

## 5. ЛТФ сегодня

Исследования, проводимые в последнее время в ЛТФ им. Н.Н.Боголюбова, охватывают широкий круг проблем квантовой теории поля и теории элементарных частиц, математической физики, теории атомного ядра и теории конденсированных сред.

### *Современная математическая физика:*

- квантовые группы и интегрируемые системы;
- суперсимметрия;
- квантовая гравитация, космология и струны.

### *Поля и частицы:*

- пертурбативные вычисления и различные непертурбативные методы в калибровочных теориях;
- стандартная модель и ее расширения;
- КХД: спиновые эффекты, правила сумм и структура вакуума;
- спектроскопия легких адронов, тяжелые кварки и В-физика;
- феноменология процессов при высоких энергиях.

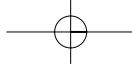
### *Теория ядра:*

- структура ядра в экстремальных условиях;
- динамика и структурные эффекты в ядерных и мезоскопических системах;
- физика малочастичных систем;
- релятивистская ядерная динамика.

### *Теория конденсированных сред:*

- сильно коррелированные системы;
- динамические системы: хаос, интегрируемость, самоорганизация;
- неупорядоченные структуры: стекла, топологические дефекты, наноструктура и джозефсоновские контакты;
- мезоскопические и когерентные явления в квантовых системах.

Теория калибровочных полей в некоммутативном пространстве-времени является традиционным направлением для ЛТФ. В конце 70-х годов В.Г.Кадышевским была разработана версия калибровочной квантовой теории поля, содержащая предельную массу как независимый универсальный масштаб в области ультравысоких энергий. В данной теории ключевую роль играет пятимерное псевдоевклидово конфигурационное пространство. В ней нашли свое конкретное воплощение идеи М.А.Маркова о существовании «максимона». Совместно с А.Д.Донковым, Р.И.Ибадовым, М.Д.Матеевым, Д.В.Фурсаевым, М.В.Чижовым теория была детально разработана, рассмотрены поля с различными спинами, подробно изучена лагранжева формулировка теории. Существенно, что новая схема является пятимерно локальной, оставаясь при этом четырехмерной в физическом смысле. Калибровочные преобразования, отвечающие любой группе внутренней симметрии, также локализованы в пятимерном конфигурационном пространстве. Важно, что из-за наличия двух знаков у пятой компо-



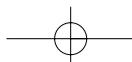
ненты импульса возникает удвоение числа полей. Вследствие этого появляется новая группа внутренней симметрии  $SU(2)$ , механизм нарушения которой заложен в самой теории. Отсюда получается ряд следствий, таких как объяснение  $\mu$ -универсальности, различные механизмы нарушения  $P$ - и  $CP$ -симметрии. Теория предсказывает существование ряда новых неминимальных электромагнитных взаимодействий, в том числе и 4-фермионных.

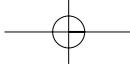
Концепция квантованного пространства развивалась в работах Р.М.Мир-Касимова. Показано, что дифференциальная геометрия квантованного пространства адекватно описывается на основе некоммутативного дифференциального исчисления и является «некоммутативно евклидовой». Был сформулирован принцип калибровочной инвариантности в квантованном конфигурационном пространстве и подробно изучен случай электродинамики. Вычислены сингулярные функции теории поля в квантованном пространстве и явно показано отсутствие расходимостей. Установлена связь с  $q$ -деформациями и показано, в частности, что все известные в литературе случаи  $q$ -осциллятора в теории квантового конфигурационного пространства могут быть получены на единой основе некоммутативного метода факторизации. При этом параметр деформации  $q$  выражается через физические величины — постоянную Планка, скорость света и частоту. В работе недавнего времени показано, что концепцию квантового конфигурационного пространства можно рассматривать как обобщение теории Ньютона–Вигнера, в которой снято ограничение коммутативности компонент оператора положения.

В последние годы намечился значительный прогресс в понимании непертурбативных свойств квантовой теории взаимодействующих полей. Этот прогресс в первую очередь связан с так называемой концепцией дуальности, которая может быть установлена между, казалось бы, совершенно разными теориями поля. Наиболее обширное применение идеи дуальности нашли в теории релятивистских струн.

Идеи, связанные с изучением калибровочных моделей на некоммутативных пространствах, возникали также и при исследовании квантовых интегрируемых систем, некоммутативной дифференциальной геометрии и теории квантовых симметрий (А.А.Владимиров, А.П.Исаев, П.Н.Пятов). В рамках трехмерных интегрируемых квантовых систем А.П.Исаевым предложены новые уравнения (трехмерные уравнения отражения), определяющие условия факторизованного рассеяния струн с нетривиальными граничными условиями.

В серии работ Б.М.Зупника, Е.А.Иванова, С.О.Кривоноса суперполевым подход к построению действий суперсимметричных протяженных объектов, основанных на идее спонтанного нарушения суперсимметрии, был расширен и успешно применен для построения новых действий. Было рассмотрено частичное спонтанное нарушение  $N = 1$ ,  $D = 10$  суперсимметрии и ее размерно-редуцированных версий. Основным голдстоуновским суперполем этой системы является  $N = 1$ ,  $d = 6$  гипермультиплет. Было установлено, что стандартный формализм нелинейных реализаций полезен для получения в ковариантной форме уравнений движения и условий неприводимости для голдстоуновских суперполей. Ключевой идеей построения суперполевых действий оказалось наблюдение, что базисный голдстоуновский супермультиплет совместно с лагранжевой плотностью образуют супермультиплет относительно спонтанно нарушенной суперсимметрии. Данный подход позволил построить суперполевые





действия для нестандартного нарушения суперсимметрии с сохранением  $1/4$  части исходных суперсимметрий.

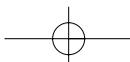
Во многих областях теоретической физики возникают структуры, связанные с решеточной интегрируемой иерархией Тоды, а ее различные возможные суперсимметризации могут быть важны для современных суперсимметричных теорий. В этой связи в серии работ В.Г.Кадышевского и А.С.Сорина были построены интегрируемые суперсимметричные обобщения с различным числом суперсимметрий открытой и периодической решеточной иерархии Тоды, а также изучены их бездисперсионные (квазиклассические) пределы. Предложена новая скобочная операция на пространстве градуированных операторов с инволюцией, использованная для построения соответствующих представлений Лакса (в том числе со спектральным параметром). Эта операция сформулирована в достаточно общих терминах и может найти применение в различных областях современной математической физики.

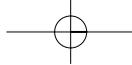
Новый калибровочный подход в теории струн, включающий новый объект — «дискретная струна», — был развит в работах А.П.Исаева и А.Т.Филиппова.

В цикле работ А.Т.Филиппова, В.Г.Иванова и их коллег из Италии (В. де Альфаро, М.Каваглиа) и Германии (Д.Майсона) изучалась квантовая теория черных дыр, которая может быть построена только на основе до сих пор не созданной квантовой теории гравитации. Однако существуют упрощенные модели гравитации, которые можно точно решить в классическом пределе, а в некоторых случаях их удалось точно проквантовать. Это — дилатонная гравитация в  $(1+1)$ -мерном пространстве. Проблема квантования дилатонной гравитации недавно казалась противоречивой. Наличие аномалий, казалось, приводило к тому, что даже простейшие квантовые теории резко отличались от классических. Так, в чисто дилатонной гравитации (без скалярных полей) в классическом случае после фиксации калибровки остается лишь одна степень свободы. Это позволило проквантовать черные дыры. Квантование в духе «струнного квантования» приводит к большему числу степеней свободы. Этот парадокс удалось разрешить в работе вышеупомянутых авторов, что было подтверждено в других работах.

Начиная с 1997 года, Д.В.Фурсаевым и соавторами был опубликован цикл работ по статистическо-механическому обоснованию энтропии Бекенштейна–Хокинга черных дыр в моделях индуцированной гравитации. Было показано, что возникновение энтропии связано со свойствами физического вакуума в гравитационном поле черной дыры, в частности, с потерей информации под горизонтом. В связи с этим исследован класс нелинейных задач на собственное значение, заданных в форме операторных полиномов. Им впервые была сформулирована проблема распространения понятия спектральной геометрии на такого рода задачи и в явном виде найдены спектральные асимптотики. Результаты имеют ряд приложений, например, в теории поля при конечной температуре. Отметим также результаты Фурсаева по классической и квантовой гравитации на торнифолдах (многообразиях с коническими сингулярностями). Эти результаты включают вывод асимптотических разложений следа операторов теплопроводности для полей разных спинов, исследование геометрии замкнутых торнифолдов в целом, нахождение эффективного механизма извлечения энергии из черных дыр с помощью космических струн и т.д.

В последние годы В.В.Нестеренко и И.Г.Пироженко в сотрудничестве с Г.Скарпеттой, Г.Ламбиазе (ун-т Салерно, Италия) и М.Бордагом (ун-т Лейпцига, Германия)





выполнили цикл исследований по развитию и применению техники спектральных дзета-функций и теплового ядра в квантовой теории поля на неплоском фоне и с учетом нетривиальных граничных условий. Эти результаты нашли прямое применение при расчете энергии основного состояния квантово-полевых систем (энергии Казимира) и термодинамических характеристик безмассовых полей в высокотемпературном пределе. Был разработан последовательный метод построения интегральных уравнений, определяющих тепловое ядро в случае составных сред. Предложенный подход является наиболее эффективным методом в данной области исследований.

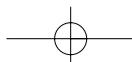
Важная тема контракции алгебр Ли и разделения переменных в пространствах постоянной кривизны в евклидовом и псевдоевклидовом пространствах рассмотрена в работах группы теоретиков П.Винтернитца, А.А.Измествьева, Г.С.Погосяна, А.Н.Сисакяна. В физику понятие контракции входит в виде «принципа соответствия», согласно которому, если новая теория обобщает старую, то должен существовать хорошо определенный предел, который восстанавливает результаты старой теории. Приметами таких предельных переходов или контракций может служить связь между релятивистскими и нерелятивистскими теориями: когда скорость света  $c \rightarrow 0$ , группа Пуанкаре преобразуется в группу Галилея или, например, соответствие между квантовой и классической механикой при  $\hbar \rightarrow 0$ .

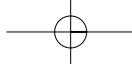
В цикле рассматриваемых работ был представлен новый аспект теории контракций групп и алгебр Ли: а именно, связь между ортогональными системами координат (допускающих полное разделение переменных в уравнении Гельмгольца), определенных на пространствах постоянной кривизны и в плоском пространстве и связанных при помощи контракций их групп изомерии. Методы, рассмотренные в данном цикле работ, могут быть адаптированы к другим проблемам контракций.

В цикле работ А.С.Жеданова и В.П.Спиридонова рассмотрены эллиптические бета-интегралы, обобщающие одномерные интегралы Аски–Вильсона и Нораллака–Рахмана и многомерные интегралы Сельберга и Густафсона. Обсуждаются специальные функции, построенные из обычных, базисных и гипергеометрических рядов и связанные с указанными выше интегралами.

Неотъемлемой частью современной квантовой теории поля (КТП) является развитый в середине 50-х годов в работах Н.Н.Боголюбова и Д.В.Ширкова метод ренормализационной группы (МРГ), предоставивший средство регулярного анализа ультрафиолетовых и инфракрасных особенностей перенормируемых моделей КТП. Сегодня рассмотрение всех основных взаимодействий микромира немислимо без использования введенного в этих пионерских работах понятия эффективного инвариантного заряда  $\bar{\alpha}(Q)$  (т.н. бегущей константы связи). Гипотеза великого объединения взаимодействий основана на сценарии возможного поведения трех эффективных зарядов  $\bar{\alpha}_i(Q)$  в далекой ультрафиолетовой области. Вывод знаменитой формулы асимптотической свободы в КХД целиком основан на технике МРГ. В то же время улучшенные с помощью МРГ приближения, как правило, обладают нефизическими особенностями (полюсами Ландау–Померанчука или разрезами). Наличие подобных особенностей в точных решениях противоречит общим принципам локальной КТП.

Особенно плодотворным оказалось недавнее применение этой идеи к КХД, где нефизическая особенность располагается в низкоэнергетической области. В развитии за последние 8 лет (И.Л.Соловцов и Д.В.Ширков) «Аналитической теории возму-



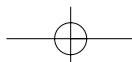


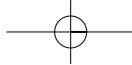
щений» (АТВ) был предложен внутренне замкнутый алгоритм, обладающий рядом важных черт: наличие двух различных аналитических функций связи в евклидовой  $\bar{\alpha}_E(Q^2)$  и псевдоевклидовой  $\bar{\alpha}_M(s)$  (минковской) областях кинематической переменной; стабильность поведения эффективных функций связи  $\bar{\alpha}_{E,M}$  по отношению к учету высших петель и их пониженной чувствительностью к изменению схемы перенормировки; замена степенных функциональных разложений – по степеням  $(\bar{\alpha}_s)^n$  на нестепенные разложения по специальным наборам функций. Применение новой схемы к анализу данных позволило улучшить – на основе АТВ-модифицированной КХД – согласованность теоретического описания ряда эффектов физики адронов.

Прецизионные измерения на современных электрон-позитронных и электрон-протонных коллайдерах требуют достаточно точного описания сечений нормирующих процессов, необходимых для определения светимости. Для электрон-позитронных установок таким процессом является процесс (квази)упругого рассеяния (процесс Баба) на большие и малые углы. Точность, предъявляемая к теоретически рассчитанному сечению, составляет менее десятой доли процента. В цикле работ А.Б.Арбузова, Э.А.Кураева и Б.Г.Шайхатденова, выполненных в конце 90-х годов, были рассчитаны радиационные поправки, обеспечивающие необходимую теоретическую точность. Результаты этих работ были использованы в числе других подходов для прецизионного измерения светимости на коллайдере ЛЭП-I,II в ЦЕРНе. Не менее актуальна задача вычисления радиационных поправок к сечениям процессов глубоконеупругого рассеяния. В работах И.Акушевича, Э.А.Кураева и Б.Г.Шайхатденова были проведены соответствующие расчеты для кинематических условий экспериментов, проводимых в ДЭЗИ (Германия).

Уже почти 10 лет осуществляется сотрудничество между Лабораторией теоретической физики ОИЯИ и Университетом Карлсруэ (Германия). В сотрудничестве участвуют группы В. де Бура и Д.И.Казакова. Это пример сотрудничества экспериментаторов и теоретиков. Тематика совместных исследований – поиски суперсимметрии в физике высоких энергий. Была создана разветвленная компьютерная программа, которая сканирует пространство параметров Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели с целью определения разрешенной области, где выполняются заданные экспериментальные и теоретические ограничения. В результате предсказывается спектр масс суперсимметричных частиц, соответствующий каждой разрешенной области, и выясняются возможности их экспериментального обнаружения. Группа из Карлсруэ принимала непосредственное участие в поисках суперсимметрии на ускорителе ЛЭП-II. Особое внимание уделялось предсказанию массы легчайшего хиггсовского бозона и поиску его на ЛЭПе. В настоящее время, в связи с закрытием ЛЭПа и недостаточностью светимости адронного коллайдера Тэватрон для идентификации суперпартнеров и хиггсовского бозона, интересы совместных исследований переместились на поиски суперсимметрии в астрофизических экспериментах, в частности в эксперименте AMS, на международную космическую станцию. В связи с этим разработано дополнение к компьютерной программе для учета суперсимметричной темной материи. Задача состоит в получении нужного количества темной материи и в изучении ее свойств и экспериментальных проявлений в космических лучах.

Непертурбативные эффекты в КХД в модели вакуума КХД как жидкости инстантонов исследовались А.Е.Дороховым и Н.И.Кочелевым начиная с 1985 года. Было



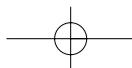


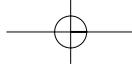
показано, что учет взаимодействия кварков через обмен инстантонами объясняет расщепление по спину в адронных мультиплетах легких мезонов и барионов, а также решает  $U(1)_A$  проблему. Позже было показано, что поляризация инстантонного вакуума КХД приводит к экранировке спина кварка и объясняет «спиновый кризис». Инстантонная модель также явилась основой для введения нелокальных вакуумных КХД-конденсатов и определения адронных функций распределения ведущего и неведущего твистов в низкоэнергетической точке нормировки.

Начиная с 1988 года, А.В.Ефремовым и О.В.Теряевым исследовался вклад аксиальной аномалии в спиновые структурные функции. Было показано, что вследствие аномального несохранения синглетного аксиального тока средний спин кварков в нуклоне, извлекаемый из данных по глубоконеупругому рассеянию, в принципе не должен совпадать с величиной, ожидаемой из модельных подходов, что является основой для разрешения так называемого «спинового кризиса». Впоследствии этот анализ стал основой для последовательного учета аномалии при анализе данных в неведущем приближении КХД, осуществленном А.В.Сидоровым с соавторами (Э.Лидер, Д.Стаменов).

Успешно развивается многолетнее сотрудничество группы А.В.Ефремова с К.Геке и Н.Стефанисом из Института теоретической физики II Университета Рур в Бохуме (Германия) в области спиновой физики: правила сумм в КХД, спиновые асимметрии и их роль в изучении структуры адронов. Эти исследования проводятся в тесном контакте с коллаборациями HERMES в DESY и COMPASS в CERN. Проанализированы экспериментальные данные по одиночным спиновым асимметриям, полученные этими коллаборациями, предсказаны новые эффекты. Недавно (в 2003–2004 гг.) А.Н.Сисакином, О.Ю.Шевченко, О.Н.Ивановым был разработан оригинальный метод по извлечению поляризованных кварковых плотностей из данных по полуинклюзивному поляризованному глубоконеупругому рассеянию (эксперименты HERMES и COMPASS) в следующем за лидирующим порядке КХД-разложения. Большим достоинством этого метода является то, что это прямой метод извлечения кварковых моментов — он свободен от большого количества дополнительных предположений, присущих всем существовавшим до сих пор аналогам. В настоящее время авторы метода совместно с экспериментаторами коллабораций HERMES и COMPASS активно применяют его к извлечению из данных этих экспериментов таких важнейших для понимания спиновой структуры нуклона величин, как поляризованные распределения морских и странных кварков. Продолжается многолетнее сотрудничество с Эколь Политехник, Париж (Б.Пире) и Центром теоретической физики в Марселе по изучению обобщенных партонных распределений. В совместных исследованиях участвуют ученые Польши (Л.Шимановский) и Германии (П.Хаглер). Опубликовано более 20 работ. Большой цикл посвящен особой роли процесса фоторождения пары  $p$ -мезонов для получения информации об этих распределениях.

В серии работ С.В.Голоскокова, выполненных в конце 90-х годов, исследовались спиновые эффекты в дифракционных процессах. Показано, что двойные спиновые асимметрии для продольно поляризованных лептонов и продольно или поперечно поляризованных протонов в процессах дифракционного  $J/\Psi$  или  $QQ$  рождения могут быть использованы для исследования поляризованных глюонных распределений в протоне при малых  $x$ .



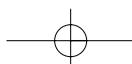


Идентификация и исследование экзотических мультикварковых состояний может дать принципиально важную и существенно новую информацию о кварк-глюонных взаимодействиях в несинглетных цветовых состояниях, поскольку надежное вычисление спектра масс б-кварковых (т.е. дибарионах) состояний с учетом существенно-многочастичных кварковых взаимодействий в настоящее время пока невозможно. С.Б.Герасимовым был выполнен феноменологический анализ новых способов экспериментального поиска таких состояний и отмечены особые преимущества для этой цели реакции излучения двух фотонов в нуклон-нуклонных взаимодействиях. Эксперимент, выполненный коллаборацией ДИБ2γ (ОИЯИ), обнаружил предсказанную структуру резонансного типа в энергетическом спектре фотонов в реакции  $pp \rightarrow pp 2\gamma$  ниже порога образования пионов, что свидетельствует о возможном существовании экзотического узкого дибариона с изоспином  $I \geq 1$  и массой порядка 1950–1960 МэВ/c<sup>2</sup>.

Не менее сложной, чем исследование экзотических мультикварковых и гибридных глюон-кварковых состояний, является описание основных и возбужденных состояний скалярных, псевдоскалярных и векторных мезонов (включая скалярный глюбол). При этом наиболее сложные проблемы возникают при описании скалярных мезонов – в интервале масс от 0,4 до 1,7 МэВ экспериментально обнаружено 19 скалярных мезонных состояний и до сих пор для них не существует однозначной интерпретации. В работах Ц.Вейса, М.К.Волкова, М.Надя, Д.Эберта и В.Л.Юдичева было показано, что все вышеупомянутые 19 скалярных мезонных состояний можно рассматривать как два нонета скалярных кваркониев и скалярный глюбол  $f_0(1500)$ .

На основе совместного анализа всех доступных данных по процессам  $\pi\pi \rightarrow \pi\pi$ ,  $K\bar{K}$  в канале с квантовыми числами вакуума Ю.С.Суровцовым, М.Надем и Д.Крупой получены убедительные данные о существовании состояния  $f_0(600)$  со свойствами  $\sigma$ -мезона. Результат включен в издание «Review of Particle Physics» 2002 года. Существование мезона  $f_0(600)$  и полученная длина  $\pi\pi$ -рассеяния ( $a_0^0 = 0,27m_{\pi}^{-1}$ ) свидетельствуют о линейной реализации киральной симметрии.

По нескольким направлениям шло развитие и применение квазичастично-фонной модели ядра. В 80-е годы в тесном сотрудничестве с экспериментаторами из Института ядерной физики в Орсе (Франция) была детально исследована фрагментация только что обнаруженных глубоколежащих дырочных, высоколежащих одночастичных и двухквазичастичных состояний. Часть теоретических работ этого направления была удостоена премии им. академика Г.Наджакова Болгарской академии наук и Софийского университета (НРБ) (В.Андрейчев, А.И.Вдовин, Ч.Стоянов). Была найдена причина появления подструктур в низкоэнергетической части гигантского дипольного резонанса в тяжелых ядрах, рассчитаны вероятности прямого нуклонного распада гигантских резонансов и высоколежащих одночастичных состояний. Была построена новая, более совершенная версия КФМ, использующая фононы перенормированного приближения случайной фазы. Это приближение более последовательно учитывает действие принципа Паули в основном состоянии ядра, что позволило объяснить подавление резких колебаний переходных плотностей возбужденных состояний во внутренней области ядра (В.В.Воронов, Д.Караджов, Ф.Катара). Когда же в 90-х годах были открыты так называемые мультифононные гигантские резонансы (в первую очередь двойные), именно КФМ оказалась единственной микроскопической моделью, способной рассчитать их ширины. Было также доказано, что ангармо-



ничность этих высокочастотных ядерных возбуждений невелика и уменьшается обратно пропорционально массовому числу (В.В.Воронов, В.Ю.Пономарев).

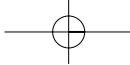
По заказу издательства «Ландольт–Бернштайн» (подразделение издательского концерна «Шпрингер») группа сотрудников ЛТФ и ЛЯП подготовила фундаментальный справочник по спектроскопии атомных ядер, содержащий сведения о надежно установленных возбужденных состояниях более 600 нуклидов. Справочник опубликован в 2002–2004 годах. Предыдущий справочник по ядерным спектрам был издан в указанной серии более 40 лет назад и к настоящему моменту безнадежно устарел. Когда было принято решение об издании новой версии, редактор будущего издания Х.Шоппер обратился к В.Г.Соловьеву с просьбой сформулировать основные принципы компиляции и подобрать возможных авторов. Выбор Х.Шоппера был не случаен: он знал В.Г.Соловьева как одного из ведущих мировых специалистов по теоретической ядерной спектроскопии и был хорошо осведомлен о высоком уровне дубненских работ в этой области.

Концепция суперсимметрии, хорошо известная в физике высоких энергий, нашла оригинальное воплощение и в теории структуры ядра. В ряде случаев (например, для ядер из области Os–Pt) удается связать характеристики близких четно-четных и четно-нечетных ядер, описать их спектры с одним и тем же гамильтонианом. Для модели с динамической симметрией  $U(6/2)$  Р.В.Джолосом и П. фон Brentано (Кельн) сконструирован суперсимметричный оператор, переводящий собственные состояния ядра с четным числом нуклонов в собственные вектора ядра с нечетным их числом. Это доказывает, что некоторые состояния соседних ядер действительно образуют суперсимметричные мультиплеты.

Ведущиеся в ЛТФ с 80-х годов работы по теории столкновений тяжелых ядер при промежуточных энергиях привели к созданию так называемой модели двухъядерной системы. Сама идея об образовании и кратковременной эволюции «двухъядерной» системы при столкновении тяжелых ионов принадлежит В.В.Волкову (ЛЯР). В результате длительных исследований на ее основе в ЛТФ (Р.В.Джолос, А.Н.Антоненко, Г.Г.Адамян, А.Насиров, В.Шайд) была создана модель, позволяющая количественно предсказывать массовые и зарядовые распределения продуктов столкновения, объяснить нестатистические эффекты распределения между фрагментами энергии возбуждения. Было показано, что диссипация кинетической энергии столкновения происходит главным образом из-за того, что сталкивающиеся ядра обмениваются нуклонами (нейтронами в первую очередь). Модель двухъядерной системы оказалась также весьма плодотворной при анализе кластерных эффектов в тяжелых ядрах.

Для изучения нового типа ядерной структуры – нейтронного гало, открытого в легких ядрах у самой границы нуклонной стабильности, построена модель реакции развала (С.Н.Ершов, Б.В.Данилин (ГНЦ «Курчатовский институт»)), позволяющая адекватно анализировать структуру непрерывного спектра и разнообразные корреляционные характеристики разлетающихся фрагментов.

А.К.Мотовиловым, В.Б.Беляевым и В.Сандхасом (Бонн) разрабатывается интересная проблема околопороговых резонансов в молекулах. Обычно молекулы трактуются как системы, связанные чисто кулоновским взаимодействием, а сильное взаимодействие между образующими молекулу ядрами полагается несущественным. Однако, если ядерная подсистема имеет очень узкий резонанс с энергией, близкой к



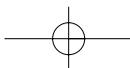
молекулярному уровню, ширина последнего оказывается обратно пропорциональной ширине ядерного резонанса. Рост ширины молекулярного резонанса означает увеличение вероятности слияния входящих в молекулу ядер. Хотя вероятность такого совпадения мала, но примеры «подходящих» молекул найдены.

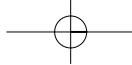
С.С.Камалов, Д.Дрексел и Л.Тиатор (Майнц) разработали унитарную модель с изобарой для анализа процессов фото- и электророждения пионов на нуклоне при эквивалентных энергиях фотона до 1 ГэВ. Учитываются борновские члены, векторные мезоны и нуклонные резонансы. Модель хорошо описывает экспериментальные данные как по дифференциальным сечениям, так и поляризационным характеристикам. Сконструирован веб-сайт, позволяющий производить расчеты по модели в режиме on-line ([www.kph.uni-mainz.de/theory/maid/maid.html](http://www.kph.uni-mainz.de/theory/maid/maid.html)).

Среди интенсивно разрабатываемых в ЛТФ проблем релятивистской ядерной физики заметное место занимает анализ взаимодействий дейтрона с электронами и протонами высоких энергий, причем структура дейтрона описывается в подходе Бете—Солпитера с реалистическим взаимодействием (В.В.Буров, Л.П.Каптарь, С.М.Доркин (НИИЯФ МГУ) и др.). Исследовано влияние различных релятивистских поправок и ухода с массовой поверхности на поляризационные характеристики реакции. А.И.Титовым в сотрудничестве с физиками из Японии, США и некоторых других стран изучаются различные аспекты физики векторных мезонов, например, модификация их свойств в ядерной среде при высокой температуре и плотности. С целью определить, сколь существенна роль «скрытой» странности протона в его структуре, предложено экспериментально исследовать ряд двойных поляризационных характеристик процесса фоторождения  $\phi$ -мезона на протоне. Свойства сильно нагретого и сжатого ядерного вещества, образовавшегося в результате столкновения тяжелых ионов релятивистских энергий, в том числе возможность фазового перехода в состояние кварк-глюонной плазмы и анализ наблюдаемых сигналов такого перехода, исследуются в рамках статистического подхода (А.М.Балдин, В.Д.Тонеев, А.А.Шаненко, В.И. Юкалов).

Методы теории ядра с успехом применены для анализа свойств новых мезоскопических систем, таких как металлические кластеры и квантовые точки (Я.Квасил (Прага), В.О.Нестеренко, Р.Г.Назмитдинов). Интересные исследования топологических эффектов в квантовой механике и тонких аспектов теории излучения Вавилова—Черенкова ведутся Г.Н.Афанасьевым.

Одной из наиболее важных и нерешенных проблем в настоящее время в физике твердого тела является построение теории систем с сильными электронными корреляциями. Актуальность этой давно стоящей проблемы необычайно возросла в связи с открытием высокотемпературной сверхпроводимости в медно-оксидных соединениях, обнаружением колоссального магнетосопротивления в манганитах, изучением тяжелофермионных систем. Н.М.Плакида с сотрудниками из Румынии разработал микроскопическую теорию высокотемпературной сверхпроводимости в рамках общей двухзонной  $p-d$  модели. Помимо АФМ обмена в этой теории учитывается и спин-флуктуационное взаимодействие, в результате чего возникает  $d$ -волновое спаривание с высокой критической температурой  $T_c$ . Эта теория позволила объяснить сильную зависимость  $T_c$  от межатомного расстояния, обнаруженную в нейтронных экспериментах в ЛНФ. В.А.Москаленко была построена общая теория учета сильных





корреляций на основе развитой им оригинальной диаграммной техники, которая была использована для расчета электронного спектра в моделях с сильной корреляцией и электрон-фононным взаимодействием. Ряд важных результатов при исследовании манганитов и соединений переходных металлов был получен В.Ю.Юшанхаем, Н.Б.Перкинс.

В секторе математической физики В.Б.Приезжевым с сотрудниками были получены строгие аналитические результаты при решении ряда модельных задач. В частности, было дано изящное решение проблемы самоорганизующегося критического поведения. Важные результаты были получены в конце 90-х годов В.К.Мельниковым при решении нелинейных уравнений методом обратной задачи и при исследовании интегрируемых моделей. В серии работ В.И.Иноземцева завершено решение проблемы спиновой квантовой цепочки с длинноволновым взаимодействием. Соответствующая модель в мировой литературе получила название системы Иноземцева.

Исследование модели полярона с помощью нестандартных методов позволило М.А.Смондыреву получить ряд новых результатов относительно спектра полярона в низкоразмерных системах и исследовать устойчивость биполярных состояний. Новый тип фазовых переходов, связанный с возникновением спонтанного тороидного момента, был предсказан В.М.Дубовиком, который недавно открыт в сегнетоэлектрических кристаллах.

В.И.Юкалов первым предложил и развил оптимизированную теорию возмущений, являющуюся в настоящее время одним из эффективных методов вычислений для сильновзаимодействующих систем в статистической физике и квантовой теории поля.

Оригинальная теория электронных свойств в системах с топологическими дефектами на основе калибровочной модели была развита В.А.Осиповым. На основе этой теории были исследованы тепловые свойства стекол при низких температурах и проведен расчет электронного спектра в структурах с протяженными дефектами.

## 6. Заключение

Сегодня Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова представляет собой большой исследовательский институт мирового класса в области теоретической физики. В лаборатории насчитывается около 170 сотрудников, из них половина работает на контрактной основе. Ученые многих стран всегда охотно приезжали в ЛТФ на сроки от одной-двух недель до нескольких лет. Их привлекают гостеприимная обстановка и хорошие условия работы. Важную роль здесь играет компьютерное обеспечение лаборатории, включающее персональные компьютеры и рабочие станции, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет. Они регулярно обновляются, оставаясь на уровне мировых стандартов.

Основанная выдающимися теоретиками прошлого столетия Д.И.Блохинцевым и Н.Н.Боголюбовым, сегодня лаборатория является центром теоретических исследований в области физики частиц, ядерной физики и статистической физики. Следует отметить практику междисциплинарных исследований в перечисленных направлениях и возрастающую связь теоретических исследований с экспериментом.

