

УДК 537.876.22

DOI: 10.17223/00213411/63/9/38

В.В. ФИСАНОВ^{1,2,3}

НОРМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МЕТАКИРАЛЬНОЙ ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ С ПОТЕРЯМИ *

Рассматриваются плоские электромагнитные волны в изотропной поглощающей киральной среде (киральном метаматериале). Применяется система материальных уравнений Друде – Борна – Фёдорова с комплексными значениями диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости и параметра киральности. Проводится различие между прямыми и обратными нормальными волнами посредством введения специального параметра – идентификатора типа волны. Представлены аналитические выражения для действительных и мнимых частей волновых чисел однородных нормальных волн.

Ключевые слова: изотропные киральные среды, метаматериалы, прямые и обратные волны, идентификатор типа волны, комплексное волновое число.

Киральными средами и материалами принято называть такие вещества, объёмные структурообразующие элементы которых не являются геометрически зеркально симметричными. Не все природные материалы обладают выраженными киральными свойствами, а в сочетании с иными физико-химическими параметрами лишь немногие оказываются пригодными для электромагнитных приложений на СВЧ, терагерцовых или оптических частотах. Достижения в области нанотехнологии метаматериалов и метаповерхностей, как ожидается, приведут к значительному прогрессу в создании новых перспективных материалов, обладающих электромагнитной киральностью. Недавно были предложены разнообразные варианты киральных «метамолекул» не только в форме ранее известных скрученных омега-частиц или спиралей, но и с использованием новых плоскостных элементов (в форме сочетаний полос, колец, гаммадионов и т.д.), способных вызвать сильный киральный эффект [1–4].

Следует уделять внимание тепловым потерям в киральных метаматериалах, которые могут быть как полезными (поглощающие покрытия [5–8]), так и нежелательными в резонансном режиме в условиях выраженной частотной дисперсии, когда ими нельзя пренебречь [9]. Предстоит выяснить, какими волновыми свойствами обладают плоские монохроматические однородные волны, свободно распространяющиеся в безграничной однородной изотропной киральной пассивной среде, обладающей потерями. Так как киральная среда относится по общепринятой классификации электромагнитных сред [4, 10] к биизотропным средам, она способна одновременно поддерживать две нормальные волны, различающиеся волновыми числами и состоянием поляризации: одна из них в прозрачной среде является волной левой круговой поляризации, а другая – волной правой круговой поляризации. В поглощающей среде, приобретающей свойство циркулярного дихроизма, круговая поляризация переходит в эллиптическую. В отличие от неоднородной плоской волны, под однородной волной в поглощающей среде понимается волна с экспоненциально изменяющейся амплитудой (эванесцентная волна), которая, однако, характеризуется движением фазового и амплитудного фронтов вдоль единой прямой линии в пространстве среды.

За направление распространения синусоидальной волны, по определению, принимается направление переноса энергии, которое задаётся вектором Умова – Пойнтинга [10]. Применительно к вакууму и обычным изотропным средам направления потока энергии и волнового вектора объёмных нормальных волн всегда совпадают, поэтому подразумевается, что волна распространяется в направлении волнового вектора. При электродинамическом описании метаматериалов как сплошной среды с эффективными значениями материальных параметров данное положение требует уточнения. Например, в идеальных некиральных средах, которые характеризуются одновременно отрицательными диэлектрической и магнитной проницаемостями, направления волнового вектора и вектора Умова – Пойнтинга являются прямо противоположными, как впервые показал

* Работа поддержана Программой повышения конкурентоспособности Томского государственного университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров и частично выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России (проект № 0336-2019-0008).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>