

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова

1. Создание лаборатории, формирование научных направлений

26 марта 1956 года на Совещании по вопросу об организации ОИЯИ, проходившем в конференц-зале Президиума АН СССР в Москве, было принято «Заключительное сообщение о Совещании по вопросу об организации ОИЯИ». В нем было записано, что в структуру ОИЯИ должна входить Лаборатория теоретической физики (ЛТФ) с расчетным отделом и электронно-вычислительными машинами и предусматривалось сооружение для нее отдельного здания. Эту дату можно назвать датой рождения ЛТФ. Однако до реального возникновения лаборатории и налаженной, хорошо организованной научной работы прошло еще немало времени.

25 мая 1956 года за подписью директора ОИЯИ Д.И.Блохинцева вышел приказ № 5, который был сформулирован следующим образом:

«До утверждения новой структуры Института возложить на академика Н.Н.Боголюбова (начальника сектора № 3 теоретической лаборатории) выполнение обязанностей директора теоретической лаборатории Объединенного института»¹. Два дня спустя приказом № 7 в ЛТФ были зачислены первые сотрудники Б.В.Медведев, М.К.Поливанов и Д.В.Ширков, составившие ядро группы Н.Н.Боголюбова.

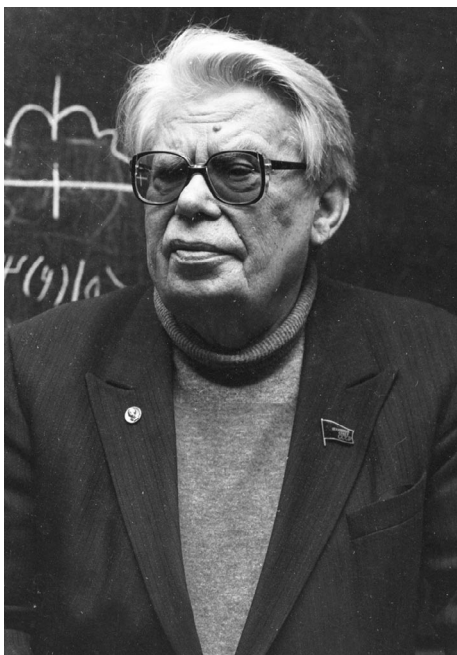
Еще до 26 марта 1956 года в Институте ядерных проблем АН СССР и Электрофизической лаборатории АН СССР, на основе которых возник ОИЯИ, существовали теоретические группы Я.А.Сморodinского и М.А.Маркова. В соответствии с приказами по ОИЯИ от 05.06.1956 г. № 13 и от 14.07.1956 г. № 27 они были переведены в Лабораторию теоретической физики и, вместе с группой Н.Н.Боголюбова, составили ядро ЛТФ.

С приходом В.Н.Сергиенко на должность административного директора ОИЯИ началось юридическое упорядочение структуры подразделений ОИЯИ, в том числе и структуры ЛТФ. Так, 4 августа 1956 года В.Н.Сергиенко подписывает приказ № 71 следующего содержания: «... В дополнение к приказу от 25.05.56 г. № 5 считать и.о. директора Лаборатории теоретической физики академика Н.Н.Боголюбова приступившим к работе в ОИЯИ с 1 июля 1956 года ...».

С 24 по 26 сентября 1956 года проходила первая сессия Ученого совета ОИЯИ. В докладе «О перспективном плане развития ОИЯИ» Д.И.Блохинцев сказал: «... В настоящее время в Институте имеются разрозненные теоретические группы. Практически отсутствует расчетное бюро, не имеется современной вычислительной техники, теоретики не имеют еще помещения, что затрудняет необходимость их объединения. Мы рассчитываем получить в будущем году машину типа «Урал», которую предполагаем временно установить в Лаборатории ядерных проблем. Радикальное решение проблемы теоретиков заключается в строительстве здания Лаборатории теоретической физики. Строительство предполагается закончить во втором квартале 1958 года ...».

На том же Ученом совете вице-директор ОИЯИ профессор В.Ю.Вотруба докладывал о планах развития ЛТФ (академик Н.Н.Боголюбов в дни заседаний совета на-

¹ Здесь и далее тексты цитируются по архивным документам ОИЯИ.



**Основатель Лаборатории
теоретической физики
директор ЛТФ
(1956–1965 гг., 1979–1986 гг.)
академик Н.Н.Боголюбов**

ходился в США на научной конференции). Предполагалось создание шести теоретических и трех расчетных секторов. Их состав и тематика не были окончательными и ставились в зависимость от научных интересов сотрудников, прибывающих в ОИЯИ из стран-участниц Института. Касаясь направлений теоретических исследований, В.Вотруба заявил: «Тематика докладов теоретической секции Рочестерской конференции, состоявшейся в этом году, эквивалентна тематике ЛТФ (дисперсионные соотношения, фундаментальные основы теории поля, феноменология взаимодействий элементарных частиц, построение моделей взаимодействия, свойства гравитационного поля, варианты нелинейных и нелокальных теорий, восстановление элементов матрицы рассеяния, поляризационные эффекты при рассеянии электронов и фотонов на протонах)...».

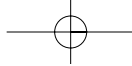
В дискуссии по докладу В.Вотрубы на вопрос Л.Инфельда о том, насколько теоретики будут связаны с экспериментальными лабораториями, Д.И.Блохинцев ответил, что группы М.А.Маркова и Н.Н.Боголюбова будут связаны с лабораторией В.И.Векслера,

а группа Я.А.Сморodinского будет связана с работами, проводимыми в ЛЯП. Векслер высказал опасение, что создание ЛТФ может привести к ослаблению связи теоретиков с экспериментаторами: «На семинары ЛВЭ и ЛЯП теоретики могут не ходить, и это вызовет опасное понижение теоретического уровня экспериментаторов». Надо, продолжил Векслер, чтобы теоретики «в обязательном порядке участвовали в экспериментальных семинарах ... и чтобы экспериментаторы активно участвовали в работе теоретических групп».

На этой же сессии Ученого совета ОИЯИ был утвержден состав Ученого совета ЛТФ.

И лишь с 1 октября 1956 года в ЛТФ было окончательно введено штатное расписание, произошло замещение штатных должностей и введены должностные оклады. Приказом от 11 октября 1956 г. № 243 утверждено 110 штатных единиц, девять секторов. К ноябрю определилось руководство ЛТФ: директор ЛТФ – академик Н.Н.Боголюбов, зам. директора ЛТФ – к.ф.-м.н. А.А.Логунов (ныне – академик РАН), ученый секретарь – П.С.Исаев (ныне профессор, д.ф.-м.н.).

Назначение Н.Н.Боголюбова на должность первого директора ЛТФ было «... не просто удачным, а уникально удачным». К началу 50-х годов в его послужном научном списке стояли: создание новых асимптотических методов нелинейной механи-



ки, микроскопическая теория сверхтекучести, новый метод построения уравнений статистической физики. В квантовой теории поля (КТП) в первой половине 50-х годов он получил два крупных результата: построил первую аксиоматическую теорию матрицы рассеяния, основанную на его знаменитом дифференциальном условии причинности, и математически строго обосновал процедуру перенормировок.

К середине 50-х годов относятся еще более яркие результаты:

- создание метода ренормализационной группы в КТП (1955 г.),
- доказательство дисперсионных соотношений (1956 г.),
- микроскопическая теория сверхпроводимости (1957 г.)¹.

В 1957 году за исследования по теории сверхпроводимости Н.Н.Боголюбову была присуждена Ломоносовская премия, а в 1958 году за разработку нового метода в квантовой теории поля и статистической физике, приведшего, в частности, к обоснованию теории сверхтекучести и теории сверхпроводимости, он был удостоен Ленинской премии.

Все эти достижения Н.Н.Боголюбова фактически определили научные направления ЛТФ на полтора-два десятилетия вперед, вооружили теоретиков ЛТФ методами расчета физических явлений в области физики элементарных частиц, теории ядра и физики конденсированных сред и вывели Лабораторию теоретической физики на ведущие позиции в мировой теоретической физике.

Следует особенно подчеркнуть, что работы Н.Н.Боголюбова этого периода оказали огромное влияние на развитие мировой теоретической физики, произвели глубокий поворот в сторону приоритета строгих математических методов рассмотрения физических явлений. Работы Н.Н.Боголюбова вывели теоретическую физику элементарных частиц и атомного ядра на новый уровень высокой математической культуры и строгости теоретического мышления.

«... В научно-организационном плане рождение лаборатории справедливо связывать с именем академика А.А.Логанова. С его приходом на должность зам. директора лаборатории подавляющее большинство приказов по организации лаборатории идет за подписью или с визами А.А.Логанова. Обладая превосходными волевыми качествами, огромной работоспособностью, А.А.Логанов помимо научно-организационной деятельности вел большую научную работу и в 1959 году защитил докторскую диссертацию»².

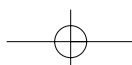
На пятой сессии Ученого совета, проходившей 14–16 января 1959 года, в своем отчетном докладе Н.Н.Боголюбов сказал:

«... За отчетный период сотрудники ЛТФ опубликовали в печати или в виде принтов 103 научных работы, то есть в полтора раза больше, чем в 1957 году, при одном и том же количестве научных сотрудников» ...

Было отмечено возросшее количество совместных работ теоретиков из СССР с теоретиками из других стран-участниц ОИЯИ. Сотрудники ЛТФ приняли активное

¹ Ширков Д.В. К истории Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова // Сборник «ОИЯИ-40». Дубна, 1996. С. 224–236.

² Исаев П.С. Первые три года Лаборатории теоретической физики (1956–1959) // Сборник «ОИЯИ-40». Дубна, 1996. С. 277–285.





Д.И.Блохинцев и Р.А.Асанов на заседании диссертационного совета

участие в двух Женевских конференциях, а также в конференциях, проводившихся в СССР: в Москве, Ленинграде, Тбилиси, Ужгороде и Ереване. Работала машина «Урал», была заказана машина «Киев», шла речь о приобретении новых машин М-20 и БЭСМ, А.А.Логунов добивался быстрее окончания работ по строительству нового здания ЛТФ.

Наконец, в апреле 1959 года, оно было введено в эксплуатацию, теоретики начали переезжать из ЛВЭ и ЛЯП в здание, на фасаде которого сегодня можно увидеть слова: «Лаборатория теоретической физики имени Н.Н.Боголюбова. 1959». Имя Боголюбова лаборатория получила после кончины ее основателя в 1992 году.

Лаборатория теоретической физики с оформившимися по научным направлениям секторами, с новым зданием, со своим расчетным центром, центральной библиотекой, расположившейся в этом же здании, становится одной из основных лабораторий Института и входит в число ведущих теоретических центров мира.

В сентябре 1956 года на международном съезде физиков-теоретиков в Сиэтле (США) Н.Н.Боголюбов дал математически строгое доказательство существования дисперсионных соотношений для рассеяния π -мезонов на нуклонах на ненулевой угол рассеяния (до значений передач $q^2 = -8\mu^2$). В основе доказательства лежала теорема «об острие клина», носящая имя Н.Н.Боголюбова. Ее содержание состоит в том, что обобщенные функции нескольких комплексных переменных, удовлетворяющие определенным условиям роста на бесконечности, могут быть аналитически продолжены в верхнюю полуплоскость одной комплексной переменной (например, энергии) и для таких функций могут быть записаны дисперсионные соотношения, представляющие физический интерес.

Локальные свойства теории поля определялись условием причинности, сформулированным Н.Н.Боголюбовым в вариационной форме

$$\frac{\delta}{\delta\varphi(x)} \left(\frac{\delta}{\delta\varphi(y)} S^+ \right) = 0 \quad \text{для } x \leq y,$$

где S – унитарный оператор, определяющий матрицу рассеяния, $\varphi(x)$ – локальное поле, а условие $x \leq y$ означает, что четырехмерная точка x лежит раньше точки y или, иначе, отделена от нее пространственноподобным интервалом. Таким образом, экспериментальная проверка дисперсионных соотношений означала проверку ряда фундаментальных свойств квантовой теории поля: локальности, причинности, унитарности.

Развивая гипотезу о существовании у элементарных частиц структурных составляющих и обобщив модель Ферми–Янга для представления пионов как составных состояний нуклона и антинуклона с учетом возбужденных состояний нуклонов, М.А.Марков пришел в 1955 году к аналогу предложенной позже (1956) известной модели Саката, которая, как известно, проложила дорогу модели кварков.

В этот же период времени теоретиками ОИЯИ был сделан существенный вклад в теорию слабых взаимодействий, имеющий непосредственное отношение к выбору впоследствии магистральных путей развития этой важнейшей области физики элементарных частиц. Вопреки широко распространенным мнениям, М.А.Марков привел физические соображения о том, что сечения образования многочастичных состояний (глубокоупругих, по современной терминологии), инициированные нейтрино, будут расти с увеличением энергии. С другой стороны, Д.И.Блохинцев, анализируя поведение амплитуд слабых процессов при высоких энергиях, в конце 50-х годов ввел понятие унитарного предела, то есть характерного масштаба энергий, при достижении которого существовавшая теория слабых взаимодействий должна претерпеть принципиальные изменения. Приблизительно в это же время М.А.Марковым была введена гипотеза о принципиальном отличии мюонного и электронного нейтрино, предложено обоснование возможности проведения нейтринных экспериментов на ускорителях и отмечена перспективность подземных и подводных нейтринных исследований как метода регистрации «атмосферных» и космических нейтрино. Эти результаты вошли в цикл работ Д.И.Блохинцева, Б.М.Понтекорво и М.А.Маркова, отмеченный в 1960 году только что учрежденной премией Объединенного института.



Начальник сектора ЛТФ
(1956–1962 гг.)
академик М.А. Марков

В это же время на основе развитой им микроскопической теории сверхпроводимости Н.Н.Боголюбов в работе «О сверхтекучести ядерной материи» распространил идею парных корреляций на ядерное вещество. Используя эту идею, В.Г.Соловьев в своих работах, выполненных в 1958–1963 годах, построил теорию парных корреляций в атомных ядрах, где была доказана важнейшая роль спаривания в формировании структуры ядер. Эти работы открыли новое направление исследований ЛТФ.

2. Квантовая теория поля и теория элементарных частиц

Уже в первые годы существования ЛТФ теоретические исследования велись широким фронтом. Одним из наиболее известных направлений, разрабатывавшихся в лаборатории в течение, примерно, четверти века, был метод дисперсионных соотношений (Д.С.) и его приложение к исследованию взаимодействий элементарных частиц — электронов, фотонов, π -мезонов, K -мезонов, нуклонов — в области сильных и электромагнитных взаимодействий (А.В.Ефремов, И.С.Златев, П.С.Исаев, А.А.Логунов, В.А.Мещеряков, Л.Д.Соловьев, Д.В.Ширков и др.)¹.

В конце 50-х годов группой Д.В.Ширкова на основе представления Мандельстама

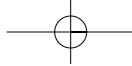


Директор ЛТФ (1965–1979 гг.)
член-корреспондент Д.И.Блохинцев

была разработана эффективная схема получения замкнутых систем уравнений для парциальных волн пион-пионного и пион-нуклонного рассеяния в области низких энергий. Здесь впервые удалось получить взаимно непротиворечивое описание относительно большой ширины ρ -мезона и большой околопороговой амплитуды s -волнового $\pi\pi$ -рассеяния. Дальнейшее развитие этого направления привело к возникновению понятия универсального коротковолнового отталкивания — см. главу 7 в английском издании монографии Д.В.Ширкова, В.В.Серебрякова и В.А. Мещерякова «Дисперсионная теория сильных взаимодействий при низких энергиях».

А.А.Логуновым и П.С.Исаевым была доказана справедливость Д.С. для электромагнитных взаимодействий в l^2 -приближении (1958). Таким образом, метод Д.С. с успехом был использован для описания формфакторных функций π -мезонов и нуклонов с последующей проверкой квантовой электродинамики (И.С.Златев, П.С.Исаев).

¹ Все цитированные ниже научные результаты отмечены либо премиями ОИЯИ, либо именными премиями, либо Государственными премиями.

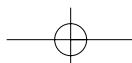


За совместной работой П.С.Исаев и И.Златев (1958 г.)

В работах А.А.Логунова, Нгуен Ван Хьеу, И.Т.Тодорова и О.А.Хрусталева теорема Померанчука была доказана для дифференциальных сечений неупругих процессов (1963–1966). Дальнейшее продвижение в область высоких энергий с помощью метода Д.С. было связано с доказательством их существования для неупругих процессов. Такие Д.С. были впервые сформулированы и доказаны в работах В.С.Владимирова и А.А.Логунова. Известно, что с увеличением энергии налетающих частиц роль неупругих процессов возрастает. И если в процессе неупругого взаимодействия выделить одну частицу в конечном состоянии, а остальные рассматривать в совокупности (такие процессы позднее стали называть инклюзивными), то из аналитических свойств рассматриваемых амплитуд квазиупругого взаимодействия можно получить скорости роста или убывания сечения и ряд других экспериментально наблюдаемых величин (А.А.Логунов, Нгуен Ван Хьеу, М.А.Мествиришвили).

В конце 50-х годов Л.Г.Заставенко, Чжоу Гуанчжао и М.И.Широков ввели представление матрицы рассеяния в терминах состояний с определенным значением проекции спинов частиц на их импульсы, которое впоследствии стало основой широко известного формализма спиральных амплитуд. В эти же годы в ЛТФ был выполнен цикл работ по доказательству Д.С. для ряда бинарных процессов, таких как комптоновское рассеяние и фоторождение. В 1973 году за эти работы А.М.Балдину, А.А.Логунову, А.Н.Тавхелидзе и Л.Д.Соловьеву была присуждена Государственная премия СССР (в составе авторского коллектива).

В работах В.В.Бабикова существенно развит метод фазовых функций в квантовой механике. Эти результаты нашли практическое применение при исследованиях упругого нуклон-нуклонного рассеяния в широкой области энергий и при изучении мезомолекулярных процессов.



**Б.Н.Валуев**

В 1964 году Б.Н.Валуевым проведен анализ треугольных особенностей амплитуд с нестабильными частицами и обнаружена возможность использования этих особенностей для определения длин рассеяния нестабильных частиц.

В.К.Мельниковым (1963) исследована структура решений динамических систем в резонансной области и сформулирован критерий наличия в системе хаотического поведения. В последующие годы методы, развитые В.К.Мельниковым, нашли широкое применение в прикладных задачах. Американское общество механиков-инженеров (ASME) присудило в 2001 году В.К.Мельникову премию Н.О.Миклестада за развитие глобального метода предсказания начала хаоса, известного в технической литературе как «метод Мельникова».

**В.К.Мельников**



А.А.Логунов, Н.Н.Боголюбов, А.Н.Тавхелидзе

В 1963–1964 годах Н.А.Черниковым была развита кинетическая теория одноатомных релятивистских газов. В настоящее время эта теория широко используется в нейтринной астрофизике.

С.С.Герштейном были выполнены важные работы по основам мюонного катализа, послужившие в дальнейшем отправной точкой нового направления исследований в физике промежуточных энергий. Количественное описание явления мюонного катализа было дано Л.И.Пономаревым с сотрудниками в 70–80-х годах.

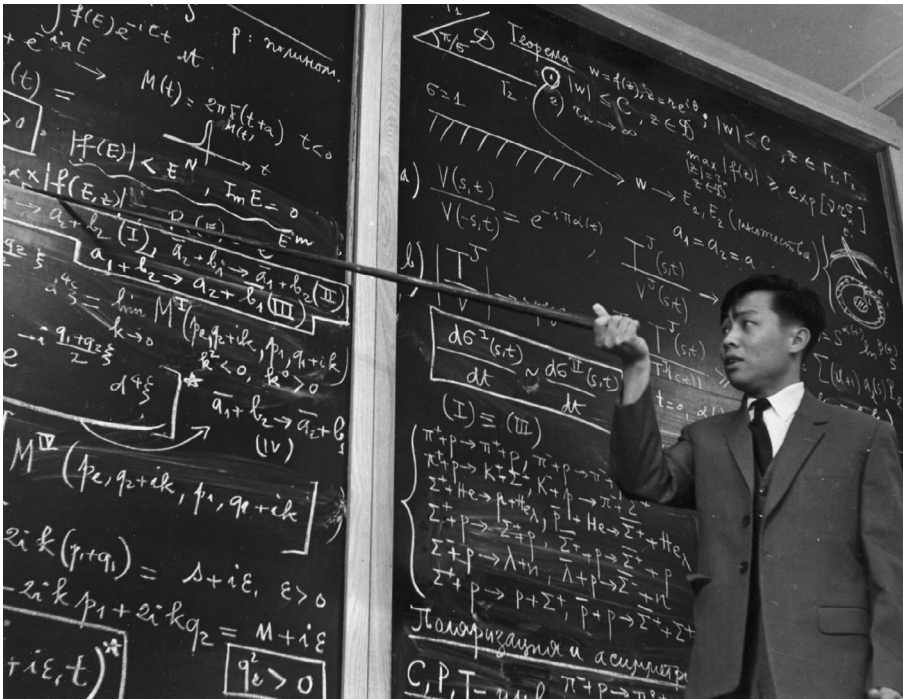
На рубеже 60-х годов Н.Н.Боголюбов создал новый метод квазисредних для описания динамических систем со спонтанно нарушенной симметрией. Этот формализм и доказанная в его рамках теорема о дальнедействии коллективных мод нашли разнообразные применения в статистической физике, а также составили основу так называемого механизма Хиггса и теоремы Голдстоуна в физике частиц.

Цикл исследований «Теория реакций на поляризованной мишени и полный опыт» был выполнен авторским коллективом в составе С.М.Биленького, Л.И.Лапидуса, Л.Д.Пузикова, Р.М.Рындина и Я.А.Смородинского.

В серии работ В.И.Огиевецкого и И.В.Полубаринова (1961–1965 гг.) введено понятие спина взаимодействующего поля и показано, как на основе этого получить теории Янга–Миллса и Эйнштейна. Рассмотрена также теория антисимметричного тензорного поля (нотиф) и найдены новые представления для частиц с массой нуль.



Слева направо: Я.А.Сморodinский, Л.Г.Заставенко, С.С.Герштейн, В.В.Пашкевич



Вьетнамский теоретик Нгуен Ван Хьюе

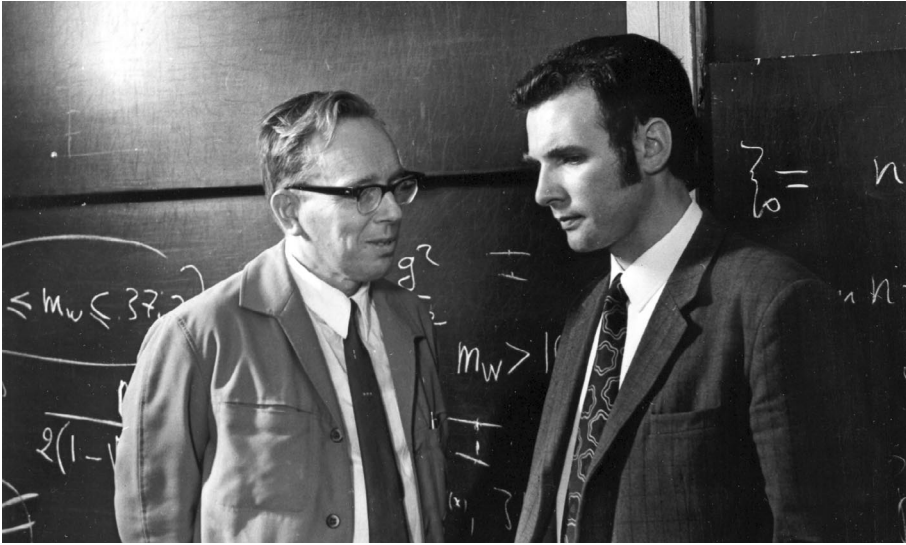


С.Б.Герасимов и М.Скадрон (США)

В начале 60-х годов А.А.Логуновым и А.Н.Тавхелидзе был создан новый метод описания частиц — так называемый квазипотенциальный подход, который породил исследования в таких направлениях, как приложения к квантовой электродинамике, высокоэнергетическое рассеяние, релятивистская теория связанных состояний. Коллективом авторов (Б.А.Арбузов, А.А.Логунов, Нгуен Ван Хьеу, А.Н.Тавхелидзе, И.Т.Тодоров, Р.Н.Фаустов, А.Т.Филиппов, О.А.Хрусталев) был выполнен большой цикл работ по этой тематике.

В середине 60-х годов выведены правила сумм, связывающие аномальные магнитные моменты частиц с интегралами от сечения рассеяния поляризованных фотонов на частицах с произвольным спином (правила сумм Дрела—Хёрна—Герасимова). За эти результаты С.Б.Герасимов получил Государственную премию СССР в 1977 году (в составе авторского коллектива). В июне 2004 года в США был проведен 3-й Международный симпозиум, посвященный этим правилам сумм и их дальнейшему развитию.

С конца 50-х годов В.Г.Кадышевский развивал квантовую теорию поля, содержащую, наряду со скоростью света c и постоянной Планка \hbar , третий универсальный масштаб — фундаментальную длину l_0 . Пространство-время в такой теории является квантованным. Эти работы продолжали исследования В.Гейзенберга, Х.Снайдера, В.Паули, Ч.Янга, И.Е.Тамма, Ю.А.Гольфанда и др. Был развит ряд новых направлений, среди которых упомянем два. Первое из них — релятивистская трехмерная гамилтонова теория поля, в которой справедливы трехмерные уравнения для амплитуды рассеяния, получившие в мировой литературе название «уравнений Кадышевского». В данном подходе конфигурационное пространство имеет квантовую природу, причем роль l_0 играет комптоновская длина волны частицы \hbar/mc .



Директор ЛТФ (1993—1998 гг.) академик Д.В.Ширков
 Директор ЛТФ (1987—1992 гг.) академик В.Г.Кадышевский

Работы этого цикла были удостоены первой премии ОИЯИ в 1974 году (в число авторов входили В.Г.Кадышевский, М.Д.Матеев, Р.М.Мир-Касимов, Н.Б.Скачков). Второе направление (разработанное совместно с А.Д.Донковым, М.Д.Матеевым, Р.М.Мир-Касимовым) связано с системой аксиом Боголюбова и основано на обобщенном условии причинности в квантовом конфигурационном представлении. Было показано, что расширение S -матрицы за массовую поверхность в неевклидовом импульсном пространстве является непротиворечивой альтернативой стандартной теории, однако оно свободно от ультрафиолетовых расходимостей. Работы по квантованному пространству, проводившиеся в ЛТФ, практически на три десятилетия предвосхитили современные теории некоммутативного пространства-времени, находящиеся в настоящее время в центре внимания теоретиков.

Б.А.Арбузовым и А.Т.Филипповым был развит метод исследования сингулярных потенциалов и даны применения к теории неренормируемых взаимодействий.

В начале 70-х годов Г.В.Ефимов сформулировал непротиворечивую квантовую теорию поля с нелокальным взаимодействием. В частности, в нелокальной КЭД решен вопрос о классическом пределе в задаче о собственной электромагнитной энергии электрона. В дальнейшем им предложена идея аналитического конфайнмента (виртонные поля), в рамках которой построен ряд моделей адронных взаимодействий низких энергий.

М.К.Волковым разработан суперпропагаторный метод регуляризации нелинейных (неполиномиальных) теорий поля.

В 1966 году Б.М.Барбашов и Н.А.Черников построили квантовую теорию скалярного безмассового поля Борна–Инфельда, которая, как оказалось в дальнейшем, полностью эквивалентна модели релятивистской струны Намбу–Гото (1970). В после-



Сидят слева направо: А.В.Ефремов, Б.М.Барбашов, Г.В.Ефимов
Стоят: В.Н.Первушин, В.В.Нестеренко, Р.М.Мир-Касимов,
А.Т.Филиппов (директор ЛТФ 1998–2003 гг.)

дующих работах Б.М.Барбашова, В.В.Нестеренко и А.М.Червякова была детально исследована динамика свободных струн в пространстве-времени Минковского и во вселенной де Ситтера, заряженных струн во внешнем электромагнитном поле и открытых струн с точечными массами на концах. Был предложен геометрический подход к струнной динамике, базирующийся на дифференциальной геометрии вложенных многообразий и сводящий теорию бозонной струны к нелинейным интегрируемыми уравнениям.

В конце 60-х – начале 70-х годов Н.А.Черниковым, Э.А.Тагировым и К.А.Бронниковым были выполнены работы по квантовой теории поля в искривленном пространстве-времени, давшие заметный импульс объединению общей теории относительности и квантовой теории в развитии космологических моделей ранней Вселенной, имевшему место в последние четыре десятилетия. Этими работами в теоретическую физику было введено новое фундаментальное уравнение скалярного поля, часто называемое уравнением Пенроуза–Черникова–Тагирова. Связь этого уравнения и некоторых его физических следствий с конформной симметрией способствовала подъему интереса к этой симметрии в теории фундаментальных частиц.

В 1964 году Гелл-Ман и Цвейг выдвинули идею существования кварков – гипотетических частиц с дробными значениями зарядов, из которых строились все наблюдаемые сильновзаимодействующие частицы (мезоны и барионы). Однако существовал ряд проблем, которые в рамках примитивной кварковой модели не были решены.



Н.Н.Боголюбов с учениками Б.В. Струминским, В.А.Матвеевым, В.Г.Писаренко

Сюда относятся проблема существования кварков в свободном состоянии (невыветание кварков из частиц или, иначе, «тюрьма» кварков), проблема существования систем, состоящих из четырех, пяти и более кварков, проблема статистики кварков.

Проблема статистики кварков была решена в 1965 году Н.Н.Боголюбовым, Б.В.Струминским и А.Н.Тавхелидзе путем введения нового квантового числа, названного впоследствии цветом (независимо от них к этой идее пришел ряд других ученых: Й.Намбу и М.Хан, Фройнд, Й.Миямото). Кварковая модель адронов активно развивалась в Дубне. Предполагалось, что кварки – это тяжелые объекты, связанные в адронах большими силами, обуславливающими большой дефект масс кварков и их невыветание наружу. Так появилась модель дубненского кваркового мешка (Н.Н.Боголюбов, П.Н.Боголюбов, Нгуен Ван Хьеу, В.А.Матвеев и др.). В рамках модели дубненского кваркового мешка был получен ряд важных результатов, в том числе дано объяс-

нение аномальных магнитных моментов нуклонов.

В конце 60-х годов В.А.Матвеевым, Р.М.Мурадяном и А.Н.Тавхелидзе была продемонстрирована плодотворность представления об автомодельности в сильных взаимодействиях и получены правила кваркового счета¹.

Идея цветных кварков и фундаментальных хромодинамических сил была применена к описанию чисто ядерных явлений. Наиболее прямым указанием на проявление кварковой структуры ядер является наблюдающийся на опыте закон степенного уменьшения электромагнитного формфактора дейтона при больших передаваемых импульсах, хорошо согласующийся с формулой кваркового счета и указывающий на наличие жесткой шестикварковой структуры у дейтона.

В начале 70-х годов Н.Н.Боголюбов, В.С.Владимиров и А.Н.Тавхелидзе показали, что степенное автомодельное поведение высокоэнергетических амплитуд не проти-

¹ Эти результаты вошли в цикл исследований «Новое квантовое число – цвет и установление динамических закономерностей в кварковой структуре элементарных частиц и атомных ядер», удостоенный Ленинской премии в 1988 году (авторы А.М.Балдин, П.Н.Боголюбов, В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян, А.Н.Тавхелидзе).

воречит общим принципам квантовой теории поля. Коллектив авторов в составе П.Н.Боголюбова, Э.Вицорекка, З.Кунста, В.А.Матвеева, Р.М.Мурадяна, Д.Робашика получил ряд важных результатов в цикле работ, объединенных общим названием «Автомодельность в физике высоких энергий».

Путем комбинирования дисперсионных соотношений с гипотезой реджевских полюсов А.А.Логунов, Л.Д.Соловьев и А.Н.Тавхелидзе в 1967 году получили правила сумм при конечной энергии, приведшие затем к возникновению концепции дуальности.

На рубеже 70-х годов В.А.Мещеряковым был развит метод решения нелинейных уравнений дисперсионного подхода в сильных взаимодействиях при низких энергиях.

В начале 70-х годов было развито приближение прямолинейных путей в представлении континуального интеграла, в рамках которого описаны основные закономер-



Академики А.Н.Тавхелидзе
и Н.Н.Боголюбов



Лауреаты премии Ленинского комсомола
Сидят слева направо: М.А.Смондырев, А.Н.Сисакян, В.Н.Первушин
Стоят: В.А.Матвеев, С.П.Кулешов



**Н.Н.Боголюбов, А.Н.Сисакян,
В.Г.Кадышевский**

ности высокоэнергетического рассеяния адронов. Группа теоретиков ЛТФ (С.П.Кулешов, В.А.Матвеев, В.Н.Первушин, А.Н.Сисакян, М.А.Смондырев) получила за эти работы премию Ленинского комсомола в 1973 году.

А.Б.Говорковым были проведены исследования парастатистик и их реализаций через бозе- и ферми-статистики, пополненные группами внутренних симметрий. Эти результаты, в частности, исключили использование парастатистик для описания кварков.

В 70-х годах М.К.Волковым и В.Н.Первушиным была разработана киральная теория возмущений для нелинейных мезонных лагранжианов. Это привело к развитию нового подхода к расчету процессов в низкоэнергетической мезонной физике.

В 70-80-х годах был выполнен значительный цикл работ по применению принципа автомодельности и обобщению правил кваркового счета для множественных и инклюзивных процессов с использованием

трехмерной формулировки КТП (С.Щ.Мавродиев, Р.М.Мурадян, А.Н.Сисакян, В.И.Саврин, Н.Б.Скачков, Л.А.Слепченко). Эти работы нашли широкое применение при обработке данных и планировании экспериментов на крупных ускорителях.

Одним из наиболее знаменательных событий в физике 70-х годов было рождение и становление квантовой хромодинамики (КХД) — квантовополевой теории сильных взаимодействий кварков и глюонов, которая по современным представлениям отвечает как за силы, связывающие кварки в адронах, так и за внутриядерное взаимодействие нуклонов.

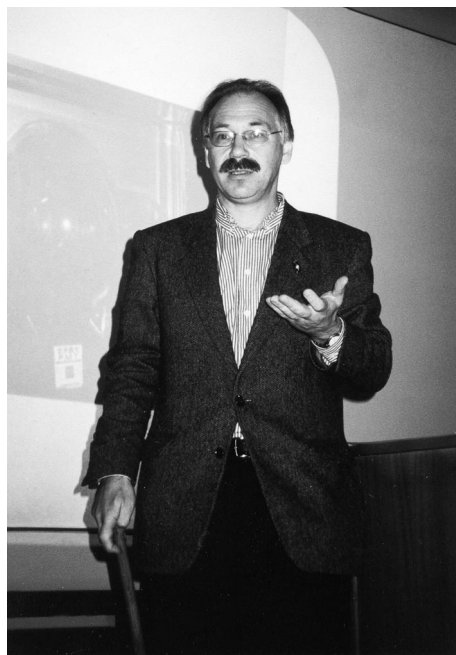
С середины 70-х годов в ЛТФ (совместно с ЛВТА) ведутся работы по использованию компьютерной алгебры (т. е. символьных вычислений на компьютерах) в теоретических исследованиях (Л.В.Авдеев, А.А.Владимиров, Д.И.Казаков, О.В.Тарасов, Д.В.Ширков). Были развиты методы вычислений радиационных поправок, проведены первые в мировой литературе расчеты в высших порядках теории возмущений, развиты методы инвариантной перенормировки, открыт целый класс теорий, свободных от ультрафиолетовых расходимостей. Развитые методы применялись также к двумерным нелинейным сигма-моделям, возникающим в теории суперструн. Полученные результаты получили международное признание и широко цитируются в литературе. В последние годы предложенные методы применялись и к мягконарушенным суперсимметричным теориям (Д.И.Казаков с сотрудниками). Был также развит новый подход к перенормировкам, основанный на грассмановом разложении в теориях с точной суперсимметрией. Получено много результатов, имеющих применение

в исследованиях по феноменологии Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели.

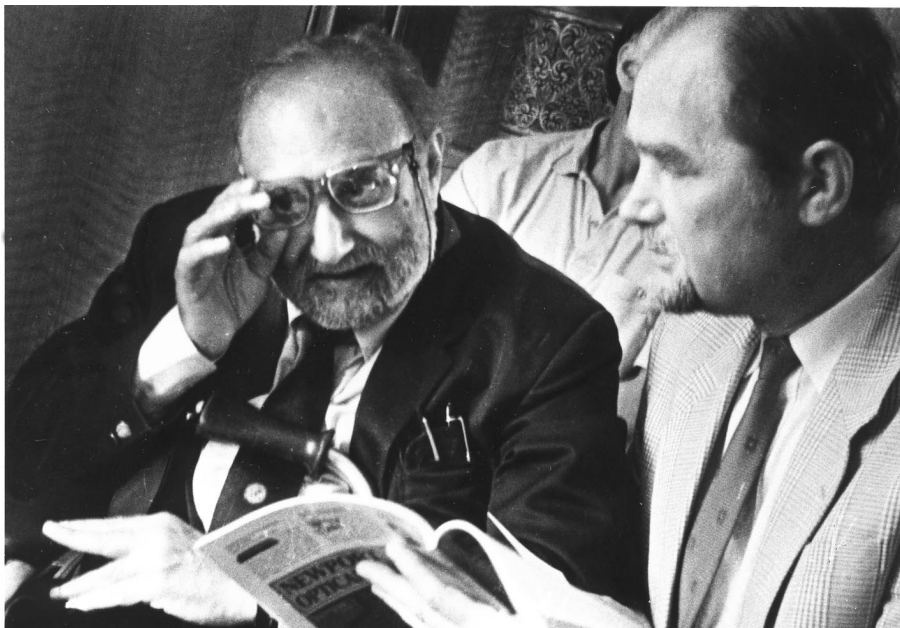
Д.И.Бардиным с сотрудниками разработан эффективный пакет аналитически-числовых программ, широко использованных в ЦЕРНе для обработки данных Z -мезонной фабрики.

В конце 70-х годов А.В.Ефремовым и А.В.Радюшкиным были установлены свойства факторизации больших и малых расстояний в инклюзивных и эксклюзивных процессах в КХД и вычислена асимптотика электромагнитного формфактора пиона.

Предложенный в середине 50-х годов Н.Н.Боголюбовым и Д.В.Ширковым метод ренормализационной группы дал регулярный алгоритм исследования ультрафиолетовых и инфракрасных асимптотик в КТП. Именно на его основе в начале 70-х был открыт феномен асимптотической свободы (Д.Гросс и др.) в КХД. За цикл работ «Метод ренормализационной группы в теории по-



Выступление Д.И.Казакова (2001 г.)
на семинаре ЛТФ



Лауреат Нобелевской премии Абдус Салам и П.Н.Боголюбов



На субботнике. Слева направо: Г.И.Колеров, Д.И.Блохинцев, В.Н.Первушин, В.Б.Беляев, М.К.Волков, В.И.Огиевецкий

лей» Н.Н.Боголюбов, А.А.Логунов и Д.В.Ширков были удостоены Государственной премии СССР в 1984 году.

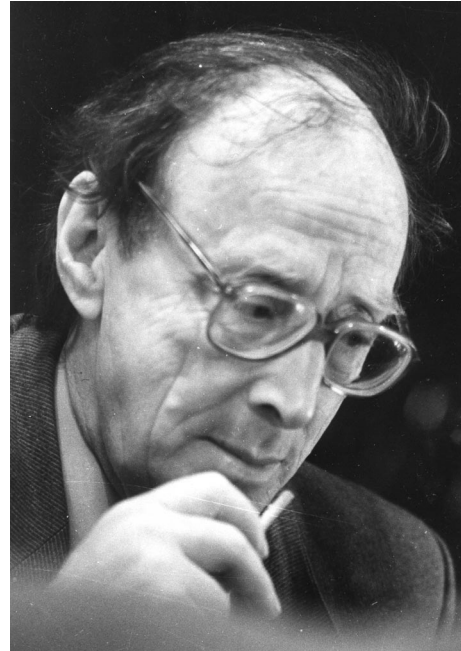
Анализируя природу ренормгрупповых преобразований, Д.В.Ширков в начале 80-х годов ввел понятие функциональной автомодельности (функционального самоподобия). На его основе возникло новое направление исследования симметрий частных решений широкого класса краевых задач математической физики. За развитие этого направления в 2004 году академик Д.В.Ширков удостоен золотой медали имени Н.Н.Боголюбова Российской академии наук.

В течение 80–90-х годов В.И.Огиевецким с сотрудниками был достигнут существенный прогресс в понимании математической структуры суперсимметричных теорий. Разработанный ими метод гармонического суперпространства теперь признан как наиболее адекватный подход к теориям с расширенной суперсимметрией. В.И.Огиевецким и Э.Сокачевым была выявлена комплексная геометрия простейшей ($N = 1$) супергравитации и дана соответствующая явно ковариантная формулировка. Общая теория нелинейных реализаций суперсимметрии и связи между суперполевыми и нелинейными реализациями были исследованы в работах Е.А.Иванова и С.О.Кривоноса.

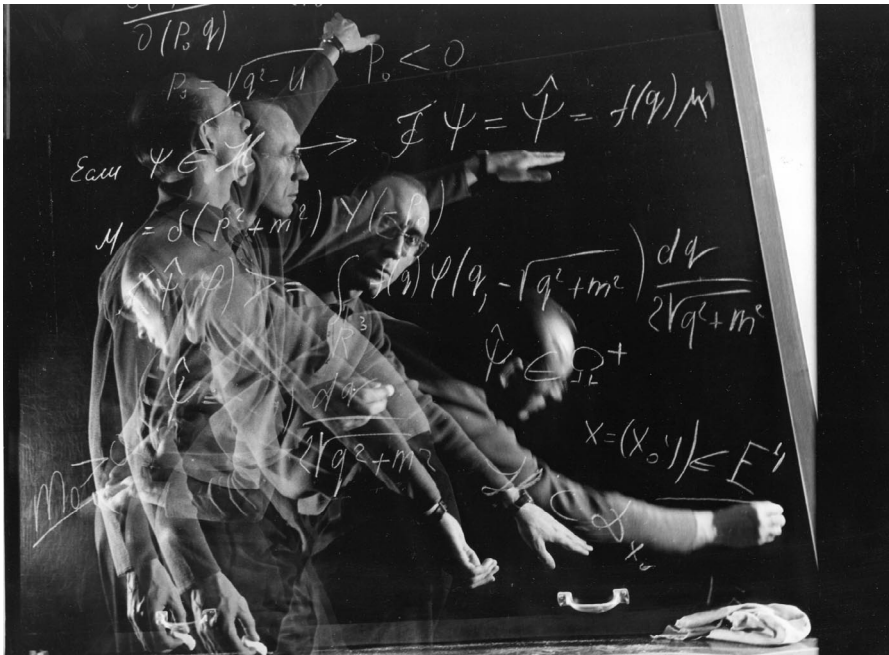
В начале 90-х годов Н.А.Черников ввел в общую теорию относительности новый объект – дополнительную (фоновую) связность и смог придать точный математический смысл эйнштейновскому псевдотензору энергии-импульса гравитационного поля.

В 1957–1958 годах Б.М.Понтекорво выдвинул гипотезу осцилляции нейтрино. До 1977–1978 годов работы по осцилляциям нейтрино выполнялись в основном в Дубне. В этих работах была развита полная феноменологическая теория осцилляций нейтрино как с дираковскими, так и с майорановскими массами (С.М.Биленький, С.Петков).

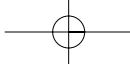
Физика множественного рождения частиц за более чем полувековую историю своего развития (начиная с основополагающих работ Г.В.Ватагина и Д.В.Скобелцына) обогатилась рядом фундаментальных открытий. Выделим основные закономерности процессов множественного рождения при высоких энергиях: подтвердился предсказанный Ватагиным рост с энергией относительного числа неупругих каналов, большинство вторичных частиц – пионы, но их доля с ростом энергии налетающих частиц убывает, так как открываются кана-



В.И.Огиевецкий



Теоретик (Г.И.Колеров)



лы рождения более тяжелых мезонов и барионов, большинство вторичных частиц рождается с малыми поперечными импульсами, распределение заряженных частиц по множественности свидетельствует о корреляционных явлениях в процессе генерации и ряд других особенностей. В ЛТФ совместно с другими лабораториями Института проводятся исследования процессов с очень большой множественностью, когда неупругость близка к единице.

Изучение множественных процессов, в особенности в связи с развитием представлений о составной (кварковой) структуре адронов, в 1970–1980 годах стало традиционным направлением исследований дубненских теоретиков (С.Мавродиев, В.А.Матвеев, В.К.Митрюшкин, А.Н.Сисакян, Л.А.Слепченко и др.).

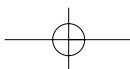
В 90-е годы теоретические исследования показали, что идеология главного логарифмического приближения неприемлема в области очень больших множественностей (ОБМ), реджевское описание имеет ограниченную область применимости в области ОБМ. Процессы множественного рождения относятся к классу сильнонеравновесных процессов, где обычные представления канонического формализма неприемлемы. По этой причине была разработана новая схема (А.Н.Сисакян, И.Д.Манджавидзе с сотрудниками), которая может быть использована на любых расстояниях, включая те, на которых стандартная теория возмущений КХД неприменима. Она способна описывать такие наблюдаемые, как сечение, корреляционные функции и другие.

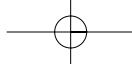
Важным в понимании взаимодействия лептонов с нуклонами было знание распределений кварков и глюонов по импульсам внутри нуклона. В цикле теоретических работ были получены функции распределения, удовлетворяющие единой системе эволюционных уравнений КХД и определяющие зависимость структурных функций от Q^2 . Было показано, что твистовые поправки пропорциональны производной от структурных функций и знакопеременны, а квантовохромодинамическая постоянная Λ для глубоко-неупругого взаимодействия лептонов с нуклонами — величина немалая $\Lambda \sim 300\text{--}400$ МэВ) (В.А.Бедняков, И.С.Златев, Ю.П.Иванов, П.С.Исаев, С.Г.Коваленко).

М.А.Ивановым была построена релятивистская кварковая модель с учетом конформности. Она нашла широкое применение в низкоэнергетической физике адронов. Им решен ряд актуальных задач в физике тяжелых кварков, то есть в физике адронов, содержащих один тяжелый кварк (например, боттом или чарм).

3. Теория атомного ядра

В ЛТФ расширились исследования по теории ядра, что было организационно закреплено созданием в 1963 году отдела теории ядра под руководством В.Г.Соловьева. Сотрудники отдела работали и в области теории ядерных реакций. В.К.Лукияновым, И.Петковым (Болгария) и Ю.С.Подем был разработан метод высокоэнергетического приближения, который стал широко использоваться для анализа и интерпретации данных рассеяния электронов на ядрах, в том числе для извлечения параметров распределения заряда в ядрах. Совместно с сотрудниками ЛТФ из ГДР Х.Вибики и Г.Шульцем В.К.Лукиянов исследовал роль связи каналов в прямых ядерных реакциях. В.Г.Соловьевым, П.Фогелем (Чехословакия) и др. были исследованы свойства вибрационных возбуждений деформированных ядер, их связь с квазичастичными сте-





пенями свободы. Было предсказано существование новой области деформированных ядер. В.Навроцка (Рыбарска) и А.Павликовски (Польша) изучили точность приближенных методов трактовки парных корреляций на моделях, допускающих точное решение. В работах З.Бохнацкого (Польша) разрабатывалась теория эффективного взаимодействия нуклонов в ядрах.

В работах В.Б.Беляева и В.Н.Ефимова (ЛНФ) были найдены эффективные методы решения уравнений задачи трех тел.

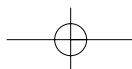
Исследуя поведение поверхностей потенциальной энергии в зависимости от деформации, В.В.Пашкевич обнаружил, что в процессе деления ядро, проходя первый барьер, перестает быть аксиально-симметричным, а проходя второй – и зеркально симметричным. Этот результат получил мировое признание. Кроме того, на примере ядра ^{208}Pb им было предсказано существование двух способов деления: с симметричным массовым распределением и с асимметричным. Экспериментально асимметричная мода деления была открыта только через 11 лет после этого предсказания. Переход от асимметричного к симметричному делению в легких изотопах тория детально исследовался в последующем в тесном сотрудничестве с экспериментаторами. Исследования продолжаются вплоть до настоящего времени. По инициативе А.Собищевского (Польша) Ф.А.Гареевым и Б.Н.Калинкиным были выполнены первые расчеты оболочечной структуры сверхтяжелых ядер с реалистическим потенциалом среднего поля (потенциалом Вудса–Саксона). Расчеты предсказали, что для протонов магическое число, следующее за уже известным $Z = 82$, должно быть равно 114. Эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов, выполненные в конце 90-х годов под руководством Ю.Ц.Оганесяна в ЛЯР им. Г.Н.Флёрва, действительно обнаружили в области $Z = 114–116$ «остров стабильности» сверхтяжелых ядер.

В.С.Барашенковым, К.К.Гудимой, С.М.Елисеевым и В.Д.Тонеевым был разработан кинетический подход для описания высокоэнергичных взаимодействий адронов с ядрами. Подход активно использовался не только для анализа экспериментальных данных, полученных в ОИЯИ, но и нашел применение в прикладных исследованиях (прохождение быстрых частиц через вещество, электроядерные бридеры, радиационная защита космических объектов, некоторые задачи космофизики).

Тематика исследований по теории ядра в 70-е годы заметно расширилась. Одно из крупных достижений этого периода связано с именами Р.В.Джолоса, Д.Янсена и Ф.Дэнау (ГДР). Ими были построены бозонные представления пар фермионных операторов, которые обобщили как представление Холстейна–Примакова, так и представление Дайсона на случай общей фермионной алгебры. С помощью бозонных представлений им впервые удалось последовательным образом построить гамильтониан, описывающий квадрупольные коллективные возбуждения ядер, и показать, что его самый общий вариант имеет $SU(6)$ -симметрию. Эти работы дали сильный импульс развитию алгебраического подхода в теории ядра и впоследствии были использованы при построении популярной модели взаимодействующих бозонов.

В развитие теоретико-группового подхода в теории ядра заметный вклад внесли также работы Г.Н.Афанасьева и П.Райчева (Болгария).

В эти же годы В.Г.Соловьевым были сформулированы основные положения микроскопической квазичастично-фононной модели ядра (КФМ), которая описывает ядерные спектры на основе представлений о взаимодействующих боголюбовских





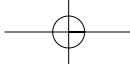
В.Г.Соловьев и А.А.Логунов (1978 г.)

квазичастицах и фонах приближения случайной фазы. С помощью КФМ группе сотрудников ЛТФ (В.Г.Соловьев, Л.А.Малов, В.В.Воронов, А.И.Вдовин, Ч.Стоянов (Болгария) и др.) удалось объяснить и рассчитать многие свойства ядерных возбуждений различных энергий. Был впервые оценен вклад коллективных движений ядра в плотность ядерных уровней, рассчитаны нейтронные и радиационные силовые функции. Крупнейшим достижением явились первые количественные расчеты ширины гигантских резонансов.

Существенный вклад в микроскопическую теорию ядерного вращения, способствовавший пониманию ряда его важных свойств, был сделан И.Н.Михайловым, Э.Наджаковым, Д.Караджовым и Й.Пиперовой (Болгария). В работах Н.И.Пятова был разработан оригинальный метод восстановления трансляционной, вращательной и изотопической симметрий модельного ядерного гамильтониана. В 1974 году, за 10 лет до экспериментального подтверждения, В.В.Пашкевич, К.Ниргор (Дания) и С.Фраундорф (ГДР) предсказали существование супердеформированных изомеров формы в быстровращающихся ядрах.

В.Б.Беляев и Е.Вжеционко (Польша) разработали метод конечномерной аппроксимации гамильтонианов в теории малочастичных систем, который успешно применяется в задачах мезон-ядерного рассеяния, теории гиперядер и рассеяния нуклонов на легких ядрах. Широкую известность приобрели работы по теории малотельных систем Я.Реваи (Венгрия).

В совместных исследованиях сотрудников НИИЯФ МГУ, ЛЯП и ЛТФ ОИЯИ было предсказано явление резонансного поглощения мюонов ядрами с возбуждением



коллективных колебаний типа гигантского резонанса. Предсказание и обнаружение этого явления было зарегистрировано в 1976 году в СССР в качестве открытия, в авторский коллектив входили сотрудники ЛТФ В.Б.Беляев и Р.А.Эрамжян. При их активном участии в ЛТФ сложилась и долгие годы плодотворно работала широкая международная коллаборация теоретиков, исследовавших процессы взаимодействия с ядрами мюонов, пионов и каонов, в которую в разное время входили М.Гмитро, Р.Мах, Л.Майлинг (Чехословакия), С.С.Камалов, Г.Киссенер, М.Кирхбах (ГДР) и др.

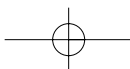
Теоретики внесли крупный вклад в становление в ОИЯИ ядерной физики высоких энергий (релятивистской ядерной физики). Сотрудники ЛТФ вместе с коллегами из ЛВЭ регулярно организуют представительную конференцию «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика». Под руководством академика А.М.Балдина была разработана теория ядерного кумулятивного эффекта, связанного с ненуклонными степенями свободы ядра (А.В.Ефремов, В.В.Буров, В.К.Лукьянов, А.И.Титов). При этом на новом уровне была использована идея о флуктуациях плотности ядерного вещества (флуктонах), выдвинутая Д.И.Блохинцевым в 1957 году в связи с наблюдением группой М.Г.Мещерякова (ЛЯП) выбивания дейтронов протонами из ядер углерода, меди и др., были сделаны первые оценки примесей многокварковых состояний в ядерных волновых функциях.

4. Теория конденсированных сред

В 1966 году в лаборатории был создан сектор «Статистическая механика», в задачи которого входили разработка методов статистической механики для исследования проблемы многих тел и применение их в теории конденсированных сред. Первым руководителем сектора был назначен С.В.Тябликов. Однако исследования по статистической механике начались в ОИЯИ задолго до создания такого сектора. Это было связано в первую очередь со знаменитыми исследованиями Н.Н.Боголюбова, который в 1946 году впервые построил микроскопическую теорию сверхтекучести слабо неидеального бозе-газа, а в 1957 году разработал новый метод в теории сверхпроводимости для реалистической модели Фрёлеха. Первое подробное изложение этого метода было дано в препринте ОИЯИ в 1957 году. Метод квазисредних в статистической механике, впервые представленный Н.Н.Боголюбовым на конгрессе по проблемам многих частиц в 1959 году и опубликованный в трудах этого конгресса в 1960 году, получил неожиданное применение в теории поля для систем со спонтанным нарушением симметрии. Предложенная Н.Н.Боголюбовым микроскопическая теория двухжидкостной гидродинамики сверхтекучего гелия была впервые опубликована в 1963 году в виде препринта ОИЯИ. Дальнейшее развитие эта теория получила в цикле работ З.Гаялсевича из Вроцлавского университета.

Помимо глубокой научной базы для развития исследований по статистической механике, заложенной Н.Н.Боголюбовым, была и другая, более практическая, причина для стимулирования теоретических исследований конденсированных сред.

В то время в ЛНФ ОИЯИ И.М.Франк и Ф.Л.Шапиро со своими сотрудниками успешно вели эксперименты на импульсном реакторе ИБР-1 по исследованию конденсированных сред. В частности, уже были получены первые результаты по исследова-



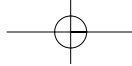


Д.В.Ширков и Н.М.Плакида

нию спектра возбуждений жидкого гелия, который оказался на удивление близким к спектру неупругого рассеяния нейтронов в жидком свинце. Проектировался реактор значительно большей мощности, ИБР-2, исследования на котором по физике конденсированных сред позволили бы ОИЯИ войти в число ведущих мировых научных центров (что и произошло в последующие годы). Поэтому одной из главных задач создаваемого сектора являлась теоретическая поддержка экспериментальных исследований в ЛНФ по рассеянию нейтронов в твердых телах и жидкостях.

Первым сотрудником сектора стал Н.М.Плакида, а к осени 1966 года прибыли Т.Шиклош (Венгрия) и Х.Конвент (Польша). В работах Н.М.Плакиды и Т.Шиклоша был предложен новый метод самосогласованного вычисления термодинамических функций Грина, в котором нет нулевых функций Грина. На основе этого метода им удалось построить теорию сильно ангармонических кристаллов, получившую название теории самосогласованных фононов. В рамках этой теории была исследована проблема устойчивости кристаллов и структурные фазовые переходы (В.Л.Аксенов, Х.Конвент, Н.М.Плакида, С.Стаменкович, Т.Шиклош). Позднее эти исследования были использованы для интерпретации экспериментов по изучению фазовых переходов методом рассеяния нейтронов в ЛНФ.

Большой интерес представляли экспериментальные исследования жидкого гелия на импульсном реакторе в ЛНФ, которые показывали совпадение фазового перехода в сверхтекучее состояние при температуре $T_\lambda = 2,18$ К с появлением бозе-конденсата. После успешной обработки спектров неупругого рассеяния нейтронов В.Б.Приезжеву и В.А.Загребнову удалось однозначно доказать совпадение явления бозе-конденсации с появлением сверхтекучести в реальном жидком гелии — результат, полученный ранее Н.Н.Боголюбовым в его микроскопической теории. Плодотвор-



ное сотрудничество В.Б.Приезжева и экспериментаторов в ЛНФ по этой тематике продолжается до сих пор.

Большой интерес представляли теоретические работы Д.И.Блохинцева и Н.М.Плакиды по хранению ультрахолодных нейтронов (УХН) в «нейтронных бутылках» и путях увеличения времени хранения УХН в экспериментах, проводимых в ЛНФ.

По мере роста числа сотрудников в секторе статистической механики помимо исследований, связанных с экспериментами по рассеянию нейтронов, стали развиваться и исследования математических проблем в теории многих частиц. Здесь следует отметить исследования неравновесных систем Д.Н.Зубаревым с сотрудниками из Польши, разработка зонной теории металлов П.Цише с сотрудниками из ГДР, применение метода аппроксимирующего гамильтониана Н.Н.Боголюбова для строгого решения ряда модельных задач В.А.Загребновым, Й.Бранковым и Н.Тончевым.

С расширением тематики помимо сектора статистической механики были созданы новые секторы: квантовой оптики (1984), математической физики (1986) и теории твердого тела (1987).

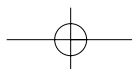
В секторе статистической механики под руководством В.К.Федянина был получен ряд важных результатов по физике поверхностей, нелинейных явлений в конденсированных средах, каналированию быстрых частиц (Г.М. Гавриленко).

В секторе квантовой оптики А.С.Шумовским с сотрудниками изучались процессы когерентного излучения в многоуровневых системах.

В.И.Юкаловым был развит метод разделения масштабов, являющийся обобщением метода усреднения Крылова—Боголюбова на дифференциальные уравнения в частных производных и на стохастические дифференциальные уравнения. Используя развитый подход, В.И.Юкалов создал теорию спинового сверхизлучения, впервые описавшую все режимы этого когерентного явления. Теория объяснила проведенные в Дубне пионерские эксперименты по обнаружению ядерного спинового сверхизлучения. Метод разделения масштабов был также применен В.И.Юкаловым для создания теории атомных лазеров, где им совместно с Е.П.Юкаловой был предложен новый механизм формирования направленного коллимированного пучка когерентных атомов. Эти работы были удостоены в 2002 году премии МАИК «Наука/Интерпериодика».

В секторе математической физики, первым руководителем которого был П.Экнер (ЧССР), были получены важные результаты по исследованию свойств оператора Шредингера. Предложенная П.Шеба (ЧССР) модель квантового бильярда стала впоследствии одной из основных моделей хаоса. В.А.Загребновым и Н.Ангелеску (Румыния) были получены оригинальные результаты в области слабо неидеального бозе-газа. В.Б.Приезжев и Й.Бранков (Болгария) приступили к изучению совершенно новой статистической модели, описывающей явление самоорганизованной критичности.

В области теории твердого тела основное внимание уделялось высокотемпературной сверхпроводимости в новых медно-оксидных сверхпроводниках, открытых в 1986 году. В работах Н.М.Плакиды, В.Ю.Юшанхая и др. изучался антиферромагнитный (АФМ) обмен как механизм высокотемпературной сверхпроводимости. А.Л.Куземский разработал эффективный метод вычисления электронного спектра в моделях с сильной корреляцией.



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-

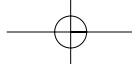
ненты импульса возникает удвоение числа полей. Вследствие этого появляется новая группа внутренней симметрии $SU(2)$, механизм нарушения которой заложен в самой теории. Отсюда получается ряд следствий, таких как объяснение μ -универсальности, различные механизмы нарушения P - и CP -симметрии. Теория 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 наметился 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.

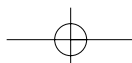
Во многих областях теоретической физики возникают структуры, связанные с решеточной интегрируемой иерархией Тоды, а ее различные возможные суперсимметризации могут быть важны для современных суперсимметричных теорий. В этой связи в серии работ В.Г.Кадышевского и А.С.Сорина были построены интегрируемые 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.

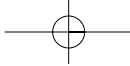
Новый калибровочный подход в теории струн, включающий новый объект — «дискретная струна», — был развит в работах А.П.Исаева и А.Т.Филиппова.

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.

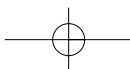
Важная тема контракции алгебр Ли и разделения переменных в пространствах постоянной кривизны в евклидовом и псевдоевклидовом пространствах рассмотрена в работах группы теоретиков П.Винтернитца, А.А.Измествьева, Г.С.Погосяна, А.Н.Сисакяна. В физику понятие контракции входит в виде «принципа соответствия», 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 $\hbar \rightarrow 0$.

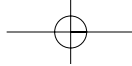
В цикле рассматриваемых работ был представлен новый аспект теории контракций групп и алгебр Ли: а именно, связь между ортогональными системами координат (допускающих полное разделение переменных в уравнении Гельмгольца), определенных на пространствах постоянной кривизны и в плоском пространстве и связанных 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-



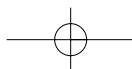


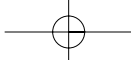
щений» (АТВ) был предложен внутренне замкнутый алгоритм, обладающий рядом важных черт: наличие двух различных аналитических функций связи в евклидовой $\bar{\alpha}_E(Q^2)$ и псевдоевклидовой $\bar{\alpha}_M(s)$ (минковской) областях кинематической переменной; стабильность поведения эффективных функций 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



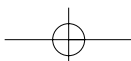


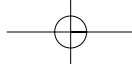
показано, что учет взаимодействия кварков через обмен инстантонами объясняет расщепление по спину в адронных мультиплетах легких мезонов и барионов, а также решает $U(1)_A$ проблему. Позже было показано, что поляризация инстантонного вакуума КХД приводит к экранировке спина кварка и объясняет «спиновый 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/Ψ или QQ рождения могут быть использованы для исследования поляризованных глюонных распределений в протоне при малых x .



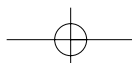


Идентификация и исследование экзотических мультикварковых состояний может дать принципиально важную и существенно новую информацию о кварк-глюонных взаимодействиях в несинглетных цветовых состояниях, поскольку надежное вычисление спектра масс б-кварковых (т.е. дибарионах) состояний с учетом существенно-многочастичных 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/c².

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 σ -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).

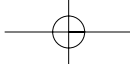
По заказу издательства «Ландольт–Бернштайн» (подразделение издательского концерна «Шпрингер») группа сотрудников ЛТФ и ЛЯП подготовила фундаментальный справочник по спектроскопии атомных ядер, содержащий сведения о надежно установленных возбужденных состояниях более 600 нуклидов. Справочник опубликован 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



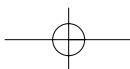
молекулярному уровню, ширина последнего оказывается обратно пропорциональной ширине ядерного резонанса. Рост ширины молекулярного резонанса означает увеличение вероятности слияния входящих в молекулу ядер. Хотя вероятность такого совпадения мала, но примеры «подходящих» молекул найдены.

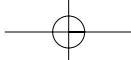
С.С.Камалов, Д.Дрекслер и Л.Тиатор (Майнц) разработали унитарную модель с изобарой для анализа процессов фото- и электророждения пионов на нуклоне при эквивалентных энергиях фотона до 1 ГэВ. Учитываются борновские члены, векторные мезоны и нуклонные резонансы. Модель хорошо описывает экспериментальные 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).

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 ϕ -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.

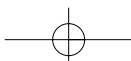
В.И.Юкалов первым предложил и развил оптимизированную теорию возмущений, являющуюся в настоящее время одним из эффективных методов вычислений для сильновзаимодействующих систем в статистической физике и квантовой теории поля.

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.



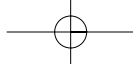


На конференции, посвященной 95-летию Д.И.Блохинцева (2003 г.)

Большое внимание уделяется укреплению международных контактов. Ежегодно лаборатория проводит не менее 10 конференций, школ и рабочих совещаний, ежегодное число визитеров из стран-участниц и других стран в ЛТФ составляет около сотни ученых. У лаборатории имеются традиционные связи с ведущими теоретическими институтами и лабораториями стран-участниц ОИЯИ и многих других стран. География научных связей лаборатории исключительно широка и, кажется, что ее сотрудники востребованы во многих центрах мира. Успешно выполняются научные программы с Германией, Италией, Францией, Болгарией, Польшей, Румынией, Чехией, Словакией, ЦЕРНом. Научно-исследовательская деятельность теоретиков поддерживается национальными и международными фондами: РФФИ, ИНТАС, ЮНЕСКО, ДААД, DFG, CNRS и др. Имеются многочисленные индивидуальные совместные программы, многие из которых завязаны на вышеупомянутые коллективные программы. Важно отметить возрастающее сотрудничество с экспериментаторами, хотя здесь научный потенциал лаборатории используется еще не полностью.

Сравнивая научную активность сотрудников лаборатории за два периода — 2001–2002 и 2003–2004 годы, можно увидеть возрастающее число публикаций. В частности, появляется все большее число публикаций по новым разделам теоретической физики: астрофизике, новым непertурбативным методам квантовой теории поля, некоммутативным теориям, нелинейным проблемам и т. д.

Изменение приоритетов теоретических исследований, очевидно, отвечает мировой тенденции развития теоретической физики. Как видно из ранее перечисленных



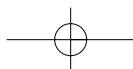
научных достижений лаборатории, ее сотрудники часто сами инициируют новые направления исследований.

В 2003 году в ЛТФ открылась новая тема — «Современная математическая физика». В будущем возможно появление проекта, связанного с исследованием проблем астрофизики и космологии. Это могут быть исследования междисциплинарного плана, объединяющие ученых, занимающихся физикой ядра, физикой элементарных частиц и математической физикой. В качестве первого шага здесь могут возникнуть связи с отдельными учеными и центрами, которые к настоящему времени более всего продвинуты в этих направлениях.

К сожалению, есть две большие нерешенные проблемы: низкая зарплата и старение научного персонала. Эти довольно острые проблемы стоят сейчас перед большинством институтов мира, ведущих фундаментальные исследования в различных направлениях науки. Кажется, что единственным путем решения этих проблем могут быть только скоординированные усилия мирового сообщества ученых, которое обязано удержать высокий уровень защиты против фатального падения фундаментальных исследований во всем мире. Одной из проблем является уменьшение притока талантливой молодежи в фундаментальную науку. Для преодоления этих негативных тенденций необходима систематическая работа по поиску и подготовке тех, кто завтра сможет продолжить исследовательскую работу в области фундаментальной науки.



Организаторы и лекторы международной школы «Актуальные проблемы астрофизики» (Дубна, 2004 г.). Слева направо: В.И.Журавлев, М.Дамбровский (Польша), В.Сантхас (Германия), Д.Блашке (Германия), Б.Хайнце (Общество Г. фон Гельмгольца, Германия), В.Б.Беляев, П.Физиев (Болгария)

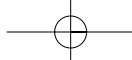


Повышение квалификации молодых ученых и обучение студентов всегда было важной частью деятельности лаборатории. Около 20 аспирантов за последние два года защитили кандидатские диссертации. Многие из известных ученых лаборатории читают лекции в Учебно-научном центре ОИЯИ, а также в университетах Москвы, Твери, Иваново и некоторых других. Лаборатория принимала деятельное участие в организации выпускающих кафедр физического направления в Международном университете природы, общества и человека «Дубна». Летом 2003 года были созданы кафедры теоретической и ядерной физики. Их возглавили вице-директор ОИЯИ, директор ЛТФ им. Н.Н.Боголюбова профессор А.Н.Сисакян и научный руководитель ЛЯР академик РАН Ю.Ц.Оганесян. Благодаря взаимодействию с ОИЯИ кафедры могут формировать свои учебные планы, учитывая требования, которые предъявляет к специалисту-физику научное сообщество. В результате студенты получают современное образование, а ученые ОИЯИ – возможность привлечь к научным исследованиям талантливую молодежь.

В различных странах существуют программы для поддержки образования и исследований. С 2004 года в ЛТФ по инициативе А.Т.Филиппова действует научно-образовательная программа – Дубненская международная школа современной теоретической физики (Dubna International Advanced School of Theoretical Physics – DIAS-TH). Она основана на успешном опыте международного сотрудничества ЛТФ в научных исследованиях, в организации международных школ, рабочих совещаний и ее целью является укрепление образовательной компоненты этого сотрудничества. Для эффективности образовательного процесса важен непосредственный и достаточно продолжительный контакт молодежи с работающим научным коллективом. Особенно удачной в этом отношении является форма Research Workshops, в которой лекции сочетаются с исследовательской работой по конкретным научным проектам, что приводит к непрерывности научно-образовательного процесса. В качестве примеров приведем три подобных научных мероприятия: «Расчеты процессов для современных и будущих коллайдеров» (13–22 июня 2003 г.); «Квантовая гравитация и суперструны» (18–28 июня 2001 г.; 11–18 июля 2002 г.); «Физика тяжелых кварков» (27 мая – 5 июня 2002 г.). Такая форма стала возможной благодаря финансовой поддержке со стороны Федерального министерства образования, исследований и технологий Германии, Венецианского отделения ЮНЕСКО и Российского фонда фундаментальных исследований. Естественно, что деятельность DIAS-TH будет концентрироваться вокруг четырех основных научных направлений, сформулированных выше. В процессе реализации целей DIAS-TH предусматривается самое широкое сотрудничество (научное и финансовое) как стран-участниц ОИЯИ, так и других стран, участие в организации учебного процесса на новых кафедрах теоретической и ядерной физики Международного университета «Дубна», а также сотрудничество с УНЦ ОИЯИ в подготовке студентов и аспирантов и в организации школ для студентов.

Лаборатория теоретической физики сыграла большую роль в подготовке научных кадров высшей квалификации для всех стран-участниц. Из нее вышли известные ученые – крупные руководители науки:

В.Л.Аксенов – директор ЛНФ ОИЯИ им. И.М.Франка (1989–2000);



А.М.Балдин — академик, директор ЛВЭ ОИЯИ им. В.И.Векслера—А.М.Балдина (1968—1997);

В.Г.Кадышевский — академик, директор ЛТФ им. Н.Н.Боголюбова (1987—1992), директор ОИЯИ (1992—2005);

А.А.Логунов — академик, директор ИФВЭ, вице-президент АН СССР (1974—1991), ректор МГУ (1977—1992);

В.А.Матвеев — академик, директор ИЯИ РАН;

М.Матеев — академик Болгарской академии наук, министр народного просвещения (1990—1991), председатель Союза физиков Болгарии;

Нгуен Ван Хьеу — первый президент Национального центра научных исследований Вьетнама;

А.Н.Сисакян — профессор, вице-директор ОИЯИ, директор ЛТФ ОИЯИ им. Н.Н.Боголюбова, в марте 2005 года избран директором ОИЯИ;

Л.Д.Соловьев — профессор, директор ИФВЭ (1974—1993);

А.Н.Тавхелидзе — академик, первый директор ИЯИ АН СССР, президент АН Грузии (1986—2005);

И.Тодоров — академик Болгарской академии наук;

Чжоу Гуанчжао — президент Академии наук КНР.

Д.В.Ширков — академик, директор ЛТФ ОИЯИ им. Н.Н.Боголюбова (1993—1998).

Значительный вклад внесен специалистами ЛТФ в мировую библиотеку теоретической физики. В числе созданных ими книг — переведенные на многие языки и выдержавшие ряд изданий учебники и монографии, подытожившие большие циклы работ и сыгравшие важную роль в развитии основных физических представлений.

Литература

Afanasiev G.N. Topological effects in quantum mechanics. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1999.

Afanasiev G.N. Vavilov—Cherenkov and synchrotron radiation. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 2004.

Blaschke D., Glendenning N.K., Sedrakian A. (Eds.) Physics of Neutron Star Interior. Lecture Notes in Physics. Heidelberg: Springer, 2001.

Blokhintsev D.I. Quantum Mechanics. Dordrecht: Reidel Publ. Comp., 1964.

Blokhintsev D.I. The Philosophy of Quantum Mechanics. Dordrecht: Reidel Publ. Comp., 1968.

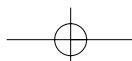
Bogoliubov N.N. Lectures on Quantum Statistics. V. 1. Quantum Statistics. New York: Gordon and Breach, 1967.

Bogoliubov N.N. Lectures on Quantum Statistics. V. 2. Quasiaverages. New York: Gordon and Breach, 1970.

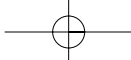
Burau G.R.G., Blaschke D.B., Schmidt S.M. (Eds.) Exploring Quark Matter. Universitat Rostock 444-01. Rostock, 2001.

Choppin G., Khankhasayev M., Plendl H. (Eds.) Chemical Separations in Nuclear Waste Management: The State of Art and a Look to the Future. Richmond: Bettelle Press. USA, 2001.

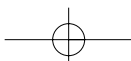
Dineykan M., Efimov G.V., Ganbold G., Nedelko S.N. Oscillator Representation in Quantum Physics. Berlin: Springer, 1995.

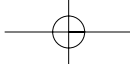


- Efimov G.V., Ivanov M.A.* The Quark Confinement Model of Hadrons. Bristol: IOP, 1993.
- Exner P.* Open Quantum Systems and Feynman Integrals. Dordrecht: Reidel Publ. Comp., 1985.
- Galperin A.S., Ivanov E.A., Ogievetsky V.I., Sokatchev E.S.* Harmonic Superspace. Cambridge University Press, 2001.
- Mertig I., Mrosan E., Ziesche P.* Multipole Scattering Theory of Point Defects in Metals. Leipzig: Teubner-Verlag, 1986.
- Namsrai Kh.* Nonlocal Quantum Field Theory and Stochastic Quantum Mechanics. Dordrecht: Reidel Publ. Comp., 1986.
- Plakida N.M.* High-Temperature Superconductivity. Berlin: Springer, 1995.
- Ponomarev V.Yu.* Properties of low-lying levels in the isotopes from $Z=21$ to $Z=36$ in Energy and structure of nuclear levels / H. Schopper (Ed.) Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2002. V. I/18A. 3-1-3-190.
- Schmelzer J., Röpke G., Mahnke R.* Aggregation Phenomena in Complex Systems. Weinheim: Wiley-VCH Publ., 1999.
- Soloviev V.G.* Treatment of nuclear excited states in Energy and structure of nuclear levels / H. Schopper (Ed.) Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2002. V. I/18A. 1-1-1-43.
- Todorov I.T.* Analytic Properties of Feynman Diagrams in Quantum Field Theory. Oxford: Pergamon Press, 1971.
- Todorov I.T., Rizov V.* Two-Body Problem in Quantum Theory // Nauka i izkustvo. Sofia, 1974. (Bulgarian).
- Yukalov V.I., Coleman A.J.* Reduced Density Matrices. Berlin: Springer, 2000.
- Yukalov V.I., Shumovsky A.S.* Lectures on Phase Transitions. Singapore: World Sci, 1990.
- Zakhariev B.N., Suzko A.A.* Direct and Inverse Problems. Berlin: Springer, 1990.
- Zhidkov P.E.* Korteweg-de Vries and nonlinear Schrodinger equations: qualitative theory // Lecture Notes in Mathematics. V. 1756. Heidelberg: Springer, 2001.
- Аксенов В.Л., Плакида Н.М., Стаменкович С.* Рассеяние нейтронов сегнетоэлектриками. М.: Энергоатомиздат, 1984; Singapore: World Sci, 1990.
- Бабилов В.В.* Метод фазовых функций в квантовой механике. 3-е изд. М.: Наука, 1988.
- Балашов В.В., Коренман Г.Я., Эрамжян Р.А.* Поглощение мезонов атомными ядрами. М.: Атомиздат, 1978.
- Балдин А.М., Гольданский В.И., Максименко В.М., Розенталь И.Л.* Кинематика ядерных реакций. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1968.
- Балдин А.М., Гольданский В.И., Розенталь И.Л.* Кинематика ядерных реакций. М.: Физматгиз, 1958; Oxford: Pergamon Press, 1961.
- Барашенков В.С.* Сечения взаимодействия элементарных частиц. М.: Наука, 1966.
- Барашенков В.С., Тонеев В.Д.* Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. М.: Атомиздат, 1972.
- Барбашов Б.М., Нестеренко В.В.* Модель релятивистской струны в физике адронов. М.: Энергоатомиздат, 1987; Singapore: World Sci, 1990.
- Белокуров В.В., Ширков Д.В.* Теория взаимодействия частиц. М.: Наука, 1986; New York: AIP, 1991.
- Беляев В.Б.* Лекции по теории малочастичных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986; Berlin: Springer, 1990.
- Бильный С.М.* Введение в диаграммную технику Фейнмана. М.: Атомиздат, 1971; Oxford: Pergamon Press, 1974.
- Бильный С.М.* Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабых взаимодействий. М.: Энергоатомиздат, 1990; Frontiers. Gif-sur-Yvette, 1994.
- Бильный С.М.* Введение в физику электрослабых взаимодействий. М.: Энергоатомиздат, 1981; Oxford: Pergamon Press, 1982.



- Биленький С.М.* Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1981.
- Блохинцев Д.И.* Акустика неоднородной и движущейся среды. 2-е изд. М.: Наука, 1977.
- Блохинцев Д.И.* Основы квантовой механики. 5-е изд. М.: Наука, 1976; 4-е изд. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutch, 1966.
- Блохинцев Д.И.* Принципиальные вопросы квантовой механики. М.: Наука, 1966; Paris: Dunod, 1968.
- Блохинцев Д.И.* Пространство и время в микромире. М.: Наука, 1970; Dordrecht: Reidel Publ. Comp., 1973.
- Блохинцев Д.И.* Рождение мирного атома. М.: Атомиздат, 1977.
- Боголюбов Н.Н.* Теория симметрии элементарных частиц: Лекция для студентов. М.: Изд-во МГУ. 1966.
- Боголюбов Н.Н. (мл.), Бранков Й., Загребнов В.А., Курбатов А.М.* Метод аппроксимирующего гамильтониана в статистической физике. Sofia: Acad. Sci. Bulgaria, 1981.
- Боголюбов Н.Н. (мл.), Садовников Б.И., Шумовский А.С.* Математические методы статистической механики модельных систем. М.: Наука, 1989.
- Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В.* Введение в теорию квантовых полей. 4-е изд. М.: Наука, 1984; New York: 1st ed. Interscience Publ., 1959; 3rd ed. New York: Wiley, 1980.
- Боголюбов Н.Н., Боголюбов Н.Н. (мл.)* Введение в квантовую статистическую механику. М.: Наука, 1984; Singapore: World Sci, 1982.
- Боголюбов Н.Н., Логунов А.А., Оксак А.И., Тодоров И.Т.* Общие принципы квантовой теории поля. М.: Наука, 1987; Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1990.
- Боголюбов Н.Н., Логунов А.А., Тодоров И.Т.* Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля. М.: Наука, 1969; London: Benjamin, 1975.
- Боголюбов Н.Н., Медведев Б.В., Поливанов М.К.* Вопросы теории дисперсионных соотношений. М.: Физматгиз, 1958.
- Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А.* Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. 4-е изд. М.: Наука, 1974.
- Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А., Самойленко А.М.* Метод ускорений сходимости в нелинейной механике. Киев: Наук. думка, 1969.
- Боголюбов Н.Н., Толмачев В.В., Ширков Д.В.* Новый метод в теории сверхпроводимости. М.: Наука, 1958; New York: Consultants Bur, 1959.
- Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В.* Квантовые поля. 3-е изд. М.: Физматлит, 2005; Reading: Benjamin/Cummings Publ., 1983; Berlin: VEB Deutsch. Verlag Wissensch, 1984.
- Волков М.К., Первушин В.Н.* Существенно нелинейные квантовые теории. Динамические симметрии и физика мезонов. М.: Атомиздат, 1978.
- Дубровский В.Н., Смородинский Я.А., Сурков Е.Л.* Релятивистский мир. М.: Наука, 1984.
- Ефимов Г.В.* Нелокальные взаимодействия квантовых полей. М.: Наука, 1977.
- Ефимов Г.В.* Проблемы квантовой теории нелокальных взаимодействий. М.: Наука, 1985.
- Жигунов В.П., Захарьев Б.Н.* Методы сильной связи каналов в квантовой теории рассеяния. М.: Атомиздат, 1974.
- Захарьев Б.Н.* Уроки квантовой интуиции. Дубна: ОИЯИ, 1996.
- Захарьев Б.Н., Сузько А.А.* Потенциалы и квантовое рассеяние. Прямая и обратная задачи. М.: Энергоатомиздат, 1985.
- Захарьев Б.Н., Чабанов В.М.* Послушная квантовая механика. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002.
- Исаев П.С.* Квантовая электродинамика в области высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1984; New York: AIP, 1989.
- Исаев П.С.* Обыкновенные, странные, очарованные, прекрасные. М.: Энергоатомиздат, 1995.





- Калашиников Н.П., Смондырев М.А.* Основы физики. Т. 1, 2. М.: Дрофа, 2004.
- Комаров И.В., Пономарев Л.И., Славянов С.Ю.* Сфероидальные и кулоновские сфероидальные функции. М.: Наука, 1976.
- Марков М.А.* Гипероны и К-мезоны. М.: Физматгиз, 1958; Berlin, 1960.
- Марков М.А.* Нейтрино. М.: Наука, 1964.
- Марков М.А.* О природе материи. М.: Наука, 1976.
- Мозольков А.Е., Федянин В.К.* Дифракция медленных электронов поверхностью. М.: Энергоатомиздат, 1982.
- Нгуен Ван Хьеу.* Лекции по теории унитарной симметрии элементарных частиц. М.: Атомиздат, 1967.
- Пономарев Л.И.* По ту сторону кванта. М.: Мир, 1973.
- Попов В.Н., Ярунин В.С.* Когерентные коллективные явления в сверхпроводимости и нелинейной оптике. Изд-во С.-Петербургского ун-та, СПб., 1994.
- Попов В.Н., Ярунин В.С.* Коллективные эффекты в квантовой статистике излучения и вещества. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985; Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1988.
- Сморodinский Я.А.* Температура. М.: Наука, 1981.
- Соловьев В.Г.* Влияние парных корреляций сверхпроводящего типа на свойства атомных ядер. М.: Госатомиздат, 1963; Vienna: IAEA, 1963.
- Соловьев В.Г.* Теория атомного ядра: Квазичастицы и фотоны. М.: Энергоатомиздат, 1989; Bristol: Institute of Physics, 1992.
- Соловьев В.Г.* Теория атомного ядра: Ядерные модели. М.: Энергоатомиздат, 1981.
- Соловьев В.Г.* Теория сложных ядер. М.: Наука, 1971; New York: Pergamon Press, 1976.
- Соловьев В.Г., Григорьев Е.П.* Структура четных деформированных ядер. М.: Наука, 1974.
- Филиппов А.Т.* Многоликий солитон. М.: Наука, 1986; Boston; Basel; Berlin: Birkhäuser, 2000.
- Ширков Д.В., Серебряков В.В., Мещеряков В.А.* Дисперсионные теории сильных взаимодействий при низких энергиях. М.: Наука, 1967; Amsterdam: North-Holland Publ., 1969.

