ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2016



Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) — ведущий российский научный центр мирового значения. Именно в ФИАН было открыто и объяснено излучение Вавилова—Черенкова, созданы генераторы и усилители, основанные на лазерно-мазерном принципе, создана теория сверхпроводимости и сверхтекучести, открыт принцип автофазировки и явление самофокусировки световых лучей в нелинейных средах, предложена концепция суперсимметрии и сделан целый ряд других как экспериментальных, так и теоретических открытий мирового уровня. Семь сотрудников ФИАН были удостоены Нобелевских премий.

В настоящее время Физический институт им.П.Н.Лебедева продолжает активно работать практически по всем направлениям современной физики в рамках семи основных тематик Государственного задания:

1. Фундаментальная и прикладная фотоника, лазерная физика, квантовая и нелинейная оптика; оптика и спектроскопия атомно-молекулярных систем, микро- и наноструктур, конденсированных сред и композитных материалов.

2. Физические основы лазерных, фотонных и оптоэлектронных технологий и взаимодействия лазерного излучения с веществом для решения задач навигации, управляемого термоядерного синтеза, информатики и биомедицины.

3. Физика конденсированного состояния: новых материалов, высокотемпературных сверхпроводников, молекулярных и твердотельных структур нанофотоники, наноэлектроники и спинтроники.

4. Физическая электроника, физика плазмы, пучков заряженных частиц и источников ВУФ и рентгеновского излучения.

5. Физика фундаментальных взаимодействий, ядерная и нейтринная физика, физика элементарных частиц, космических лучей и атмосферных процессов, гамма-астрономия, темная материя.

6. Астрофизика и космология, физика Солнца; рентгеновская, инфракрасная и радиоастрономия; наземно – космическая интерферометрия.

7. Физика нелинейных явлений, моделирование гидродинамических, оптических, астрофизических, физико-химических и медико-биологических систем. В Физическом институте им. П. Н. Лебедева работает более полутора тысяч сотрудников, в том числе более 200 докторов и около 400 кандидатов наук, 25 членов Российской академии наук. В 2016 году сотрудники ФИАН опубликовали более 1100 публикаций, индексируемых в системе Web of Science, а количество ссылок без учета самоцитирований превышает двадцать пять тысяч.

Физический институт им. П. Н. Лебедева является лидером российской науки по реализации крупных проектов как фундаментального, так и прикладного характера. К таким проектам безусловно относится космический радиоинтерферометр «РадиоАстрон», который в 2016 году отметил пятилетие успешной работы на орбите Земли. За это время с помощью «РадиоАстрона» были получены уникальные данные о структуре удаленных астрофизических объектов и эта работа продолжается. К важнейшим прикладным разработкам ФИАН 2016 года относятся создание первого российского полноразмерного томографа с полем 1,5 тесла и открытие центра протонной терапии в городе Обнинск с протонным комплексом «Прометеус», разработанным в Физико-техническом центре ФИАН. Закончена модернизация Тянь-Шаньской высокогорной научной станции, где создан новый комплекс детекторов для изучения состава и спектра различных компонент космического излучения в широком диапазоне энергий.

Завершается строительство и комплектация современным научным оборудованием Лаборатории высокотемпературной сверхпроводимости, идет работа в рамках крупных космических проектов "Миллиметрон", "Арка", "Гамма–400", ведутся работы в рамках программы "Глонасс 2012–2020".

К научной работе в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН активно привлекается молодежь. ФИАН сотрудничает с 26 кафедрами ведущих ВУЗов России, более 130 студентов выполняли свои квалификационные работы в Институте. В 2016 году в аспирантуре ФИАН обучалось 77 молодых исследователей, одновременно ведущих научную работу в лабораториях. Все это позволяет Физическому институту им. П. Н. Лебедева оставаться ведущим мировым научным центром и с уверенностью смотреть в будущее.

Настоящий сборник содержит основные результаты исследований, выполненных в ФИАН в 2016 году.

wannt

директор ФИАН чл.-корр. РАН

Николай Николаевич КОЛАЧЕВСКИЙ

Земле возмущение, примерно симметричное относительно линии Земля-Солнце, проявилось в данных мониторинга солнечного ветра на радиотелескопе БСА ФИАН как заметное усиление уровня межпланетных мерцаний с началом 18 декабря около 13 часов московского времени. Фронтальная часть возмущения при этом находилась примерно на середине расстояния между Солнцем и Землей. Приближающееся к Земле возмущение привело к усилению мерцаний в послеполуденные и вечерние часы 19 декабря и в течение суток 20 декабря. По оценкам средняя скорость распро-

странения возмущения между вспышкой на

Солнце и началом усиления мерцаний составила около 700 км/с. Средняя скорость распространения между Солнцем и Землей оказалась близкой к этой величине. В ночные часы с 20 на 21 декабря нами зафиксировано резкое усиление уровня ионосферных мерцаний, причем характерное время флуктуаций ионосферного происхождения уменьшилось примерно на порядок по сравнению со спокойными условиями. Полученные результаты показывают возможности использования результатов мониторинга межпланетных мерцаний для краткосрочного прогноза геофизической обстановки.

В эксперименте CLOUD в ЦЕРНе найден механизм влияния космических лучей на образование глобальной облачности

Новые результаты эксперимента свидетельствуют о том, что ионизация, производимая космическими лучами в атмосфере, увеличивает скорость образования кластеров молекул на 1–2.5 порядка по сравнению с нейтральной нуклеацией. Этот эффект значительно возрастает при уменьшении относительной влажности среды ниже 20%. Исследован процесс нуклеации в присутствии альфа-пенина.

Одной из задач проекта CLOUD, проводимого в ЦЕРНе, является изучение механизма образования кластеров молекул (частиц) в земной атмосфере, на которых впоследствии образуются центры конденсации водяных паров, являющиеся основой формирования глобальной облачности, и исследование роли космических лучей в этих процессах. Исследования процессов нуклеации проводились в присутствии альфа-пенина (С₁₀Н₁₀), который является одним из наибо-



Time [UTC]

Рис. 1. Характеристики ионно-индуцированной нуклеации. Временные изменения концентрации образованных кластеров в присутствии альфа-пенина (С, Н,). Красная линия для частиц с диаметром 1.7 нм, голубая — для 2.8 нм. Пунктирные линии — результаты расчетов образования кластеров с использованием модели AEROCLOUD.

Результаты опубликованы:

1. Chashei I.V., Tyul'bashev S.A., Shishov V.I., Subaev I.A. Interplanetary and ionosphere scintillation produced by ICME 20 December 2015. Space Weather (AGU).

лее распространенных природных соединений в земной атмосфере.

Новые результаты, в частности, свидетельствуют о том, что ионизация, производимая космическими лучами в атмосфере, увеличивает скорость образования кластеров молекул (размером в несколько нанометров) на 1-2.5 порядка по сравнению с нуклеацией на нейтральных частицах (рис. 1; временные интервалы "GCR" и "neutal" соответственно). Скорость ионно-индуцированной



Рис. 2. Зависимость скорости нуклеации (для частиц с размером 1.7 нм) от величины относительной влажности среды в случае ионизации, производимой космическими лучами в атмосфере (красные треугольники) и в отсутствии ионизации (голубые кружки).

Результаты опубликованы:

- 1. J. Duplissy, J. Merikanto, A. Franchin, ..., V. Makhmutov, et al., Effect of ions on sulfuric acid water binary particle formation II: Experimental data and comparison with QC-normalized classical nucleation theory, J. Geophys. Res. Atmos. 121 (4) 1752–1775 (2016).
- 2. J. Kirkby, J. Duplissy, K. Sengupta, ..., V. Makhmutov, ..., Y. Stozhkov, et al., Ion-induced nucleation of pure biogenic particles, Nature 533 (7604) 521–540 (2016).
- H. Gordon, K. Sengupta, A. Rap, J. Duplissy, ..., V. Makhmutov, Mathot, ..., Y. Stozhkov, et al., Reduced anthropogenic aerosol radiative forcing caused by biogenic new particle formation, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 113 (43) 12053–12058 (2016).
- 4. E.M. Dunne, H. Gordon, A. Kurten, ..., V. Makhmutov, ..., Y. Stozhkov, et al., Global particle formation from CERN CLOUD measurements, Science 354 (6316) 1119–1124 (2016).
- 5. В.С. Махмутов, Е.Н. Мочалова, Ю.И. Стожков, Тайны облаков, Химия и жизнь № 9 2–5 (2016).

Международный эксперимент ПАМЕЛА: исследование космических лучей и античастиц в широком интервале энергий

С помощью орбитального спектрометра ПАМЕЛА международной коллаборацией ученых из России, Италии, Швеции и Германии сделан ряд открытий в области физики космических лучей и античастиц высоких энергий. Обнаружен рост отношения потоков галактических позитронов к полному потоку лептонов (электроны плюс позитроны) с увеличением энергии этих частиц; впервые измерен спектр антипротонов в галактических космических лучах, спектр первичных электронов; измерен спектр протонов и гелия и доказан сложный характер спектров в области энергий сотен ГэВ/нуклон.

Спектрометр ПАМЕЛА для исследования космических лучей и античастиц в диапазоне энергий 10⁹—10¹³ эВ был разработан коллаборацией ученых из России, Италии, Швеции и Германии. Прибор был установлен на борту отечественного спутника Ресурс ДК1 и запущен на орбиту 15 июня 2006 г. с космодрома Байконур. Аппаратура успешно проработала почти 10 лет.

лептонов (электроны плюс позитроны) с увеличением энергии этих частиц от 5 до 150 ГэВ. Наблюдаемый рост противоречит общепринятому механизму образования позитронов в нашей Галактике. Это явление получило название эффекта ПАМЕЛЫ (см. рис. 1). Позднее этот результат получил подтверждение в космических экспериментах Ферми и АМС–2. Впервые в эксперименте ПАМЕЛА с высокой точностью был измерен энергетический спектр галактических антипротонов в диапазоне энергий до 200 ГэВ (см. рис. 2).

Важнейшим достижением этого эксперимента было открытие роста отношения потоков галактических позитронов к полному потоку



Рис. 1. Отношение потоков галактических позитронов к полному потоку лептонов (электроны плюс позитроны): красные точки — данные спектрометра ПАМЕЛА, синие точки — данные АМС—2 на Международной космической станции, коричневые квадраты — данные космического эксперимента Ферми. Штриховая кривая — расчет по стандартной модели

16



Рис. 2. Энергетический спектр галактических антипротонов: красные точки – результаты спектрометра ПАМЕЛА, голубые точки – данные АМС на Международной космической станции.

Согласно общепринятому представлению, античастицы (позитроны и антипротоны) образуются за счет взаимодействия космических протонов и ядер с ядрами галактического вещества. Детальные расчеты потока антипротонов и сравнение их результатов с экспериментом показывает, что имеется также избыток антипротонов по сравнению с ожидаемым. В настоящее время удовлетворительного объяснения этих результатов не найдено. Возможно,

избыточные античастицы (позитроны и антипротоны) возникают при взаимодействии космических лучей с частицами темной материи.

Прецизионные измерения спектров галактических протонов и ядер гелия в эксперименте ПА-МЕЛА показали сложную зависимость от энергии в области энергий сотен ГэВ/нуклон. Такую зависимость можно объяснить при наличии близких источников космических лучей, находящихся на расстоянии порядка сотен парсек.

Результаты опубликованы:

- 1. PAMELA collaboration. An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5– 100 GEV. Nature, 2009, v. 458(7238), 607-6092.
- 2. PAMELA collaboration. New measurement of the antiproton-to-proton flux ratio up to 100 GeV in the cosmic ray radiation. Phys. Rev. Lett., 2009, v. 102(5), 051101/1–5.
- 3. PAMELA collaboration. PAMELA results on the cosmic-ray antiproton flux from 60 MeV to 180 GeV in kinetic energy. Phys. Rev. Lett., 2010, v. 105(12), 121101/1–5.
- 4. PAMELA collaboration. PAMELA measurements of cosmic-ray proton and helium spectra. Science, 2011, v. 332(6025), 69-72.
- 5. PAMELA collaboration. New upper limit on strange quark matter abundance in cosmic rays with the PAMELA space experiment. Phys. Rev. Lett., 2015, v. 111(11), 1111011/1–5.
- 6. PAMELA collaboration. Search for anisotropies in cosmic-ray positrons detected by the PAMELA experiment. Astrophys. J., 2015, v. 811(1), 21/1-9.
- 7. PAMELA collaboration. Time dependence of the e- flux measured by PAMELA during the 2006 July–2009 December solar minimum. Astrophys. J., 2015, v. 810(2), 142/1–13/

Высокоточные магнитно-резонансные томографы на базе сверхпроводящего магнита с полем 1.5 Тл

Разработана и проходит медицинскую регистрацию серия уникальных магнитно-резонансных томографов для всего тела на базе сверхпроводящего магнита с индукцией поля 1.5 Тл. Для него создано и зарегистрировано отечественное программное обеспечение. Получены томограммы высокой точности, не уступающие зарубежным аналогам. Разработана революционная технология безгелиевых томографов.

Творческий коллектив ФИАН под руководством проф. Демихова Е.И. создали первый отечественный высокопольный (с полем 1.5 Тл) томограф FullScan, который по многим параметрам превосходит зарубежные аналоги, продемонстрировал конкурентоспособные эксплуатационные характеристики и удобство в работе.



Рис. 1. Томограф FullScan.

FullScan ничем не уступает последним моделям и обладает целым рядом преимуществ среди которых цена, программное обеспечение, сервисное обслуживание и комфортность работы для оператора и пациентов.

Основные достоинства томографа FullScan:

- 1. Российская локализация по комплектующим на данный момент 80 %.
- 2. Предлагаемая цена аппарата FullScan в

-8 -10

два раза ниже, чем стоимость западных аналогов.

3. Преимущество в потребительских свойствах:

• FullScan – это малошумящий томограф с шумами в 1000 раз ниже, чем у конкурентов. Это важное свойство делает сканирование томограмм комфортным для пациента и увеличивает их количество.

• Собственное программное обеспечение высокого уровня, которое включает рабочее место врача. Это ПО позволяет проводить обработку томограмм и улучшать пространственное разрешение до 0.4 мм.



Рис. 2. Временная стабильность Full Scan и другие параметры превосходят западных производителей.

Изучение временной структуры и энергетических спектров высокоэнергичных излучений во время гроз

На установке "Гроза", расположенной на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН, проведены измерения проникающих излучений различной природы в периоды грозовой активности.

ключен к единой системе регистрации, по-

зволяющей проводить независимые изме-

рения всех видов проникающих излучений,

сопровождающих атмосферный разряд. На

установке измерялись потоки электронов и

нейтронов, радио и гамма-излучения, а так-

всех видов излучений в режиме мониторин-

га с временным интервалом записи 10 се-

кунд (рис. 1а), а также в триггерном режиме

с временным разрешением 160 микросе-

RADIO

CAPACITOR

AMMA > 30 keV

AMMA > 50 keV

GAMMA > 80 keV

GAMMA > 110 keV

GAMMA > 160 keV

GAMMA > 240 keV

GAMMA > 330 keV

IONIZATION LAYER 1

IONIZATION LAYER 1+2

IONIZATION LAYER 1+2+3

THERMAL NEUTRONS HIGH ENERGY NEUTRONS

Детально измерена временная структура

же электрическое поле и его вариации.

Установка "Гроза", расположенная на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН на высоте 3400 м над уровнем моря, включает в себя систему регистрации широких атмосферных ливней, систему сцинтилляционных детекторов гамма-излучения на основе кристаллов Nal, систему спектрометров для регистрации быстрых электронов, систему регистрации радиоизлучения, датчики электрического поля, нейтронный супермонитор, детекторы тепловых нейтронов. Весь комплекс детекторов под-

21.07.2013 // 06:37:51 ELECTRIC FIELD kV/m 21.lul 2013 kV/(m.s) µV Milliller mon 2000 700 GAMMA >330keV 1500 600 500 150 his GAMMA >1500keV in 160 Np/10s120 90 number **IONIZATION LAYER 1** , 12000 11000 g 1000 pulse **IONIZATION LAYER 4** 1600 , ել ենինեւ դեմ է է S 140 COUNTING RATE, **IONIZATION COINC 1+2** 700 6000 2400 IONIZATION COINC 1+2+3+4 **IONIZATION LAYER 1+2+3+4** LIGHTNING TRIGGER \$ -1.6-1.28 0.96-0.32-0.32-0.96-1.28 1.92-1.92-1.92-2.28 2.28 3.2-3.2-3.2-08:12 08:48 09:24 09:59 10:35 06:26 07:01 07:37 TIME RELATIVE TO TRIGGER .ms Time of the date 21 Jul 2013, UT

Рис. 1. Временные записи различных видов излучений в периоды грозовой активности: слева (а) – в режиме мониторинга с временным разрешением 10 сек, справа (б) – в триггерном режиме с временным разрешением 160 мкс.

кунд (рисунок 1б). Определены энергетические спектры электронов и гамма-квантов на различных стадиях развития грозового разряда (рис. 2). Показана значительная разница в величинах относительных потоков излучений в зависимости от временного



Рис. 2. Энергетические спектры гамма-излучения (кружки) и ускоренных электронов (треугольники). 1 и 2 – спектры гамма-излучения вблизи двухмолниевого триггера, 3 – спектр гамма излучения в режиме мониторинга моде, 4 и 5 — соответственно спектры гамма-излучения и электронов, рассчитанные по программе GEANT-4 в режиме убегания электронов в электрическом поле грозового облака, 6 – предельные значения потока фоновых нейтронов, 7 – верхний предел на поток нейтронов вблизи двухмолниевых триггеров, 8 и 9 – спектры быстрых электронов, измеренных группой А. Чилингаряна (Alikhaniyan Physics Institute, Армения) в эксперименте на горе Арагац.

Результаты опубликованы:

1. A.V. Gurevich, A.M. Almenova, V.P. Antonova, A.P. Chubenko, A.N. Karashtin, O.N. Kryakunova, V. Yu. Lutsenko, G.G. Mitko, M.O. Ptitsyn, V.V. Piscal, V.A. Ryabov, N.M. Salikhov, T.Kh. Sadykov, A. L. Shepetov, Yu.V. Shlyugaev, W.M. Thu, L.I. Vil'danova, N.N. Zastrozhnova, K.P. Zybin, Observations of high-energy radiation during thunderstorms at Tien-Shan, Physical Review D 94, 023003 (2016).



разрешения регистрирующей аппаратуры. Новый комплексный подход к измерениям проникающих излучений открывает новые возможности в исследованиях грозовых разрядов, особенно на начальной ста-

Отделение ядерной физики и астрофизики

Первые результаты, полученные на новом высокогорном комплексе Тянь-Шаньской научной станции ФИАН по изучению космического излучения

На Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН создан новый комплекс детекторов для изучения состава и спектра различных компонент космического излучения в широком диапазоне энергий, а также поиска экзотических явлений во взаимодействиях космических лучей.

В настоящее время комплекс включает в себя две разнесенные ливневые установки, систему детекторов для определения направления прихода широкого атмосферного ливня (ШАЛ), подземные системы мюонных и адронных детекторов для регистрации глубокопроникающей компоненты космического излучения, гибридный ионизационно-нейтронный калориметр, нейтронный супермонитор, а также детекторы тепловых нейтронов. Весь комплекс детекторов подключен к единой системе регистрации, созданной на базе современной электроники, позволяющей про-

водить независимые измерения электромагнитной, мюонной и адронной компонент ШАЛ. Особое внимание уделено детальному изучению стволов ШАЛ и их тонкой структуры с целью исследования характеристик адронных взаимодействий в кинематической области фрагментации налетающей частицы. На ливневых установках комплекса с хорошей статистической обеспеченностью измерен спектр первичного космического излучения с энергиями до 10¹⁷ эВ (рис.1). Отчетливо виден излом спектра космического излучения при энергии выше 5·10¹⁵ эВ.





Интересный результат был получен на гибридной системе детекторов, включающих наземную ливневую установку и подземный нейтронный монитор, расположенный на глубине 2000 г/см² (что эквивалентно пороговой энергии вертикального мюона 5 ГэВ), непосредственно под ливневой установкой. На рис. 2 показаны спектры кратности нейтронов, регистрируемых верхней и нижней секциями нейтронного монитора в условиях внутреннего и внешнего триггера.

HADRON ENERGY, E_h, GeV $5 \cdot 10^{-1}$ $3 \cdot 10^{1}$ s^{-1} m^{-2} 10- $\Delta N / \Delta M \cdot M^3$, 2012-2016; UPPER 2012-2016; LOWER INTENSITY, 2015-2016: UPPER/EAS 2015-2016: LOWER/EAS 100 101 NEUTRON MULTIPLICITY, M

Рис. 2. Спектры кратности нейтронов, регистрируемых верхней и нижней секциями нейтронного монитора. Верхние кривые соответствуют внутреннему нейтронному триггеру, генерируемому в моменты времени, соответствующие быстрому увеличению множественности нейтронов внутри секции. Нижние кривые соответствуют событиям, регистрируемым по триггеру ШАЛ, выработанному ливневой установкой.

Результаты опубликованы:

1. A.P. Chubenko, A.L. Shepetov, V.P. Antonova, R.U. Beisembayev, A.S. Borisov, O.D. Dalkarov, O.N. Kryakunova, K.M. Mukashev, R.A. Mukhamedshin, R.A. Nam, N.F. Nikolaevsky, V.P. Pavlyuchenko, V.V. Piscal, V.S. Puchkov, V.A. Ryabov, T.Kh. Sadykov, N.O. Saduev, N.M. Salikhov, S.B. Shaulov, A.V. Stepanov, N.G. Vildanov, L.I. Vildanova, M.I. Vildanova, N.N. Zastrozhnova, V.V. Zhukov, New complex EAS installation of the Tien Shan mountain cosmic ray station. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 832 (2016), 158–178.

Очевидно, что наблюдается значительная разница в абсолютных интенсивностях нейтронных потоков. Эта разница может быть связана с присутствием глубокопроникающей компоненты космического излучения неизвестного происхождения или с прохождением мюонных ливней с аномально высокой множественностью. С увеличением статистики можно будет более детально исследовать природу таких нестандартных нейтронных событий.



Теоретическое и экспериментальное исследование физики гравитационного взаимодействия ультрахолодного антиводорода

В рамках проекта GBAR по исследованию гравитационных свойств антивещества разработан метод прецизионного измерения гравитационной массы антиводорода с использованием квантовых состояний антиводорода в гравитационном поле Земли вблизи материальной поверхности.

Метод состоит в предварительном формировании квантовых состояний антиводорода за счет эффекта квантового отражения от поверхности и исследовании интерференционных эффектов во временной зависимости количества аннигиляционных событий от времени падения с заданной высоты. Указанный подход позволяет достичь квантового предела в минимизации неопределенности в определении гравитационной массы. Установленная связь между импульсным распределением в квантовом состоянии и временным распределением событий падения на детектор позволяет определить гравитационную массу антиводорода с точностью до 10-4 при статистике в 1000 антиатомов.

Дополнительно исследовались эффекты влияния поверхности на точность определения гравитационной массы при спектро-



Рис. 1. Принципиальная схема устройства для формирования квантовых состояний антиводорода.





скопии и интерферометрии квантовых приповерхностных гравитационных состояний антиводорода. В частности, теоретически исследовались эффекты уширения и вынужденных переходов между гравитационными состояниями за счет остаточных и наведенных зарядов на поверхности зеркала [2]. Разработан формализм, описывающий механизм квенчинга гравитационных состояний антиводорода случайно распределенными точечными зарядами на поверхности. Установлены критические значения плотностей свободных зарядов на поверхности, при которых дополнительное уширение гравитационных состояний за счет взаимодей-





Рис. 3. График зависимости эффективной длины поглощения d при пролете антиводорода вдоль зеркала со скоростью 1 м/с в зависимости от величины свободного заряда Q.

Результаты опубликованы:

- 1. A. Yu. Voronin, V. V. Nesvizhevsky, G. Dufour and S. Reynaud, Quantum ballistic experiment on antihydrogen fall. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 49 054001 (2016).
- 2. Banerjee, D., Biraben F., Charlton M.; Dalkarov O.D., Voronin A.Yu. Towards a test of the Weak Equivalence Principle of gravity using anti-hydrogen at CERN. 2016 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (Cpem 2016) Published: 2016.
- 3. A. Yu. Voronin, E. A. Kupriyanova, A. Lambrecht, V. V. Nesvizhevsky and S. Reynaud, Quenching of antihydrogen gravitational states by surface charges. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 49 205003 (2016).
- 4. A. Beyer, L. Maisenbacher, A. Matveev, R. Pohl, K. Khabarova, T. W. Hänsch and N. Kolachevsky, Active fiber-based retroreflector providing phase-retracing anti-parallel laser beams for precision spectroscopy. Optics Express. 17470. Vol. 24, No. 15 /25 Jul 2016/.

ствий с зарядами сравнивается с собственной шириной гравитационных состояний

над идеально проводящей поверхностью. Представлено активное волокно, обеспечивающее высокое качество коррекции антипараллельных Гауссовых лазерных пучков для прецизионной спектроскопии переходов, чувствительных к доплеровскому смещению. Эффективность предложенного метода иллюстрируется на примере 2S-4P перехода. Данный дизайн чрезвычайно эффективен для определения с высокой точностью постоянной Ридберга и радиуса протона и сравнения полученных величин с аналогичными значениями для атома антиводорода [4].

ФИАН активно развивает научные связи с ведущими международными центрами, участвует в международных научных конференциях. Сотрудники ФИАН также непрерывно работают в международных научных проектах ЦЕРНа (проекты LHC, CLOUD, COMPASS, SHiP и др.) и отдельных научно-исследовательских институтов Европы (Институт М. Планка, INFN и проч.) и США. Помимо этого ФИАН является базой для таких крупных международных проектов, как «ГАММА-400», «РАДИОАСТРОН», МНИЦ «ПАМИР-ЧАКАЛТАЯ», КОРОНА, «XUV СПЕКТРОСКОПИЯ СОЛНЦА», «МИЛ-ЛИМЕТРОН».

ФИАН проводит множество разнообразных научных мероприятий, в которых принимают участие не только российские ученые из различных регионов, но и специалисты из различных стран мира. Остановимся только на нескольких наиболее представительных мероприятиях ФИАН, прошедших в 2016 году.

19th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions

Время проведения – с 22 по 27 августа 2016 года.

Симпозиум проводился под эгидой Международного союза теоретической и прикладной физики (International Union of Pure and Applied Physics – IUPAP), при поддержке ФАНО и РФФИ, при активном участии в подготовке и проведении таких крупнейших научных учреждений, как

- Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ);
- Институт ядерных исследований (ИЯИ) РАН;
- Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт» (НИЯУ МИФИ);
- Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ).

121



Участники ISVHECRI-2016.

Принимая во внимание возрастающую взаимосвязь между астрофизикой и физикой высоких энергий, данный симпозиум, проводящийся каждые два года, предоставляет ученым-физикам, работающим в области астрофизики и физики высоких энергий, в частности, изучающим взаимодействия ча- а также результаты ускорительных эксперистиц высоких энергий как в космических лу-

чах, так и в ускорительных экспериментах, возможность обмениваться результатами своей работы. В связи с этим, главными темами ISVHECRI-2016 являлись результаты исследований космических лучей высоких энергий, связанных с адронными взаимодействиями, ментов, имеющих отношение к астрофизике.

Международное сотрудничество