ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5-88-246

УДК 536.75

НЕСКОРОМНЫЙ
Владимир Николаевич

МАРКОВСКАЯ ДИНАМИКА МНОГОЧАСТИЧНЫХ СИСТЕМ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С БОЗОННЫМ ТЕРМОСТАТОМ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1988

Работа выполнена в Математическом институте им. В.А.Стеклова Академии наук СССР.

Научные руководители:

член-корреспондент АН СССР,
профессор Н.Н.Боголюбов (мл.)

доктор физико-математических
наук, старший научный сотрудник А.М.Курбатов

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН УССР,
профессор Д.Я.Петрина

доктор физико-математических
наук, старший научный сотрудник А.С.Шумовский

Ведущая организация: Ленинградское отделение Математического института им. В.А.Стеклова АН СССР, г. Ленинград.

Защита состоится "8" июня 1988 г.
на заседании специализированного совета К047.01.01 в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "7" мая 1988 г.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук А.Е.Дорохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В современной физике многочастичных систем большую роль играют строгие методы, не использующие в той или иной форме теорию возмущений. Главной целью строгих подходов в неравновесной статистической механике в настоящий момент является последовательный вывод кинетических уравнений исходя из микроскопической модели вещества и отчетливо сформулированных статистических предположений. Впервые эта программа была реализована Н.Н.Боголюбовым, получившим кинетическое уравнение Больцмана на основе микроскопической динамики и принципа ослабления корреляций.

При изучении вопросов, касающихся возникновения необратимости в эволюции многочастичных систем, приближения к равновесию, появления хаотического движения в детерминированных системах и т.п., большую роль играют открытые системы – малые квантовые системы с конечным числом степеней свободы, взаимодействующие с бесконечной, находящейся в состоянии термодинамического равновесия квантовой системой. Таким образом, единственным статистическим условием при изучении динамики открытых систем является требование, чтобы термостат описывался КМШ-состоянием. Концепция открытых систем привлекательна также тем, что в качестве них можно рассматривать различные физически нетривиальные модели, такие,как модель БКШ, открытая модель Изинга, модели лазера.

Существенной особенностью полученных точных уравнений является наличие в них немарковских членов, что сильно затрудняет их прямое исследование. Корректной математической процедурой в теории открытых систем является предел Ван-Хова слабой связи с термостатом с одновременной перенормировкой временной шкалы для компенсации замедления релаксации системы. Доказательство осуществимости такого предела в методе проекционного оператора основано на ограниченности по норме оператора взаимодействия, что имеет место в случае фермионного термостата. Между тем проблема построения точного марковского предела в теории открытых систем, взаимодействующих с бозонным термостатом, имеет большое значение не только с математической, но и с физической точки зрения, давая удобный аппарат для исследования реалистических моделей статистической механики.

Цель работы

I. Математически строгий вывод марковских, точных в пределе Ван-Хова, кинетических уравнений для динамических систем общего вида, взаимодействующих с бозонным термостатом.

2. Исследование полученных марковских уравнений для конкретных моделей статистической физики – сегнетоэлектрика типа "порядок-беспорядок" и модели сверхизлучения Дикке.

3. Исследование некогерентной релаксации и перехода в сверхизлучательный режим в модели Дикке.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации в рамках метода Боголюбова исключения бозонных переменных доказано существование предела Ван-Хова для динамических систем общего вида, взаимодействующих с термостатом линейно по бозе-полям. Такое доказательство является важной ступенью для исследования релаксационных процесоов в различных моделях статистической механики. Полученные марковские кинетические уравнения имеют более простую структуру, чем справедливые при любом значении константы связи точные уравнения Боголюбова. Отмечено, что необратимость в указанных марковских уравнениях возникает лишь в процессе устремления размеров термостата к бесконечности.

При выводе марковских кинетических уравнений в модели сегнетоэлектрика типа "порядок-беспорядок" с дальнодействием самостоятельную ценность представляло исследование свободной динамики подсистемы протонов в двухъямном потенциале на связях. Эта задача была решена точно в термодинамическом пределе $N \to \infty$. Получены кинетические уравнения, обобщающие известные уравнения типа Блоха-Вангснесса на случай произвольного отклонения от равновесного состояния. В модели сверхизлучения Дикке получены точные эволюционные уравнения для произвольной фурье-компоненты полной инверсии системы двухуровневых излучателей в случае ненулевых температур фотонного термостата, а также точные уравнения для неравновесных двухвременных функций Грина с исключенными бозе-операторами термостата. На основе концепции иерархии времен и квазистационарных состояний исследуются условия возникновения неравновесных параметров порядка перехода в сверхизлучательное состояние. Проводится сопоставление с экспериментальными данными по сверхизлучению в кристаллах с примесями. Полученные условия говорят в пользу отдельного, более подробного теоретического и экспериментального изучения микроскопически пространственно-неоднородных сверхизлучательных состояний.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на семинарах Математического института им. В.А.Стеклова АН СССР и Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, на III Международном симпозиуме по избранным проблемам статистической механики /Дубна, 1984г./, на Всесоюзной школе "Квантовые процессы в интенсивных полях" /Кишинев, 1985г./ и на II Советско-итальянском симпозиуме по математическим проблемам статистической физики /Львов, 1985г./.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 8 статей.

Объем работы. Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения. Объем диссертации: 90 страниц машинописного текста. Библиографический список литературы содержит 153 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена актуальность вопросов, связанных с математически строгим исследованием проблем равновесной и неравновесной статистической механики; дан анализ основных результатов в этой области. Обосновывается необходимость корректного исследования марковского предельного перехода в случае неограниченного по норме оператора взаимодействия. Подчеркивается важность использования полученных математически строгих результатов в изучении свойств конкретных физически содержательных моделей, а именно: модели сегнетоэлектрика типа KDP с дальнодействием и модели Дикке сверхизлучения. Делается обзор структуры диссертации в целом.

В главе I диссертации приводится доказательство существования предела Ван-Хова для систем общего вида, взаимодействие которых с термостатом линейно по неограниченным бозонным операторам. Дается способ построения марковских кинетических уравнений для таких систем, обсуждается проблема стремления к равновесию.

В § I приводится гамильтониан системы общего вида:

$$H(t,S,\Sigma) = \Gamma(S) + \sum_k \hbar\omega_k b_k^+ b_k + \sum_k \left\{ A_k^+(t,S) b_k^+ + A_k(t,S) b_k \right\}, \qquad /1/$$

для которого Н.Н.Боголюбовым был разработан метод построения точных эволюционных уравнений с исключенными бозонными операторами. Вкратце рассматриваются основные идеи, связанные с пределом Ван-Хова слабой связи с термостатом.

§ 2 представляет собой краткое изложение метода Боголюбова исключения бозонных переменных. Приводится доказательство Леммы Боголюбова, основывающееся на КМШ-условии для состояния термостата.

§ 3 посвящен пределу Ван-Хова в точных эволюционных уравнениях Боголюбова. Сформулирован основной результат данной главы:

Теорема. Пусть динамическая система S взаимодействует с термостатом Σ таким образом, что полный гамильтониан имеет вид /I/ и выполнены следующие условия:

а/ оператор $\Gamma(S)$ имеет только дискретный спектр;

б/ $A_\kappa^{\#}(t,S)=\lambda C_\kappa^{\#}(t,S)$; $\|C_\kappa^{\#}(t,S)\| \le M<\infty$;

в/
$$C_\kappa^{\#}(t,S)=\begin{cases} e^{\varepsilon t}C_\kappa^{\#}(S), & t\le 0 \quad (\varepsilon>0); \\ C_\kappa^{\#}(S), & t>0 ; \end{cases}$$

г/ статистический оператор $\mathcal{D}_t$ при $t=t_0$ удовлетворяет начальным условиям вида

$$\mathcal{D}_{t_0}=\rho(S)\mathcal{D}(\Sigma); \quad \mathcal{D}(\Sigma)=Z_\Sigma^{-1}\exp\{-\beta H(\Sigma)\};$$

$$\mathop{Sp}_{(S)}\rho(S)=1; \quad Z_\Sigma=\mathop{Sp}_{(\Sigma)}\exp\{-\beta H(\Sigma)\}.$$

Тогда точное эволюционное уравнение для приведенного статистического оператора $\rho_t(S)=Sp_{(\Sigma)}\mathcal{D}_t(S,\Sigma)$ в пределе $\lambda\to 0$, $\lambda^2 t=\tau=const$ переходит в уравнение марковского типа.

При доказательстве теоремы используется доказанная в диссертации

Лемма. Пусть ряды

$$\sum_\alpha c_\alpha(\lambda,t)e^{i\Omega_\alpha\lambda^{-2}t} \quad \text{и} \quad \sum_\alpha d_\alpha(\lambda,t)e^{i\Omega_\alpha\lambda^{-2}t}$$

сходятся равномерно по λ, t и равны друг другу, а функции $c_\alpha(\lambda,t)$ и $d_\alpha(\lambda,t)$ ограниченны и непрерывны по t. Тогда, если существуют равномерные по t пределы

$$\lim_{\lambda\to 0} c_\alpha(\lambda,t)=c_\alpha(t) \quad \text{и} \quad \lim_{\lambda\to 0} d_\alpha(\lambda,t)=d_\alpha(t),$$

то они совпадают: $c_\alpha(t)=d_\alpha(t) \quad \forall\alpha,t$.

В § 4 приводится Следствие теоремы: эволюция системы общего вида, описываемая предельным марковским уравнениам, обратима для конечного объема термостата и становится необратимой лишь в термодинамическом пределе. На примере модели Фрелиха полярона большого радиуса демонстрируется важность доказанной теоремы при исследовании проблемы стремления к равновесию в данной модели. В замечаниях обсуждается связь марковского предельного перехода в случае бозонного термостата с доказательством Дэвиса для фермионного термостата.

В главе П получено точное в пределе Ван-Хова марковское кинетическое уравнение для модели сегнетоэлектрика типа "порядок-беспорядок" с дальнодействием. При этом исследование свободной динамики протонной подсистемы представляет собой отдельную нетривиальную задачу, которая была решена точно в термодинамическом пределе $N\to\infty$.

В § I в качестве конкретного примера системы с гамильтонианом /I/ выбирается модель Кобаяши, описывающая движение протонов на водородных связях в двухъямном ангармоническом потенциале операторами квазиспина I/2, взаимодействующих с полярными оптическими фононами кристаллической решетки:

$$\Gamma(S)=-2\Omega\sum_{j=1}^{N}S_j^x-\frac{I}{2N}\sum_{i,j=1}^{N}S_i^zS_j^z ; \qquad /2/$$

$$H_{int}(S,\Sigma)=-\frac{1}{\sqrt{N}}\sum_{j=1}^{N}\sum_\kappa g_\kappa S_j^z(b_\kappa+b_{-\kappa}^+). \qquad /3/$$

§ 2 посвящен доказательству ряда свойств, которым удовлетворяет эволюция введенных здесь макроскопических состояний. По определению последовательность состояний ρ_N является макроскопической относительно коллективных спиновых операторов $S_N^\alpha=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}S_j^\alpha$, если справедливо условие:

$$\lim_{N\to\infty} Sp\prod_{i=1}^{n}S_N^{\alpha_i}\rho_N=\prod_{i=1}^{n}S^{\alpha_i}. \qquad /4/$$

Предложение. Если ρ_N – последовательность макроскопических относительно S_N^α состояний, тогда $\rho_N(t)$, эволюционирующая в соответствии с гамильтонианом $\Gamma(S)$ вида /2/ – также последовательность макроскопических состояний. Или, в представлении Гейзенберга,

$$\lim_{N\to\infty} Sp\prod_{i=1}^{n}S_N^{\alpha_i}(t_i)\rho_N=\prod_{i=1}^{n}S^{\alpha_i}(t_i), \qquad /5/$$

где $S^{\alpha_i}(t_i)$ удовлетворяет той же системе уравнений, что и $S_N^{\alpha_i}(t)$, с заменой операторов на c-числовые функции времени, а также начальным условиям, отвечающим /4/.

В § 3 решена задача асимптотической при $N\to\infty$ свободной динамики протонной подсистемы S. В зависимости от значения интегралов движения

$$s^2=[S^x(t)]^2+[S^y(t)]^2+[S^z(t)]^2;$$

$$\Delta^2=\left[S^x(t)-\frac{2\Omega}{I}\right]^2+[S^y(t)]^2,$$

имеем два типа решений: если $s > \frac{2\Omega}{I} + \Delta$, то траектория распадается на две несвязные части:

$$S^z(t) = \pm y_2 \, dn\left(\frac{I}{2} y_2 t\right), \quad S^z(0) = \pm y_2$$

с модулем эллиптической функции

$$k = \frac{2}{y_2}\sqrt{\frac{2\Omega\Delta}{I}},$$

где

$$y_2^2 = s^2 - \left(\frac{2\Omega}{I} - \Delta\right)^2.$$

Это решение естественно связать с сегнетоэлектрической фазой. Если $s^2 < \frac{2\Omega}{I} + \Delta$, то траектория становится односвязной и симметричной относительно инверсии $z \to -z$:

$$S^z(t) = y_2 \, cn\sqrt{2I\Omega\Delta}\, t \quad , S^z(0) = y_2$$

с модулем

$$k = \frac{y_2}{2}\sqrt{\frac{I}{2\Omega\Delta}}.$$

В параграфе также приведены выражения для $S^x(t)$ и $S^y(t)$, а также исследованы предельные случаи $k \ll 1$ и $s \approx \frac{2\Omega}{I} + \Delta$. При этом в случае $k \to 0$ решение переходит в известное решение приближения хаотических фаз.

§ 4 посвящен получению кинетического уравнения для протонной подсистемы, взаимодействующей с фононным термостатом, в пределе $N \to \infty$. При этом существенно используется разложение эллиптических функций в ряды Фурье.

<u>В главе III</u> диссертации после краткого обзора имеющихся квантово-механических и равновесных квантово-статистических решений модели Дикке предлагается неравновесный квантово-статистический подход, использующий концепцию иерархии времен и квазистационарных состояний.

В § I обоснован выбор модельного гамильтониана в виде:

$$H(t,S,\Sigma) = \hbar\Omega\sum_{j=1}^{N} S_j^z + \sum_k \hbar\omega_k b_k^+ b_k + \frac{1}{\sqrt{V}}\sum_k\sum_{j=1}^{N}\left(g_k b_k^+ S_j^- e^{-ikx_j} + h.c.\right) \qquad /6/$$

§ 2 посвящен обзору результатов, полученных в рамках квантово-механического подхода в модели Дикке.

В § 3 обозреваются равновесные решения, полученные Хеппом и Либом, а также методом аппроксимирующего гамильтониана Н.Н.Боголюбова /мл./.

§ 4 посвящен обзору работ по модели Дикке, выполненных в технике исключения операторов бозе-поля Боголюбова.

В § 5 получены точные уравнения для полной инверсии системы излучателей и соответствующие им марковские кинетические уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial t}\underset{(S,\Sigma)}{Sp} S_o^z(t)\mathcal{D}_{t_o} = -\frac{1}{2\pi^2\hbar^2}\int dk |g_k|^2 N_k \delta(\omega_k - \Omega)\underset{(S,\Sigma)}{Sp} S_o^z(t)\mathcal{D}_{t_o} -$$

$$-\frac{1}{4\pi^2\hbar^2}\int dk |g_k|^2 \underset{(S,\Sigma)}{Sp} S_k^+(t) S_k^-(t)\mathcal{D}_{t_o}\delta(\omega_k - \Omega), \qquad /7/$$

где коллективные спиновые операторы $S_k^{z,\pm}$ связаны с индивидуальными $S_j^{z,\pm}$ следующими соотношениями:

$$S_k^z = \sum_{j=1}^{N} S_j^z e^{ikx_j} \quad ; \quad S_k^\pm = \sum_{j=1}^{N} S_j^\pm e^{\pm ikx_j}.$$

В § 6 указывается на важность изучения средних $\underset{(S,\Sigma)}{Sp} S_k^+(t) S_k^-(t)\mathcal{D}_{t_o}$, и в приближении, когда $\underset{(S,\Sigma)}{Sp} S_k^\pm(t)\mathcal{D}_{t_o} \equiv 0 \ \forall k,t$, получено решение уравнения /7/, отвечающее некогерентной релаксации к равновесному состоянию:

$$\langle S_o^z(t)\rangle = e^{-\varkappa(t-t_o)}\langle S_o^z(t_o)\rangle + \left(1 - e^{-\varkappa(t-t_o)}\right)\langle S_o^z\rangle_{eq}. \qquad /8/$$

Таким образом, указанные аномальные средние играют роль динамического параметра порядка для сверхизлучательного перехода.

<u>Глава IУ</u> посвящена вычислению корреляционных функций в квазистационарном состоянии методом двухвременных функций Грина. Проводится также сопоставление с экспериментальными работами по сверхизлучению.

В § I обосновывается концепция иерархии характерных времен в системе при малой константе электромагнитного взаимодействия. Вводятся квазистационарные состояния, в течение которых средние $\underset{(S,\Sigma)}{Sp} S_n^z(t)\mathcal{D}_{t_o}$ изменяются слабо.

В § 2 вводятся запаздывающие функции Грина

$$G_n^{(r)}(t,\tau) = \frac{1}{i\hbar}\theta(t-\tau)\underset{(S,\Sigma)}{Sp}\left[S_n^+(t); S_n^-(\tau)\right]\mathcal{D}_{t_o} \qquad /9/$$

на основе коммутатора коллективных спиновых переменных. Получено точное эволюционное уравнение с исключенными бозе-операторами для функции Грина /9/:

$$\frac{\partial \tilde{G}_n(t,\tau)}{\partial t} = i\Omega \tilde{G}_n(t,\tau) +$$

$$+\frac{2}{\hbar^2 V}\sum_k |g_k|^2 \int_\tau^t d\sigma\, e^{i\omega_k(t-\sigma)} \underset{(S,\Sigma)}{Sp}\{(1+N_k)[S_k^+(\sigma)S_{n-k}^z(t);S_n^-(\tau)] -$$

$$- N_k[S_{n-k}^z(t)S_k^+(\sigma);S_n^-(\tau)]\}\mathcal{D}_{t_0}, \qquad /10/$$

где

$$G_n^{(r)}(t,\tau) = \frac{1}{i\hbar}\theta(t-\tau)\tilde{G}_n(t,\tau).$$

В § 3 вводится расцепление корреляторов в правой части /10/, отвечающее малой константе связи $|g_k|^2$:

$$\underset{(S,\Sigma)}{Sp}\{(1+N_k)[S_k^+(\sigma)S_{n-k}^z(t);S_n^-(\tau)] - N_k[S_{n-k}^z(t)S_k^+(\sigma);S_n^-(\tau)]\}\mathcal{D}_{t_0} \simeq$$

$$\simeq \langle S_{n-k}^z(\tau)\rangle \tilde{G}_n(\sigma,\tau) - N_k\tilde{G}_n(\sigma,\tau). \qquad /11/$$

§ 4 посвящен переходу в $\mathcal{E}$-представление в уравнении /10/ с учетом расцепления /11/.

В § 5 получено решение для функции Грина в $\mathcal{E}$-представлении в виде

$$G_n(E\pm i\varepsilon,\tau) = \frac{1}{\pi\hbar}\frac{\langle S_0^z(\tau)\rangle}{E+\hbar\Omega + \mathcal{U}(E,\tau) \mp i\Gamma(E,\tau)}, \qquad /12/$$

а также выражение для спектральной интенсивности средних вида $\underset{(S,\Sigma)}{Sp}\, S_n^+(t)S_n^-(\tau)\mathcal{D}_{t_0}$.

В § 6 исследуются свойства указанных средних. Отмечается, что переходу в сверхизлучательное состояние моды "n" в момент времени τ будет соответствовать выполнение одновременно двух условий:

$$\langle S_0^z(\tau)\rangle \simeq 0 \quad и \quad \Gamma_n(E,\tau)\equiv 0 \ \ \forall E. \qquad /13/$$

Второе условие в рамках сделанных приближений имеет вид

$$\langle S_{n-k}^z(\tau)\rangle + \langle S_{n+k}^z(\tau)\rangle = 2N_k \quad \forall k. \qquad /14/$$

Показано, что случай, рассмотренный Дикке, отвечает /13/ и /14/ при пространственно-однородном сверхизлучательном состоянии и $\beta\to\infty$.

§ 7 посвящен качественному сравнению условий /13/ - /14/ с экспериментами в неупорядоченных кристаллических средах. Отмечено, что удается объяснить существование времени задержки сверхизлучательного импульса, связь флуктуаций времени задержки с амплитудой импульса, существование двух абсолютно идентичных противоположно направленных импульсов, увеличение температуры наблюдения сверхизлучения с увеличением концентрации активных центров, возникновение сверхизлучения в неупорядоченных системах при ненулевых температурах.

В заключении диссертации перечислены основные выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ НА ЗАЩИТУ :

1. Доказано существование предела слабой связи Ван-Хова для динамических систем общего вида, взаимодействующих с бозонным термостатом линейно по бозе-полям.

2. Построен марковский предел точных эволюционных уравнений Боголюбова с исключенными бозонными операторами. Получены соответствующие кинетические уравнения. Исследованы процессы релаксации в открытых динамических системах.

3. Для модели сегнетоэлектрика типа "порядок-беспорядок" с дальнодействием исследована асимптотически при $N\to\infty$ точно свободная динамика протонной подсистемы.

4. Получено марковское точное в пределе Ван-Хова кинетическое уравнение для подсистемы протонов в модели KDP , взаимодействующих с равновесными полярными оптическими фононами, в котором фононные переменные полностью исключены.

5. На основе метода исключения бозонных операторов получены точные эволюционные уравнения для двухвременных функций Грина и для полной инверсии системы излучателей в модели Дикке в случае ненулевых температур фотонного термостата.

6. На основе анализа иерархии характерных времен дается способ вычисления неравновесных параметров порядка сверхизлучательного перехода методом функций Грина на квазистационарных состояниях. Выявлена связь равновесного и неравновесного решения задачи.

7. В приближении малости константы взаимодействия фотонного поля с веществом получены квантово-статистические условия для возникновения сверхизлучательного импульса, обобщающие известные квантово-механические условия Дикке.

8. Проведено сопоставление полученных условий с экспериментами по сверхизлучению в кристаллах с примесями. Указано на возможность повышения температуры, при которой наблюдается сверхизлучение, для микроскопически пространственно-неоднородных сверхизлучательных состояний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Боголюбов Н. Н. (мл.), Казарян А. Р., Курбатов А. М., Нескоромный В. Н. Функции Грина в модели Дикке I. Эволюционное уравнение.- Теор. мат. физ., 1983, т. 54, N$^{\circ}$ 1, с. 147-153.
2. Bogolubov N.N.,Jr, Kurbatov A.M., Kazaryan A.R., Neskoromnyi V.N. Dynamics of the Dicke model and superradiant state. Preprint IC/83/235.- Trieste: ICTP, 1983.- 22p. (Динамика модели Дикке и сверхизлучательное состояние).
3. Боголюбов Н. Н. (мл.), Казарян А. Р., Курбатов А. М., Нескоромный В. Н. Функции Грина в модели Дикке II. Сверхизлучательное состояние.- Теор. мат. физ., 1984, т. 59, N$^{\circ}$ 2, с. 249-261.
4. Bogolubov N.N.,Jr, Kazaryan A.R., Kurbatov A.M., Neskoromnyi V.N. The description of superradiant state on the basis of exact evolution equation and its comparison with Dusseldorf experiment. Preprint IC/84/214.- Trieste: ICTP, 1984.- 14p. (Описание сверхизлучательного состояния на основе точного эволюционного уравнения и его сравнение с Дюссельдорфским экспериментом).
5. Боголюбов Н. Н. (мл.), Казарян А. Р., Курбатов А. М., Нескоромный В. Н. К теории возникновения сверхизлучения в неравновесных кристаллических системах.- В кн.: III Международный симпозиум по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 22-26 августа 1984 г. Д17-84-850, т. 1.- Дубна: ОИЯИ, 1984, с. 96-110.
6. Bogolubov N.N.,Jr, Kurbatov A.M., Neskoromnyi V.N. The Van Hove weak coupling limit in the theory of open systems interacting with boson heat bath. NIP Preprint 86-16.- Diliman (Philippines): National Institute of Physics, 1986.- 10p. (Предел Ван Хова слабой связи в теории открытых систем, взаимодействующих с бозонным термостатом).
7. Bogolubov N.N.,Jr, Kazaryan A.R., Kurbatov A.M., Neskoromnyi V.N. The nonequilibrium description of superradiant state on the basis of exact evolution equation.- Int.J.Mod.Phys.B, 1987, v.1, No 1, p.69-88. (Неравновесное описание сверхизлучательного состояния на основе точного эволюционного уравнения).
8. Курбатов А. М., Нескоромный В. Н. Кинетические уравнения в теории точно решаемой модели сегнетоэлектрика типа KDP. Препринт Р5-87-528.- Дубна: ОИЯИ, 1987.- 12 с.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 апреля 1988 года.