

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

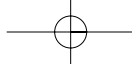


Директор ЛТФ (1965–1979 гг.)
член-корреспондент Д.И.Блохинцев

была развита 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.

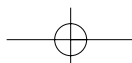


За совместной работой П.С.Исаев и И.Златев (1958 г.)

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.

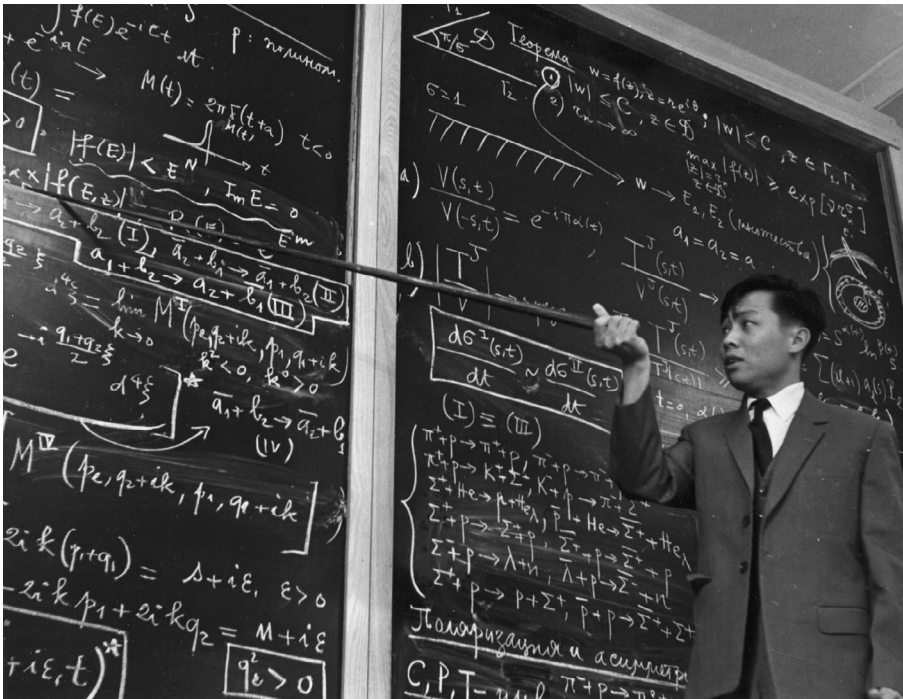
На рубеже 60-х годов Н.Н.Боголюбов создал новый метод квазисредних для описания динамических систем со спонтанно нарушенной симметрией. Этот формализм и доказанная в его рамках теорема о дальнедействии коллективных мод нашли разнообразные применения в статистической физике, а также составили основу так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

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.Смородинский, Л.Г.Заставенко, С.С.Герштейн, В.В.Пашкевич



Вьетнамский теоретик Нгуен Ван Хьеу

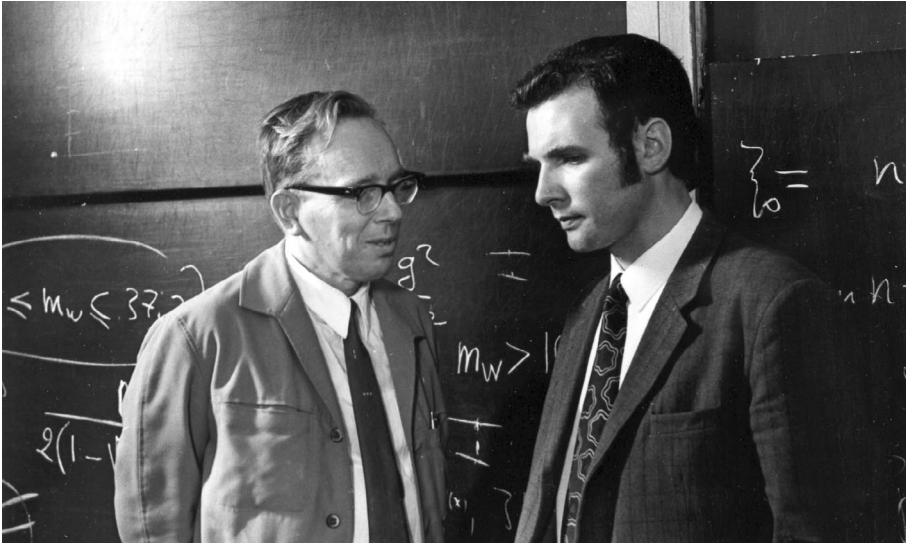


С.Б.Герасимов и М.Скадрон (США)

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 интегрируемым 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 (невывлечение 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 невывлечение 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».

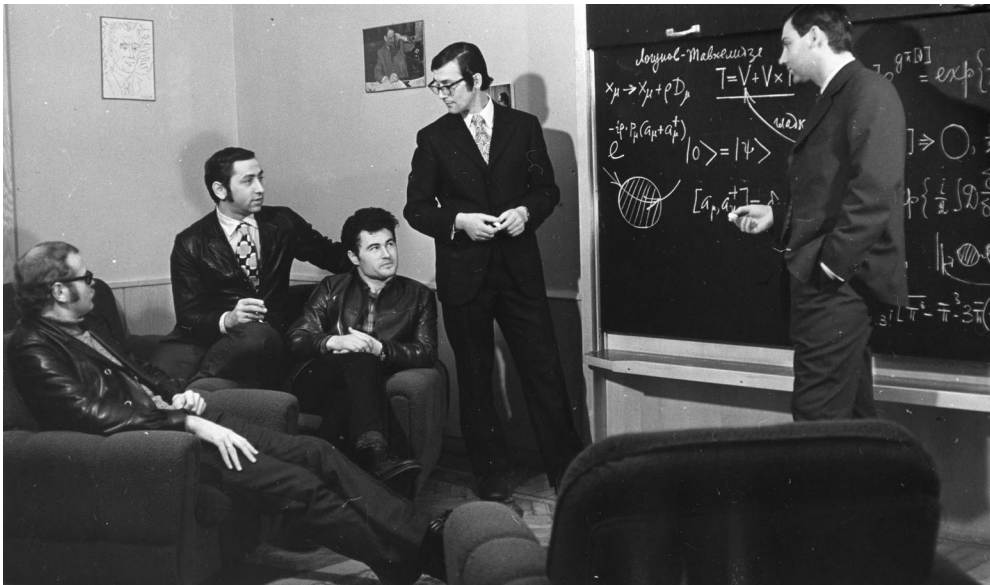
Путем комбинирования дисперсионных соотношений с гипотезой реджевских полюсов А.А.Логунов, Л.Д.Соловьев и А.Н.Тавхелидзе в 1967 году получили правила сумм при конечной энергии, приведшие затем к возникновению концепции дуальности.

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.

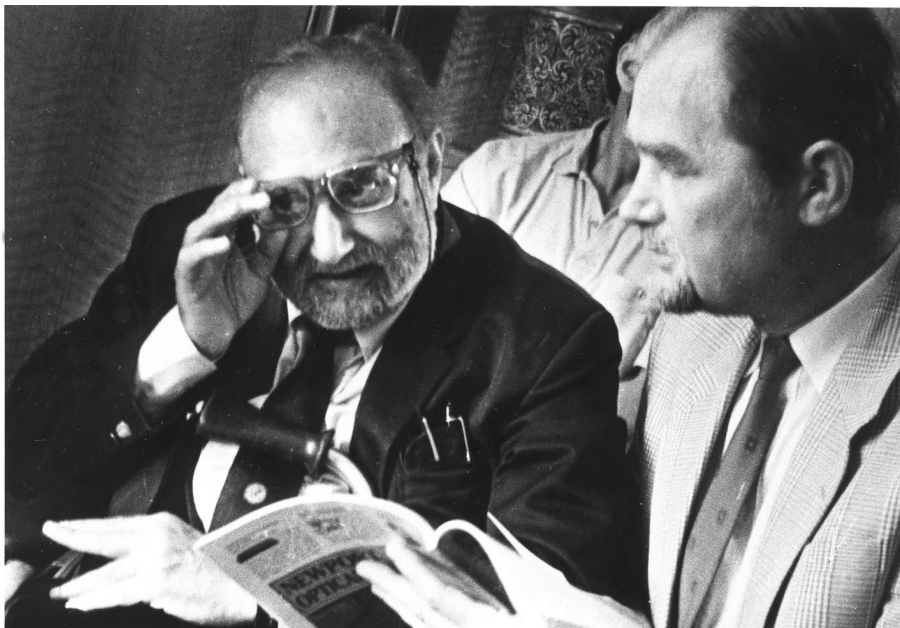
Д.И.Бардиным с сотрудниками разработан эффективный пакет аналитически-числовых программ, широко использованных в ЦЕРНе для обработки данных Z -мезонной фабрики.

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.

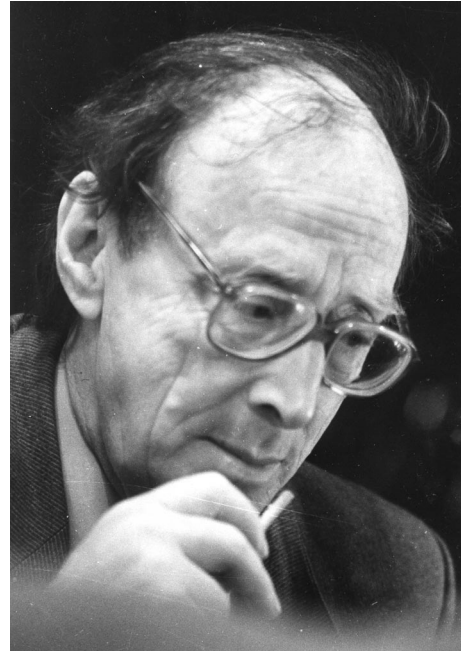
Анализируя природу ренормгрупповых преобразований, Д.В.Ширков в начале 80-х годов ввел понятие функциональной автомодельности (функционального самоподобия). На его основе возникло новое направление исследования симметрий частных решений широкого класса краевых задач математической физики. За развитие 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.

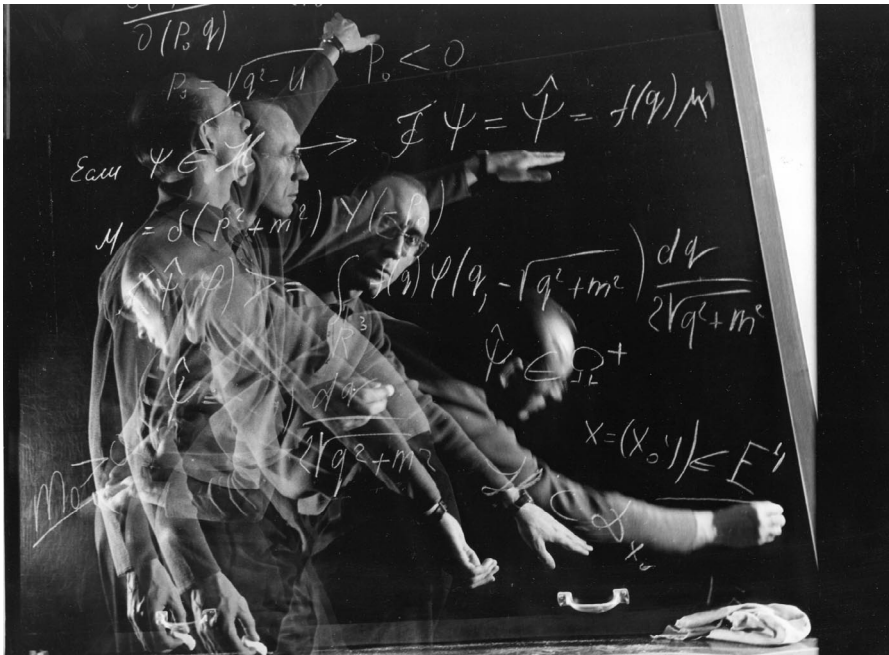
В начале 90-х годов Н.А.Черников ввел в общую теорию относительности новый объект – дополнительную (фоновую) связность и смог придать точный математический смысл эйнштейновскому псевдотензору энергии-импульса гравитационного поля.

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).

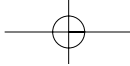
Физика множественного рождения частиц за более чем полувековую историю своего развития (начиная с основополагающих работ Г.В.Ватагина и Д.В.Скобелцына) обогатилась рядом фундаментальных открытий. Выделим основные закономерности процессов множественного рождения при высоких энергиях: подтвердился предсказанный 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 конфайнмента. 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.Вибике 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-

