

УКД 536.1

## ПРОБЛЕМА МНОГИХ ТЕЛ

© А.А. Шибков

Shibkov A.A. The many-body problem. In the article, the many-body problem is considered. It focuses on some of its main aspects, such as the dynamic nature of entropy, there-body problem in mechanics, limits of the employing the quasiparticle conception in condensed-matter physics, the problem of structuring many-body systems, the nature of the internal time in biosystems, etc.

Проблема многих тел – одна из фундаментальных проблем теоретической физики. Она возникает при расчете систем, состоящих из сильновзаимодействующих тел: частиц, элементов конструкций, космических тел и пр. В контексте этой проблемы все реальные объекты можно разделить на две большие группы:

1) объекты, для которых проблема многих тел решается тривиально: а) системы из небольшого числа слабовзаимодействующих частиц, находящиеся во внешнем поле (обычно электромагнитном или гравитационном). Вследствие слабого взаимодействия частиц их переменные легко разделяются и задача сводится к движению одной частицы в заданном потенциальном рельефе, которая точно решается с помощью классических уравнений движения (в форме Ньютона, Гамильтона или Лагранжа) или квантовых (уравнение Шредингера или уравнение движения в форме Гейзенберга). Выбор типа уравнений определяется соотношением между дебройлевской длиной волны и размером системы; б) идеальные и реальные газы в равновесном и слабонерновесном состоянии. Такие объекты описываются с помощью термодинамики, статистической физики и физической кинетики введением новых обобщенных координат: температура, давление, объем, энтропия, термодинамические потенциалы и т. д.;

2) объекты, для которых использование классических или квантовых уравнений движения сталкивается с трудностью разделения переменных (пространственных и спиновых). К наиболее важным в естественнонаучном плане объектам такого рода относятся адроны, ядра, молекулы, конденсированные макроскопические тела (жидкости, твердые тела, биологические системы), многие астрофизические объекты (Вселенная на начальных стадиях Большого взрыва, звезды, галактики) и т. д. Можно сказать, что основные разделы естествознания – физика, химия и биология – так или иначе имеют дело с системами сильновзаимодействующих частиц.

1. Исторически проблема многих тел возникла в связи с проблемой устойчивости Солнечной системы и первоначально сводилась к задаче об интегрируемости уравнений движения системы взаимодействующих тел. Как известно, традиционная постановка задачи в классической механике заключается в решении дифференциальных уравнений движения Гамильтона (или Лагранжа) для тела в заданном потенциальном поле.

Принципиальная разрешимость таких уравнений для одного тела при заданных начальных условиях означает, что его состояние, определяемое значением обобщенных координат  $q$  и импульсов  $p$  в произвольный момент времени  $t$ , однозначно определяется их значением и в момент времени  $t = 0$ . В этом смысле классическая механическая система полностью детерминирована – ее уравнения движения инвариантны по отношению к замене  $t$  на  $-t$ . Система двух взаимодействующих тел также оказывается детерминированной, так как сводится к движению тела с приведенной массой вокруг центра масс системы (задача Кеплера). В 1889 году Брунс сообщил о результатах исследования интегрируемости уравнения движения системы многих тел, которые затем были обобщены Пуанкаре в его фундаментальной теореме: система, состоящая из трех и более тел – недетерминирована. Ее смысл заключается в том, что через некоторый промежуток времени, называемый временем релаксации, такая система “забывает” начальные условия и ее фазовая траектория приобретает стохастический характер. Это означает, что понятие энтропии, как количественной меры хаоса, а следовательно, необратимости, применимо не только к макроскопическим объектам, но и к системам из трех и более тел. Время в такой системе уже не параметр, но “стрела” и “течет в сторону” возрастания энтропии, различая физически неэквивалентные события в прошлом и будущем системы. Фундаментальное значение теоремы Пуанкаре состоит в том, что она выявляет динамическую природу энтропии и второго начала термодинамики.

2. Возможность детерминистского описания квантовых систем также существенно зависит от числа взаимодействующих частиц. Как известно, несмотря на вероятностный смысл волновой функции частицы, движущейся в заданном потенциальном поле, ее состояние полностью детерминировано в том смысле, что знание волновой функции в начальный момент времени позволяет с помощью уравнения Шредингера прогнозировать ее в произвольный момент времени, реализуя таким образом детерминистский принцип причинности. Введением приведенной массы точно решается и задача двух тел; водородоподобные системы – атом водорода, атомы щелочных металлов, позитроний (связанное состояние нейтрона и позитрона), мезоны (двухкварковые системы), дейтерон (связанное состоя-

ние нейтрона и протона), экситон (связанное состояние электрона и дырки в полупроводниках), донорные и акцепторные центры,  $F$ -центры в полупроводниках и диэлектриках и пр. – квантовые аналоги классической задачи Кеплера.

Уравнение Шредингера для системы из нескольких частиц,  $N \geq 3$  (ядра, многоэлектронные атомы, молекулы и пр.) решается с помощью ряда приближений, позволяющих в ряде задач разделить переменные (пространственные и спиновые координаты) взаимодействующих частиц и свести многочастичную задачу к одночастичной: адиабатическое приближение, приближение самосогласованного поля Хартри – Фока, пренебрежение спин-орбитальным взаимодействием, вариационный метод Томаса – Ферми и ряд других. Принципиальная трудность при решении таких задач заключается в том, что состояние одной частицы в системе взаимодействующих частиц является “смешанным” и описывается не волновой функцией, а матрицей плотности, и уравнение Шредингера должно быть заменено дифференциальным уравнением относительно матрицы плотности. Такой подход, однако, приводит к чрезвычайному усложнению математического аппарата. Смысл указанных приближений состоит в том, что в ряде случаев с их помощью удается сохранить использование волновой функции и аппарата уравнения Шредингера для приближенного описания каждой частицы и всей системы в целом. Например, в адиабатическом приближении ядра атомов и молекул считаются неподвижными (из-за большой разницы масс ядер и электронов), а электроны двигаются в их стационарном электрическом поле. Это обстоятельство позволяет разделить координаты ядер (которые рассматриваются в задаче как параметры) и электронов, что дает возможность перейти к уравнению Шредингера только для электронной подсистемы. Многоэлектронная задача сводится к одноэлектронной введением некоторого искусственного потенциала самосогласованного поля, в “конструировании” которого учитывается вклад рассматриваемого электрона через взаимодействие с остальными электронами системы. Методом последовательных приближений удастся построить самосогласованное поле в явном виде для систем из  $N < 10$  частиц. При этом вопрос об устойчивости квантовых систем обсуждать не принято. Постулируется, что замкнутая система имеет спектр стационарных энергетических состояний, в одном из которых она может находиться сколь угодно долго (постулат уравнения Шредингера).

3. Отмеченные выше приближения, развитые в основном для решения задач атомной физики и квантовой химии, значительно ограничивают возможности объяснения многих физических свойств систем из большого числа сильно взаимодействующих частиц (жидкости, аморфные тела, кристаллы). Например, в адиабатическом приближении “не просчитывается” электрическое сопротивление твердых тел, как результат рассеяния электронов на колебаниях ионного остова решетки или поглощение света диэлектриками и полупроводниками вследствие возбуждения таких колебаний фотонами и т. д. Кроме того, полную энергию электронной подсистемы макроскопического тела, вообще говоря, нельзя представить в виде суммы энергий одноэлектронных состояний в приближении самосогласованного поля, а расчет явного вида потенциала этого поля невозможен из-за большого числа частиц. Достоверным можно считать утверждение, что в слу-

чае кристаллов оно обладает трансляционной симметрией. Это обстоятельство позволяет построить зонную теорию идеальных кристаллов и классифицировать их на металлы, полупроводники и диэлектрики. Для описания физических свойств кристаллов необходимо рассматривать динамику носителей заряда во внешнем электромагнитном поле. При этом приходится вводить так называемую эффективную массу электрона (или дырки) как отношение внешней силы к среднему ускорению, приобретаемому носителем во внешнем поле. Эффективная масса  $m^*$  является мерой взаимодействия носителя заряда с самосогласованным полем и может быть как много меньше массы покоя электрона (например, у полуметаллов  $m^* \sim 10^{-2} m_e$ ), так и значительно ее превышать в некоторых полупроводниках, достигая  $\sim 10^3 m_e$ , что соизмеримо с массой ядер. Это обстоятельство ставит под сомнение, в этих случаях, правомочность адиабатического приближения, разделяющего конденсированное тело на электронную и ядерную подсистемы. Приведенные примеры демонстрируют ограниченность квантовохимической идеологии в физике твердого тела.

4. Существует принципиально иной, более фундаментальный подход к решению многочастичной задачи, основанный на использовании идей квантовой теории поля для описания физических свойств макроскопических тел. Он свободен от многих трудностей квантовохимических методов, поскольку базируется на отказе от анализа состояния отдельной структурной частицы в системе взаимодействующих частиц и рассматривает слабо возбужденные состояния макроскопического тела в целом. Такой подход близок по постановке задачи к теории возмущения и поэтому имеет наиболее общий характер. Для его иллюстрации кратко изложим основные положения квантовополевой идеологии.

В соответствии с квантовой теорией поля любая элементарная частица рассматривается как квант возбуждения некоторого физического поля, потенциалом которого является волновая функция этой частицы (метод вторичного квантования), а поле, в общем случае, определяется как квантовая система с бесчисленным числом степеней свободы. Поле имеет основное или вакуумное состояние (без частиц), в котором оно совершает нулевые колебания вследствие соотношения неопределенностей и возбужденные, определяемые совокупностью квантов возбуждения поля, то есть частицами. Например, фотоны являются квантами возбуждения электромагнитного поля, которым, в соответствии с квантовокорпускулярным дуализмом де Бройля, соответствуют электромагнитные волны. Следует отметить, что канонически сопряженными величинами в квантовой электродинамике являются числа фотонов  $n$  в данном состоянии и значения напряженностей электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей, то есть для соответствующих пар величин соблюдается соотношение неопределенностей  $\Delta n \Delta E > \hbar$  и  $\Delta n \Delta H > \hbar$ . Это означает, что в основном состоянии электромагнитного поля ( $n = 0$ ) неопределенности полей  $\Delta E$  и  $\Delta H$  стремятся к бесконечности, то есть значения напряженностей электрического и магнитного полей могут принимать с некоторой вероятностью сколь угодно большие значения, вызывая так называемые нулевые флуктуации вакуума, причем средние значения этих полей равны нулю. Если флуктуация энергии поля достигнет вели-

чины  $\sim mc^2$ , то в соответствии с соотношением неопределенностей для энергии и времени оказывается возможным процесс рождения и уничтожения через время  $\Delta t \sim \hbar/mc^2$  виртуальной частицы с массой покоя  $m$ . При этом бозоны рождаются и исчезают поодиночке, а фермионы — парами в соответствии с правилами квантования углового момента. Таким образом, физический вакуум представляет собой динамическое равновесие между процессами рождения и аннигиляции элементарных частиц. Энергия основного состояния электромагнитного поля не определена и считается намного превышающей энергию элементарных возбуждений поля — фотонов.

Подобные представления оказались весьма плодотворными для описания слабозвозбужденных состояний конденсированных тел. Действительно, кристалл, аморфное тело, жидкость представляют собой физические системы, число степеней свободы которых чрезвычайно велико ( $\sim 10^{22} - 10^{23}$ ), и в этом смысле их можно рассматривать как физические поля. Это означает, что кванты возбуждения макроскопического тела обладают свойствами частиц: они переносят энергию, импульс, заряд, спин и т. д. Их называют квазичастицами. В отличие от структурных частиц, образующих макроскопическое тело — электронов и ядер, квазичастицы не могут покинуть тело, кванты возбуждения которого они представляют. Современная физика конденсированных сред (физика твердого тела, физика плазмы) использует представление о нескольких видах ( $\sim 10$ ) квазичастиц: фононы — кванты возбуждения колебательной степени свободы кристаллической решетки, им соответствуют упругие волны смещения атомов (или ионов) из положения равновесия; плазмон — квантам возбуждений колебаний электронной подсистемы металла (или плазмы) — соответствуют волны зарядовой плотности; магнотон соответствуют спиновые волны в ферромагнетиках; поляроном — волны поляризации в диэлектриках и полупроводниках; электроны и дырки следует также рассматривать как элементарные возбуждения электронной подсистемы металлов и полупроводников и т. д.

Успехи квазичастичного метода описания физических свойств твердых тел объясняются, в первую очередь, соответствием постановки задачи и метода исследования. Действительно, физическое свойство макроскопического тела представляет собой его отклик на приложение внешнего, как правило, электромагнитного (измерительного) поля. Это поле должно быть неразрушающим, то есть слабым по отношению к полю внутри системы, поэтому оно переводит ее в слабозвозбужденное состояние, характеризуемое сравнительно небольшим числом слабозвзаимодействующих квазичастиц. Для описания широкого спектра физических свойств макроскопического тела, находящегося вблизи равновесия (электрических, магнитных, оптических, тепловых и др.), достаточно моделировать его в виде "ящика" с газом квазичастиц и использовать для его описания термодинамику и статистическую физику идеальных газов. Таким образом, проблема многих тел решается в данном случае заменой реального макроскопического тела как системы сильносвязанных структурных частиц, электронов и ядер — газом квазичастиц в объеме этого тела. Квазичастичный подход, однако, испытывает серьезные трудности при описании физических свойств тел вдали от основного состояния (предплавильные температуры, высокие градиенты и

степени деформации, предпробойные электромагнитные поля и т. д.). С ростом энергии возбуждения растет плотность и энергия взаимодействия квазичастиц и мы вновь сталкиваемся с проблемой многих тел — системой сильносвязанных квазичастиц. Таким образом, метод квазичастиц физически обоснован только для описания слабозвозбужденного состояния кристаллов, поскольку именно упорядоченное, кристаллическое состояние вещества при  $T = 0$  и в отсутствие внешних полей, в силу высокой симметрии расположения атомов, соответствует основному состоянию конденсированной среды.

5. Наиболее сложной, и в настоящее время нерешенной, многочастичная проблема оказывается для макроскопических тел, находящихся вдали от термодинамического равновесия. Она характеризуется, во-первых, необходимостью учета нелинейности сил взаимодействия структурных частиц. Как известно, потенциалы парного взаимодействия для любых типов связей (внутриядерных — потенциал Юкавы, внутриатомных — кулоновский потенциал, межатомных — потенциал Борна — Маделунга и Морзе для ионной и ковалентной связей соответственно, межмолекулярных — потенциал Леннарда — Джонса и др.) носят существенно нелинейный характер вдали от положения равновесия. Это обстоятельство, например, затрудняет использование концепции квазичастиц как линейных объектов, для которых справедлив принцип суперпозиции. Во-вторых, такие тела являются неустойчивыми динамическими системами и характеризуются необратимостью происходящих в них процессов. Как отмечалось, время в такой системе "течет в сторону" возрастания энтропии. Согласно И. Пригожину, физическая природа необратимости обусловлена наличием микросостояний, ориентированных во времени: "существуют микросостояния, для которых обращение времени запрещено".

Для описания систем, у которых отсутствует траектория (например, у квантовых систем вследствие соотношения неопределенностей или у динамических систем вследствие потери устойчивости), необходимо вводить операторы физических величин, характеризующих систему. Поэтому для описания необратимых процессов вводятся операторы внутреннего времени  $T$  и энтропии  $S$ , при этом, например, внутреннее время является собственным значением оператора  $T$ . Таким образом, анализ неравновесных процессов в макроскопической системе приводит к существенному изменению понятия времени. Согласно представлениям, развитым И. Пригожиным, в результате действия оператора внутреннего времени система "оказывается" в будущем. "Необратимость и неустойчивость тесно связаны между собой: необратимое, ориентированное время может появиться только потому, что будущее не содержится в настоящем". Эти идеи были интуитивно предвосхищены в известном трактате "Время и Бытие" М. Хайдеггером, который утверждал, что "время определяется бытием".

В последние два десятилетия в работах, в основном, брюссельской группы физиков под руководством И. Пригожина, а также П. Гленсдорфом была разработана так называемая сильно нелинейная неравновесная термодинамика. Это новая, далеко незавершенная физическая теория, названная Г. Хакеном синергетикой, прогнозирует возможность спонтанного возникновения упорядоченных структур в различных сильно неравновесных открытых системах, то есть процессов самоор-

ганизации. Физическая природа синергетики состоит в том, что в нелинейной области вдали от термодинамического равновесия система теряет устойчивость и малые флуктуации приводят к новому режиму – кооперативному движению огромного числа частиц, которое сопровождается возникновением новых, упорядоченных структур и, как следствие, локальным уменьшением энтропии за счет ее оттока в окружающую среду. И. Пригожин назвал такие системы диссипативными. В физике и химической кинетике явления такого рода были известны. Это образование ячеистой структуры конвективных потоков в неоднородно нагретом слое жидкости (ячейки Бенара), возникновение турбулентностей, вихрей, химические реакции Белоусова – Жаботинского и др. Для образования диссипативных структур необходимо соблюдение следующих условий: система должна быть открытой (т. е. обмениваться с окружающей термостатом энергией и массой), нелинейной, сильно неравновесной и параметр порядка (градиент температур, концентраций, электрического потенциала и т. д.) должен превышать критическое значение.

Рождение синергетики имеет важное значение для биологии. Дело в том, что живые организмы и их органы удовлетворяют всем этим условиям, то есть являются диссипативными структурами. М. Эгейном было показано, что в сложных сильно неравновесных системах возможно возникновение записи информации в виде некоторого кода, с помощью которого управляется самовоспроизведение образовавшихся структур. Развитие синергетики позволяет высказать гипотезу, как с точки зрения физики могла возникнуть жизнь. Синергетика коренным образом изменяет статус второго начала термодинамики. Действительно, этот закон определяет не только деградацию структур при необратимых процессах вблизи положения равновесия, но и возникновение новых структур при необратимых процессах, вдали от равновесия открытой системы. Такое понимание второго начала термодинамики снимает кажущееся противоречие, "обнаруженное" Э. Шредингером, между этим законом и эволюционной теорией Дарвина.

6. В заключение отметим структурный аспект проблемы многих тел. Из чего состоит система взаимодействующих частиц? Состоит ли она из тех частиц, из которых образовалась? Этот вопрос не всегда тривиален и включает в себя спектр задач, представляющих самостоятельный физический интерес: например, свойства частиц в свободном и связанном состоянии, наличие реакций взаимопревращения частиц (химических, ядерных и т. д.) при конденсации или распаде системы и пр. Поясним сказанное примерами. Как известно, при образовании ковалентной связи, например, между двумя атомами водорода, атомные волновые функции настолько искажаются, что атомы в молекуле водорода теряют свою индивидуальность и мы не можем утверждать, что молекула состоит из атомов. Мы можем утверждать, что она из них образовалась, а состоит – из электронов и ядер (протонов), которые при образовании химической связи не изменяют своих свойств. В качестве другого примера приведем  $\beta$ -распад – самопроизвольное испускание ядром электронно-нейтринной пары, которая не может находиться в ядре (в противном случае электрону "пришлось бы превзойти" скорость света на два порядка). Согласно модели Большого Взрыва, на ранних этапах образования Все-

ленной, когда эквивалентная плотность вещества достигала  $\sim 10^{90}$  г/см<sup>3</sup>, все виды фундаментальных взаимодействий должны быть одного порядка, то есть неразличимы (единое или универсальное взаимодействие). Считается, что на этом этапе Взрыва Вселенная состояла из "прародителей" частиц – преонов с массой  $\sim 10^{26}$  эВ. В процессе расширения Вселенной, вследствие уменьшения энергии взаимодействия преонов, единое взаимодействие распалось на сильное, электромагнитное слабое и гравитационное, в результате чего возникли все известные элементарные частицы, образующие вещество современной Вселенной.

Приведенные примеры свидетельствуют о связи между составом системы и энергией взаимодействия частиц. В этом контексте структура материи проявляет удивительную особенность, которая заключается в понятии Квантовой Лестницы. Ее различные ступени количественно отличаются лишь порядком энергии взаимодействия, приходящейся на одну частицу  $\Delta E$ :

1) классическая ступень,  $\Delta E \leq 10^{-2}$  эВ. При таких энергиях взаимодействия внутриатомные степени свободы еще не возбуждены, атом "ведет себя как неделимый" и все вещество можно считать состоящим из атомов, что соответствует античным представлениям. На классической ступени проявляют себя лишь электромагнитное и гравитационное взаимодействия;

2) атомная ступень, энергия взаимодействия  $\Delta E \sim 10^0 - 10^3$  эВ соизмерима с внутриатомными электронными переходами и атом ведет себя как система частиц, а вещество Вселенной на этой ступени следует считать состоящим из электронов и ядер, между которыми преобладает электромагнитное взаимодействие;

3) ядерная ступень,  $\Delta E \sim 10^5 - 10^8$  эВ, характеризуется реакциями взаимодействия ядер и частиц, при которых адроны (например, протоны и нейтроны) не проявляют своей структуры. Это область сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий;

4) субъядерная ступень. При энергиях  $\Delta E \geq 10^9$  эВ адроны "становятся" структурными частицами и материю на этой ступени следует считать состоящей из истинно фундаментальных частиц: кварков, лептонов и квантов физических полей – переносчиков взаимодействий (гравитонов, фотонов, глюонов и промежуточных бозонов);

5) универсальная ступень. Если энергия взаимодействия достигнет  $\sim 10^{26}$  эВ, то все виды взаимодействий "соются" в единое, универсальное взаимодействие. Такая ситуация возможна на ранних этапах Большого Взрыва. Как отмечалось, Вселенная на этой стадии эволюции должна состоять из частиц одного сорта – преонов.

Таким образом, проблема многих тел весьма многогранна и охватывает широкий круг, как правило, ключевых вопросов в различных областях современной физики, химии и биологии от проблемы устойчивости Солнечной системы, структуры Вселенной до проблемы внутреннего времени в биологических объектах.

Фундаментальные проблемы обладают своеобразной особенностью – они "легко выходят" за рамки узкой постановки вопроса, в нашем случае механики и даже теоретической физики и оказываются "кирпичиками" в фундаменте, вероятно, не только естественных наук. Дальнейшие вопросы очевидны. Если процессы самоорганизации происходят в физике чрезвычайно редко, в химии – весьма редко и в биологии – как правило, то какова их роль, например, в социальных про-

цессах, в системах управления и т. д.? Можно ли историю рассматривать как биолог – лягушку, а физик-теоретик – проблему многих тел? Эти вопросы, разумеется, выходят за рамки статьи.

Попытаемся сформулировать здесь гносеологический аспект проблемы многих тел. Европейский философ рассматривал бы эту проблему в контексте отношения частного и общего, части и целого. Как известно, рациональное мышление возникло в Европе, и его историю, по-видимому, следует отсчитывать от фундаментальных работ И. Ньютона и Г. Лейбница по дифференциальному и интегральному исчислению. “Разделяй и властвуй”, дифференцирование и интегрирование, анализ и синтез – эти понятия лежат в основе европейской культуры мышления (которая сильно отличается от культуры восприятия целого, например, у народов, проповедующих буддизм). Понять природное явление – значит “разложить его в ряд” по идеализированным моделям. Отсюда возник научный сленг: эффект “первого порядка”, второго и т. д. Традиционное европейское образование состоит, главным образом, в накоплении банка идеализированных задач – элементов целого. Мы как бы разбиваем целое на части, а затем, пристально всматриваясь в осколки, пытаемся склеить их, устанавливая логические связи, и говорим об этом склеенном (и в этом смысле, мертвом) целом, как о познанном явлении. При таком способе познания из задачи “исчезает” время. Точнее говоря, мы пользуемся этим понятием двойко. С одной стороны – в явном виде, как параметром, позволяющим классифицировать различные квазистатистические ситуации и рассматриваем эволюцию как их логический набор, а с другой стороны – в неявном виде, например, в структуре доказательства: “если... , то...”. В этом плане проблема многих тел – сугубо европейская проблема, появившаяся на заре рационального мышления и оказавшаяся в сложном хитросплетении естественных наук. Возможно, не случайно то обстоятельство, что эволюция представлений о Времени (время как параметр в механике, время как внутренняя степень свободы пространственно-временного континуума в теории относительности, “стрела времени” в термодинамике необратимых процессов, активное или внутреннее время в биологических системах) связана не столько с теорией относительности, но, прежде всего, с проблемой многих тел, то есть с анализом отношения части и целого.

Подведем итоги. Проблема многих тел в общем виде в настоящее время не решена. Она связана со всеми разделами естествознания и имеет довольно сложную внутреннюю структуру. Не претендуя на полноту, перечислим основные ее нерешенные аспекты, отмеченные в рамках настоящего краткого обзора.

1. Проблема описания динамического поведения систем из  $N = 3 \cdot 10^3$  сильно взаимодействующих частиц.
2. Границы детерминизма в описании системы взаимодействующих частиц. Динамическая природа энтропии и второго начала термодинамики.
3. Проблема состава системы сильно взаимодействующих частиц. Структурные частицы в свободном и связанном состоянии. Проблема реальности частиц и квазичастиц.
4. Границы применимости квантово-полевых методов в физике конденсированного состояния вещества (жидкости, твердые тела, плазма). Размытие представления о квазичастицах в области больших возмущений (высокие температуры, градиенты температур, степени деформации, напряженности внешних физических полей, облучение и т. д.).
5. Проблемы описания состояния макроскопического тела вдали от равновесия с нелинейным законом взаимодействия структурных частиц. Явление самоорганизации в открытых неравновесных системах. Природа внутреннего времени в биосистемах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.П. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М.: МГУ, 1989. 240 с.
2. Боголюбов П.Н., Ширков Д.В. Квантовые поля. М.: Наука, 1980. 319 с.
3. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Физматгиз, 1963. 748 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. 584 с.
5. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 327 с.
6. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969. 647 с.
7. Хайдеггер М. Время и Бытие. М.: Республика, 1993. 447 с.

Поступила в редакцию 25 августа 1998 г.