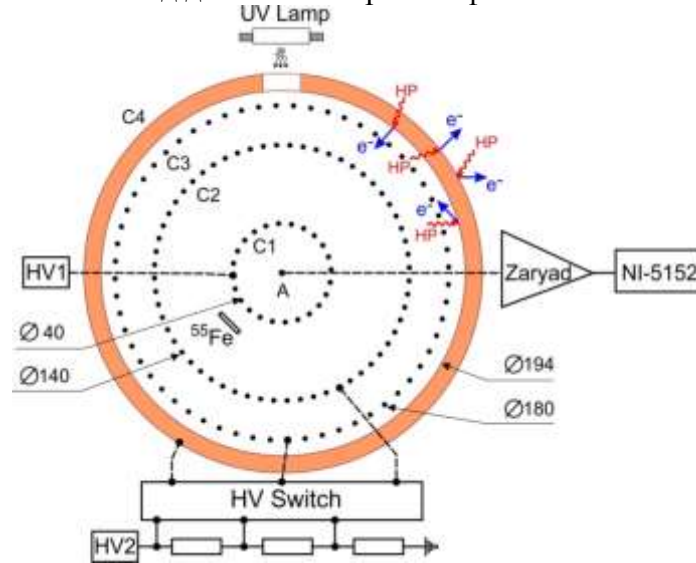


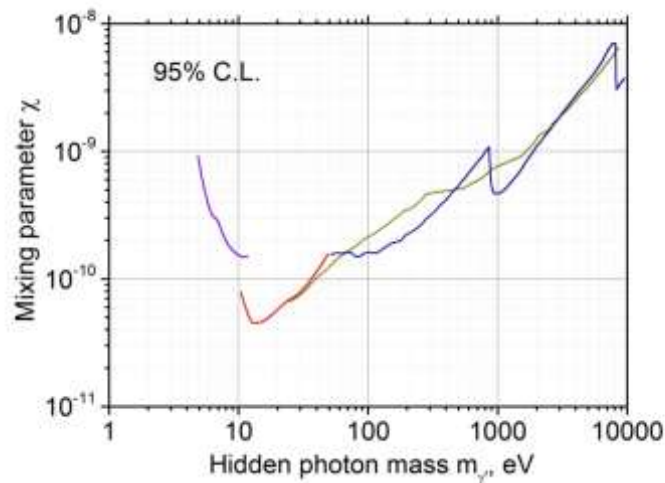
Рис.1 Схема двух зонной установки BEST.

Поиск скрытых фотонов

Предложен и реализован метод регистрации скрытых фотонов с массой от 5 эВ до 10 кэВ по одиночным электронам, эмитируемым из металлического катода мультикатодного счётчика под действием скрытых фотонов.



Впервые в мире в результате прямых измерений на лабораторной установке в диапазоне масс скрытых фотонов от 5 эВ до 10 кэВ получен предел на константу кинетического смешивания η .



Поиск гипотетических массивных векторных частиц (скрытых фотонов), образующих холодную тёмную материю в Галактике. При анализе данных предполагается, что темная материя состоит целиком из скрытых фотонов заданной массы. Это позволяет ставить пределы на смешивание между фотоном и скрытым фотоном по одиночным электронам, эмитируемым из металлического катода мультикатодного счётчика под действием скрытых фотонов. Доступная для существующей установки область закрыта из астрофизических исследований в рамках рассматриваемых теоретических моделей, разрешённая этими моделями область лежит на 2-3 порядка ниже по величине константы смешивания. С экспериментальной точки зрения здесь постулируется смешивание частиц темной материи с фотоном, и задача заключается в экспериментальной проверке этого свойства темной материи. Следует отметить, что проводимый эксперимент чувствителен к конверсии HP-photons и не чувствителен к конверсии photon-HP, что, с экспериментальной точки зрения, не одно и

то же и требует отдельной проверки. Приводимые астрофизические ограничения получены, напротив, для многоступенчатого процесса: конверсии обычного фотона в скрытый фотон в условиях высоких температур и очень высоких плотностей звездной плазмы (недоступно для экспериментальной проверки), пролёта скрытого фотона из недр звезды к лабораторной установке и конверсии скрытого фотона в обычный фотон в рабочем объеме детектора. Для повышения чувствительности детектора принципиально важно понизить скорость счета ложных импульсов, с этой целью в настоящее время изготавливается новый счетчик усовершенствованной конструкции.

A.V.Kopylov, I.V.Orekhov, V.V.Petukhov. arXiv: 1603.08657 On a Search for Hidden Photon CDM by a Multi-Cathode Counter.

Изучение структуры глобальных магнитных полей Солнца

Была изучена долготная структура фотосферного магнитного поля и её изменение во времени. Была обнаружена поразительно устойчивая в течение последних трёх циклов солнечной активности долготная структура, скорость вращения которой совпадает с вращением основания конвективной оболочки Солнца, то есть медленнее, чем вращаются фотосферные поля на активных широтах.

Низкофоновый эксперимент Герда

Международной коллаборацией Герда, в состав которой входят учёные из ИЯИ РАН, на основе анализа данных эксперимента фазы 1, проводимого в подземной лаборатории Гран-Сассо, получен верхний предел для распада изотопа Ar-36 относительно безнейтринного двойного электронного захвата ($(A,Z) + 2e^- \rightarrow (A,Z-2 + Q)$). Полученное значение составляет $T_{1/2} > 4.1 \times 10^{21}$ лет (90%).

Полученный результат является наилучшим мировым значением по сравнению с другими аналогичными экспериментами и на 3 порядка превосходит полученное ранее значение.



Установка GERDA

Обоснование создания большого сцинтилляционного детектора в БНО ИЯИ РАН

В первом квартале 2016 г. проводились модельные расчеты геонейтринного эффекта для сравнения с общепринятой моделью. Результаты измерений геонейтрино двумя действующими детекторами Borexino и KamLAND находятся в согласии между собой, но слегка отличаются. Различие можно объяснить, как статистикой, так и разной толщиной земной коры. На базе расчетов подготовлена статья.

Продолжаются работы по измерению содержания ^{14}C в жидких сцинтилляторах в низкофоновой лаборатории БНО при помощи детектора малого объема. Получены новые данные, которые в настоящий момент анализируются. Изучается влияние ФЭУ на измеряемый спектр. Измерения ведутся в области очень низких энергий, поэтому, несмотря на низкий шум ФЭУ, он может вносить дополнительный счет в очень малых энергиях, что сказывается на форме спектра ^{14}C .

Подготовлен проект развития БНО, основанный на создании детектора большого объема для исследования нейтринных потоков.

Публикации по теме: И.В. Синев, Прототип большого сцинтилляционного детектора геонейтрино на БНО, препринт ИЯИ РАН 1419/2016.

Исследование осцилляций реакторных нейтрино в российских и зарубежных экспериментах

С января месяца мы активно участвуем в дежурствах на измерениях с двумя детекторами. Принимали участие в обсуждении результатов анализа данных с двумя детекторами. Результаты анализа были доложены на конференции Moriond-2016. Улучшена погрешность в измерениях тета-13.

Отдел ускорительного комплекса

В первом квартале 2016 года на сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено 3 сеанса, направленных на разработку технологии получения радиоизотопов и наработку изотопов, на исследования формирования пучка на изотопном комплексе, а также на исследования и модернизацию ускорителя. Продолжительность сеансов составила 940 часов. Нарботка ускорителя в первом квартале составила 65447 мкА·часов при среднем токе пучка до 120 мкА и энергии 143 МэВ.

Всего с начала регулярной работы ускорителя проведен 121 сеанс общей продолжительностью 44283 часа.

Продолжено выполнение НИР по договору с ФБГУ ГНЦ ИФВЭ по теме «Разработка узлов источника ионов водорода Н-минус для каскада ускорителей ЛУ-30 и У-1.5». Изготовлены и налажены макеты блока контроля подачи цезия и блока контроля температуры корпуса. Разработаны рабочие чертежи газоразрядной камеры, магнитной системы источника ионов и газового клапана.

Продолжено выполнение НИР по контракту с лабораторией GSI, Германия по теме «Разработка, изготовление, испытания, поставка и наладка Измерителя формы сгустков (BSM) с тремя сменяемыми ВЧ дефлекторами и тремя сменяемыми электронными ВЧ трактами для линейных ускорителей GSI и проекта FAIR (линейный ускоритель протонов, ускоритель UNILAC и линейный ускоритель непрерывного действия)». Закончены лабораторные испытания измерителя, оборудование отправлено заказчику.

Продолжено выполнение НИР по контракту с комплексом FRIB Мичиганского университета, США по теме «Разработка, изготовление, поставка и наладка Измерителя Формы Сгустков для Комплекса пучков редких изотопов (FRIB) MSU». Завершена разработка технического проекта.

Продолжено выполнение НИР по договору с DESY по теме «Исследование, разработка и запуск электродинамических систем стенда фотоинжектора для исследования формирования сгустков электронов сверхвысокой яркости». Завершена разработка и передан заказчику физический проект резонатора фото-инжектора для проектов European X-FEL и ILC (рис. 1). По комплексу параметров разработанный резонатор превосходит существующие аналоги и допускает в два раза более высокую величину средней ВЧ мощности.

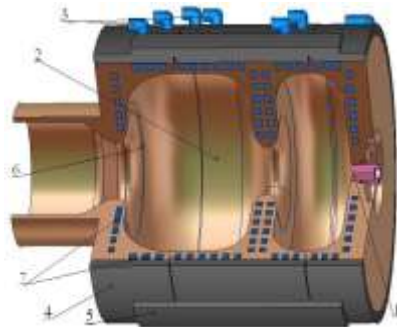


Рис. 1. Разработанный ВЧ резонатор фото инжектора. 1- фото катод, 2- ВЧ объем, 3 – вводы/выводы системы охлаждения, 4,5- усиленная несущая оболочка, 6 – датчики ВЧ поля, 7- внутренние каналы охлаждения.

Финансирование работ, выполняемых по договорам, осуществляется исключительно из средств, получаемых по соответствующим договорам.

Публикации.

В трудах Международной конференции по лазерам на свободных электронах, FEL 2015 г., Daejeon, Korea, август 2015, индексируемой в базе Scopus, опубликованы доклады:

1. H. Huck, L. Kravchuk, I. Rybakov et. al, First results of commissioning of the PITZ transverse deflecting structure. , Proc. Proc. FEL 2015, p. 110, 2015.

2. J. A. Clarke, ..V.V. Paramonov, A. K. Skasyrskaya et. al., The status of CLARA, a new FEL test Facility, Proc. Proc. FEL 2015, p. 49, 2015

На 2-й Международной конференции “Плазменные, лазерные исследования и технологии”, НИЯУ МИФИ, январь 2016 г., представлены доклады:

3. I.V. Rybakov, A.V. Feschenko, Yu.J. Kalinin, V.N. Leontev, A.N. Naboka, V.V. Paramonov, V.L. Serov, Comparison of accelerating structures for the first cavity of the main part of INR linac.

4. E.Volobuev, A.Zavadtsev , D.Zavadtsev, L.Kravchuk, V.Paramonov, N.Sobenin, D.Churanov. Deflector XFEL.

5. E.Volobuev, A.Zavadtsev, D.Zavadtsev, L.Kravchuk, V.Paramonov, M.Lalayan, A.Smirnov, N.Sobenin, D.Churanov. Transverse deflecting structure XFEL TDS INJ.

Радиоизотопные исследования

1. Изучение процесса наработки стронция-82 на ускорителе ИЯИ РАН

В рамках соглашения о научном сотрудничестве между ИЯИ РАН и компанией Nuclear Medicine Solutions, Inc. (NMS, USA) с участием Лос-Аламосской национальной лаборатории (LANL, USA, тема соглашения: Исследования с радиоизотопами для научных и медицинских целей, номер соглашения: NMS 141014, от 14 октября 2014 г.) проведены работы на стенде облучения (*Рис.1*) лаборатории радиоизотопного комплекса.



Рисунок 1. Стенд облучения мишеней лаборатории радиоизотопного комплекса.

а – внутреннее устройство: 1 – ионопровод ускорителя протонов; 2 – линия подачи мишеней в камеру облучения; 3 – защитный куб; 4 – копирующий манипулятор;
б – операторская зона стенда облучения.

Работы включали исследование влияния интенсивности пучка протонов (до 130 мкА) и его вращения с частотой 4,8 кГц на состояние мишеней с металлическим рубидием, облучаемых на ускорителе ИЯИ РАН (Рис.2).

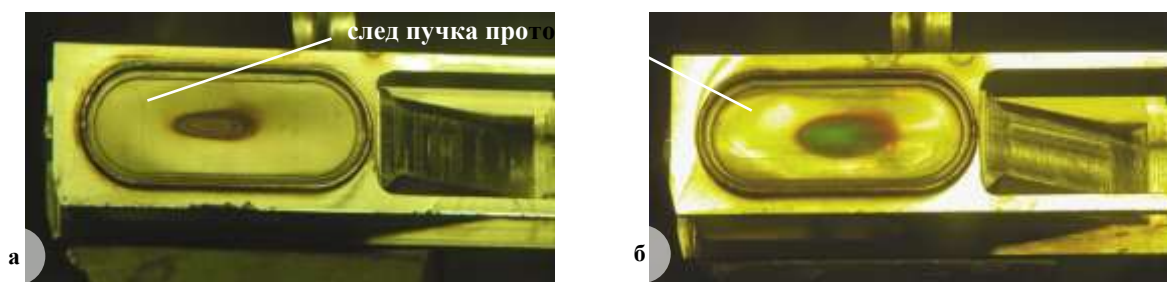


Рисунок 2. Влияние вращения пучка протонов на состояние входного окна мишени с металлическим рубидием. а – без вращения; б – с вращением с частотой 4,8 кГц.

На стенде радиоизотопного комплекса были облучены 6 рубидиевых мишеней в период 21 янв. - 5 февр., 18 февр. - 4 марта, 18 - 31 марта 2016 г. Мишени были отправлены в LANL для изучения выхода целевого ^{82}Sr , а также побочных радионуклидов, образующихся в рубидии и материале оболочки мишени, в зависимости от интенсивности и вращения пучка протонов.

Стронций-82 чрезвычайно перспективен и используется в медицине как материнский радионуклид в генераторе Sr/Rb-82 для своевременной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

2. Разработка технологии получения актиния-225 и радия-223 для терапии онкологических заболеваний

В рамках выполнения договора, заключенного между ИЯИ РАН и кафедрой радиохимии МГУ им. Ломоносова (№ 1-2013 от 01.02.2013), проведены исследования по совершенствованию методики выделения альфа-излучающих радионуклидов ^{225}Ac , ^{223}Ra , ^{230}Pa из мишеней природного тория, облученного протонами средних энергий. Основные текущие результаты отражены в статье, принятой к печати в журнале *Radiochimica Acta*:

Vasiliev A.N., Ostapenko V.S., Lapshina E.V., Ermolaev S.V., Danilov S.S., Zhuikov B.L. and Kalmykov S. N. Recovery of Ra-223 from natural thorium irradiated by protons. // *Radiochimica Acta*. – 2016. – doi: 10.1515/ract-2015-2549.

Лаборатория нейтронных исследований

В 1кв2016г. обработаны данные последнего сеанса на нейтронном комплексе (конец дек.2015г). Измерения тестовых образцов с помощью нового кольцевого детектора, состоящего из 12 линейных сцинтилляционных детекторов (*Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 18, 26 сентября*). Новый тип сцинтилляционных детекторов тепловых нейтронов на основе ZnS(Ag)/LiF и лавинных фотодиодов. В.Н. Марин, Р.А. Садыков, Д.Н. Трунов, В.С., Литвин, С.Н. Аксенов, А.А. Столяров) показало значительное увеличение статистики и возможность проведения исследований структуры образцов с достаточной точностью при наличии нескольких таких кольцевых детекторов. Изготовлен 2-ой кольцевой детектор, который будет испытан в апрельском сеансе 2016г. Продолжена работа по созданию 2-х координатного детектора нейтронов.

Опубликована статья: V. S. Litvin, V. N. Marin, S. K. Karaevsky, D. N. Trunov, S. N. Axenov, A. A. Stolyarov, and R. A. Sadykov. Scintillation Neutron Detectors Based on Solid-State Photomultipliers and Lightguides. *Crystallography Reports*, **2016**, Vol. 61, No. 1, pp. 106–110.

Опубликована работа с участием сотрудника СКС ЛНИ, снс, к.ф.-м.н. А.Г. Гаврилюка, в которой с помощью эффекта Мессбауэра (ядерно-физического метода) подтверждено появление сверхпроводимости в сероводороде (H_2S) под давлением с рекордной величиной 140 К.

Публикации:

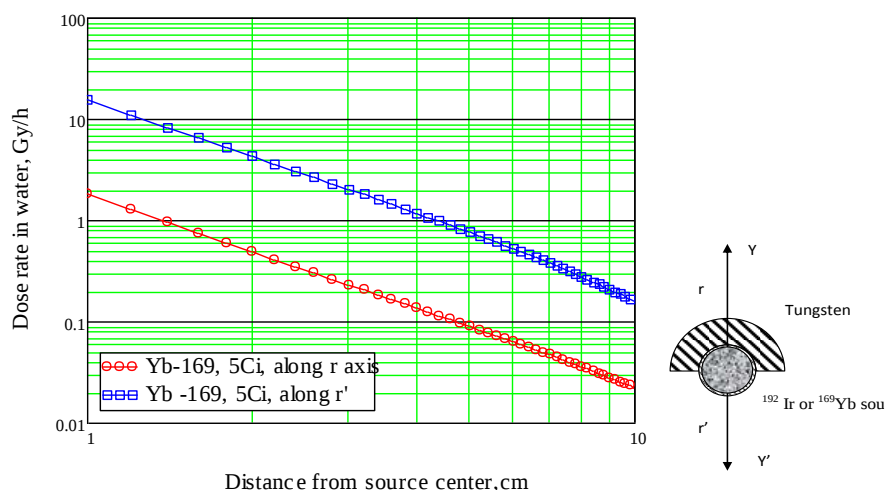
Observation of superconductivity in hydrogen sulfide from nuclear resonant scattering. Ivan Troyan, Alexander Gavriluk, Rudolf Rüffer, Alexander Chumakov, Anna Mironovich, Igor Lyubutin, Dmitry Perekalin, Alexander P. Drozdov, Mikhail I. Erements. SCIENCE, 18 MARCH 2016, VOL 351, ISSUE 6279, 1303- 1306. DOI:10.1126/science.aac8176; Информация на сайте ФАНО: http://fano.gov.ru/ru/press-center/card/?id_4=36939

Продолжены исследования сверхпроводимости и в других соединениях с участием А.Г. Гаврилюка.

Публикация: Realization of insulating state and superconductivity in the Rashba semiconductor BiTeCl. Jian-Jun Ying, Viktor V. Struzhkin, Zi-Yu Cao, Alexander F. Goncharov, Ho-Kwang Mao, Fei Chen, Xian-Hui Chen, Alexander G. Gavriluk and Xiao-Jia Chen. PHYSICAL REVIEW B **93**, 100504(R) (2016)

Разработка технологии производства нового источника для брахитерапии на основе иттербия

Были рассчитаны по Монте-Карло дозовые распределения в среде от иттербиевых источников новой конструкции для облучения внутриполостных опухолей. Была показана возможность существенно повысить качество лучевой терапии при использовании частичного экранирования сердечника источника вольфрамовыми экранами толщиной 1-2 мм. Результаты расчётов показаны на Рисунке 1, где сравниваются доза в воде от частично экранированного иттербиевого источника в противоположных направлениях



Из рисунка следует, что вольфрамовый экран толщиной 1-2 мм позволяет защитить от облучения соседние здоровые органы. Результаты доложены на Международной конференции по медицинской физике ICTR-PHE-2016 в Женеве в феврале 2016 г.