

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ АМПЛИТУДЫ И МОДУЛЯЦИИ НА КУБИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

О.П. Абрамова

Донецкий национальный университет, oabramova@ua.fm

Методом численного моделирования исследовано влияние переменной амплитуды и модуляции фрактального индекса на кубитные состояния поля деформации отдельной фрактальной структуры. Показано, что эффективное затухание функции смещения локализовано в виде стохастических колец. Модуляция фрактального индекса приводит к появлению полос у реальной части и тонкой структуры у мнимой части функции смещения различных кубитных состояний.

Ключевые слова: фрактальная структура, кубитные состояния, переменная амплитуда функции смещения, модуляция фрактального индекса, поле деформации.

Введение

При создании квантовых компьютеров возникают задачи о передаче, обработке, хранения информационных данных. В качестве элементной базы выступают различные наноструктуры и метаматериалы [1 - 3]. Запись информации часто выполняют на основе кубитов [4]. В работах [5, 6] описание комплексного поля деформации модельных фрактальных связанных структур было выполнено на основе различных кубитных состояний отдельных структур типа кругового и эллиптического цилиндров. Отличительной особенностью поведения поля деформации таких связанных структур является наличие кубитных состояний, для которых отсутствует затухание [7, 8]. Было показано, что такие состояния могут быть ячейками памяти. В работах [5 - 8] при описании поля деформации отдельной структуры моделирование функции смещения осуществлялось с постоянной амплитудой. Однако, использование наноструктур и метаматериалов с объемной структурой приводит к появлению переменных амплитуд комплексной функции смещения в отдельных плоскостях. В результате итерационного процесса элементы матриц становятся случайными (появляется квантовый хаос [9]). Возникает необходимость учета упорядочения отдельных операторов полей деформаций [5 - 8] при описании различных кубитных состояний. Для осуществления внешнего управления полем деформации отдельной структуры используют различные модуляционные методы [1]. При этом возникает задача о влиянии таких модуляционных методов на кубитные состояния отдельной структуры.

Целью данной работы является исследование влияния переменной амплитуды и модуляции на кубитные состояния поля деформации отдельной фрактальной структуры.

Кубитные состояния поля деформации фрактальной структуры

В работах [5 - 8] при моделировании безразмерной комплексной функции

смещения u фрактальных структур использовалась функция

$$u = k_u^2 (1 - 2 \operatorname{sn}^2(u - u_0, k'_u)) \quad (1)$$

с постоянной амплитудой 2 перед функцией эллиптического синуса.

В данной работе будем рассматривать фрактальные структуры, которые характеризуются переменной амплитудой $2(k'_u)^2$ в функции смещения u и исследовать ее влияние на различные кубитные состояния поля деформации.

Модельная фрактальная структура представляет собой круговой цилиндр, находящийся в объемной дискретной решетке $N_1 \times N_2 \times N_3$, узлы которой задаются целыми числами n, m, j . Нелинейные уравнения для безразмерной комплексной функции смещения u узла решетки запишем в виде

$$u = k_u^2 (1 - 2(k'_u)^2 \operatorname{sn}^2(u - u_0, k'_u)); \quad (2)$$

$$k_u^2 = (1 - \alpha) / Q; \quad k'_u = (1 - k_u^2)^{1/2}; \quad p = p_0 + p_1 n + p_2 m + p_3 j; \quad (3)$$

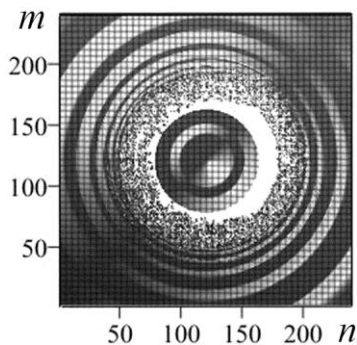
$$Q = p - b_1(n - n_0)^2 / n_c^2 - b_2(m - m_0)^2 / m_c^2 - b_3(j - j_0)^2 / j_c^2. \quad (4)$$

Здесь α – фрактальная размерность поля деформации u вдоль оси Oz ($\alpha \in [0, 1]$); u_0 – постоянное (критическое) смещение; модули k_u, k'_u являются функциями от индексов n, m, j узлов решетки. Фрактальный круговой цилиндр характеризуется параметрами: $p_0, p_1, p_2, p_3, b_1, b_2, b_3, n_0, n_c, m_0, m_c, j_0, j_c$. В нашей модели выбор различных состояний кубитов в плоскости nOm определяется ненулевыми коэффициентами при линейных слагаемых в функциях p, Q из (3), (4). В работе [5, 6] было введено начальное состояние (0,0) фрактальной структуры – состояние с нулевыми коэффициентами $p_1 = 0, p_2 = 0$. Базисные состояния кубитов определены как: (1,0) – $p_1 = 0.00423, p_2 = 0$; (0,1) – $p_1 = 0, p_2 = 0.00572$; (-1,0) – $p_1 = -0.00423, p_2 = 0$; (0,-1) – $p_1 = 0, p_2 = -0.00572$. Суперпозиционные состояния кубитов: (1,1) – $p_1 = 0.00423, p_2 = 0.00572$; (1,-1) – $p_1 = 0.00423, p_2 = -0.00572$; (-1,1) – $p_1 = -0.00423, p_2 = 0.00572$; (-1,-1) – $p_1 = -0.00423, p_2 = -0.00572$.

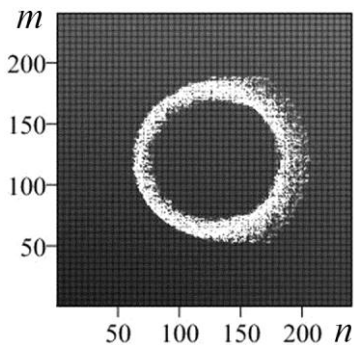
При численном моделировании полагалось, что $N_1 = 240, N_2 = 240, u_0 = 29.537, p_0 = 1.0423, b_1 = b_2 = 1, n_0 = 121.1471, m_0 = 120.3267, j_0 = 31.5279, j_c = 11.8247, b_3 = 0$; значения полюсов кругового цилиндра $n_c = m_c = 57.4327$.

Решение нелинейных уравнений (2) – (3) осуществлялось методом итераций по переменной n . Фрактальная размерность поля деформации u вдоль оси Oz принимала значение $\alpha = 0.5$ (рис. 1). Так для $Re u$ (рис. 1 а) кубитного состояния (0,0), (рис. 1 в) кубитного состояния (1,0) характерно регулярное поведение внутренней области типа мембраны вогнутой (выпуклой), а для границы характерно стохастическое поведение. Во внешней области наблюдается волнооб-

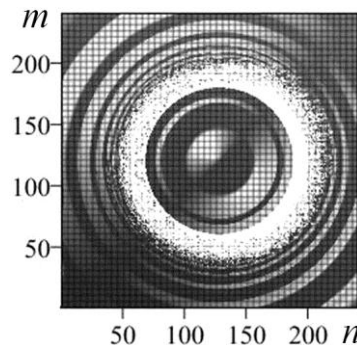
разное поведение.



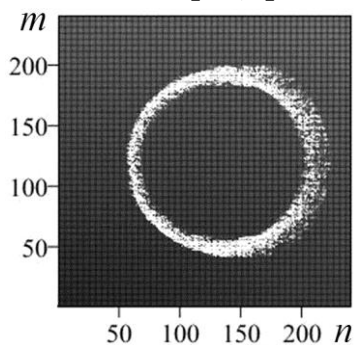
а) состояние (0,0)
 $\text{Re } u \in [-1;1]$



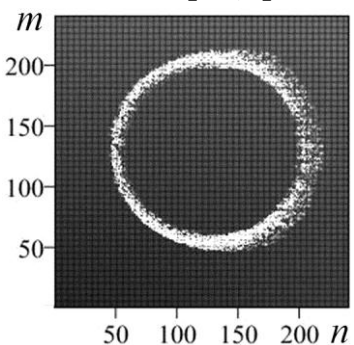
б) состояние (0,0)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



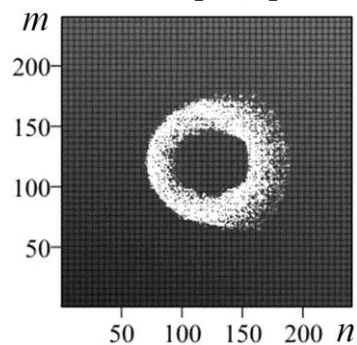
в) состояние (1,0)
 $\text{Re } u \in [-1;1]$



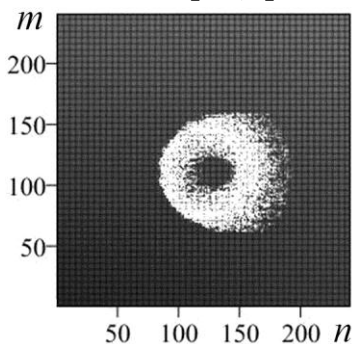
г) состояние (1,0)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



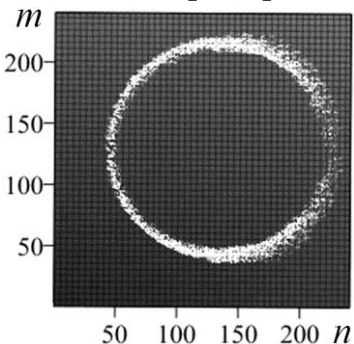
д) состояние (0,1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



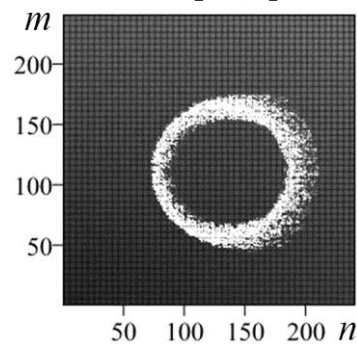
е) состояние (-1,0)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



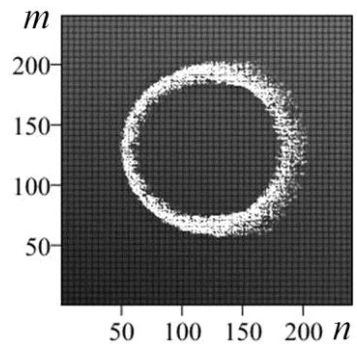
ж) состояние (0,-1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



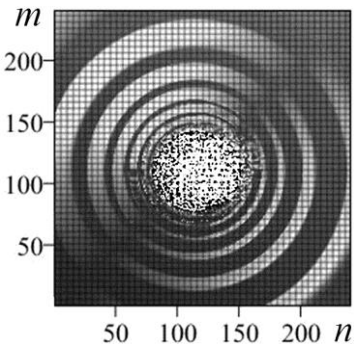
з) состояние (1,1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



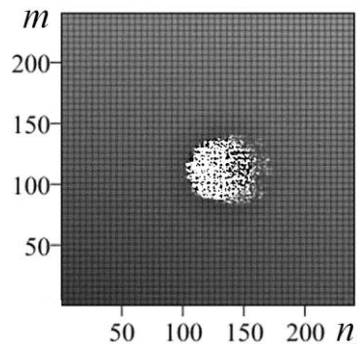
и) состояние (1,-1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



к) состояние (-1,1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



л) состояние (-1,-1)
 $\text{Re } u \in [-1;1]$



м) состояние (-1,-1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$

Рис. 1. Кубитные состояния поля деформации в круговой цилиндрической структуре. Поведение сечений $\text{Re}u \in [-1;1]$, $\text{Im}u \in [-1;1]$ (вид сверху) при $\alpha = 0.5$.

На рис. 1 л представлена $\text{Re}u$ для суперпозиционного состояния $(-1,-1)$, для которого поведение внутренней области является существенно стохастическим, а во внешней области наблюдается регулярное волнообразное поведение. Для всех состояний кубитов характерно наличие мнимой части безразмерной функции смещения $\text{Im}u$, что свидетельствует о наличии эффективного затухания. Это затухание локализовано в области стохастических колец. Радиусы, толщины, расположение этих колец существенно зависят от кубитных состояний поля деформации (рис. 1 б, г, д, е, ж, з, и, к). Для суперпозиционного состояния $(-1,-1)$ затухание локализовано во всей стохастической области (рис. 1 м).

Далее рассмотрим влияние модуляции фрактальной размерности α на кубитные состояния поля деформации u . Исследуем синусоидальный закон изменения $\alpha = \sin \varphi$, где угол $\varphi = 6\pi(n-1)/39$ зависит от индекса n узла решетки (рис. 2). Так для $\text{Re}u$ (рис. 2 а) кубитного состояния $(0,0)$, (рис. 2 в) кубитного состояния $(1,0)$, (рис. 2 л) суперпозиционного состояния $(-1,-1)$ характерно появление во внутренней области регулярных вертикальных полос (параллельных оси Ox), а для границы характерно стохастическое кольцообразное поведение.

Для мнимой части безразмерной функции смещения $\text{Im}u$ наличие синусоидальной модуляции приводит к появлению тонкой структуры у стохастических колец (рис. 2 б, г, д, з, и, к) и стохастических областей (рис. 2 е, ж, м). Тонкая структура зависит от кубитных состояний.

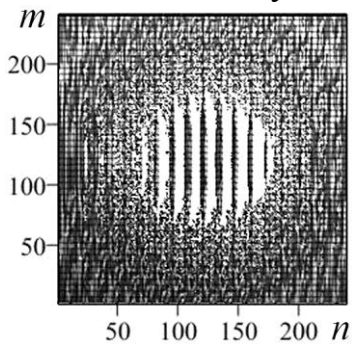
Если реализован синусоидальный закон изменения $\alpha = \sin \varphi$, где угол $\varphi = 6\pi(m-1)/39$ зависит от индекса m узла решетки, то тонкая структура будет представлять собой горизонтальные полосы, параллельные оси Oy . Отсюда следует возможность управления эффектом затухания с помощью модуляции фрактального индекса α .

Выводы

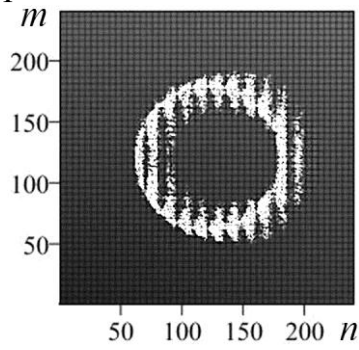
Показано, что наличие переменной амплитуды функции смещения отдельной структуры приводит к следующим особенностям поведения. Для $\text{Re}u$ наблюдается регулярное поведение внутренней области типа мембраны вогнутой (выпуклой), для границы – стохастическое поведение, во внешней области – волнообразное поведение. Для всех состояний кубитов характерно наличие мнимой части безразмерной функции смещения $\text{Im}u$, что свидетельствует о наличии эффективного затухания. Это затухание локализовано в области стохастических колец. Радиусы, толщины, расположение этих колец существенно зависят от кубитных состояний поля деформации.

Наличие модуляции фрактальной размерности α для $\text{Re}u$ приводит к появлению во внутренней области регулярных вертикальных полос, а для границы характерно стохастическое кольцообразное поведение. Для $\text{Im}u$ наличие синусоидальной модуляции приводит к появлению тонкой структуры у стохастических колец и стохастических областей. Тонкая структура зависит от ку-

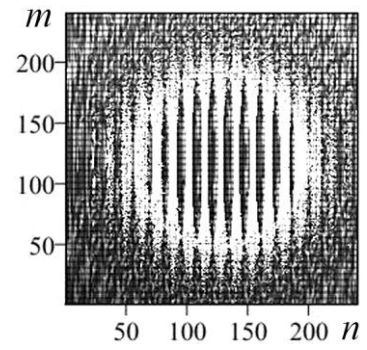
битных состояний. Отсюда следует возможность управления эффектом затухания с помощью модуляции фрактального индекса α .



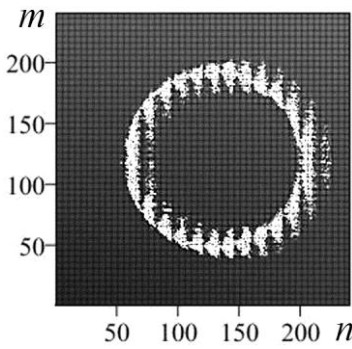
а) состояние (0,0)
 $\text{Re } u \in [-1;1]$



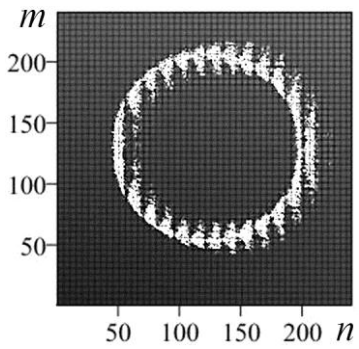
б) состояние (0,0)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



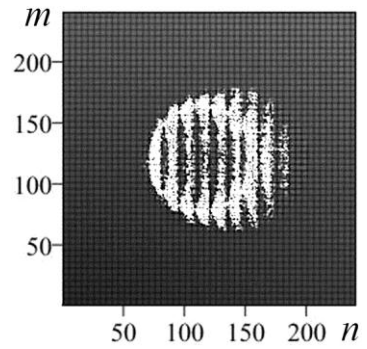
в) состояние (1,0)
 $\text{Re } u \in [-1;1]$



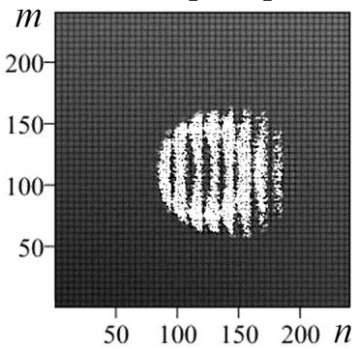
г) состояние (1,0)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



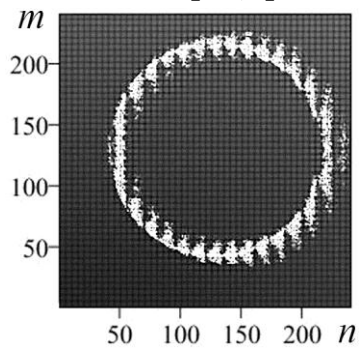
д) состояние (0,1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



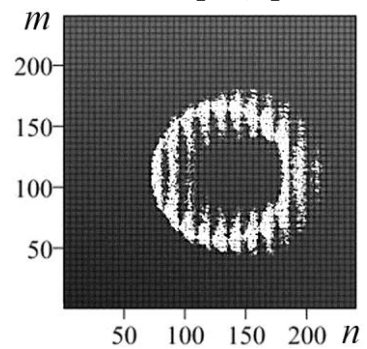
е) состояние (-1,0)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



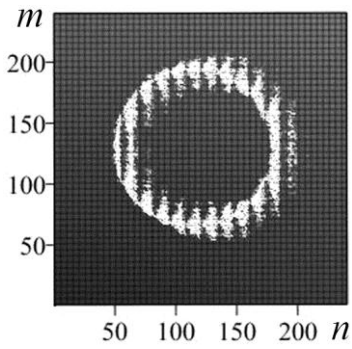
ж) состояние (0,-1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



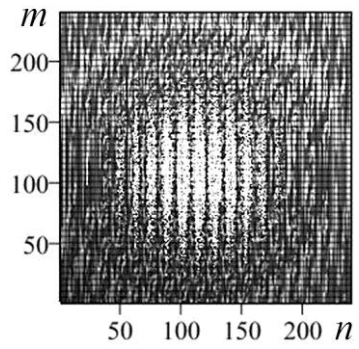
з) состояние (1,1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



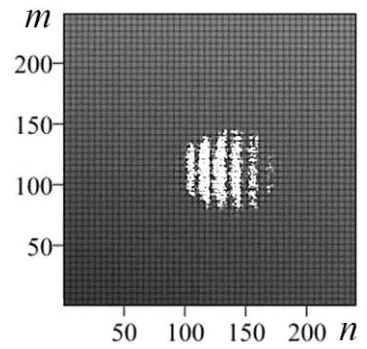
и) состояние (1,-1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



к) состояние (-1,1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$



л) состояние (-1,-1)
 $\text{Re } u \in [-1;1]$



м) состояние (-1,-1)
 $\text{Im } u \in [-1;1]$

Рис. 2. Влияние модуляции на кубитные состояния поля деформации в круговой цилиндрической структуре. Поведение сечений $\text{Re} u \in [-1; 1]$, $\text{Im} u \in [-1; 1]$ (вид сверху) при $\alpha = \sin \varphi$, $\varphi = 6\pi(n-1)/39$.

Литература

1. Нелинейности в периодических структурах и метаматериалах / под ред. Ю.С. Кившаря и Н.Н. Розанова. М.: Физматлит, 2014. 384 с.
2. Abramov V.S. Active Nanoobjects, Neutrinos and Higgs Fields in Anisotropic Models of Fractal Cosmology // Bulletin of the Russian Academy of Sciences Physics. 2019. V. 83, No 12. P. 1516-1520.
3. Abramov V.S. Active Nanoobjects, Neutrino and Higgs Boson in a Fractal Models of the Universe // С.Н. Skiadas and Y. Dimotikalis (eds.), 12th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, Springer Proceedings in Complexity. Springer Nature Switzerland AG 2020. P. 1-14.
4. Омельянчук А.Н., Ильичев Е.В., Шевченко С.Н. Квантовые когерентные явления в джозефсоновских кубитах. К.: Наукова думка, 2013. 168 с.
5. Абрамова О.П. Поле деформации и кубитные состояния фрактальных структур с элементами цилиндрического типа // Вестник Донецк. ун-та. Сер. А. 2020. № 1. С. 3-15.
6. Абрамова О.П., Абрамов С.В. Управление ячейкой памяти в модельной фрактальной связанной структуре // Физико-математическое моделирование систем: материалы XXII Междунар. семинара. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2021. С. 3-8.
7. Abramova O.P., Abramov A.V. Effect of Ordering of Displacement Fields Operators of Separate Quantum Dots, Elliptical Cylinders on the Deformation Field of Coupled Fractal Structures / С.Н. Skiadas and I. Lubashevsky (eds.), 11th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, Springer Proceedings in Complexity. Springer Nature Switzerland AG 2019. P. 15-27.
8. Abramova O.P., Abramov A.V. Coupled Fractal Structures with Elements of Cylindrical Type / С.Н. Skiadas and Y. Dimotikalis (eds.), 12th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, Springer Proceedings in Complexity. Springer Nature Switzerland AG 2020. P. 15-26.
9. Штокман Х.-Ю. Квантовый хаос: введение / под ред. В.Я. Демиховского. М.: Физматлит, 2004. 376 с.

INFLUENCE OF VARIABLE AMPLITUDE AND MODULATION ON CUBIT STATES OF THE DEFORMATION FIELD OF FRACTAL STRUCTURE

Olga P. Abramova

Donetsk National University

By the method of numerical simulation the influence of the variable amplitude and modulation of the fractal index on the qubit states of the deformation field of separate fractal structure is studied. It is shown, that the effective damping of the displacement function is localized in the form of stochastic rings. Modulation of the fractal index leads to the appearance of bands in the real part and a fine structure in the imaginary part of the displacement function of various qubit states.

Keywords: fractal structure, qubit states, variable amplitude of the displacement func-

tion, modulation of the fractal index, deformation field.