

О Т Ч Е Т

о научно-организационной деятельности зав. теоретическим
Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
академика РАН Чирикова Б.В. за 1995 г.

1. НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Продолжены теоретические исследования и численные эксперименты по динамическому хаосу в классической и квантовой механике.

Классический хаос

Совместно с В.В. Вечеславовым проведены обработка и анализ большой серии численных экспериментов по структуре хаотических слоев нелинейных резонансов в многомерной гамильтоновой модели с числом степеней свободы до $N = 32$. Подтверждены существование и условия режима быстрой диффузии Арнольда в хаотическом слое многомерной системы, а также простые статистические оценки для ширины слоя и скорости диффузии. Показано, в частности, что обе величины зависят только от параметра возмущения, но не от N , по закону близкому к степенному с показателем степени логарифмически возрастающим при уменьшении возмущения. Обнаружен новый режим еще более быстрой диффузии, при котором ширина хаотического слоя пропорциональна, с большой точностью, квадрату параметра возмущения. Механизм этого интересного и важного режима изучается.

Проведены численные эксперименты по аномальной диффузии в критической структуре на границе хаоса в фазовом пространстве. Использовалась модель, которая описывает, в частности, динамику электрона в микротроне. Надежно установлено существование аномальной (ускоренной) диффузии в соответствии с нашей резонансной теорией критических явлений в динамике. Эмпирический критический показатель диффузии близок к теоретическому значению, но нуждается в уточнении.

Теория аномальной диффузии применена к задаче о случайных блужданиях без самопересечений в критической размерности $d_c = 4$ на основе простой гипотезы о дальних корреляциях вследствие отсутствия пересечений. Одним из приложений этой интересной задачи является структура, в частности, размер "клубка" длинной полимерной молекулы. Сравнение этой теории с наиболее богатыми данными численных экспериментов, проведенных Грассбергером, Хеггером и Шэфером (Германия), показывает, что новая теория столь же хорошо объясняет все имеющиеся данные как и стандартная полевая ренормгруппа, хотя и имеет другую асимптотику, недоступную пока для компьютерного моделирования. Вместе с тем, по замечанию Грассбергера, новая теория является пока единственной, которая приближенно описывает структуру θ -полимеров, для которых критическая размерность

$d_c = 3$, и для которых стандартная ренормгруппа оказалась совершенно неприменимой.

Совместно с В.Г. Давидовским была проанализирована динамика частиц в тороидальной магнитной ловушке типа стелларатора, которая была предложена Мешковым и Скринским для накопления позитронов с целью получения интенсивного пучка атомов антиводорода. Показано, что основной (хотя и преодолимой) трудностью в этом проекте являются сильные (неустрашимые) резонансы за счет длинных прямолинейных промежутков, необходимых для охлаждения позитронов и образования антиводорода. Предложен новый вариант ловушки с гофрированным магнитным полем, который в свое время был изобретен Будкером для удержания плазмы. В этом варианте упомянутая выше трудность значительно снижается.

В плане развития общей теории динамических систем выяснена причина "особого" подхода школы Пригожина к теории динамического хаоса, а именно, неоднократные (но безуспешные) попытки вывести статистическую необратимость из динамики, которой на самом деле там нет. В конечном счете ошибка связана с физически неоправданным допущением произвольности огрубленной функции распределения. Этот вопрос активно обсуждается сейчас с Курбаджем (Франция) и Бунимовичем (США).

Квантовый хаос

Совместно с Ф.М. Израйлевым (ИЯФ), Дж. Казати и И. Гварнери (Миланский университет) исследована глобальная структура квантового хаоса в типичной консервативной системе, представленной в численных экспериментах одной случайной полосковой матрицей Вигнера (с растущими, в среднем, диагональными элементами). Основным результатом этих исследований являются статистические свойства матрицы собственных функций (СФ), которая представляет также спектры функций Грина (ФГ) базисных состояний. Показано, что квантовая локализация возможна только для энергетической оболочки (и ФГ) в форме "полукруга", но не Брейт – Вигнера. Локализация разрушает статистическую симметрию между СФ и ФГ, превращая первые в узкие, сплошные состояния, нерегулярно разбросанные по всей энергетической оболочке, тогда как вторые остаются глобально эргодическими, т.е. по-прежнему каждая ФГ заполняет всю оболочку, но становится сильно разреженной ("дырявой"). Показано, что эта нетривиальная и даже неожиданная на первый взгляд структура находится, тем не менее, в полном соответствии с изученной ранее на других моделях динамикой квантовой локализации. Попутно было найдено простое эмпирическое выражение для полной формы экспоненциально локализованной СФ. В случае локализации в центре ФГ обнаружено заметное отклонение от "полукруга" в форме относительно узкого пика со степенным законом спада плотности. Этот пик объясняет, повидимому, замеченные ранее аномально большие флуктуации в локализованном стационарном состоянии. Форма последнего хорошо согласуется с предсказаниями простейшей теории

случайных матриц, однако заметно отличается от случая динамической модели. Этот результат нуждается в дальнейшей проверке и требует объяснения. Предполагается также детально исследовать фрактальную структуру разреженных ФГ. Предложено несколько прямых методов измерения структуры энергетической оболочки, что позволит находить основные характеристики квантовой локализации непосредственно из экспериментальных данных или компьютерного моделирования. Введена новая характеристика порядок – хаос в квантовых системах по зависимости числа связанных в СФ базисных состояний от квантового параметра. С увеличением последнего переход по этому параметру обостряется, переходя в классическом пределе в резкую границу.

Работы были частично поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, грант 95-01-010047.

Научные публикации

1. B.V. Chirikov and D.L. Shepelyansky, Shnirelman peak in level spacing statistics, *Phys.Rev.Lett.* **74** (1995) 518.
2. B.V. Chirikov, Quantum chaos and ergodic theory, in: *Bifurcations and Chaos*, Springer, 1995, p. 9.
3. B.V. Chirikov, Linear chaos, in: *Nonlinear Dynamics: New Theoretical and Applied Results*, Akademie Verlag, 1995, p. 55.
4. G. Casati and B.V. Chirikov, The legacy of chaos in quantum mechanics, in: *Quantum Chaos: Between Order and Disorder*, Cambridge Univ. Press, 1995, p. 3.
5. G. Casati and B.V. Chirikov, Comment on "Decoherence, chaos and the second law", *Phys.Rev.Lett.* **75** (1995) 350.
6. B.V. Chirikov, On self-avoiding walks in critical dimensions, *J.Phys. A* **28** (1995) 5685.
7. G. Casati and B.V. Chirikov, Quantum chaos: unexpected complexity, *Physica D* **86** (1995) 220.

2. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

1. Командировка в Миланский университет (Комо, Италия, июнь-июль): продолжение совместных исследований квантовой динамики и хаоса.

2. Международная конференция "Хаос в атомных и молекулярных системах" (Триест, Италия, июль): приглашенный доклад "Модель случайных матриц для хаотических атомных состояний", научные обсуждения.
3. Международная конференция "Нелинейная динамика, хаотические и сложные системы" (Закопане, Польша, ноябрь): приглашенный доклад "Псевдохаос в статистической физике", научные обсуждения.

3. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

1. Руководство работами по теоретическому и численному исследованию динамического хаоса в теоретическом отделе ИЯФ и совместными работами с группой проф. Дж. Казати (Миланский университет, Комо, Италия).
2. Ученый секретарь спецсовета Д.002.24.02 при ИЯФ.
3. Член:
 - Ученого совета ИЯФ;
 - Объединенного ученого совета СО РАН по физико-техническим наукам;
 - научного совета по музеям СО РАН;
 - научных советов РАН "Нелинейная динамика" и "Прикладная математика";
 - экспертной комиссии по присуждению золотой медали имени П.Н. Лебедева;
 - комиссии по статистической физике Международного союза чистой и прикладной физики;
 - редколлегии:
 - журнала "Прикладная механика и техническая физика";
 - Международных журналов Physica D; Chaos, Solitons and Fractals; CHAOS;
 - издательства Кембриджского университета по нелинейным явлениям.

Б.В. Чириков

16 января 1996 г.