

Важнейшие достижения ИЯИ РАН в 2016 году

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

Установлены рекордные ограничения на существование лёгких тёмных фотонов

В эксперименте NA64 в ЦЕРНе на ускорителе SPS ведётся прямой поиск лёгких тёмных фотонов, которые могут возникать в реакции eZ за счёт смешивания с обычными тормозными фотонами, рождёнными в столкновениях 100-гэВных электронов с ядрами мишени. Тёмные фотоны могут распадаться на невидимые частицы тёмной материи и могут быть зарегистрированы в установке как события с большой потерянной энергией. Для $2,75 \times 10^9$ электронов, провзаимодействовавших с активной мишенью, таких событий не было найдено. Установлены рекордные ограничения на существование лёгких тёмных фотонов с массой меньше 100 МэВ и исключена возможность объяснения мюонной $g_{\mu-2}$ аномалии за счёт вклада таких фотонов.

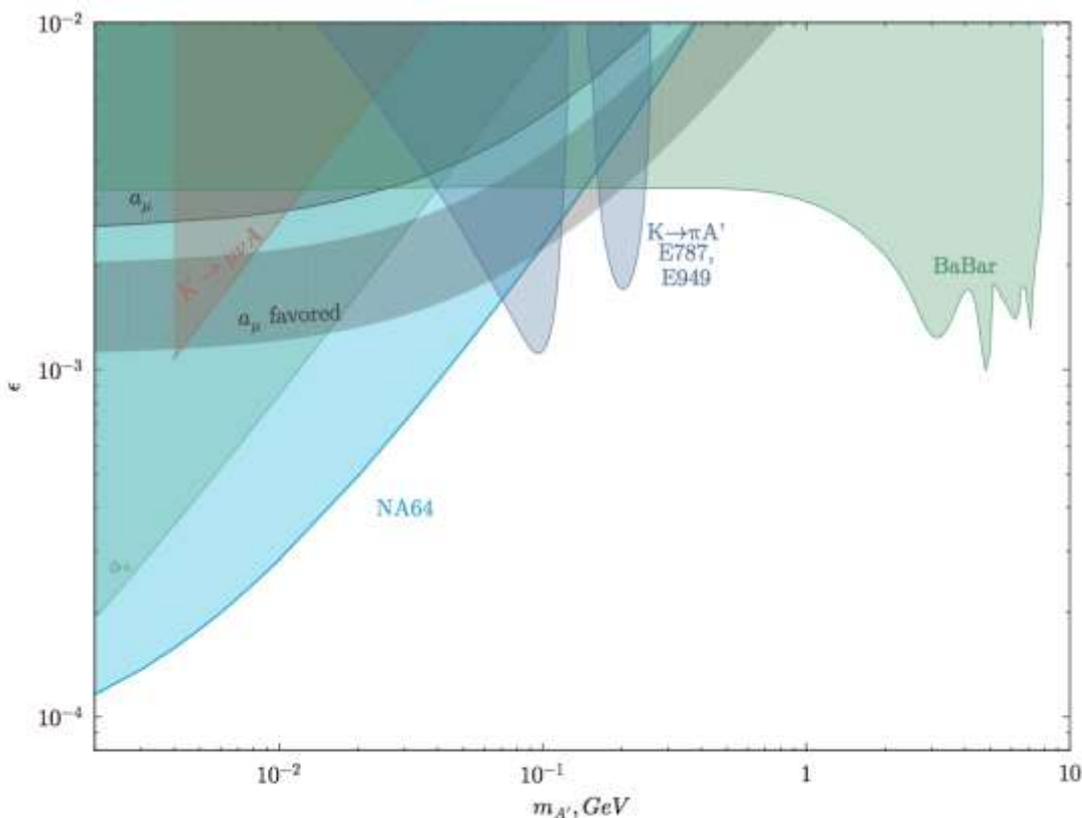


Рисунок 1 – Ограничения области существования тёмных фотонов в зависимости от их массы на 95% уровне достоверности, полученные в эксперименте NA64 и в других экспериментах: BaBar и E787+E949.

NA64 Collaboration (A.V.Dermenev, S.N.Gninenko, A.E.Karneyeu, D.V.Kirpichnikov, M.M.Kirsanov, L.V.Kravchuk, N.V.Krasnikov, V.A.Matveev, O.Petuhov, D.A.Tlisov, A.N.Toropin et al) Search for invisible decays of sub-GeV dark photons in missing-energy events at the CERN SPS // arXiv:1610.02988 [hep-ex] Статья отправлена в Physical Review Letters.

ИЯИ РАН в коллаборации NA64, Сергей Николаевич Гниненко (495)8512810 Sergei.Gninenko@cern.ch

Тёмная материя и коллапс аксионных Бозе-звёзд

Большой интерес в последнее время вызывает возможность формирования тёмной материи из лёгких скалярных (аксиноподобных) частиц. Такая тёмная материя могла бы образоваться в ранней Вселенной при перестройке вакуума, её частицы рождаются с очень маленькими начальными скоростями, поэтому в результате дальнейшей эволюции они могут образовать компактные Бозе-звёзды - гравитационно связанные капельки аксионного Бозе-конденсата.

Впервые полностью исследован коллапс аксионных Бозе-звёзд сверхкритической массы, вызванный притяжением аксиноподобных частиц. Показано, что столкновения частиц в центре звезды производят поток релятивистских аксионов, покидающих звезду и уносящих около 30% от ее первоначальной массы. Оставшая часть аксионов после этого конденсируется в Бозе-звезду подкритической массы.

Данное явление может изменить энергетический баланс во Вселенной и влиять на образование галактик. Увеличение плотности аксионов в центре коллапсирующей звезды может привести к лавинному рождению радиофотонов или других доступных наблюдению частиц.

D.G. Levkov, A.G. Panin, I.I. Tkachev / Relativistic axions from collapsing Bose stars // arXiv:1609.03611, принята к печати в Physical Review Letters

ИЯИ РАН, Дмитрий Геннадиевич Левков 9175208264 levkov@inr.ac.ru

Лучший расчёт рождения W и Z бозонов в протон-ядерных столкновениях

Разработан новый подход к вычислению сечений рождения W и Z бозонов в столкновениях протонов и тяжёлых ядер при высоких энергиях, который включает в себя метод последовательного расчёта распределений кварков и глюонов в ядрах, предложенный и разрабатываемый в ИЯИ РАН. На основе этого подхода проделан детальный анализ данных экспериментов CMS и ATLAS по рождению W и Z в столкновениях протонов с ядрами свинца на Большом адронном коллайдере (ЛHC). Показано, что расчёты полностью объясняют современные экспериментальные данные, причем точность теоретических предсказаний по рождению W и Z бозонов в протон-ядерных столкновениях является лучшей в мире. Продемонстрировано также, что точность измерений процессов рождения на ЛHC позволяет пролить свет на то как ядерное окружение влияет на распределения кварков и глюонов в связанных нуклонах. Эта работа является результатом плодотворного международного сотрудничества учёных из России, Китая и США.

Peng Ru, S.A. Kulagin, R. Petti, Ben-Wei Zhang, "Study of W and Z Boson Production in Proton-Lead Collisions at the LHC with KP Nuclear Parton Distributions", e-Print: arXiv:1608.06835 [nucl-th], принято к печати в Physical Review D.

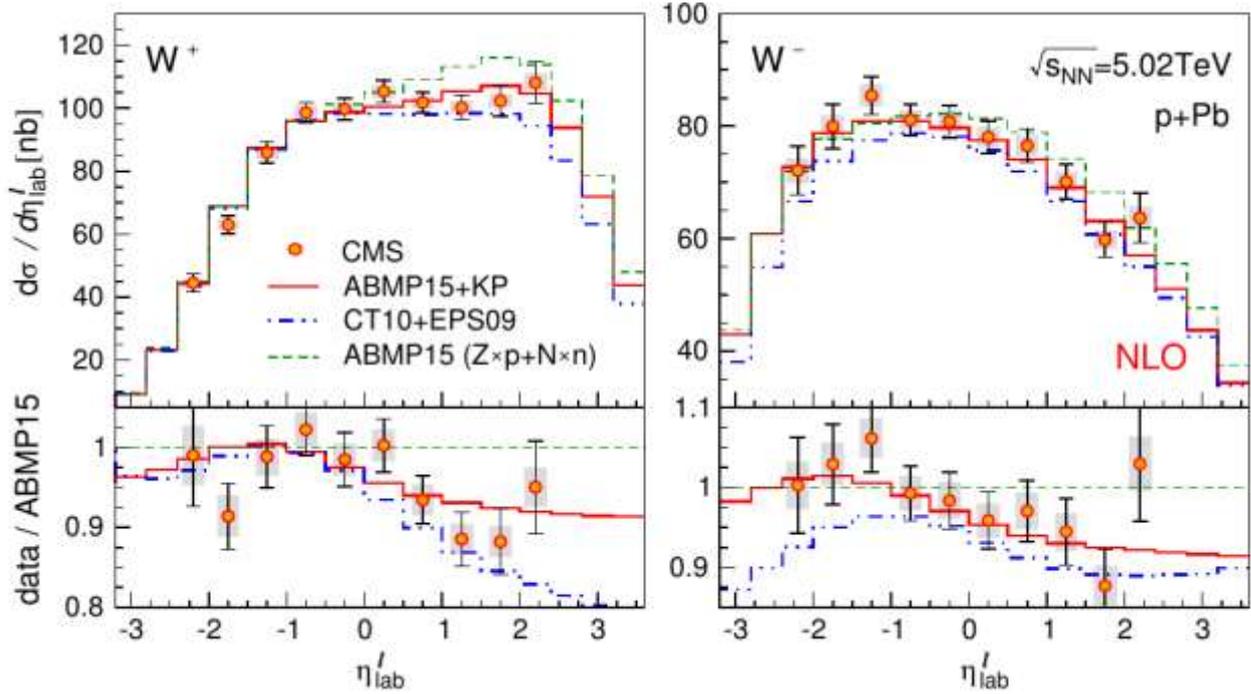


Рис.5 из работы arXiv:1608.06835. Дифференциальные сечения рождения W^+ (слева) и W^- (справа) в p+Pb столкновениях на LHC при $\sqrt{s} = 5.02$ TeV как функция псевдобыстроты заряженного лептона в конечном состоянии. Данные CMS коллаборации. Красная кривая показывает результаты наших расчётов. На нижней панели показано отношение измеренных сечений к соответствующим результатам без учёта ядерных эффектов в партонных распределениях в ядре Pb208. Для сравнения приведены результаты, полученные в других подходах.

Взаимодействие космических лучей с межгалактическими фотонами

В ускорительных сценариях образования космических лучей сверхвысоких энергий, предполагающих преимущественно протонный первичный состав, вычислен поток вторичного гамма-излучения и нейтрино от взаимодействия космических лучей с межгалактическим фотонным фоном. Проведено сравнение предсказаний с оценкой диффузного фона из наблюдений орбитального телескопа Ферми, а также с ограничениями эксперимента IceCube на диффузный поток нейтрино выше 10 ПэВ. В результате исключены сценарии с сильной эволюцией и жёстким первичным спектром.

Данный результат дополняет исследования массового состава космических лучей, основанные на изучении характеристик широких атмосферных ливней.

Публикация: Cascade photons as test of protons in UHECR V. Berezhinsky, A. Gazizov (Gran Sasso), O. Kalashev (Moscow, INR). Jun 29, 2016. 10 pp. Published in *Astropart.Phys.* 84 (2016) 52-61

В направлении нейтринная астрофизика, нейтринная, гамма и гравитационноволновая астрономия, физика космических лучей, физика и техника нейтринных телескопов в низкофоновых подземных и подводных лабораториях

Увеличена чувствительность кластера Байкальского глубоководного нейтринного телескопа

За счёт увеличения длины гирлянд оптических модулей, монтажа на них дополнительных оптических модулей (по 12 ОМ на каждой) и изменения расстояний между гирляндами (с 40м до 60м). более, чем в полтора раза увеличена чувствительность кластера на оз. Байкал – базового структурного элемента создаваемого глубоководного нейтринного телескопа НТ1000 (Baikal-GVD) кубокилометрового масштаба. При работе в автономном режиме кластер представляет собой один из трех крупнейших в мире действующих нейтринных телескопов с чувствительностью, позволяющей вести поиск событий от внеатмосферных нейтрино высоких и сверхвысоких энергий, зарегистрированных впервые в эксперименте на детекторе IceCube.

ИЯИ РАН, ОИЯИ в коллаборации Байкал, Григорий Владимирович Домогацкий,
domogats@pcbai10.inr.ruhep.ru

В направлении физика атомного ядра, релятивистская ядерная физика

Изучение спиновой структуры протона с помощью активной поляризованной мишени

Выполнен первый в мире успешный эксперимент с активной поляризованной мишенью, разработанной и созданной российскими участниками международной коллаборации A2 (Университет г.Майнц, Германия). Высокая эффективность и низкий порог регистрации протонов отдачи в мишени открыли новые возможности в исследовании спиновой структуры протона. Поляризация протонов мишени составила $\approx 65\%$, время поддержания поляризации при температуре 45 мК в магнитном поле 0,4 Т около 100 часов. На пучке поляризованных меченых фотонов измерены поляризационные наблюдаемые в реакциях фоторождения π^0 и π^+ мезонов, а также асимметрия сечения комптоновского рассеяния, позволяющая извлечь модельно независимые данные о спиновых поляризуемостях протона.

ИЯИ РАН в коллаборации A2, Григорий Манович Гуревич, Валерий Павлович Лисин,
gurevich@срс.inr.ac.ru

Сверхпроводимость в H_2S с рекордной T_c

Методом синхротронной мёссбауэровской спектроскопии (NFS) был исследован эффект вытеснения магнитного поля из сверхпроводящего сероводорода H_2S при высоком давлении порядка 150 ГПа [1]. Было продемонстрировано эффективное вытеснение внешнего магнитного поля из объёма H_2S сжатого до давления ~ 150 ГПа при температурах вплоть до 145 К [1]. В качестве датчика магнитного поля использовалась тонкая фольга $Sn-119$, помещённая в объём сверхпроводника H_2S . Что полностью подтверждает появление сверхпроводящей фазы в H_2S при давлениях порядка 130-170 ГПа с рекордной на сегодняшний день температурой перехода $T_c \sim 203$ К [1, 2, 3]. Это достижение непосредственно имеет отношение к одной из важнейших фундаментальных проблем - проблеме металлического водорода.

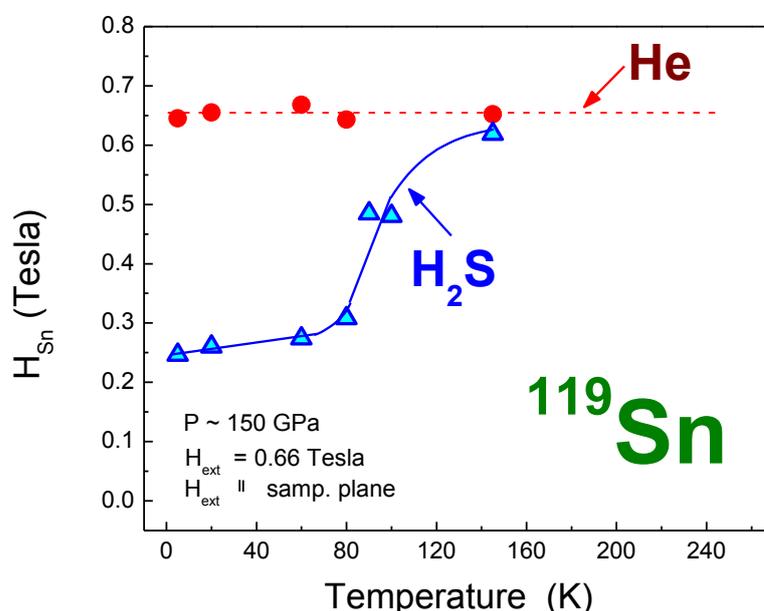


Рис. 1. Температурная зависимость величины среднего магнитного поля на ядрах фольги ^{119}Sn внутри сероводорода сжатого до 150 ГПа (треугольные символы) в сравнении с постоянным полем, равным внешнему (~ 0.66 Тесла), на ядрах такой же фольги ^{119}Sn , помещённой в гелий, сжатый до таких же давлений.

Литература

- [1] I. A. Troyan, A. G. Gavriliuk, R. Ruffer, A. Chumakov, A. A. Mironovich, I. S. Lyubutin, D. Perekalin, A. Drozdov, M. Eremets, "Observation of superconductivity in hydrogen sulfide from nuclear resonant scattering", *Science* **351**, 1303-1306 (2016).
- [2] A. P. Drozdov, M. I. Eremets, I. A. Troyan, V. Ksenofontov, S. I. Shylin, "Conventional superconductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system", *Nature* **525**, 73-76 (2015).
- [3] Viktor Struzhkin, "Squeezing into superconductivity", *Science* **351**, 1260-1261 (2016)

ИЯИ РАН, Александр Григорьевич Гаврилюк, (495)851-98-87

Запуск специальной диагностики международного комплекса European XFEL

На высоком уровне ВЧ мощности запущена первая станция системы специальной диагностики пучка TDS для измерений продольных характеристик сгустков электронов сверхвысокой яркости; обладает недостижимой для других методов измерений точностью.

Разработка и создание измерителей формы сгустков ускоренных частиц

Созданы измерители формы сгустков для линейных ускорителей ионов ряда ускорительных центров: LANSCE (США), GSI (Германия) и ЦЕРН

ИЯИ РАН, Александр Владимирович Фещенко, feschenk@inr.ru

Обеспечение работы сильноточного линейного ускорителя ИЯИ РАН

На сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено шесть сеансов, направленных на выполнение государственного задания и договорных обязательств Института, обеспечено проведение как фундаментальных, так и прикладных исследований.

ИЯИ РАН, Александр Владимирович Фещенко, feschenk@inr.ru

ИННОВАЦИИ

Метод одновременного выделения ^{225}Ac и ^{223}Ra из металлического тория

Совместно с МГУ им. М.В. Ломоносова завершена разработка радиохимической методики одновременного выделения ^{225}Ac и ^{223}Ra из мишени металлического тория, облученного протонами средних энергий. Эти радионуклиды являются α -излучателями, перспективными для проведения направленной терапии целого ряда онкологических заболеваний (таргетная альфа-терапия). Методика включает жидкостную экстракцию, ионообменную и экстракционную хроматографию и разработана для переработки в «горячих» камерах ториевых мишеней высокой активности, облученных протонами средних энергий (160 МэВ и ниже) на линейном ускорителе ИЯИ РАН. Метод позволяет получать большие количества ^{225}Ac и ^{223}Ra , спрос на которые постоянно растет, для широкого использования в ядерной медицине.

ИЯИ РАН, МГУ Борис Леонидович Жуйков 9037877871 bz@inr.ru

Разработана методика исследования состава и радиационно-защитных свойств материалов с использованием методов нейтрон-активационного анализа и γ -поглощения в широком диапазоне энергий γ -квантов

Разработана методика исследования состава и радиационно-защитных свойств материалов с использованием методов нейтрон-активационного анализа и γ -поглощения в широком диапазоне энергий γ -квантов. Необходимость данной разработки определяется, в частности, важностью контроля за производством и состоянием аварийной защитной одежды изолирующего типа – важной составляющей обеспечения безопасности на ядерных объектах. Особенностью методики является исследование γ -поглощения в широкой области энергии γ -квантов, используя γ -источники, произведенные на нейтронном источнике тепловых нейтронов ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН, а также проведение нейтрон-активационного анализа для исследования элементного состава материала. Методика проверена на образцах защитных материалов, предоставленных изготовителем защитной одежды пожарных АЭС АО «ПТС». По результатам проверки в ИЯИ сертификат на изготовленную спецодежду был продлен.

Yu.M. Burmistrov, E.S. Konobeevski, M.N. Lifanov, M.V. Mordovskoy, V.G. Nedorezov, Zuyev S.V. / STUDY OF RADIATION-PROTECTIVE PROPERTIES OF MATERIALS USING γ -RAY ATTENUATION METHOD IN A WIDE RANGE OF γ -ENERGIES // 66-я международная конференция по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Ядро-2016». Саров, 11-14 октября 2016 г. Тезисы. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2016, с. 174.

ИЯИ РАН Михаил Николаевич Лифанов lifanov@lebedev.ru