

0.1. Бурнин М.А. Моделирование вихревого излучения от кольцевой антенной решетки

В последнее время активно изучается фундаментальное понимание природы волн с орбитальным угловым моментом (ОУМ). Наличие ОУМ у переходного излучения проиллюстрировано исследованиями, проведенными российской научной группой совместно с японскими экспериментаторами [1]. Впервые в мире наблюдалось переходное излучение с ОУМ, порождаемое прямолинейно движущимися релятивистскими электронами при взаимодействии с мишенью.

В недавнем исследовании [2, 3] разработана теория мультиплексирования сигналов с помощью вихревых фотонов, создаваемых круговой антенной решеткой.

Параллельно с теоретическими исследованиями существуют значительные практические разработки в этой области, включая создание цифровых макетов, специализированных антенн, таких как представленная в [4] сверхширокополосная коническая антенная решётка на диэлектрических резонаторах, способная эффективно генерировать вихревые волны с различными модами ОАМ (± 1 – ± 5) в миллиметровом диапазоне.

Цель работы заключается в разработке цифровой модели излучателя с ОУМ на основе кольцевой решётки из шести спиральных антенн, исследование структуры её поля в миллиметровом диапазоне, смоделировать дифракцию на двойной щели.

Решаются системы уравнений в матричной форме основанные на уравнении Гельмгольца и условии Дирихле:

$$(K - k_0^2 M) E = 0$$

где K — матрица жесткости (магнитные свойства μ_r), M — матрица масс (диэлектрические свойства ϵ_r), E — вектор неизвестных циркуляций E_j в зоне идеальной электропроводимости (ПЕС): $E_j = 0$.

В результате разработана цифровая модель кольцевой антенной решётки из шести спиральных антенн, генерирующей электромагнитные волны с орбитальным угловым моментом (ОУМ) в миллиметровом диапазоне ($\lambda = 1$ мм). Методом конечных элементов в COMSOL Multiphysics исследованы диаграммы направленности и структура спирального фазового фронта в зависимости от топологического заряда ($l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$) и хиральности излучателей ($s = \pm 1$). Показано, что результирующая структура поля определяется комбинированным параметром $m = s + l$, остаток от деления на шесть, этого параметра, соответствует определенной диаграмме направленности. Смена хиральности приводит к повороту фазового фронта, демонстрируя связь спинового и орбитального моментов. Моделирование дифракции на двойной щели выявило отклонение интерференционных максимумов, зави-

сящее от знаков l и s , что согласуется с экспериментальными данными по переходному излучению. Результаты подтверждают возможность генерации и детектирования ОУМ-пучков от кольцевой антенной решетки.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Богданов О. В.

Список литературы

- [1] TAKAHAYASHI Y., *et al.* Observation of transition radiation carrying orbital angular momentum // Phys. Rev. A. 2025. Vol. 111. P. L061501.
- [2] KAZINSKI P. O., KOROLEV P. S., LAZARENKO G. YU., RYAKIN V. A. Multiplexing signals with twisted photons by a circular arc phased array // Annals of Physics. 2024. Vol. 462. P. 169610.
- [3] АКСЁНОВ В., П., БОГДАНОВ О., В., ДУДОРОВ В., В. и др. Передача сигнала, мультиплексированного по орбитальному угловому моменту, с помощью когерентного сложения лазерных пучков // Оптика атмосферы и океана. 2025. Т. 38. № 8. С. 601–609. DOI: 10.15372/AOO20250801.
- [4] ZHAO L., *et al.* Ultra-Wide Band OAM Antenna Based on Circular Phased-Array Conical Dielectric Resonator // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 2176–2179.