

## ПРОБЛЕМЫ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ В ТРУДАХ АКАДЕМИКА Н.Н. БОГОЛЮБОВА И ЕГО ПОСЛЕДОВАТЕЛЕЙ

© 2010 Н.Н. Боголюбов (мл.)<sup>1</sup>

### Аннотация

Имя выдающегося теоретика XX столетия – академика Н.Н. Боголюбова, так же как его полная творческая деятельность не отделимы от развития современных методов исследований в нелинейной механике, математической физике, теории сверхпроводимости и теории БКШ, теории сверхтекучести, квантовой теории поля и электродинамике, теории дисперсионных соотношений в физике высоких энергий, физике элементарных частиц и кварковых моделей, фундаментальных проблемах статистической механики. В настоящее время его последователи и коллеги активно работают в нескольких известных научных центрах: Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, г. Дубна Московской области, Россия; Математический институт РАН им. В.А. Стеклова, Москва, Россия; Институт теоретической физики НАН им. Н.Н. Боголюбова, Киев, Украина; Институт математики НАН, Киев, Украина; Институт физики конденсированного состояния вещества НАН, Львов, Украина; Физико-технический Институт НАН, Харьков, Украина; Институт механики НАН, Киев, Украина, и во многих других университетских научных центрах.

## 1. Статистическая механика

Особое место в научном наследии Н.Н. Боголюбова принадлежит развитию статистической механики равновесных и неравновесных процессов [1, 2], где им были получены многочисленные важнейшие результаты, ставшие в настоящее время классическими и носящие имя Боголюбова [3–11]. Прежде всего это метод функциональных уравнений и цепочек уравнений для функций распределения, метод аппроксимирующих гамильтонианов, метод функций Грина, метод исследования систем с нарушенной симметрией, метод вариационных неравенств и мажорационных оценок для термодинамических потенциалов и корреляционных средних. Все эти методы и полученные в их рамках результаты нашли широкое применение в физике конденсированного состояния и квантовой физике, они лежат в основе решения важнейших проблем прикладной математической физики.

Начнем с метода функциональных уравнений. Хотя работа над выводом кинетических уравнений велась в течение длительного времени, Н.Н. Боголюбов был первым, кто доказал, что кинетические уравнения могут быть записаны в виде цепочек уравнений [8, 9]. В современной литературе, посвященной кинетическим уравнениям и неравновесным процессам, эти цепочки называются иерархическими ББККИ-цепочками, названными так в честь их создателей: Боголюбова, Борна, Грина, Кирквуда и Ивона. Важнейшим вкладом в развитие статистической механики послужила выдающаяся монография Н.Н. Боголюбова «Проблемы динамической теории в статистической физике» [8]. В ней собраны основные результаты по созданию многочастичных функций распределения в рамках метода функциональных уравнений, решению с их помощью конкретных модельных систем и введению

<sup>1</sup> Боголюбов Николай Николаевич (мл.), доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН, главный научный сотрудник отдела механики Математического института им. В.А. Стеклова РАН, 119991, г. Москва, ул. Губкина, 8, Российская Федерация; электронная почта: bogolubv@mi.ras.ru.

концепции иерархии времен в неравновесной статистической физике, использование которой сделало возможным создание регулярных методов теории возмущений [10, 11]. Все эти методы стали основой неравновесной статистической физики, они развивались и применялись исследователями всего мира. Достаточно упомянуть, например, брюссельскую школу, глава которой Илья Пригожин был награжден Нобелевской премией по химии 1977 г. за вклад в неравновесную термодинамику и, конкретно, в теорию диссипативных структур.

Н.Н. Боголюбов и его ученики и сотрудники, такие как Д.Н. Зубарев, С.В. Тябликов, Н.Н. Боголюбов (мл.) и многие другие, внесли выдающийся вклад в развитие равновесной и неравновесной статистической механики и создание ее математического аппарата, создание метода функций Грина, заложили теоретические основы описания явлений сверхтекучести, сверхпроводимости и магнетизма.

## 2. Сверхтекучесть и сверхпроводимость

В октябре 1946 г. на собрании Отделения физики и математики Академии наук СССР Н.Н. Боголюбов сделал исторический доклад, в котором на микроскопическом уровне было впервые объяснено явление сверхтекучести [12, 13]. Макроскопический эффект сверхтекучести, экспериментально открытой П.Л. Капицей в 1938 г., заключается в исчезновении вязкости жидкого гелия при крайне низких температурах вблизи абсолютного нуля. Микроскопическая теория этого явления потребовала использования двух идей, относительно простых с математической точки зрения. Во-первых, это упрощение гамильтониана системы путем перехода к модельному аппроксимирующему гамильтониану; во-вторых, сдвиг на константу аргумента волновой функции и особое каноническое преобразование операторных переменных. Помимо создания нового математического метода, было достигнуто и физическое понимание явления сверхтекучести: в отличие от обычных жидкости или газа, характеризующихся хаотическим движением частиц, сверхтекучая жидкость обнаруживает необычайно высокую степень упорядоченности. Причина его – во взаимодействии частиц, причем наиболее сильно взаимодействуют частицы с противоположными импульсами. В результате взаимодействия образуется сверхтекучий конденсат, частицы которого не могут передавать свою энергию частицам вне конденсата, следствием чего и является исчезновение вязкости. Было также установлено, что подобный конденсат может образовываться лишь при очень низких температурах.

Другим выдающимся вкладом Н.Н. Боголюбова и его учеников в статистическую механику было создание микроскопической теории сверхпроводимости в 1957 г. [14–16]. Тогда впервые было установлено существование глубокой физической и математической аналогии между явлениями сверхпроводимости и сверхтекучести электронов в металлах. Подобная же идея коррелированных пар частиц с нулевым суммарным импульсом сыграла важнейшую роль в построении микроскопической теории ядра, где пары нейтронов и протонов также оказываются коррелированными.

Отметим важнейшее свойство квантовых коррелированных пар частиц: в отличие от обычных корреляций классического типа в конфигурационном пространстве, когда две взаимодействующие частицы связаны силами притяжения в течение длительного, если даже не бесконечного времени (например, Земля и Луна или протон и электрон в атоме водорода), квантовые корреляции опираются на квантовый принцип неразличимости тождественных частиц, а также подразумевают корреляцию в пространстве импульсов. Образно выражаясь, коррелированный ансамбль кванто-

вых неразличимых частиц можно представить в виде стремительного танца, на первый взгляд хаотичного, но тем не менее подчиняющегося своим особым правилам, согласно которым партнеры непрерывно находят и меняют свои пары, оставаясь порой на необычайно больших расстояниях друг от друга.

В наши дни идеи Н.Н. Боголюбова используются при создании микроскопической теории высокотемпературной сверхпроводимости. И хотя многие вопросы все еще ждут ответа теоретиков, решение проблемы высокотемпературной сверхпроводимости будет найдено в ближайшем будущем и сравнится по своему воздействию на развитие человеческого общества лишь, пожалуй, с открытием цепной реакции деления атомов.

Математические методы, созданные под руководством Н.Н. Боголюбова в микроскопической теории сверхтекучести и сверхпроводимости, нашли свое дальнейшее развитие в квантовой физике, в частности, в квантовой теории поля – науке о строении микромира. Операция сдвига на константу использовалась, например, в работах по спонтанному нарушению симметрии в системах с вырожденным вакуумом.

### 3. Спонтанное нарушение симметрии и квазисредние

Основы изучения квантово-статистических систем с вырожденным вакуумом были заложены Н.Н. Боголюбовым в его замечательных работах по квазисредним [17]. Суть предложенного им метода квазисредних состоит в том, что к исходному гамильтониану добавляется операторное слагаемое, пропорциональное малому параметру, которое устраняет вырождение. Поскольку новая система имеет единственный вакуум, она исследуется в дальнейшем путем применения стандартных методов. В частности, метод квазисредних оказался необычайно плодотворным при исследовании свойств многочастичных систем с вырождением статистического равновесия. Основанный на фундаментальных концепциях квазисредних и неравенств для функций Грина и корреляционных функций [18], этот метод сделал возможным исследование необычайно деликатной проблемы существования дальнего порядка в статистических системах одного, двух и трех измерений, а также получение спектра элементарных возбуждений.

Формализм неравенств и мажорационных оценок, являющийся составной частью метода квазисредних, успешно развивается и в наши дни, став одним из наиболее эффективных методов статистической физики. В частности, на его основе был создан метод аппроксимирующих гамильтонианов, позволяющий асимптотически точно находить термодинамические потенциалы, многовременные корреляционные функции и функции Грина для различных модельных систем, изучаемых в теории сверхпроводимости [19], магнетизма, взаимодействия когерентного электромагнитного излучения с веществом и т. д.

Идея о спонтанном нарушении симметрии, высказанная Н.Н. Боголюбовым еще в 1961 г., оказалась незаменимой при построении современной теории критических явлений. С помощью концепции квазисредних удалось исследовать весьма сложный вопрос о существовании дальнего порядка в статистических системах одного и двух измерений. Концепция квазисредних также нашла широкое применение в теории ядра и ядерной материи, где с ее помощью удалось обосновать ряд методов, описывающих нарушение законов сохранения.

Спонтанное нарушение непрерывной симметрии в квантовых системах также математически строго описывается на языке квазисредних. Фундаментальная теорема «об особенностях  $1/q^2$ », доказанная Н.Н. Боголюбовым, гласит, что в системах со спонтанным нарушением непрерывной симметрии всегда возникает эффективное дальнедействующее взаимодействие. Иными словами, появляются элементарные безмассовые возбуждения – кванты фотонного или фононного типа с энергией, обращаемой в нуль в длинноволновом пределе, обмен которыми и ведет к взаимодействию бесконечного радиуса. Вскоре после этого аналогичный результат в квантовой теории поля был получен и другими исследователями (Дж. Голдстоун, П. Хиггс) [20, 21].

О влиянии работ по спонтанному нарушению симметрии в макроскопических системах на физику элементарных частиц и квантовую теорию поля свидетельствует в своей нобелевской лекции С. Вайнберг: «Как-то в 1960 г. или в начале 1961 г. я познакомился с идеей, которая вначале появилась в теории твердого тела, а затем была привнесена в физику элементарных частиц теми, кто работал в обеих областях физики. Это была идея "о нарушении симметрии", заключающаяся в том, что гамильтониан и коммутационные соотношения квантовой теории могут обладать точной симметрией, и, тем не менее, физические состояния могут не отвечать представлениям этой симметрии. В частности, может оказаться, что симметрия гамильтониана не является симметрией вакуума» [22]. Дальнейшее последовательное развитие этих идей в квантовой теории поля привело к построению теории электромагнитных и слабых взаимодействий, за что в 1979 г. С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам были удостоены Нобелевской премии.

#### 4. Дисперсионные соотношения и физика элементарных частиц

Хотелось бы остановиться подробнее на одном примере из квантовой теории поля, который позволяет продемонстрировать виртуозное использование Н.Н. Боголюбовым огромных возможностей, заложенных в математике, при формировании физических представлений. Речь пойдет о доказательстве дисперсионных соотношений, т. е. соотношений между вещественной и мнимой частями амплитуды рассеяния элементарных частиц. Различные виды дисперсионных соотношений были известны задолго до появления квантовой теории поля. Еще в середине 20-х годов в классической электродинамике было получено дисперсионное соотношение между вещественной и мнимой частями показателя преломления. Физической основой этого дисперсионного соотношения послужил тот факт, что сигналы не могут распространяться со скоростью, большей скорости света (принцип причинности).

В 1954–1955 гг. появились работы американских физиков, в которых предлагалось использовать дисперсионные соотношения для изучения рассеяния элементарных частиц. Однако оказалось, что задача строгого вывода дисперсионных соотношений в этом случае далеко не проста. Необходимо было провести процедуру аналитического продолжения на комплексную плоскость амплитуды, определенной лишь для вещественных значений энергии. К тому же эта амплитуда содержит сингулярности и с математической точки зрения является так называемой обобщенной функцией. Трудности корректного получения дисперсионных соотношений оказались настолько значительными, что появился ряд работ, содержащих недостаточно четкие рассуждения и вследствие этого порой приводивших к взаимно исключающим результатам.

Ясность в эту сложную ситуацию удалось внести в сентябре 1956 г. на международном съезде физиков-теоретиков в Сиэтле (США). В докладе, сделанном Н.Н. Боголюбовым, был анонсирован строгий вывод дисперсионных соотношений для рассеяния  $\pi$ -мезонов на нуклонах. Важными элементами доказательства послужили развитие метода аналитического продолжения обобщенных функций и новая формулировка условия причинности. Стало ясно, что дисперсионные соотношения являются прямым следствием общих принципов квантовой теории поля: причинности, унитарности (сохранения вероятности), релятивистской инвариантности. Таким образом, проверка дисперсионных соотношений – одновременно и проверка этих общих принципов. Метод дисперсионных соотношений получил твердую основу и широкое применение в работах В.С. Владимирова, А.А. Логунова О.С. Парасюка и их сотрудников.

Оказалось, что использованная при выводе дисперсионных соотношений система аксиом имеет более широкое значение и удобна для систематического построения других важных разделов квантовой теории поля. Так, например, было введено понятие об амплитуде рассеяния как о единой аналитической функции двух кинематических комплексных переменных, различные граничные значения которой описывают также и физически различные процессы. Это понятие сыграло решающую роль в получении строгих ограничений на асимптотическое поведение амплитуд рассеяния в области высоких энергий. В дальнейшем из этого направления выросла новая ветвь физики – физика инклюзивных процессов.

Доказанные Н.Н. Боголюбовым в 1956 г. сугубо математические теоремы нашли применение при изучении проблемы автомодельных асимптотик в глубоконеупругом рассеянии при высоких энергиях, которая была решена в совместных работах Н.Н. Боголюбова, А.Н. Тавхелидзе и В.С. Владимирова [23–26]. Процессы глубоконеупругого рассеяния, т. е. рассеяния, сопровождающегося рождением многих других частиц, позволяют получить информацию о внутренней структуре элементарных частиц – адронов. Эксперименты показали, что асимптотическое поведение сечений рассеяния при больших энергиях таково, как если бы адроны состояли из точечно-подобных объектов. Этот факт находится в полном согласии с кварковой моделью адронов, согласно которой элементарные частицы на самом деле являются составными и состоят из еще более «элементарных», частиц – кварков.

Согласно кварковой модели, например, элементарная частица  $\Omega^-$ -гиперон состоит из трех кварков одного сорта с одинаковым направлением спинов. Чтобы обойти принцип Паули, запрещающий существование подобных систем, Н.Н. Боголюбов ввел новое квантовое число, названное впоследствии «цветом», которое принимает три значения и делает различными три состояния кварков.

Гипотеза цветных кварков вместе с идеей калибровочных полей (т. е. полей, уравнения для которых инвариантны относительно некоторой локальной группы преобразований) привели к созданию новой теории – квантовой хромодинамики, претендующей в последнее время на роль теории сильных взаимодействий. Цветность кварков обусловила существование новой группы преобразований, «перепутывающей» их цвета. Согласно теории калибровочных полей, требование локальности этой группы вынуждает ввести поля, кванты которых (глюоны, от англ. glue – клей) «склеивают» кварки в адронах. Квантовое число «цвет», играет, таким образом, роль заряда в сильных взаимодействиях. Теория цветных кварков, взаимодействующих посредством обмена глюонами, достигла в последнее время ряда серьезных успехов и привела к существенному прогрессу в понимании законов микромира.

## 5. Применение обобщенных функций в задачах квантовой теории поля

Оказалось, что известная теория перенормировок, играющая столь важную роль в теории поля и теории элементарных частиц, требует для своего обоснования привлечения методов функционального анализа, в частности теории обобщенных функций. Первоначально возникла задача регуляризации матриц рассеяния в квантовой электродинамике в любом порядке теории возмущений. Н.Н. Боголюбов первым заметил (1953 г.), что проблема сводится к правильному определению понятия произведения специальных обобщенных функций – так называемых каузальных пропагаторов, и предложил использовать для этой цели теорему Хана-Банаха о продолжении функционалов. Таким образом, он пришел к открытию новой формы вычитательной процедуры, получившей название R-операции Боголюбова.

В 1955–1960 гг. в совместных работах Н.Н. Боголюбова и О.С. Парасюка были изучены комбинаторные и аналитические свойства этой операции и доказана фундаментальная теорема о возможности регуляризации матрицы рассеяния в любом порядке теории возмущений. Эти результаты приобрели особое значение в последние годы в связи с тем, что они нашли применение при построении единой теории электромагнитных и слабых взаимодействий, а также при ренормализации калибровочных и суперсимметрических теорий.

## 6. Проблема полярона

В качестве еще одного примера развития идей Н.Н. Боголюбова вплоть до настоящего времени остановимся подробнее на проблеме полярона – одной из простейших и в то же время одной из важнейших проблем квантовой физики. Возникла она в конце 40-х годов при попытке построения строгой квантовой теории частицы, взаимодействующей с элементарными возбуждениями в твердом теле. Подобная теория стала крайне необходимой для объяснения эффектов проводимости и электросопротивления ионных кристаллов, а также подвижности носителей тока в них, явившись прообразом созданной позднее теории сверхпроводимости. Многие выдающиеся ученые внесли свой вклад в решение проблемы полярона. Среди них – Л.Д. Ландау, С.И. Пекар, Х. Фрелих, Р.П. Фейнман и многие другие. Н.Н. Боголюбов никогда не оставлял проблему полярона, занимаясь ею с момента ее возникновения.

Привлекая исследователей простотой своей формулировки и важностью для физических приложений, проблема полярона оказалась весьма коварной, оставшись нерешенной до наших дней. Она стала своеобразной лабораторией, в которой создавались и опробовались новые методы квантовой физики перед тем, как они получали широкое применение в других ее областях. В качестве одного из наиболее ярких примеров можно привести метод функционального интегрирования, созданный Р.П. Фейнманом, испробованный на проблеме полярона и ставший впоследствии одним из основных методов квантовой теории поля и статистической механики. Важнейшим фундаментальным вкладом Н.Н. Боголюбова в построение теории полярона стала созданная им в 1950 г. строгая адиабатическая теория возмущений, в которой кинетическая энергия фононного поля рассматривалась как малое возмущение [27]. Будучи трансляционно-инвариантной, что само по себе является важным вкладом в построение теории сильной связи, адиабатическая теория возмущений в нулевом порядке воспроизводила существовавшие ранее результаты в области больших значений константы взаимодействия. Несмотря на то, что был предложен систематиче-

ский метод построения высших порядков теории возмущений, и несмотря на многие усилия исследователей, высшие порядки не найдены до сих пор.

Н.Н. Боголюбов вернулся к проблеме полярона в 70-е годы, когда он создал и применил известный метод, основанный на статистическом усреднении хронологических, или Т-произведений операторов [28–30]. Этот метод оказался необычайно эффективным при построении теории промежуточной связи в проблеме полярона, а также при нахождении высших членов рядов теории возмущений в пределе малых значений константы взаимодействия. Так же, как и метод функционального интегрирования, метод хронологических произведений нашел широкое применение во многих областях квантовой физики.

Не ослабевает интерес к проблеме полярона и в наши дни. Однако если ранее интересы исследователей были связаны с построением теории пространственно-однородных и, как следствие этого, трансляционно-инвариантных систем, то сейчас первостепенную важность приобретает изучение взаимодействия заряженных частиц с элементарными возбуждениями в пространственно-неоднородных системах пониженной размерности, таких, как, например, квантовые ямы, нити и коробки. В подобных системах с размерами пространственной неоднородности, сопоставимыми с длиной волны де Бройля носителей электрического тока, наступает квантовый конфайнмент, ведущий к образованию связанных состояний и дискретного спектра энергии. Экспериментальная техника создания подобных систем достигла поистине впечатляющих результатов, сделав возможным получение искусственных полупроводниковых структур с хорошо контролируруемыми параметрами, по своим размерам сопоставимых с размерами атома. Перспектива ближайшего будущего – создание искусственных атомов и решеток подобных атомов с наперед заданными свойствами. В последние годы существенные теоретические усилия были направлены на исследование мод коллективных возбуждений (фононов, плазмонов и т. д.), существующих на свободной поверхности или интерфейсе, разделяющем две среды, или в более общем случае – в произвольной пространственно-неоднородной системе с квантовым конфайнментом. Не менее интересной является и проблема взаимодействия заряженной частицы с подобными возбуждениями. Прежде всего, это уже знакомое нам по проблеме пространственно-однородного полярона электрон-фононное взаимодействие, играющее важнейшую роль также и в свойствах твердотельных систем малой размерности: квантовых ям и сверхрешеток.

Например, влияние поверхностных мод на электрон или ион, приближающихся к свободной поверхности, важно в исследованиях по спектроскопии и абсорбции поверхностей, в то время как понимание взаимодействия электронов проводимости с поверхностными модами важно с точки зрения создания новых полупроводниковых приборов. Поверхностные моды в квантовых системах пониженной размерности существенно отличаются от обычных фононных мод однородного пространства. Так, в случае квантовых ям существуют четыре типа ветвей оптических мод поверхностного типа, так что функция электрон-фононного взаимодействия зависит не только от волнового вектора фонона, но и от толщины квантовой ямы, координаты электрона в направлении, перпендикулярном поверхности квантовой ямы, и от параметров двух диэлектрических сред, разделенных поверхностями. При этом чем тоньше квантовая яма, тем сильнее эффект взаимодействия электрона с поверхностными модами. Теоретическое исследование электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности с квантовым конфайнментом лишь начинается. Остаются неясными ответы на многие волнующие вопросы, поставленные природой. Каковы, например, оптические свойства и свойства проводимости квантовых систем

пониженной размерности, где важны эффекты взаимодействия с поверхностными фоннными модами? Все эти и многие другие проблемы ждут ответа исследователей. И первостепенную роль в создании плодотворных моделей и в их решении играют мощные теоретические методы, созданные и развитые академиком Н.Н. Боголюбовым.

Подводя итог, отметим, что все перечисленные выше идеи и методы легли в основание современной физики и успешно используются при исследовании широчайшего спектра проблем: от строгого математического решения задач статистической механики и квантовой теории поля до важнейших прикладных работ по теории сверхтекучести и сверхпроводимости, квантовой оптики, теории упорядочения в конденсированном состоянии.

## Список литературы

- [1] Боголюбов Н.Н. (мл.), Санкович Д.П. Н.Н. Боголюбов и статистическая механика // УФН. 1994. Т. 49. Вып. 5. С. 299.
- [2] Боголюбов Н.Н. (мл.), Санкович Д.П. Очерк научной деятельности // ЭЧАЯ. 1993. Т. 24. Вып. 5. С. 1224–1293.
- [3] Боголюбов Н.Н., Крылов Н.М. Исследование продольной устойчивости аэроплана. М., Л.: ГТТИ, 1932. С. 23.
- [4] Bogolubov N.N., Krylov N.M. Les phenomenes de demultiplication de frequence en radiotechnique (явления демумльтипликации частоты в радиотехнике) // C.R. Acad. Sci. Paris, 1932. Vol. 194. P. 1119–1122 (see also the references therein).
- [5] Боголюбов Н.Н., Крылов Н.М. Введение в нелинейную механику. Киев: Изд-во АН УССР, 1937. 365 с.
- [6] Боголюбов Н.Н. Избранные статьи: в 3 т. Киев: Наук. думка, 1969.
- [7] Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука. 1974. 503 с.
- [8] Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. М., Л.: ГТТИ, 1946. 119 с.
- [9] Боголюбов Н.Н. Кинетические уравнения // ЖЭТФ. 1946. Т. 16. № 8. С. 691.
- [10] Bogolubov N.N. Microscopic Solutions of the Boltzmann-Enskog Equation in the Kinetic Theory of Hard Spheres (Микроскопические решения уравнения Больцмана-Энскога в кинетической теории для упругих шаров) // Dubna: JINR. E14-8789. 1975. 12 p.
- [11] Bogolubov N.N. On the Stochastic Processes in the Dynamical Systems (О стохастических процессах в динамических системах) // Dubna: JINR. E17-10541. 1977. 130 p.
- [12] Боголюбов Н.Н. К теории сверхтекучести // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1947. Т. 11. № 1. С. 77–90.
- [13] Боголюбов Н.Н. Энергетические уровни неидеального бозе-эйнштейновского газа // Вестн. МГУ. 1947. № 7. С. 43–56.



- [14] Боголюбов Н.Н. О новом методе в теории сверхпроводимости // Дубна: ОИЯИ (ЛТФ Р-99). 1957. 13 с.; то же: ЖЭТФ. 1958. Т. 34. № 1. С. 58–65; С. 73–79.
- [15] Боголюбов Н.Н., Толмачев В.В., Ширков Д.В. Новый метод в теории сверхпроводимости. М.: Изд-во АН СССР. 1958. 128 с.
- [16] Bogolubov N.N. On some problems of the theory of superconductivity (О некоторых проблемах теории сверхпроводимости) // Physica. 1960. Vol. 26. P. S1–S16.
- [17] Боголюбов Н.Н. Квазисредние в задачах статистической механики // Дубна: ОИЯИ (ЛТФ; Д-781). 1961. 123 с.
- [18] Боголюбов Н.Н., Тябликов С.В. Запаздывающие и опережающие функции Грина в статистической физике // Докл. АН СССР. 1959. Т. 126. № 1. С. 53.
- [19] Боголюбов Н.Н. Асимптотически точное решение для модельного гамильтониана теории сверхпроводимости // ЖЭТФ. 1960. Т. 39. № 1. С. 120–129.
- [20] Goldstone J. Field theories with «superconductor», solutions // Nuovo Cimento. 1961. Vol. 19. P. 154–164.
- [21] Higgs P.W. Broken symmetries and the masses of gauge bosons // Phys. Rev. Lett. 1964. Vol. 13. P. 508–509.
- [22] Weinberg S. Идейные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // УФН. 1980. Т. 132. № 2. P. 201–217.
- [23] Боголюбов Н.Н., Струминский Б.В., Тавхелидзе А.Н. К вопросу о составных моделях в теории элементарных частиц // Дубна: ОИЯИ (ЛТФ, Д-1968). 1965. 13 с.
- [24] Боголюбов Н.Н. Лекции по симметрии элементарных частиц: в 2 ч. М.: Из-во МГУ, 1966. 137 с.
- [25] Боголюбов Н.Н., Владимиров В.С., Тавхелидзе А.Н. On automodel asymptotics in quantum field theory (Об автомодельной асимптотике в квантовой теории поля.) // Dubna: JINR (LTP, E2-6490). 1972. 50 p.
- [26] Боголюбов Н.Н., Владимиров В.С., Тавхелидзе А.Н. Об автомодельной асимптотике в квантовой теории поля. II // Теор. и мат. физика. 1972. Т. 12. № 3. С. 305–330.
- [27] Боголюбов Н.Н. Об одной новой адиабатической теории возмущения в задаче о взаимодействии частицы с квантовым полем // Украинск. мат. журн. 1950. Т. 2. № 2. С. 3–24.
- [28] Боголюбов Н. Н., Боголюбов Н.Н. (мл.) Кинетическое уравнение для динамической системы, взаимодействующей с фоновым полем // ЭЧАЯ. 1981. Т. 12. № 2. С. 245–300.
- [29] Bogolubov N.N., Bogolubov N.N. (jr.) Polaron Theory. Model Problems // Amsterdam: Gordon and Breach Science. 2000. 253 p.
- [30] Боголюбов Н.Н., Боголюбов Н.Н. (мл.) Аспекты теории полярона. М.: Физматлит, 2004. 176 с.

**PROBLEMS OF THE QUANTUM THEORY  
IN WORKS OF ACADEMICIAN N.N. BOGOLYUBOV  
AND HIS FOLLOWERS**

© 2010 N.N. Bogolyubov (jr.)<sup>1</sup>

**Abstract**

The name of the outstanding theoretician of the twentieth century – the academician N.N. Bogolyubov as well as his entire creative activity are non separable from development of modern methods of investigations in nonlinear mechanics, mathematical physics, theory of supeconductivity and BCS theory, theory of superfluidity, quantum field theory and electrodynamics, theory of dispersion relations in high energy physics, physics of elementary particles and quark models, fundamental problems of statistical mechanics. Nowadays his followers and coworkers are actively working in several well known scientific centers – N. Bogolubov Laboratory of Theoretical physics of JINR, Dubna of Moscow region, Russia, V.A. Steklov Mathematical Institute of RAS, Moscow, Russia, N. Bogolubov Institute of theoretical physics of NAS, Kiev, Ukraine, Institute of Mathematics of NAS, Kiev, Institute for Condensed matter physics of NAS, Lviv, Ukraine, Physics-Technical Institute of NAS, Kharkiv, Ukraine, Institute of mechanics of NAS, Kyiv, Ukraine, and in many other university scientific centers.

---

<sup>1</sup> Bogolyubov Nikolay Nikolaevich (junior), doctor of phys.-math. sciences, corresponding member of RAS, the main scientific employee of the Department of Mechanics of Steklov mathematical institute of Russian Academy of Sciences, Gubkina str. 8, 119991, Moscow, Russian Federation; e-mail: bogolubv@mi.ras.ru.