

*“Везде исследуйте всечасно,
что есть велико и прекрасно”.*
М. В. Ломоносов

Некоторые основные научные результаты, полученные в НИИЯФ МГУ в 2010 году

М.И. Панасюк, Е.А. Романовский, В.И. Саврин

В 2010 г. значимые научные результаты получены по всем научным направлениям, развиваемым в НИИЯФ МГУ.

Направления “Астрофизика космических лучей” и “Космическая физика” Обработка экспериментальных данных международного эксперимента Тунка-133 за сезон 2009-2010 гг. позволила определить энергетический спектр первичных космических лучей в диапазоне от $3 \cdot 10^{15}$ до 10^{17} эВ. Этот спектр оказался намного сложнее, чем предполагалось ранее. В нем наблюдаются две статистически обеспеченные особенности: резкое изменение наклона спектра при энергии $2 \cdot 10^{16}$ эВ и значительное повышение интенсивности («пик») при энергии $8 \cdot 10^{16}$ эВ. Относящееся к первой особенности уменьшение показателя спектра примерно на 0.2, происходящее при увеличении энергии, подтверждает новейший результат, полученный на установке KASCADE-Grande (Германия-Италия). «Пик» при энергии $8 \cdot 10^{16}$ эВ наблюдался ранее на установке GAMMA (Армения) и на меньшем уровне достоверности на установках Тунка-25 и ШАЛ-МГУ. Сложное поведение энергетического спектра проливает новый свет на происхождение космических лучей.

Выполненный ранее анализ полученного на установке ШАЛ МГУ экспериментального спектра по числу частиц в области $N_e > 10^7$ ($E_0 > 10^{17}$ эВ) показал наличие в области энергий выше 10^{17} эВ дополнительной компоненты, не проявляющейся в области более низких энергий. За отчетный период аналогичный анализ был проведен для спектра по числу мюонов. Спектр ШАЛ по числу мюонов был использован для определения потока космических лучей, обусловленных дополнительной компонентой, аналогично тому, как это было сделано ранее для спектра ШАЛ по числу частиц. В предположении протонного состава энергетический спектр дополнительной компоненты в области первичных энергий $10^{17} \leq E_0 \leq 10^{18}$ эВ характеризуется показателем $\gamma = (2.63 \pm 0.09)$, что хорошо согласуется с величиной, полученной из спектра по числу частиц ($\gamma = (2.55 \pm 0.09)$).

Разработана наиболее точная (из возможных на сегодняшний день) схема вычисления радиоизлучения ШАЛ, в которой ливень моделируется методом Монте-Карло, а излучение вычисляется от индивидуальных частиц ШАЛ. Схема является устойчивой и может быть использована для расчета поля радиоизлучения при любых первичных энергиях ливня, развивающегося в любой материальной среде.

Исследована корреляция пространственного распределения радиоизлучения в интервале частот 10–100 МГц с продольным развитием ШАЛ с энергиями $E_0 = 10^{14}$ – 10^{17} эВ. Неопределенность восстановления энергии первичной частицы по радиоизлучению минимальна в районе 100 м и не превышает (без учета ошибок измерения) 5%, а неопределенность восстановления глубины максимума ШАЛ по данным о его радиоизлучении составляет (без учета экспериментальных ошибок) 15–20 г/см².

В международном эксперименте OPERA сделан важный шаг в направлении давно ожидаемого открытия нейтринных осцилляций в экспериментах по их прямому наблюдению. Задача данного эксперимента – выделить взаимодействия таонных нейтрино на преобладающем фоне взаимодействий нейтрино других ароматов по характерной особенности топологии события, связанной с распадами короткоживущего тау-лептона. Основным признаком образования тау-лептона является излом трека, который образуется при его распаде. В 2010 г. обнаружено событие, которое считается первым кандидатом на взаимодействие таонного нейтрино. Найденное событие-кандидат может рассматриваться как распад тау-лептона в адронном канале.

Проведены экспериментальные исследования радиационных полей магнитосферы Земли на основе измерений на борту нескольких ИСЗ ГЛОНАСС (круговая орбита на высоте 20 тыс. км) радиометром дозы (РД) и на борту солнечно-синхронного спутника «Метеор-3» (полярная орбита с высотой ~1000 км) приборами МСГИ-МКА и СКЛ-М, регистрирующими потоки электронов и протонов с энергией от 50 эВ до сотен МэВ. Приборы были разработаны и созданы в НИИЯФ МГУ. Получен большой объем экспериментальной космофизической информации. В 2010 г. состоялись успешные запуски трех ИСЗ серии ГЛОНАСС с научной аппаратурой НИИЯФ. Продолжалась разработка и создание комплектов научной аппаратуры для исследования радиации в околоземном космическом пространстве на борту спутников.

По данным спутников NOAA/POES -15, -16, -17 исследовалось долготное распределение потоков протонов кольцевого тока на высотах около 800 км во время магнитной бури 21-22 января 2005 г. Обнаружено, что на главной фазе и на фазе восстановления магнитной бури максимальные потоки регистрируются в ночном секторе магнитосферы, а минимальные - в утреннем. Во время внезапного начала бури зарегистрирован рост потоков в полуденной магнитосфере, связанный с поджатием магнитопаузы и перемещением частиц кольцевого тока в область усиленного магнитосферного магнитного поля.

Показано, что с учетом нелинейного искажения магнитного поля диполя осесимметричным давлением плазмы, величина наблюдаемой во время большой магнитной бури в феврале 1986 г. Dst-вариации соответствует возмущению, вызываемому осесимметричной частью кольцевого тока. Результаты анализа подтверждают традиционную точку зрения о доминирующем вкладе кольцевого тока в качестве основного источника Dst-вариации.

Исследование в минимуме 23-го цикла солнечной активности состояния внешнего радиационного пояса релятивистских электронов в магнитосфере Земли по данным измерений на ИСЗ ГЛОНАСС показало, что аномально длительный минимум солнечной активности привел к заметному вырождению пояса. Значения суточной дозы радиации во внешнем поясе уменьшились примерно на порядок величины по сравнению с расчетными значениями, полученными по моделям AE-8 и НИИЯФ-91.

Путем численного моделирования исследована совместная эволюция хромосферной солнечной плазмы и магнитного поля, а именно зона контакта разнонаправленных магнитных полей, и выявлены тонкие плазменные структуры, которые за минуты возникают и происходят в результате особой пограничной плазменной неустойчивости. Изучены случаи значительного нагрева плазмы в такой зоне.

Исследование турбулентных свойств плазмы солнечного ветра, а именно перемежаемости флуктуаций потока ионов солнечного ветра, в ранее неисследованной области сравнительно высоких частот (0.01-16 Гц) по данным спутника ИНТЕРБОЛ-1 показало, что в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле наблюдается высокий уровень перемежаемости турбулентности и этот уровень растет при переходе к малым масштабам вплоть до временного масштаба 30-60 с, на масштабах от 0.1 до 100 с поведение перемежаемости нестабильно.

В 2010 г. продолжал успешную работу спутник «Метеор-М №1» с приборами НИИЯФ МСГИ-МКА и СКЛ-М на борту для регистрации потоков электронов и протонов с энергией от 50 эВ до сотен МэВ. Поступающая информация оперативно обрабатывается в Центре данных космического мониторинга НИИЯФ МГУ и используется для текущего анализа радиационных условий в околоземном космическом пространстве.

Получены новые результаты относительно роли процессов ускорения частиц до высоких энергий в общей картине развития вспышки. Показано, что электроны до сотен кэВ ускоряются в самом начале вспышечного процесса и вносят значительный вклад в разогрев излучающего вещества. Собственно импульсная фаза мощных вспышек длится 2-8 мин и проходит через две последовательные стадии: на первой стадии длительностью 1-3 минуты ускоряются преимущественно электроны вплоть до энергий 30-300 МэВ. Затем внезапно за 1-4 с ускоряются протоны с энергией >300 МэВ. Ускорение протонов таких энергий, уменьшаясь по интенсивности, продолжается после окончания импульсной фазы. Начало эффективного ускорения протонов до высоких энергий совпадает со временем максимальной скорости изменения магнитного потока и максимумом энерговыделения во вспышке с точностью не хуже 100 с. Запаздывание начала 38 GLE по отношению к моменту регистрации электромагнитных излучений "основного энерговыделения" на 1 а.е. не превышало 1-7 минут в 72% событий, что доказывает именно вспышечное происхождение протонов, наблюдаемых в самой начальной фазе наземных возмущений.

Проведен анализ флюенсов СКЛ, измеренных за 1998-2006 годы в диапазоне энергий от 0.05 до 500 МэВ/нуклон. Показано, что энергетические спектры флюенсов имеют два участка, описываемые степенными функциями от энергии на нуклон: жесткий, при низких энергиях ($E < 10$ МэВ/нуклон) и мягкий, при высоких энергиях ($E > 30$ МэВ/нуклон). Определены основные закономерности, присущие параметрам спектров разных частиц.

Экспериментально по данным прибора СОНГ (КОРОНАС-Ф) показано существование квазипериодических колебаний жесткого рентгеновского и гамма-излучения солнечных вспышек с периодом около 40-60 секунд во вспышках 1 января 2005 г. и 29 мая 2003 г. Обнаружено, что магнитное поле Солнца на уровне хромосферы в области открытых силовых линий, имеющих южную полярность, коррелирует с параметром магнитной активности Акасофу, характеризующим энергетическую составляющую солнечного ветра и эффективность его взаимодействия с магнитосферой Земли.

Проведено изучение динамики солнечных частиц (электронов, протонов и альфа-частиц) на большом статистическом материале. Исследовались экспоненциальные спады ($J(t) \sim \exp t/\tau$, τ – характеристическое время спада) всех событий с 1974 по 2010 гг. Проведен поиск закономерностей вариаций форм зависимостей $\tau(R)$, R – жесткость частиц, от события к событию при их последовательном наступлении. Показано, что экспоненциальный спад потоков частиц, проявляющийся при одинаковых интегральных свойствах окружающего пространства, характеризует однородность и квазистационарность пространства в некотором околосолнечном секторе. Единичные события позволяют проследить за состоянием пространства максимум в течение 3-5 дней, а выделенные последовательные события (серии событий) с одинаковыми экспоненциальными спадами позволяют расширить эти сектора однородности пространства до 10-15 дней, т.е. охватить сектора, занимающие половину или более околосолнечного пространства.

Изучены потоки частиц супратермальных энергий (0.3-10 МэВ/нукл) в гелиосфере при спокойном Солнце. Определение природы этих частиц представляет существенный интерес, так как они, в отличие от более энергичных частиц, генерируемых в солнечных вспышках, присутствуют постоянно в межпланетном пространстве – при активном и при спокойном Солнце. Для определения возможных источников этих частиц исследовались энергетические спектры ионов С, О и Fe, относительное содержание ионов и энергетические зависимости отношений Fe/O и C/O по данным космического аппарата ACE в спокойные периоды 23 цикла

солнечной активности. Для выбора спокойных интервалов были разработаны специальные критерии, обеспечивающие отсутствие спорадических возрастных потоков частиц любого происхождения. Всего в 23 циклах было выбрано 35 таких интервалов. Показано, что потоки исследуемых частиц в спокойные периоды разбиваются на 3 типа. Эти 3 типа потоков супратермальных ионов как различаются формой энергетических спектров C, O и Fe, так и характеризуются различной зависимостью величин относительного содержания ионов Fe/O и C/O от энергии. Источниками каждого из этих типов потоков являются слабые импульсные вспышки и ускоренные ионы короны Солнца и солнечного ветра. Проведенные исследования впервые позволили установить соответствие спектров супратермальных ионов с их источниками.

Получены новые важные результаты, относящиеся к магнитосферам планет. На основе уникальных измерений параметров солнечного ветра, проведенных на КА Кассини, который находился вблизи подсолнечной области головной ударной волны магнитосферы Сатурна, исследовано влияние межпланетного магнитного поля на полярные сияния Сатурна и впервые сделана оценка времени реакции этих сияний на изменения межпланетного поля. На основе новой параболоидной модели магнитосферы Меркурия определены характерные размеры магнитосферы и величина магнитного потока в полярной шапке Меркурия во время пролетов КА Мессенджер.

Проведен анализ локализации источников свечения в форме аврорального овала в высокоширотной магнитосфере Земли. Показано, что основная часть наиболее ярких источников возникает в областях вытекающих продольных токов. Источники последних локализованы на сравнительно небольших ($<10R_e$) геоцентрических расстояниях. Полученные результаты позволяют пересмотреть традиционные представления о проецировании геомагнитного хвоста в область аврорального овала.

В 2010 году велась обработка данных об УФ вспышках, зарегистрированных на спутнике «Университетский-Татьяна-2». Анализ данных позволил получить дифференциальное распределение вспышек по регистрируемой энергии УФ свечения в диапазоне от 0.03 до $3 \cdot 10^4$ кДж. Начиная с энергии вспышек ~ 0.3 кДж имеет место степенное убывание интенсивности спектра; при этом при энергии $\sim 3 \cdot 10^4$ кДж интенсивность падает почти на 7 порядков. Географическое распределение вспышек с энергией менее 3 кДж оказалось равномерным, тогда как вспышки с энергией более 3 кДж сконцентрированы над континентальными грозовыми районами в области экватора. Различие географических распределений указывает на то, что наблюдаются вспышки разных типов.

Были продолжены работы над созданием программного обеспечения для обработки изображений Солнца, получаемых в крайнем ультрафиолете с использованием данных разных космических аппаратов. Использовались данные с нового европейского спутника PROBA/SWAP в спектральном диапазоне с центром на длине волны 17.4 нм, и космической станции SDO/AIA в спектральных диапазонах с центром на длинах волн 17.1 нм и 19.3 нм. Обработка изображений, полученных со спутника PROBA/SWAP, была сделана при поддержке сотрудников Королевской Бельгийской Обсерватории, владельцев данных. Полученные данные были использованы для прогнозирования скорости рекуррентных потоков солнечного ветра.

Показано, что эффекты поглощения радиоволн в полярных шапках (ППШ) по наблюдениям высокоширотной сети ионозондов в Канаде (CADI) вызваны, главным образом, интенсивными потоками протонов с $E > 2.5$ МэВ и электронов с $E > 100$ кэВ, которые вызывают так же ионизацию D-слоя ионосферы на высотах 75 - 85 км. Данный вывод подтверждается прямыми измерениями ионизации в этой области, полученными методом радио-зондирования на спутниках FORMOSAT-3/COSMIC. Во время наблюдения наиболее интенсивных потоков СКЛ вертикальный профиль электронной концентрации имеет максимум на высотах ~ 80 км, величина которого сравнима и даже превосходит электронную концентрацию в F-слое.

Проведено детальное исследование воздействия энергичных заряженных частиц и нейтронов (продуктов экзотермических ядерных реакций в ранней Вселенной) на процесс первичного синтеза легких элементов. Впервые показано, что немаксвелловские нейтронные процессы могут явиться “ключом” к решению важной космологической проблемы перепроизводства первичного лития-7 в стандартной модели нуклеосинтеза. Данные исследования легли в основу создания обобщенной модели первичного нуклеосинтеза, учитывающей равновесные и неравновесные ядерные процессы во Вселенной.

Разработана физическая концепция построения алгоритмов радиационной защиты обитаемых космических аппаратов и лунных станций нового поколения. Найден путь экспериментальной верификации программных продуктов для оптимизации параметров конденсированной среды, непосредственно окружающей объект, ограничивающих срок активного функционирования элементов космических приборов в сложном радиационном поле. Завершена сборка физического макета для испытания многокомпонентной локальной радиационной защиты. Проведено пробное демонстрационное испытание образца такой защиты с использованием излучений от изотопов ^{90}Sr и ^{241}Am .

Ведется моделирование монитора гамма-всплесков. В стадии изготовления находится научная аппаратура для спутника «Ломоносов». Рассчитаны отклики одного из трех фосwichей, составляющих прибор, на потоки гамма-квантов, электронов, протонов и альфа-частиц. Полученные спектры энерговыделений в чувствительных элементах позволяют оптимизировать триггерные условия монитора.

Разработан новый программный комплекс для математического моделирования процессов электризации космических аппаратов, базирующийся на открытой интегрированной конструкторской и вычислительной платформе SALOME. Применение в составе комплекса новых алгоритмов и программных средств позволило проводить расчеты для объектов более сложной конфигурации с использованием современных моделей физических процессов взаимодействия космических аппаратов с окружающей космической средой.

Направление «Физика высоких энергий» Начаты физические измерения на установке CMS коллайдера LHC в ЦЕРНе. На первых экспериментальных данных оптимизированы триггеры высокого уровня для регистрации димюонов и для выделения эксклюзивных двухструйных дифракционных событий, а также алгоритм коррекции энергии адронных струй. Выполнена калибровка адронного калориметра по симметрии в азимутальной плоскости, линейности энергетической шкалы и разрешения. Обнаружен неожиданный эффект двухчастичных корреляций в области малой разности углов в поперечной плоскости и больших разностей по быстрой, получивший название «Ridge effect».

Получены первые результаты анализа экспериментальных данных для столкновений протонов и тяжелых ионов на LHC. Начато изучение жестких дифракционных процессов с рождением струй. На статистике 3 пб^{-1} измерены спектры и найдена форма адронных струй в pp -столкновениях при энергии пучка 7 ТэВ. Проведены измерения эллиптического потока частиц при энергиях 0.9, 2.36 и 7 ТэВ и получены оценки «непотокных» азимутальных корреляций. Показано, что доминирующими механизмами таких корреляций являются фрагментация жестких партонных струй, разрыв струн в процессе адронизации и распад резонансов.

Начат анализ экспериментальных данных детектора CMS с целью поиска одиночного рождения топ-кварка и измерения ряда параметров Стандартной модели. Разработаны необходимые структурные изменения в программном окружении коллаборации CMS и созданы дополнительные пакеты программ. Обеспечена стабильная работа «Базы знаний» MCDB, разработаны необходимые для эксперимента CMS дополнения. Подготовлена и опубликована новая стабильная версия HepML.

В НИИЯФ МГУ создан удаленный операционный центр – ROC (Remote Operational Center) MSU, который обеспечивает on-line доступ к внутренней сети CMS (CMS private network) в интерактивном режиме и позволяет контролировать процесс измерений в эксперименте CMS, сотрудниками, находящимися вне ЦЕРНа. Центр используется сотрудниками НИИЯФ МГУ для дистанционного контроля работы детекторных систем установки CMS и качества поступающей информации.

Калориметр CASTOR, включая систему сбора данных, систему контроля и мониторинга детектора, программы реконструкции, программы полного моделирования отклика детектора полностью интегрирован в инфраструктуру установки CMS. Обеспечен стабильный набор данных детектором CASTOR, проведено моделирование и измерение основных характеристик детектора.

На установке ATLAS на первых экспериментальных данных для pp -соударений при энергии 7 ТэВ и светимости 3 пб^{-1} восстановлены эксклюзивные распады D -мезонов:

$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \pi^+ \rightarrow (K^- \pi^+) \pi^+ \pi^+$; $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$; $D_s^+ \rightarrow \Phi \pi^+ \rightarrow (K^+ K^-) \pi^+$. Исследованы характеристики детектора ATLAS с использованием данных по pp -соударениям при энергиях 0.9, 2.36, и 7 ТэВ. Полученные результаты по множественности и спектрам заряженных частиц сравнены с предсказаниями различных Монте-Карло генераторов событий.

Протестирована и включена в стандартное ПО коллаборации LHCb новая модель для генерации редких радиационных лептонных распадов B -мезонов в рамках пакета EvtGen. Проведена оптимизация модели для генерации редких полулептонных распадов B -мезонов.

Изучены зависящие и не зависящие от времени CP-нарушающие асимметрии в редких полулептонных и радиационных лептонных распадах B -мезонов. Показано, что комбинирование информации об этих асимметриях с информацией о зарядовой лептонной асимметрии позволит экспериментально определить относительную фазу вильсоновских коэффициентов.

Проведен совместный анализ данных эксперимента ZEUS по инклюзивному и двухструйному дифракционному глубоконеупругому рассеянию на коллайдере HERA и извлечены дифракционные структурные функции протона в следующем за лидирующим порядке КХД. Показано, что предсказания, основанные на полученных дифракционных структурных функциях, хорошо описывают данные о рождении s -кварков и рождении двухструйных событий в режиме фоторождения. Проведено измерение рождения очарованных адронов D^+ и Λ_c^+ в глубоконеупругом рассеянии на коллайдере HERA в эксперименте ZEUS при интегральной светимости 120 пб^{-1} . Впервые измерена доля s -кварков, адронизирующихся с образованием Λ_c^+ бариона в глубоконеупругом рассеянии.

Проведен экспериментальный поиск нейтральных токов, меняющих аромат кварков в данных, набранных детектором D0 коллайдера Теватрон с общей интегральной светимостью 2.3 фб^{-1} . Показано отсутствие статистически достоверного проявления таких нейтральных токов в процессах с одиночным рождением топ-кварка на существующей статистике. Установлены верхние ограничения на сечения таких процессов и аномальные константы связи. Проведены исследования поляризации J/ψ -частиц, зарегистрированных детектором D0. Новые результаты показывают существование двух механизмов рождения быстрых J/ψ -частиц с продольной поляризацией при малых поперечных импульсах и поперечной поляризацией при больших переданных импульсах.

На установке «Спектрометр с вершинным детектором СВД-2» продолжалась обработка ранее накопленной статистики (52 млн. рА-взаимодействий при энергии пучка протонов 70 ТэВ). Получены и опубликованы полное сечение рождения чарма и спектры нейтральных D -мезонов. Впервые при энергиях Серпуховского ускорителя получены предварительные результаты по выделению распадов очарованного бариона $\Lambda^+ c \rightarrow K^- p \pi^+$.

Произведена модернизация установки «Спектрометр с вершинным детектором СВД-2» для проведения ноябрьского сеанса на ускорителе У-70 ИФВЭ для увеличения ее

быстродействия. Набор новой статистики при энергии пучка протонов 50 ГэВ был осуществлен в ноябре 2010 года, зарегистрировано ~ 35 млн. *pA*-взаимодействий.

В 2010 году опубликованы результаты экспериментов на ускорителе COSY (Юлих, Германия) по исследованию глубоко неупругого взаимодействия протонов с дейтроном, рождения мезонов в веществе. Продолжались работы по подготовке аппаратуры и программного обеспечения для проведения экспериментов по получению поляризованных антипротонов методом «спин-фильтрации» (spin filtering). Проведены два методических сеанса с целью отработки удержания интенсивного пучка протонов в модифицированном кольце COSY и проверки детекторов.

В эксперименте ДИРАК на ускорителе PS в ЦЕРН в 2010 году проведён сеанс по набору экспериментальных данных в течение 6 месяцев (май-ноябрь). Обработаны данные по Кр_i атомам, набранные в 2008 году и 2009 году. Проведены набор данных на бериллиевой мишени в течении 7.5 суток и их предварительная обработка с целью планирования эксперимента по наблюдению метастабильных атомов. Совместно с зарубежными участниками коллаборации проводилась работа по подготовке заключительной публикации по анализу данных, набранных в 2001-2003 гг.

В рамках теорий с дополнительными измерениями пространства-времени изучены особенности поиска на современных коллайдерах W' -бозона и показано, что в процессах рассеяния частиц Стандартной модели, опосредованных W' -бозоном, имеет место интерференция не только между W -бозоном и W' -бозоном, но также и дополнительная интерференция между W' -бозоном и бесконечной башней остальных калуца-клейновских возбуждений W -бозона.

Проведено исследование гравитационных моделей с тёмной энергией, описываемой нелокальным скалярным полем, происхождение которого объясняется с помощью полевой теории струн. В произвольной метрике алгоритм локализации уравнений Эйнштейна построен как для квадратичного, так и для линейного потенциалов, при этом «кинетическая» часть действия, включает в себя, аналитическую функцию оператора Даламбера, имеющую простые и (или) двукратные корни.

Вычислены матричные элементы вне массовой поверхности для подпроцессов $e q^* \rightarrow e \gamma q$, $\gamma q^* \rightarrow \gamma q$, $q^* g^* \rightarrow \gamma q$ и $q^* q^* \rightarrow \gamma g$ с учетом ненулевого поперечного импульса начальных кварков и глюонов. Проведено сравнение с последними экспериментальными данными, полученными коллаборациями H1 и ZEUS, и достигнуто достаточно хорошее описание данных H1. Выявлено некоторое отличие предсказаний и данных ZEUS, что может указывать на различия в процедурах отбора струй.

В рамках мгновенной формы Пуанкаре инвариантной квантовой механики получены расчетные формулы для переходного формфактора $F_T \gamma \gamma^*$, измеренного в недавних экспериментах BaBar и явно противоречащего предсказаниям КХД.

В модели ранней горячей Вселенной вычислена гравитационная эмиссия в дополнительное измерение. В космологической модели с одним дополнительным измерением вычислено изменение выхода гелия в первичном ядерном синтезе за счет гравитационной эмиссии по сравнению с результатом стандартной четырехмерной космологии.

Принцип компенсации Боголюбова в КХД был применен к изучению электромагнитных свойств пиона. Без введения новых параметров, кроме параметров фундаментальной КХД, получены электромагнитный радиус заряженного пиона и поведение его формфактора а также переходный формфактор нейтрального пиона в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными.

Была продолжена работа по исследованию электрослабого фазового перехода в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели (МССМ). Обстоятельный анализ данных показывает, что в процессе космологической эволюции необходимы состояния термодинамически неравновесной плазмы фундаментальных частиц и фазовый переход

первого рода, то есть стандартный хиггсовский потенциал с одним дублетом в сочетании с достаточно слабым нарушением CP-инвариантности при помощи смешивания СКМ (Кабиббо-Кобаяши-Маскава) недостаточен для того, чтобы объяснить наблюдаемое во Вселенной отношение барионного числа к энтропии.

Предложена стабилизированная модель в пятимерной теории Бранса-Дикке, допускающая фоновое решение с ненулевым эффективным значением параметра Хаббла на бране. Изучена эффективная четырехмерная теория на одной из бран (брана, на которой предположительно расположены поля Стандартной модели). Привлекательным свойством данной модели является возможность получения аналитического решения для фоновой конфигурации полей, что позволило получить выражения для эффективных четырехмерных параметров теории на бране. Показано, что в модели можно воспроизвести малое значение четырехмерного параметра Хаббла, соответствующее современному значению вакуумной энергии в нашей четырехмерной Вселенной, а также решить проблему иерархии гравитационного взаимодействия, в случае, если фундаментальные параметры пятимерной теории лежат в области энергий порядка 1 ТэВ.

Предложен метод поиска решений уравнения поля в метрике Фридмана-Робертсона-Уокера, дающий точные частные двухпараметрические решения в замкнутом виде или в виде квадратур. Этот метод позволяет найти решения для произвольного потенциала нелокального скалярного поля, за исключением случаев линейного и квадратичного потенциалов. Подробно рассмотрены связанный с теорией струн случай кубического потенциала, а также случаи логарифмического, экспоненциального и степенного потенциалов. В отличие от метода локализации, позволяющего локализовать все уравнения Эйнштейна, данный метод решает только уравнение поля, а остальные уравнения Эйнштейна оказываются совместными только после добавления других видов материи.

Направление «Ядерная физика» Определены сечения реакции электророжения двух заряженных пионов на протоне при квадрате переданного импульса (Q^2) от 2 до 5 ГэВ² и в интервале по энергии в СЦМ от порога до 2 ГэВ. Набор данных включает в себя интегральные сечения, а также девять дифференциальных сечений для каждого интервала по W и Q^2 . Дифференциальные сечения получены в диапазоне в достаточно узких (25 МэВ) интервалах по W и при пяти значениях Q^2 . В совместном анализе данных одно- и двухпионного электророжения при малых Q^2 ($Q^2 < 2$ ГэВ²) извлечены электромагнитные формфакторы нуклонных резонансов.

Показано, что основной вклад в процесс электророжения заряженных ρ -мезонов на протонах при промежуточных энергиях дает прямое выбивание ρ -мезона (t -полюсная диаграмма с виртуальным ρ -мезоном); предсказаны дифференциальные сечения процесса для будущих экспериментов.

Предложено изучение эксклюзивной реакции $\gamma p \rightarrow \rho^+ \pi^-$ в диапазоне энергий фотонов 3.0-3.8 ГэВ, что соответствует диапазону переданного импульса $0.4 < -t < 1.0$ GeV². Данные были получены с помощью детектора CLAS в национальной ускорительной лаборатории им. Томаса Джефферсона. Впервые в фотоядерном эксперименте был найден $f_0(980)$ мезон. Было исследовано полуинклюзивное рождение π^+ . Измерения были выполнены на мишени из жидкого водорода с использованием пучков электронов с энергией 5.75 ГэВ. Пятимерные дифференциальные сечения были измерены в широком кинематическом диапазоне, включая азимутальный угол ϕ между адронной и лептонной плоскостью реакции. Измерения ϕ - независимого вклада в сечения при малых x оказались в достаточно хорошем согласии с расчетами в рамках QCD.

Проведён эксперимент по исследованию многочастичных фотоядерных реакций для семи изотопов молибдена. Осуществлено разделение фотонуклонных реакций различной множественности и определены выходы этих реакций. Всего впервые получены данные о 21 фотоядерной реакции. В 10 случаях конечные ядра образовывались в изомерных состояниях.

Завершена обработка экспериментальных данных по многочастичным фотоядерным реакциям для тяжелых ядер (с числом нуклонов около 200) в области энергий фотонов за гигантским дипольным резонансом (ГДР) и вплоть до 67.7 МэВ. Впервые определены выходы и интегральные сечения многочастичных фотоядерных реакций с вылетом из ядра до 7 нейтронов. Эти данные сравниваются с результатами теоретических расчетов, учитывающих вклад двух основных механизмов фоторасщепления атомных ядер за максимумом ГДР – квазидейтронного и через возбуждение высокоэнергичного хвоста ГДР. Исследована роль каждого из этих механизмов.

На основе анализа экспериментальных данных получены свидетельства в пользу существования в обычных ядрах мультибарионных кластеров, которые ответственны за большинство процессов в ядерной и адронной физике, сопровождающихся большой передачей ядру импульса и/или энергии.

В теории эффективного радиуса с кулоновским взаимодействием найдены ядерные вершинные константы для виртуального распада ${}^7\text{Be} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^4\text{He}$, где ${}^7\text{Be}$ находится в основном ($3/2^-$) или возбужденном ($1/2^-$) связанных состояниях. При подгонке параметров использовались сдвиги фаз ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$ -рассеяния из фазового анализа и энергии связи ${}^7\text{Be}$.

Разработан новый метод нахождения параметров широких резонансов, основанный на S-матричном подходе. Метод успешно применен к рассеянию нейтронов на ядре ${}^{26}\text{Mg}$ (резонансы в ${}^{27}\text{Mg}$) и рассеянию α -частиц на ядре ${}^{12}\text{C}$ (резонансы в ${}^{16}\text{O}$).

С помощью метода проекционных операторов, развитого в НИИЯФ МГУ, впервые построен q-аналог базиса Гельфанда-Граева для всех дискретных серий эрмитовых неприводимых представлений некомпактной квантовой алгебры $U_q(u(n,1))$. Полученные результаты найдут применения в физических моделях, основанных на квантовых деформациях.

Методом совместной оценки данных из реакций срыва и подхвата нуклона на одном и том же ядре были получены новые экспериментальные данные об одночастичных энергиях и вероятностях заполнения одночастичных орбит нейтронных подоболочек ядер ${}^{58,60,62,64}\text{Ni}$ с магическим числом протонов $Z=28$ и ${}^{64,66,68,70}\text{Zn}$ с $Z=30$. Данные были проанализированы в рамках дисперсионной оптической модели с целью исследования эволюции оболочечной структуры этих ядер при изменении числа нейтронов N в направлении $N=40$. В рамках этой модели получено хорошее согласие расчетных одночастичных энергий с экспериментальными данными. Достигнуто детальное описание эффекта вырождения нейтронных подоболочек $2p_{3/2}$, $2p_{1/2}$ и $1f_{5/2}$ в изотопах ${}^{58,60,62,64,68}\text{Ni}$ и ${}^{64,66,68,70}\text{Zn}$, заселяемых по мере увеличения N , и уменьшение энергетической щели между уровнями $1g_{9/2}$ и $2p_{1/2}$ в изотопах Zn по сравнению с изотопами Ni , что свидетельствует об отсутствии магических свойств числа $N=40$ в ядрах Zn .

На 120-см циклотроне измерены дифференциальные сечения рассеяния α -частиц с $E_\alpha=30.3$ МэВ на ядре ${}^{24}\text{Mg}$ с образованием основного и трех нижних возбужденных состояний этого ядра, а также двойные дифференциальные сечения реакции ${}^{24}\text{Mg}(\alpha, \alpha\gamma){}^{24}\text{Mg}(2^+, 1.369 \text{ МэВ})$. Впервые определены ориентационные характеристики ядра ${}^{24}\text{Mg}(2^+, 1.369 \text{ МэВ})$: заселенности магнитных подсостояний, тензоры ориентации мультипольного момента, динамическая деформация.

В глауберовской модели ядерных реакций проведена теоретическая оценка сечений выходов различных изотопов, образующихся в реакциях скалывания при взаимодействии ${}^{32}\text{S}$ с бериллиевой мишенью при энергиях порядка 50 А МэВ. Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными, а также с данными полученными в стандартной систематике. Сечения выходов в глауберовской модели хорошо согласуются с указанными данными. Проведен анализ экспериментальных данных по импульсным распределениям ядер-остатков в реакциях однонейтронного срыва из 18-22N на бериллиевой мишени при энергии 500 А МэВ. Расчеты импульсных распределений проведены в глауберовской модели. Для основного состояния каждого из ядер получено соотношение s- и d- волн. Сделан вывод о заполнении s-

d- оболочки с изменением числа нейтронов.

В рамках динамической модели проведен анализ экспериментальных данных по угловым распределениям осколков деления и квазиделения для различных диапазонов их масс в реакциях ^{48}Ti (240, 270 и 298 МэВ) + ^{166}Er и ^{60}Ni (390 и 421 МэВ) + ^{154}Sm . Выявлены перспективные направления развития динамической модели, а именно, учет деформации и взаимной ориентации сталкивающихся ядер, учет температурной зависимости оболочечных эффектов, определяющих структуру потенциальной поверхности для дидерной системы. Проведен анализ экспериментальных данных по сечениям образования остатков испарения и анизотропии угловых распределений осколков деления для реакции ^{16}O (70-240 МэВ) + ^{238}U . Показано, что вклад процесса квазиделения в полный выход делительноподобных фрагментов для этой системы пренебрежимо мал. Согласованное описание указанных данных достигается при учете эффектов “памяти” о начальных распределениях для компонент углового момента составного ядра, образующихся сразу после столкновения налетающей частицы с деформированными ядрами мишени.

Экспериментально измерена вероятность испускания высокоэнергетичных γ -квантов, сопровождающих спонтанное деление ядер ^{252}Cf в диапазоне энергий $E_\gamma = 5 - 60$ МэВ.

Методом ^{57}Fe мессбауэровской гамма-спектроскопии найдены функции распределения магнитных сверхтонких полей (B_{hf}) в ферромагнитных инварных сплавах Fe-Ni. Получены данные о взаимосвязи между величинами B_{hf} и типом локальных атомных конфигураций. Обнаружено, что низкополевые компоненты распределения ($B_{\text{hf}} = 1.4$ и 2.5 Т) соответствуют антиферромагнитному выстраиванию магнитных моментов. Низкополевые компоненты характеризуются аномально высокой величиной изомерного сдвига, что соответствует резкому уменьшению локальной электронной плотности, обусловленному увеличением атомного объема для соответствующих Fe узлов. На основе полученных данных предложено, что возникновение состояний атомов Fe с такими свойствами является основной причиной инварного эффекта в сплавах Fe-Ni.

Методом мессбауэровской спектроскопии впервые наблюдались колебания атомных перемещений в кристаллах, инициированные облучением γ -квантами с энергией до 6 МэВ. Период таких колебаний в кристалле $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{V}$ составляет 15-20 дней, а их продолжительность - до 60 дней.

В течение 60 лет $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовый переход в церии считался изоструктурным. На основе экспериментальных данных, полученных методом возмущенных угловых гамма-гамма корреляций в широком интервале давлений, впервые было установлено, что этот переход является скрытым структурным переходом, который связан, как показано теоретическими расчетами, с упорядочением квадрупольной компоненты электронной плотности.

Завершено сооружение и осуществлен физический пуск разрезного микротрона на энергию 55 МэВ; на выведенном пучке электронов выполнены совместные с ФИАН эксперименты по детектированию взрывчатых веществ; обеспечено проведение экспериментов по фотоядерным реакциям.

Завершены пуско-наладочные работы на линейном ускорителе с поимпульсным переключением энергии, обеспечено успешное проведение экспериментов по распознаванию элементного состава досматриваемых объектов.

Продолжены работы по сооружению линейного ускорителя непрерывного действия на энергию пучка 1 МэВ и мощность 25 кВт, проведены испытания источника питания и клистрона на высоком уровне мощности.

Продолжены совместные с Политехническим институтом г. Барселоны (Испания) работы по созданию ускорителя электронов для интраоперационной лучевой терапии, проведены испытания СВЧ и вакуумной системы.

На ускорителях на энергию 1.2 МэВ и 10 МэВ проведены работы по изучению радиационной стойкости и по модификации свойств материалов.

Создана установка для исследования электроразрядных явлений в стеклах на низковольтном пучке электронов.

В рамках федеральной целевой программы «Национальная технологическая база на 2007-2011 гг.» проведена разработка методов определения характеристик защитных покрытий на поверхности изделий из циркониевых сплавов, являющихся материалами для важнейших элементов активных зон атомных энергетических реакторов (в процессе эксплуатации циркониевые изделия активных зон в теплоносителе подвергаются наводороживанию, что приводит к образованию гидридной фазы, резко меняющей механические свойства конструкционных материалов). Исследовались защитные покрытия на поверхности циркониевого сплава, полученные с помощью метода микродугового оксидирования (МДО) с использованием различных составов электролита (такие слои препятствуют проникновению водорода вглубь металла). Для определения характеристик МДО-слоев разработан метод, основанный на использовании закономерностей ядерного обратного рассеяния (ЯОР) протонов. Метод является экспрессным и неразрушающим образец. Из анализа спектров ЯОР образцов, подвергнутых наводороживанию в водной среде ($T=400^{\circ}\text{C}$, $P=22$ атм., время наводороживания 10 суток) показано, что с помощью спектрометрии ЯОР возможно также осуществлять контроль качества ZrO_2 -слоев на предмет проникновения водорода внутрь поверхности изделия.

Выполнены оценки доз внутреннего облучения РФП ^{68}Ga «Октреотид», $^{99\text{m}}\text{Tc}$ АФП, «Нанотех» $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Проведен цикл экспериментальных медико-биологических исследований (лабораторных испытаний на животных) для оценки радиофармацевтических функциональных характеристик разрабатываемого радиофармацевтического препарата "Астат - 211".

Разработана методика экстракционно хроматографического выделения актиния-225 из облученных ториевых мишеней и плутония-237 из облученных урановых мишеней.

Получены теоретические оценки на сечение стимулированного распада изомера $^{178}\text{Hf}^{\text{m}2}$ (16^+ , 2.446 МэВ, 31 год) через промежуточный уровень 14^- (2.573 МэВ) в термоядерной лазерной плазме за счет взаимодействия $^{178}\text{Hf}^{\text{m}2}$ с α -частицами, а также фотонами и электронами плазмы.

Направления «Взаимодействие излучений с веществом» и «Исследование наноструктур: физика, технологии, применение» Проведены исследования магнитных эффектов близости в гибридных СП/ФМ гетероструктурах методом рефлектометрии поляризованных нейтронов и сопутствующих методов. Для усиления магнитного рассеяния нейтронов предложено помещать исследуемый бислой в нейтронный волновод. Проведены расчеты, изготовлены образцы наглядно демонстрирующие, что данный режим позволяет получить усиление интенсивности магнитного рассеяния на один – два порядка. Методом рефлектометрии поляризованных нейтронов в режиме волноводного усиления исследована система типа «сверхпроводник/сильный ферромагнетик» V/Fe. Наблюден обратный эффект близости, а также, для части образцов обнаружена неэргодичность поведения. Начаты исследования системы «сверхпроводник/слабый ферромагнетик». Для образца $\text{Cu}(32\text{нм})/\text{V}(80\text{нм})/\text{Ni}_45\text{Cu}_55(6\text{нм})/\text{MgO}$ обнаружен эффект размагничивания ФМ слоя ниже температуры сверхпроводящего перехода. Данное размагничивание может быть связано с криптоферромагнитной фазой.

Продолжены исследования особенностей структуры дендримеров. Предложено направление реализации методов математического моделирования высокомолекулярных систем к исследованию структурных особенностей макромолекул дендримеров. Проведены экспериментальные исследования по малоугловому рассеянию рентгеновских лучей на растворах кремнийорганических дендримеров с модифицированным поверхностным слоем. Проведена обработка экспериментальных данных: выделена упругая и когерентная составляющая, получены кривые спада интенсивности рассеянного излучения от модуля

вектора рассеяния. Проведены исследовательские работы по изучению рентгенографическими методами образцов ультрадисперсных детонационных алмазов: изучались структура и пространственное строение, определены эффективные размеры кристаллитов и функция распределения кристаллитов по размерам.

Получено теоретическое выражение для функции разрешения нейтронного рефлектометра с вертикальной плоскостью рассеяния. Рефлектометрические эксперименты, смоделированные методом Монте-Карло в пакете VITESS при разных геометрических параметрах рефлектометра, подтверждают адекватность теоретической модели. Это позволяет использовать теоретическую функцию разрешения при обработке реальных рефлектометрических экспериментов.

Продолжено исследование мультислойных везикул мембран, моделирующих липидную составляющую слизистой оболочки ротовой полости млекопитающих на основе церамида-6. Исследованы мембраны сфингомиелен/ДПФХ/ДПФЭ с церамидом-6 в диапазоне температур 20 - 80(90)°С. Проведены нейтронные дифракционные эксперименты на ориентированных мембранах этих же модельных систем.

При исследовании рассеяния протонов и атомов водорода с энергией 200-250 кэВ медной поверхностью при скользких углах падения $1-2^{\circ}$ обнаружена зависимость нейтральной фракции от угла рассеяния протонов при энергии отраженных частиц менее 60 кэВ.

Установлено, что нарушение правила аддитивности потерь энергии для быстрых частиц с энергией 0.01- 0.6 МэВ/н может составлять несколько процентов в молекулярных углеводородных соединениях с двойной и тройной углерод-углеродной связью, увеличиваясь с возрастанием ядерного заряда быстрого иона и уменьшаясь при большой энергии.

Построена модель двойного управления пучком ионов с помощью плоского диэлектрического капилляра с реальной геометрией, которая использовалась в эксперименте.

Впервые обнаружены и исследованы профили линий Косселя при возбуждении протонами характеристического K_{α} излучения атомов аргона, имплантированных в квазикристалл графита.

Проведены исследования кратной ионизации атомов инертных газов полем лазера на свободных электронах в диапазоне вакуумного ультрафиолета. Расчеты проведены для корреляционных функций фотоэлектронов в процессе двойной двухфотонной ионизации и угловых распределений фотоэлектронов при резонансном усилении двойной трехфотонной ионизации атомов. Наблюдение этих процессов – простейших многоэлектронных процессов, происходящих в области непрерывного спектра атома – стало возможно только сейчас, и их теоретическое обоснование служит началом нового направления физики взаимодействия излучения с атомами – исследованию многократной ионизации, происходящей за счет малого (2–3) числа фотонов. Исследования включают в себя развитие теории и исчерпывающее объяснение экспериментальных данных для всех атомов инертных газов.

Экспериментально и теоретически исследована структура композитов на основе полимерных матриц с наполнителями в виде углеродных нанотрубок и наноразмерных частиц оксидов. На основании представлений о параметрах взаимодействия наночастиц между собой и с полимерными звеньями определены критерии растворимости частиц наполнителя в матрице, необходимые для разработки технологий производства нанокompозитов.

Измерены температурные зависимости коэффициента $\gamma(T)$ ионно-электронной эмиссии базисной грани (0001) высокоориентированного пиролитического графита УПВ-1Т при высокодозном (10^{18} - 10^{19} ион/см²) облучении ионами Ar^{+} с энергией от 6 до 30 кэВ. Исследование морфологии поверхностного слоя показали, что наиболее развитый рельеф, представляющий собой сетку тонкостенных хребтов, которые, срастаясь, образуют колонии конусов нанометрического масштаба образуется при температуре текстурного перехода $T_t = 150^{\circ}C$.

Разработаны методики синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) с использованием пиролитического газофазного осаждения и плазменно-дугового осаждения. Исследованы методы жидкофазного и газофазного окисления наноуглеродных сред и функционализации многостенных УНТ. Методами растровой электронной микроскопии и просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения исследована топография УНТ и, в динамическом режиме - восстановление внешних стенок УНТ. Получены первые образцы полимер-УНТ композитов и исследованы их функциональные свойства. Разработана методика создания полупроводниковых фотолюминесцентных нанокристаллических структур в диэлектрических матрицах, синтезируемых методом ионной имплантации и термического отжига. Выполнены работы по модернизации методики спектроскопии рассеяния ионов средних энергий, в результате которых достигнуто разрешение порядка 10 ангстрем.

Экспериментально и теоретически исследовано взаимодействие атомов кислорода и водорода с новыми low-k материалами. Выявлен двухстадийный механизм травления метильных групп в low-k SiOCH пленках атомами кислорода. На основе модели случайных блужданий атомов в нано-пористых low-k материалах определены количественно значения вероятности реакций травления и рекомбинации атомов кислорода, диаметр отверстий между порами, распределение по толщине пленки числа соударений атомов O с поверхностью пор.

Проведены исследования пространственного распределения атомов H, F и радикалов CF₂ в одночастотном и двухчастотном ВЧ емкостном разряде в смесях CF₄/CHF₃/Ar методами пространственно-разрешенной актинометрии и спектроскопии УФ поглощения. Измерены sticking-коэффициенты для атомов H, F и радикалов CF₂ в условиях «богатой» и «обедненной» атомарным фтором фторуглеродной плазмы.

На основе 3-D Монте-Карло модели для траекторий электронов и ионов и 2D модели для электрических полей и потенциалов проведены исследования процессов, влияющих на формирование потенциала на дне анизотропно протравленного тренча. Показана важность механизма вторичной электрон-электронной эмиссии в трансформации спектров ионов, приходящих из плазмы на дно тренча. Были рассчитаны ионные спектры на дне тренчей для двухчастотного разряда в Ar и смеси Ar : CF₄ : N₂. Показано, что емкостный высокочастотный разряд в CF₄ при давлении 50 ÷ 300 мТор может поддерживаться в двух различных модах: в режиме электроотрицательной плазмы с относительно высокой электронной температурой и режиме электроположительной плазмы с очень низкой температурой электронов в области квазинейтральной плазмы. Были проанализированы причины, характерные особенности, условия возникновения и поддержания обоих режимов разряда.

На основе экспериментальных данных и численной 2D газодинамической модели с учетом кинетики цепных химических реакций получен новый механизм перехода медленного горения в детонацию в водород-кислородной газовой смеси.

Определены последствия эмиссии наночастиц горения на климатические изменения в результате прямых и косвенных эффектов. Был проведен ряд экспедиций по сбору эмиссии продуктов сгорания судового дизельного двигателя на борту морского грузового судна в порту Одесса в рамках ЕС проекта QUANTIFY. Были получены образцы при сжигании дизельного дистиллятного топлива (ДТ) и тяжелого мазутного топлива (МТ). Полученные образцы наночастиц были проанализированы с целью определения основных физико-химических характеристик, морфологии, микроструктуры и химического состава. Впервые разработана методика фракционного анализа образцов эмиссии дизельного двигателя методом электронной микроскопии с целью количественного определения групп частиц, отличающихся по морфологии и составу. Фракционный анализ позволил определить процентное содержание гидрофобных, гидрофильных и гигроскопичных частиц. Полученные результаты предложены для количественного определения последствий эмиссии морского транспорта в глобальной климатической модели.

Проведен цикл работ по определению эффективности поглощения молекул воды на

частицах, производимых горением ДТ и МТ топлива, определена их общая гигроскопичность. Разрабатывается модель формирования облачных ядер конденсации на аэрозолях горения, в основе которой лежит предложенная теория активации адсорбцией молекул воды частицами сажи, способными поглощать воду в зависимости от степени их гидрофильности. Для определения наиболее чувствительного параметра проведен цикл исследования смачиваемости частиц сажи в насыщенных парах. Проведенные расчеты показали перспективность использования однопараметрической модели активации адсорбции для описания формирования облачных ядер конденсации на аэрозолях различной степени гидрофильности, включая наиболее гидрофобные частицы оригинальной эмиссии морского транспорта.

Разработан метод пассивации поверхности кремниевого СЭ с помощью оксида алюминия, осажденного методом пиросол. По технологии LGCell получен не имеющий аналогов двусторонний концентраторный кремниевый СЭ на основе структуры IFO/(n+pp+)Cz-Si/ITO с КПД 17.7%/13.3% при освещении с лица/с тыла при степени концентрации до 6 солнц. Впервые получены солнечные элементы (СЭ) конструкции LGCell из мультикристаллического нетекстурированного кремния (mc-Si), эффективность которых составила 15.9%. Исследовано влияние обработки (n+pp+)mc-Si структур атомарным водородом, генерированным горячей нитью и СВЧ плазмой. Исследовано нано-, микроструктурирование поверхности кремния лазерным методом и его применение к солнечным элементам. Получены образцы текстурированных пластин mc-Si с типичной колонной столбчатой структурой с характеристическим отношением ≥ 3 (глубина к ширине) и полным отражением ниже 3%.

Развиты новые и модифицированы имеющиеся алгоритмы решения стационарного и нестационарного уравнения Шредингера для квантовой системы во внешнем электромагнитном поле. На основе этих алгоритмов созданы компьютерные программы, позволяющие эффективно проводить параллельные вычисления на суперкомпьютере СКИФ МГУ «Чебышев». Главной особенностью разработанных компьютерных программ является возможность проведения исследований квантовых систем на пространственных размерах до 5000 Å в масштабе времен до 200 фемтосекунд. Это позволяет исследовать динамику атомно-молекулярных систем в условиях, близких к реализуемым в современных экспериментах.

На основе разработанных программ, был решен ряд важных фундаментальных вопросов теории взаимодействия атомно-молекулярных систем с высокоинтенсивными лазерными импульсами ультракороткой длительности. В частности были проведены исследования динамики ионизации атома водорода излучением титан-сапфирового лазера в диапазоне интенсивностей $2 \cdot 10^{13} - 6 \cdot 10^{14}$ Вт/см². Был обнаружен эффект заселения возбужденных (ридберговских) состояний, означающий устойчивое существование атомов в сильных электромагнитных полях (их стабилизацию) и определены физические причины ее возникновения.

Обнаружено эффективное поглощение электроном энергии от лазерного поля, существенно превосходящее оценки с использованием параметра многоквантовости и обусловленное перекрытием по энергии различных каналов ВТЭ за счет большой ширины начального импульсного распределения электрона. Этот результат имеет принципиальное значение в проблеме нагрева плазмы, образующейся при взаимодействии ультракоротких лазерных импульсов с наноструктурными системами.

Были выявлены особенности атомно-молекулярной динамики в условиях ультракороткого (длительностью в 1 - 2 периода оптических колебаний) лазерного воздействия. Основной характеристикой полученного результата является резкая немонотонность угловых распределений фотоэлектронов, обусловленная интерференционными эффектами, возникающими в процессе перерасеяния широкого в импульсном представлении электронного волнового пакета на родительском центре.

Проведенные исследования могут быть представлять интерес для задач изучения пространственной динамики квантовых систем а также квантового контроля процессов со сверхвысокими субфемтосекундным временным и субангстремным пространственным разрешением.

Предложены и запатентованы в РФ новые типы управляемых сверхпроводниковых спиновых вентилях, базирующихся на планарных джозефсоновских контактах. Рассчитан критический ток их базовых элементов– джозефсоновских SNF-N-FNS и SN-FN-NS переходов как функции расстояния между электродами и набора параметров, характеризующих транспортные свойства границ структуры. Определены диапазоны значений этих параметров оптимальные для работы предложенных устройств. В SFF структурах доказано существование триплетного вентильного эффекта, состоящего в том, что генерация медленно спадающей триплетной сверхпроводящей компоненты при неколлинеарном расположении векторов намагничения F слоев может приводить к немонотонной зависимости критической температуры T_c исследуемых структур как функции угла между направлениями векторов намагничения.

Теоретически рассмотрена возможность применения SINIS гетероструктур в качестве перспективного детектора микроволнового излучения. Рассчитан отклик и предельная чувствительность такого детектора, проведено сравнение с другими перспективными детекторами микроволнового излучения. Теоретически рассмотрен транспорт тока и тепла через границу нормального металла и двухзонного сверхпроводника с учетом межзонного рассеяния на границе. Изучены случаи различных симметрий параметров порядка двухзонного сверхпроводника, такие как s^{++} и s^{+-} . Рассмотрены болометрические приложения контактов двухзонных сверхпроводников с нормальным металлом.

Теоретически рассмотрено явление проскальзывания фазы в узкой диффузной сверхпроводящей полоске в формализме уравнений Узалея. Получена зависимость барьера свободной энергии от транспортного тока, приложенного магнитного поля и температуры.

Изготовлен и исследован транзистор на основе кремниевого нанопровода. Кремниевый нанопровод изготавливался из кремния-на-изоляторе (КНИ) методами электронной литографии и реактивно-ионного травления. Изготовленные нанопровода были шириной от 50 до 400 нм и длиной 3-5 мкм с контактными площадками размером $10 \times 10 \text{ мкм}^2$. Для изоляции от жидкости подводящие металлические контактные провода были полностью изолированы диэлектрической пленкой из оксида кремния (толщиной 200 нм). Проведены измерения транзистора в жидкостных растворах с различным рН. Продемонстрирован отклик транзистора на различную кислотность среды. Таким образом показана возможность использования такого полевого транзистора на основе кремниевого нанопровода в качестве сверхчувствительного полевого/зарядового биосенсора.

Разработана методика измерения возбуждаемой в сканирующем туннельном микроскопе (СТМ) электролюминесценции одиночной квантовой точки. Разработана и изготовлена оригинальная оптическая система для сбора света из зазора СТМ. Всего было изготовлено и исследовано 76 образцов, содержащих квантовые точки 6 различных типов. В результате проведенных исследований накоплена статистика люминесценции одиночного квантового объекта для разных параметров возбуждения.

Сформулированы принципы построения активной электрически малой сверхпроводниковой антенны и широкополосного предусилителя гигагерцового диапазона частот на основе джозефсоновских структур. Доказана возможность реализации такой антенны путем создания специальных пространственно неоднородных цепочек джозефсоновских переходов, соединенных в дифференциальную схему. Проведены численные расчеты динамики таких сверхпроводниковых систем и экспериментальные измерения образцов, изготовленных на основе ниобиевой технологии с плотностью критического тока джозефсоновских переходов 4.5 кА/см^2 .

В иттрий-алюминиевых гранатах и полупрозрачных оксидах, неактивированных и активированных иттербием, обнаружен не известный ранее дефектный центр, предварительно приписанный дефектам (вакансиям) в кислородной подрешетке, с эффективной передачей энергии ионам иттербия. Данный центр может приводить к прекращению генерации в лазерных кристаллах с высокой концентрацией иттербия.

Были определены фундаментальные факторы, влияющие на эффективность переноса энергии к центрам собственной люминесценции молибдатов кальция, стронция, цинка и лития, которые являются перспективными материалами для криогенных фотосцинтилляционных детекторов.

Получена система рекуррентных уравнений для характеристических функций, позволяющая рассчитать выход и энергетическое разрешение сцинтилляторов без использования метода Монте-Карло.

Осуществлен цикл исследований по влиянию на оптические свойства 1.10-фенантролина (phen) в качестве дополнительного лиганда в β -дикетонатах европия. Обнаружен рост квантового выхода (в несколько раз) фотолюминесценции ионов Eu^{3+} в пленках фторакрилатных полимеров (ФП), легированных подобными молекулами по сравнению с исходными, то есть без наличия 1.10-фенантролина. Обнаружено падение растворимости подобных комплексов в сверхкритическом CO_2 . Найдены новые параметры импрегнации этими соединениями пленок ФП.

Проведено исследование механизмов трансформации наночастиц серебра (НЧАг) в нанопористых матрицах на основе SiO_2 при их отжиге на воздухе в широком диапазоне температур от 20 до 600 °С. Установлен механизм фотоиндуцированного образования периодических слоистых структур из НЧАг под действием непрерывного лазерного излучения видимого диапазона в пленках ФП, легированных серебросодержащими молекулами методом сверхкритической импрегнации. Получены наноконкомпозиты на основе пленок из искусственного опала с НЧАг, пригодные для усиления сигнала комбинационного рассеяния.

При изучении процесса синхронизации спинового генератора, в отличие от генераторов, описываемых уравнениями Ван-Дер-Поля обнаружено, что при определенном значении амплитуды внешней силы происходит слияние границ областей синхронизации спинового генератора на третьем нечетном и на основном тоне. Обнаруженное отличие синхронизации наблюдаются только при линейной поляризации поля внешней силы.

Исследованы спектры лазерного факела при воздействии на мишень лазерного излучения в атмосфере буферного газа. Исследование выполнено с использованием различных конденсированных мишеней в атмосфере Н, Не, Аг и их смесей в качестве буферного газа. Обнаружено различие в функциональных зависимостях уширения и сдвига спектральных линий атомов буферного газа и атомов вещества мишени от давления и расстояния до мишени. Проведено исследование спектров, полученных при лазерной абляции поверхности воды и водных растворов солей, и изучено влияние слоя воды на поверхности конденсированных мишеней на спектральный состав лазерной плазмы.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние интенсивности лазерного излучения и амплитудно-фазовой связи в активной среде лазера на частоту автомодуляционных колебаний первого рода в твердотельном кольцевом лазере с однородно уширенной линией усиления. Установлено, что имеет место неизохронность: частота автомодуляционных колебаний зависит от интенсивности внутрирезонаторного поля. Сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими данными позволило определить фактор амплитудно-фазовой связи.

Для систем, представляющих собой наночастицы Si в матрицах SiO_2 , полученных различными методами, с разной степенью кристалличности, проведено сравнение спектров люминесценции и возбуждения люминесценции при 10 К и при комнатной температуре. Получены характеристики центров свечения в аморфных и кристаллических образцах.

Для оптических керамик иттрий-алюминиевого граната, активированного иттербием с высокой концентрацией ($> 12\%$), обнаружен более высокий выход люминесценции с переносом заряда при внутрицентровом возбуждении, чем в монокристаллах с аналогичной концентрацией активатора. Обнаруженный эффект объяснен более однородным распределением примеси в керамике.

Направление «Развитие информационных технологий и телекоммуникаций»

Создана уникальная, полностью автоматизированная система хранения данных, получаемых в ходе научных экспериментов на космических аппаратах. В Центре данных космического мониторинга НИИЯФ МГУ (Space Monitoring Data Center, SMDC) ведется обработка и запись информации в базы данных в режиме реального времени. Интернет-портал Центра (<http://smdc.sinp.msu.ru>) обеспечивает доступ к данным измерений космической радиации, текущим и историческим, полученным в течение последних 20 лет в ходе космических экспериментов НИИЯФ МГУ. Единая информационная среда позволяет извлекать из базы данных результаты измерений и представлять их в виде таблиц и графиков. Совместно с моделями космической среды, разработанными в НИИЯФ МГУ, базы данных космических экспериментов образуют единую систему космического мониторинга для хранения, обработки, научного анализа и отображения космофизических данных.

RUNET/Radio-MSU введена (совместно с ИФВЭ) вторая гигабитная линия ИФВЭ – центральный узел НИИЯФ на АМТС-9. Создана система резервирования внешнего трафика ИФВЭ через линию НИИЯФ МГУ – Президиум РАН.

На основе предыдущих разработок ЦДФЭ НИИЯФ создана функционирующая в среде Интернет реляционная база данных (БД) «Параметры основных и изомерных состояний атомных ядер» (<http://cdfe.sinp.msu.ru/services/gsp.ru.html>), содержащая массовые и некоторые другие основные характеристики всех известных к настоящему времени ядер, находящихся в основных и изомерных состояниях.

Опубликована «Карта атомных ядер» (авторы – В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, С.Ю.Комаров, URL: <http://cdfe.sinp.msu.ru/services/ground/index.html>), содержащая самые современные международные данные о модах распада и временах жизни радиоактивных ядер, а также - о распространенностях стабильных ядер.

Опубликовано (ISBN 978-5-91304-145-6) в Издательстве «Университетская книга» учебное пособие В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, С.Ю.Комаров «Атомные ядра. Основные характеристики». Пособие, которому присвоен гриф УМО, включает в себя описание основных характеристик всех известных к настоящему времени атомных ядер и каналов распада радиоактивных изотопов, а также – впервые составленную таблицу масс ядер в основном и изомерных состояниях, энергий связи ядер и удельных энергий связи ядер, энергий отделения от ядер нейтронов и протонов.

Направление «Внедрение современных физических методов в учебный процесс»

Для повышения чувствительности и разрешающей способности спектрометра, используемого в лабораторной работе №17 «Ядерный магнитный резонанс», модернизирована схема входного устройства ЯМР-датчика (установка магнитного экрана головного каскада предусилителя, перекомпоновка монтажа, введение выходного повторителя для повышения добротности высокочастотного детектора). Модифицирована рабочая программа лабораторной работы №20 «Метод запаздывающих совпадений»: расчёт и графическое отображение погрешностей в части математической обработки результатов измерений, коррекция общего дизайна. Проведена существенная модернизация лабораторной работы №1 «Сцинтилляционный метод», а именно: тестирование новой электронной аппаратуры на установках, разработка методики проведения занятий с использованием модернизированного комплекса, создание программы математической обработки и графического анализа результатов измерений. Совместно с группой сотрудников отдела экспериментальной физики высоких энергий и кафедрой общей ядерной физики создана установка для задачи «Опыт

Резерфорда». Развернуто 9 новых рабочих мест для выполнения задач общего ядерного практикума (ауд.5-05а), в результате чего удалось увеличить экспериментальную нагрузку по курсу ядерной физики до шести задач. Разработана и введена в учебный процесс новая задача «Генерационные характеристики лазера на алюмоиттриевом гранате». Создана учебная установка для задачи общего атомного практикума «Принцип неразличимости элементарных частиц и его проявление в спектре гелия». Совместно со студентами и преподавателями Костромского государственного университета впервые осуществлено дистанционное выполнение задачи «Спонтанное деление Калифорния-252» и подготовлено методическое описание для её выполнения в КГУ.

Во время проведения «V Московского фестиваля науки 2010», а также в течение весеннего семестра 2010 г. были проведены для школьников и учителей физики специальные занятия под девизом «Повтори нобелевские эксперименты», в которых приняли участие около 50 учащихся московских школ физико-математического профиля.

В 2010 учебном году в общем атомном и ядерном практикумах работало по 305 студентов физического факультета МГУ, а также прошли экспериментальную подготовку 19 студентов Костромского государственного университета. 18 студентов из Мьянмы и 8 студентов физического факультета Севастопольского филиала МГУ.

В 2010 году на сайте «Ядерная физика в Интернете» опубликованы следующие учебные материалы: Линк-лист «Физика атомного ядра и частиц в Физической энциклопедии» (http://nuclphys.sinp.msu.ru/links/phys_enc.htm). Детекторы для гамма-спектрометрии (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/detectors/gammadet/index.html>). Описание «Калькулятора свойств ядер и характеристик ядерных процессов» (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/an/an200.htm>). «Физика ядра и банки ядерных данных» (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/ndb/index.html>). «Атомные ядра» (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/an/index.html>). Детектор ATLAS Большого Адронного Коллайдера (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/ATLAS/index.html>). Космические исследования и взаимодействия космической среды с системами и материалами космических аппаратов (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/cosm/index.html>). Осцилляции нейтрино (http://nuclphys.sinp.msu.ru/neutrino/neutrino_osc/index.html). Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/phnuc/index.html>). На сайте также публикуются материалы научного семинара.

Доктора и кандидаты наук.

1. Замиралов Валерий Семенович, ведущий научный сотрудник ОЭПВАЯ, защитил диссертацию «Правила сумм квантовой хромодинамики и статические свойства барионов в унитарных и кварковых моделях» по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Диссертация посвящена систематическому изучению статических свойств барионов – масс, магнитных моментов, констант связи барионов с мезонами, констант слабых распадов гиперонов. В диссертации показано, что унитарная симметрия элементарных частиц остается одним из основных элементов при анализе свойств частиц в методах квантовой хромодинамики (КХД), выходящих за рамки теории возмущений, в том числе в правилах сумм КХД. Выполненные исследования относятся к одному из наиболее важных и актуальных направлений в современной физике адронов. Результаты, полученные в диссертации, открывают новые возможности для изучения механизмов сильного взаимодействия, приводящих к формированию барионов из кварков и глюонов.
2. Бобошин Игорь Николаевич, старший научный сотрудник ОЭПВАЯ, защитил диссертацию «Магические числа и эволюция оболочечной структуры атомных ядер» по специальности 01-04-16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Диссертация посвящена исследованию оболочечной структуры атомных ядер. Получены численные параметры оболочечной структуры ядер с $Z=20-50$ и исследована связь между эволюцией

оболочечной структуры и процессами формирования магических ядер с неклассическими магическими числами нуклонов.

3. Манагадзе Александр Константинович, старший научный сотрудник ОИВМ, защитил диссертацию «Особенности пространственных характеристик ядерных взаимодействий космических лучей сверхвысоких энергий» по специальности 01-04-23 – физика высоких энергий. Диссертация посвящена разработке методов анализа гамма-адронных семейств космических лучей сверхвысоких энергий, зарегистрированных эмульсионными камерами в высокогорных и стратосферных экспериментах, и получению информации о характеристиках ядерного взаимодействия при сверхвысоких энергиях (в частности, анализу необычных черт, присущих таким событиям: гало и выстроенности вдоль прямой линии высокоэнергичных объектов в семействе).

Защита кандидатских диссертаций сотрудниками института

1. Соколик Алексей Алексеевич, младший научный сотрудник ОЭФВЭ, защитил диссертацию «Коллективные электронные явления в графене».
2. Зырянов Сергей Михайлович, младший научный сотрудник ОМЭ, защитил диссертацию «Модификация нанопористых диэлектрических материалов в плазме и ее послесвечении».
3. Шаров Дмитрий Александрович, младший научный сотрудник ОЭПВАЯ, защитил диссертацию «Рождение каскадных гиперонов на нуклонах каонами и фотонами».
4. Кривченко Виктор Александрович, младший научный сотрудник ОМЭ, защитил диссертацию «Плазмохимическое осаждение углеродных нано- и микроструктур для применения в электронике».
5. Хорхе Котсоми Паллета, стажер ОЧСВЭ, защитил диссертацию «Феноменологические характеристики широких атмосферных ливней с числом частиц 10^7 - 10^8 на уровне моря и массовый состав первичных космических лучей при энергиях 10^{17} - 10^{18} эВ».
6. Рябова Наталия Юрьевна, младший научный сотрудник ЛЯИ, защитила диссертацию «Структура и гидратация модельных липидных мембран на основе церамида-6. Исследования методом дифракции нейтронов в реальном времени».

Конференции

1. 31-ая Всероссийская конференция по космическим лучам, 5-9 июля 2010г., Москва
2. XI-ая международная конференция по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, 25-27 мая 2010г., Москва
3. The XIXth International Workshop High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP2010), September 8-15, Golitsyno, Moscow, Russia, 2010.
4. XI межвузовская научная школа молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» 22-23 ноября 2010г., Москва

Публикации

Монографии: Tarasov V.E. Fractional Dynamics: Application of Fractional Calculus to Dynamics of Particles, Fields and Media Springer Verlag. 2010, 41 п.л.

Учебники и учебные пособия:

1. Авдеев М.В. Лабораторный практикум. Методы рассеяния нейтронов.
2. Варламов В.В., Гончарова Н.Г., Ишханов Б.С. Физика ядра и банки ядерных данных.
3. Варламов В.В., Ишханов Б.С., Комаров С.Ю. Атомные ядра основные характеристики.
4. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию диэлектриков, часть 2.
5. Веселовский И.С., Кропоткин А.П. Физика межпланетного и околоземного пространства.
6. Долинов В.К. Линейные преобразования кристаллической решетки.
7. Ильина Н.П., Сигаев А.А., Сигаев А.А. (мл.), Аминева Т.П., Кузнецова Г.П. Комплексная установка для изучения космических лучей на уровне моря.
8. Короленко П.В., Маганова М.С. Основы статистических методов в оптике.

9. Наний О.Е., Туркин А.Н. Оптические методы в информатике.
10. Недорезов В.Г., Мушкаренков А.Н. Электромагнитные взаимодействия ядер.
11. Новиков Л.С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов.
12. Сарычева Л.И. Физика высоких энергий и элементарных частиц.
13. Смирнова Л.Н. Детектор ATLAS Большого адронного коллайдера.
14. Легар Ф., Строковский Е.А., Феноменология и анализ данных по рассеянию нуклонов.
15. Строковский Е.А. Лекции по основам кинематики элементарных процессов.
16. Черняев А.П. Лекции по физике: Курс физики для медиков.