



13 февраля 2002 г. в президентском зале президиума РАН в Москве проходил расширенный совместный семинар Отделения математики РАН, МИРАН, МГУ и ОИЯИ, посвященный памяти крупнейшего ученого — математика, механика, физика — Н. Н. Боголюбова (21.VIII.1909 – 13.II.1992).

На семинаре выступили академики Л. Д. Фаддеев, В. А. Садовничий, В. Г. Кадышевский, В. А. Матвеев, А. Н. Тавхелидзе, В. С. Владимиров, профессор Н. М. Плакида. Мы публикуем доклад В. А. Матвеева и А. Н. Тавхелидзе «Н. Н. Боголюбов и современная физика частиц» (Препринт ОИЯИ Д2-99-289. Дубна, 1999).

*Редакционная коллегия*

УДК 519.254; 519.237

## Н. Н. БОГОЛЮБОВ И СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА ЧАСТИЦ

*В. А. Матвеев*

Институт ядерных исследований РАН, Москва

*А. Н. Тавхелидзе*

Академия наук Грузии, Тбилиси

Представлено выступление на Боголюбовской конференции «Проблемы теоретической и математической физики», посвященной 90-летию со дня рождения академика Н. Н. Боголюбова.

The introductory talk delivered at the Bogoliubov Conference «Problems of Theoretical and Mathematical Physics» dedicated to the 90th anniversary of the birth of Academician N. N. Bogoliubov is presented.

Как-то в беседе Николая Николаевича спросили, каким образом ему удалось работать в таких разных областях науки, как нелинейная механика, классическая и квантовая статистика, квантовая теория поля и др. Н. Н., не задумываясь, ответил, что нелинейная механика — это, в сущности, проблема двух связанных осцилляторов, классическая и квантовая статистика — это уже проблема многих нерелятивистских связанных осцилляторов, а квантовая теория поля — система бесконечного количества связанных релятивистских квантовых осцилляторов. Так что общность этих проблем очевидна; трудность заключается в нахождении малого параметра, который характеризует суть поставленной задачи.

Для Н. Н. физика не была набором головоломок. Он для решения назревших физических проблем создавал или находил адекватный математический язык и в точных формулах записывал суть физических явлений. При этом он никогда не переоценивал роль математического аппарата и точно следовал известной истине, что математика — это жернова, которые могут выдать то, что в них было заложено.

XX век часто называют веком физики. Мировоззренческие открытия в микромире и в космологии создали прочную основу для философского осмысления начала Вселенной. Среди крупнейших физиков и мыслителей уходящего века заслуженно признано имя академика Николая Николаевича Боголюбова.

Писать о гениальных личностях сравнимо с изображением природы. Здесь художник выделяет только то, что ему доступно и понятно. Позвольте нам, придерживаясь этих правил, остановиться на некоторых основных результатах Н. Н., которые играют основополагающую роль в современной физике частиц.

Н. Н. Боголюбову принадлежат фундаментальные идеи и мощные математические методы, сыгравшие принципиальную роль в развитии теории сложных классических и квантовых систем в статистической механике.

Н. Н. Боголюбов является создателем микроскопической теории сверхтекучести (1946) и сверхпроводимости (1958). В основе теории сверхтекучести Н. Н. Боголюбова лежит представление о вырожденном основном состоянии соответствующих квантовых систем, которое не совпадает с голым вакуумом и состоит из бесконечного количества бозе-частиц с нулевыми импульсами и, таким образом, является вырожденным по числу частиц. В случае сверхпроводимости роль бозе-частиц выполняют куперовские пары фермионов с противоположными спинами и импульсами. В теории Н. Н. Боголюбова наличие связанных куперовских пар доказывается.

Симметрия вырожденного основного состояния не совпадает с симметрией гамильтониана, или, как принято говорить, симметрия основного состояния обладает свойством спонтанного нарушения.

Наличие в основном состоянии теории сверхтекучести конденсата бозе-частиц с нулевыми импульсами учитывается выделением классической составляющей оператора бозе-поля  $\Psi = C + \Psi'$ , где  $C$  — число, которое определяется плотностью конденсата, а оператор  $\Psi'$  описывает возбуждения над основным состоянием. Диагонализация квантовой части гамильтониана осуществляется каноническим преобразованием, широко известным как преобразование Боголюбова.

Н. Н. Боголюбовым было доказано (1961), что важнейшим свойством теории со спонтанно нарушенной калибровочной симметрией является наличие дальнего действия в системе или появление особенностей типа  $1/q^2$  одночастичной функции Грина в окрестности  $q^2$ , стремящегося к нулю.

Развитие понятия о сверхпроводимости как сверхтекучести ферми-систем привело Н. Н. Боголюбова (1958) к открытию фундаментального эффекта сверхтекучести ядерной материи, являющегося основой современной теории ядра.

Представления и методы, разработанные Н. Н. Боголюбовым при исследовании свойств неидеальных бозе- и ферми-систем, были с успехом перенесены в теорию калибровочных взаимодействий элементарных частиц. Идея спонтанного нарушения калибровочной симметрии, присутствие конденсата скалярных полей лежат в основе стандартной модели слабых и электромагнитных взаимодействий и теории великого объединения. Вывод о наличии дальнего действия в системах с нарушенной калибровочной симметрией пред-

шествовал теореме Намбу–Голдстоуна о появлении легких бозонов в теориях со спонтанно нарушенной калибровочной симметрией в квантовой теории поля.

В современных теориях фундаментальных взаимодействий элементарных частиц принципиальную роль играет свойство перенормируемости. Строгое доказательство свойства перенормируемости стало возможным благодаря разработанной Н. Н. Боголюбовым аксиоматической теории  $S$ -матрицы и  $R$ -операции Боголюбова–Парасюка.

Наличие конечного произведения в контрчленах эффективного лагранжиана, вводимых в целях корректного определения  $T$ -произведения полевых операторов, приводит к группе мультипликативных перенормировок, отмеченных ранее Штюкельбергом и Петерманом. Групповые уравнения, выведенные впервые Боголюбовым и Ширковым для инвариантного заряда, а впоследствии Логуновым и рядом авторов для различных функций Грина, составляют основу практически всех современных вычислений в теории элементарных частиц. В частности, теоретическое обоснование партонной картины строения материи — феномен асимптотической свободы — было получено с помощью метода ренормгруппы.

Присущая перенормированным теориям локальность взаимодействия при конечном числе безразмерных констант связи и замеченная Н. Н. Боголюбовым аналогия масштабных свойств глубоконеупругих процессов с автомодельными (самоподобными) решениями в классической гидродинамике позволили сформулировать принцип автомодельности, который с единой точки зрения объясняет масштабные свойства процессов взаимодействия частиц и атомных ядер при высоких энергиях.

Аксиоматическое построение теории квантованных полей Н. Н. Боголюбова основано на разложении  $S$ -матрицы по степеням функции включения взаимодействия и опирается на такие общие требования, как релятивистская инвариантность, локальность, унитарность и боголюбовская микропричинность. Аксиоматический подход позволил Н. Н. Боголюбову математически строго доказать аналитические свойства амплитуды пион-нуклонного рассеяния при ненулевых переданных импульсах и на этой основе вывести дисперсионные соотношения для этих амплитуд.

Аксиоматический метод Н. Н. Боголюбова позволил исследовать аналитические свойства широкого класса амплитуд упругих и неупругих процессов и на их основе вывести приближенные уравнения для различных систем взаимодействующих частиц, установить фундаментальные асимптотические теоремы и ограничения на поведение сечений взаимодействий, исследовать масштабные свойства амплитуд при высоких энергиях и автомодельные (самоподобные) асимптотики в окрестности светового конуса. Здесь мы имеем в виду, в первую очередь, фундаментальные результаты, принадлежащие академикам А. Логунову, В. Владимирову, А. Балдину и их ученикам.

Исследования в упомянутых направлениях оказали огромное влияние на развитие теории сильных взаимодействий и привели к формулировке ряда феноменологических подходов в физике частиц, таких как реджевский подход, конечноэнергетические правила сумм, дуальность и др.

Поучительно вспомнить, что относительные успехи некоторых феноменологических подходов на основе постулируемых аналитических свойств порой приводили к выводу о возможности ограничиться при построении теории сильных взаимодействий лишь требованием максимальной аналитичности, отбросив сами понятия локальных полей. Здесь уместно вспомнить знаменитую дискуссию во время Рочестерской конференции в Женеве в 1962 г., когда Н. Н. Боголюбов был, можно сказать, единственным, кто предупреждал о переоценке одних лишь свойств аналитичности, являющихся, независимо от конкретной динамики, следствием локальности и микропричинности, и обратил внимание на исключительно важную роль для дальнейшего развития теории проблем основного состояния.

В 1965 г. Н. Н. Боголюбовым с учениками, независимо от Намбу и Хана, была выдвинута гипотеза о существовании у кварков нового, неизвестного ранее квантового числа, названного впоследствии цветом. Согласно этой гипотезе, для каждого типа кварков с данным ароматом имеется три унитарно эквивалентных состояния, различающихся значением нового квантового числа — цвета, принимающего одно из трех значений: красный, синий или зеленый. Одновременно был сформулирован принцип отбора физических состояний кварковых систем, описывающих наблюдаемые мезоны и барионы, который соответствует требованию нейтральности этих систем по отношению к цвету кварков, известный сейчас как «требование бесцветности адронных состояний». Отмечалось также, что цветные кварки могли бы иметь как дробные, так и целочисленные электрические заряды. В последнем случае цветная симметрия должна была быть нарушена, по крайней мере, в электромагнитных взаимодействиях.

Введение цветных кварков позволило преодолеть фундаментальное противоречие между спином и статистикой кварков в модели Гелл-Манна и Цвейга, предложенной ими в 1964 г.

Необходимость введения нового квантового числа кварков явилась логическим следствием боголюбовского динамического подхода к кварковым моделям адронов, в которых кварки рассматривались как реальные физические объекты. Исходя из экспериментального факта отсутствия кварков в свободном состоянии Н. Н. Боголюбовым с сотрудниками впервые была предложена модель квазинезависимых кварков в адронах, известная в литературе как «дубненский кварковый мешок». Основным ее постулатом является динамическое предположение о том, что связанные в адронах релятивистские кварки движутся квазинезависимым образом в эффективно конечной замкнутой области в сильно притягивающем поле, создаваемом остальными кварками. На по-

тенциал накладывает условие, чтобы он обеспечивал удержание кварков. В предельном случае, когда масса свободного кварка стремится к бесконечности, потенциал должен вести себя таким образом, чтобы эффективная масса связанного кварка оставалась конечной. А. Салам остроумно сравнил предложенный механизм с архимедовой баней.

Выводимые в рамках модели «дубненского кваркового мешка» динамические свойства адронов получили экспериментальное подтверждение, что оправдывало заложенную в основу этой модели гипотезу квазинезависимости кварков. Эти результаты подтолкнули В. Вайскопфа и его сотрудников к формулировке релятивистски-ковариантного обобщения дубненской модели кваркового мешка.

Таким образом, боголюбовский динамический подход обогатил кварковую модель адронов новыми представлениями, новыми идеями, новым квантовым числом цвет, цветными кварками, движущимися в адронах квазинезависимым образом, и принципом бесцветности наблюдаемых физических состояний. Модель цветных кварков, дополненная введенным Намбу и Ханом требованием калибровочной цветной симметрии (1965), легла в основу современной теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамики.

Позвольте завершить выступление словами Н. Н., высказанными в шуточной форме в одной из наших бесед: «Если вам когда-нибудь придется говорить обо мне, скажите, что он был человеком добрым, всю жизнь трудился и особой вредностью не отличался». Однако, по существу, Н. Н. естественным образом сочетал в себе качества крупнейшего ученого, щедрого учителя и масштабного организатора науки. И это сочетание создавало целостную, монолитную и гармоничную фигуру человека-просветителя.