

**А. В. Булинский** (Москва, МФТИ). **Асимптотика динамики открытых квантовых систем с конечным и бесконечным числом степеней свободы.**

Теория квантовых динамических полугрупп (КДП), описывающих в марковском приближении необратимую эволюцию открытых квантовых систем, взаимодействующих определенным образом с окружением, активно развивается в последние 30 лет. Интерес к ней, обусловленный приложениями в квантовой термодинамике, квантовой оптике и др., в последние годы был связан с квантовой теорией информации и квантовыми вычислениями, где КДП с дискретным и непрерывным временем выступают как модели квантовых каналов.

При этом для системы с конечным числом степеней свободы (или  $n$ -уровневой,  $n \in \mathbf{N}$ ) основными математическими объектами являются некоммутативная  $C^*$ -алгебра  $\mathcal{A} = \mathcal{B}(\mathcal{H}_n) \approx M_n(\mathbf{C})$  в  $n$ -мерном гильбертовом пространстве  $\mathcal{H}_n$  и полугруппа  $\tau = (\tau_t)_{t \in T}$ ,  $T = \mathbf{Z}_+$  или  $\mathbf{R}_+$ , состоящая из *вполне положительных* отображений  $\mathcal{A}$  (картина Гейзенберга), или двойственная  $\tau$  полугруппа преобразований функционалов на  $\mathcal{A}$ , отвечающих состояниям системы (картина Шредингера). В случае непрерывного времени ( $t \geq 0$ ) требуется непрерывность орбит  $\tau$  по норме  $\mathcal{A}$ , тогда  $\tau_t = \exp(t\mathcal{L})$ ,  $t \geq 0$ . Ограниченный генератор  $\mathcal{L}$  динамики, непрерывной по норме, имеет (на любой  $C^*$ -алгебре  $\mathcal{A}$ ) канонический вид, указанный Линдбладом и (для  $M_n$ ) Горини, Коссаковским и Сударшаном. Несмотря на огромное число публикаций, посвященных общим свойствам КДП и модельным примерам, лишь в недавней работе [1] были четко выявлены структуры в  $\mathcal{H}_n$  и  $\mathcal{B}_1(\mathcal{H}_n)$ , связанные с описанием таких процессов релаксации линдбладовских динамических систем  $(\mathcal{A}, \tau)$  как распад, диссипация и дефазировка.

Мы переносим часть результатов [1] на случай, когда системе отвечает бесконечномерное  $\mathcal{H}$  и  $\mathcal{A} = \mathcal{B}(\mathcal{H})$ . Возможным оказалось такое обобщение и для КДП на  $\mathcal{B}(\mathcal{H})$  с т. н. генератором линдбладовского типа (см. [2]), уже неограниченным. Получены также обобщения на  $W^*$ -системы  $(\mathcal{M}, \tau)$ , где произвольная  $W^*$ -алгебра  $\mathcal{M} \subset \mathcal{B}(\mathcal{H})$ , а КДП состоит из нормальных  $\tau_t \in CP(\mathcal{M})$  и имеет генератор линдбладовского типа. Консервативные КДП этого класса увеличивают 2-энтропию Реньи.

Применительно к  $W^*$ -системам, имеющим инвариантные состояния, мы усиливаем выводы [3] о наличии «свободных от декогерентности» подсистем, используя результаты работы [4], и устанавливаем оценки скорости сходимости к асимптотическим структурам, опираясь на подход [5].

Получено также обобщение на произвольные  $W^*$ -системы условия [6] существования инвариантной коммутативной  $W^*$ -подалгебры, обсуждавшегося в связи с трактовкой декогерентности как проявления классического поведения у квантовой системы. Поскольку компонентой КДП будет классическая марковская полугруппа, возникает возможность сопоставить разным квантовым динамическим энтропиям классический аналог, срав. с [7].

Отметим, что изучение управляемых открытых систем как моделей устройств передачи и обработки квантовой информации может потребовать анализа немарковских приближений для динамики.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект 06-01-00164-а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baumgartner B., Narnhofer H., Thirring W. Analysis of quantum semigroups with GKS-Lindblad generators I. Simple generators. — J. Phys. A: Math. Gen., 2008, v. 41, 06521.
2. Holevo A.S. On the structure of covariant dynamical semigroups. — J. Funct. Anal., 1995, v. 131, p. 255–278.
3. Alicki R. Controlled quantum open systems. — arXiv: quantum-ph/ 030213 v1.

4. Булинский А. В. Асимптотически эндоморфные  $W^*$ -динамические системы. — В сб.: Проблемы математики в физико-технических и экономических задачах. М.: МФТИ, 1993, с. 11–18.
5. Accardi L., Fagnola F., Hachicha S. Generic  $q$ -Markov semigroups and speed of convergence of  $q$ -algorithms. — *Infin. Dimens. Analysis, Quantum Probab. Related Topics*, 2006, v. 9, p. 567–594.
6. Rebolledo R. A view on decoherence via master equations. — *Information Dynamics Open Systems*, 2005, v. 12, p. 37–54.
7. Fannes M., Haegmann B. Quantum dynamical entropies for classical stochastic systems. — *Reports Math. Phys.*, 2003, v. 52, p. 151–165.