

Особенности дифракции света на решетках Фибоначчи

Грушина Н.В.; Девятилова К.А.; Ю Мин¹

аспирантка студентка студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: natasha_grushina@mail.ru

Теоретически рассмотрены особенности дифракции света на одномерных квазипериодических структурах (квазикристаллах), ставших в силу своих уникальных физических свойств предметом разносторонних исследований в физике [1]. Определены и сопоставлены дифракционные картины от последовательности рассеивающих центров, а также от амплитудных и фазовых решёток, образованных с использованием свойств последовательности Фибоначчи [2]. При расчёте характеристик решётки использовалась следующая формула для ширины её элементов

$$d_n = X_{n+1} - X_n,$$

где $X_n = n + \alpha + h \cdot [h \cdot n + \beta] \cdot l$, α, β, l - произвольные действительные числа, n - целочисленный индекс, величина h считается связанной с коэффициентом Золотого сечения: $\frac{1}{h} = \frac{\sqrt{5} + 1}{2}$. Отметим, что последовательность X_n используется для характеристики положения атомов в одномерном квазикристалле.

Для расчёта дифракционной картины в дальней зоне амплитудной решётки, использовалась формула

$$A_k = \sum_{n=1}^N (d_n \cdot s) \cdot \sin c \left[d_n \cdot \left(k - \frac{K+1}{2} \right) \cdot s \right] \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot \left(k - \frac{K+1}{2} \right) \cdot s \cdot D_n}$$

Здесь A_k - амплитуда поля в относительных единицах, k - номер значащей точки ($0 < k < K$), s - масштабирующий множитель, d_n , D_n - соответственно ширина и положение центра n -ой щели ($D_n = \left[\sum_{m=0}^n (d_m + a) \right] - \frac{d_n}{2}$, a - ширина непрозрачной зоны),

$N+1$ - число щелей. При расчёте характеристики фазовой решётки функция sinc заменялась функцией преобразования поля волны отдельным ее элементом.

Установлено, что при условии сохранения закономерности чередования элементов решеток положение соответствующих им дифракционных максимумов совпадает и удовлетворяет правилу Золотого сечения. При этом взаимное расположение дифракционных максимумов носит ярко выраженный фрактальный характер. Это иллюстрирует рис.1, на котором изображена структура дифракционных максимумов амплитудной решетки для параметров $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.3$, $l = 1$, $a = 1$, $s = 0.00001$. Стрелки на врезке указывают интервалы, связанные Золотой пропорцией.

Проведено сравнение ширины дифракционных максимумов амплитудных и фазовых решёток с изменяющимися в соответствии с последовательностью Фибоначчи размерами щелей (решёток Фибоначчи) и обычных регулярных решёток. Показано, что при корректном выборе решётки сравнения переход к квазипериодической структуре решётки не даёт выигрыша в разрешающей способности.

¹ Авторы выражают признательность профессору Короленко П.В. за помощь в подготовке тезисов.

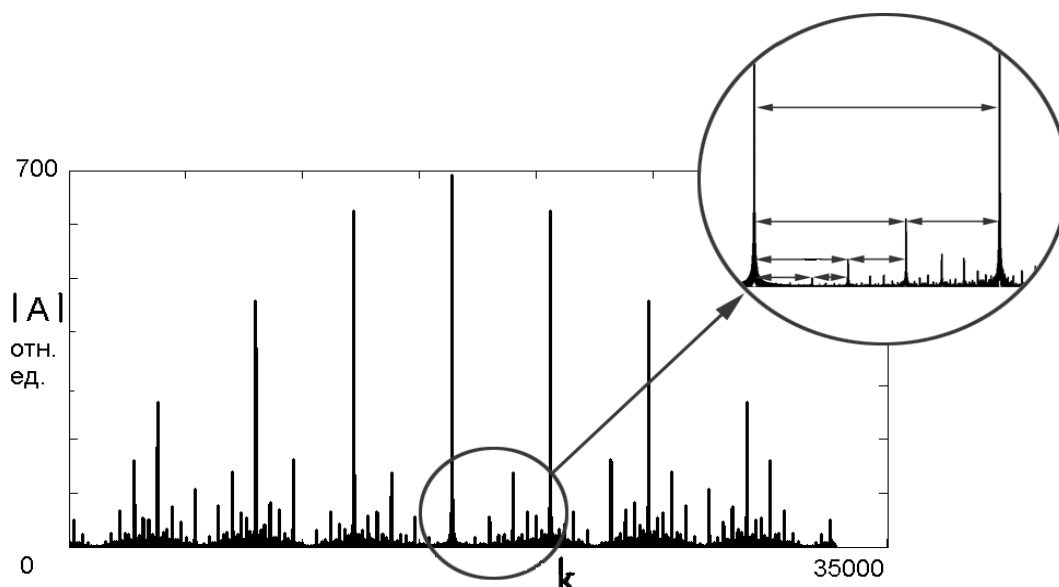


Рис.1

Образующие фрактальную картину дифракционные пики решёток Фибоначчи обладают высокой степенью устойчивости, их положение, как показали выполненные расчёты, при достаточной для идентификации интенсивности остаётся неизменным даже при рандомизации 80% площади структуры. Это свидетельствует о надёжности дифракционных методов регистрации квазипериодических объектов. Приведенный на рис. 2 график характеризует корреляцию c между дифракционными пиками рандомизированной и нерандомизированной решеток в зависимости от степени рандомизации p .

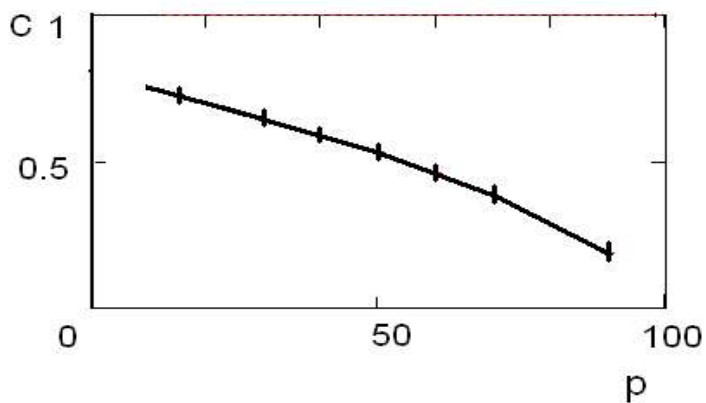


Рис.2

Полученные в данной работе результаты показывают, что оптические устройства с квазипериодической структурой могут существенным образом расширить возможности элементной базы оптических приборов и систем.

Литература

1. Yuvaraj Sah, Ranganath G.S. Optical diffraction in some Fibonacci structures //Optics Communications 114 (1995) 18-24
2. Socolar J.E.S., Steinhardt P.J. // Quasicrystals I. Definition and structure // Phys.Rev. B34 (1986) 596-616