

УДК 535. 537.621. 371

DOI: 10.17223/00213411/64/5/116

Б.Б. АВЕРБУХ, И.Б. АВЕРБУХ

ВЫХОД ОБРАТНЫХ ВОЛН ЗА ПРЕДЕЛЫ МЕТАМАТЕРИАЛА *

Среда скомпонована из плоскопараллельных монослоев, состоящих из элементов Гюйгенса. В модели молекулярной оптики получены выражения для отраженного поля, поля в среде и (в случае слоя конечной толщины) за средой. Рассмотрена теорема погашения и введено выражение для показателя преломления. При определенных условиях такая среда может вести себя как среда с единичной, нулевой или отрицательной реальными частями показателя преломления на заданной частоте. Сформулировано условие реализации магнитного зеркала. В случае слоя среды конечной толщины показан выход обратных волн за пределы среды.

Ключевые слова: метаматериал, обратные волны, молекулярная оптика, элемент Гюйгенса, электрический и магнитный диполи, оптическое магнитное зеркало, единичный, нулевой или отрицательный показатель преломления.

Введение

В последнее время большое внимание уделяется созданию искусственных сред с необычными электродинамическими характеристиками и свойствами. Например, с отрицательной [1, 2], нулевой [3] или единичной [4] реальными частями показателя преломления. Такие среды (метаматериалы) обычно представляют собой системы резонансных включений во вмещающей их диэлектрической матрице. Решение задачи Френеля на границе раздела вакуум – метаматериал и анализ распространения волн в таких средах обычно основаны на уравнениях Максвелла. Свойства среды описываются эффективными значениями диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей [5]. Широко используются численные методы. Но использование эффективных параметров в уравнениях Максвелла не раскрывает механизм формирования отраженной и преломленной электромагнитных волн. Применение численных методов также оставляет скрытыми многие детали физических процессов при формировании этих волн. При таком подходе нельзя получать соотношения между микроскопическими (поляризуемость включения, расстояние между ними и др.) параметрами вещества. Поэтому нужен также анализ, основанный на молекулярных представлениях о строении вещества и позволяющий получить информацию, недоступную при макроскопическом описании. Тем более, когда макроскопическое описание явления с введением ϵ и μ и численное решение приводят к разным результатам. Такая ситуация возникла при анализе распространения в среде при отрицательном преломлении обратных волн. При макроскопическом описании с введением отрицательных ϵ и μ область существования этих волн находится внутри метавещества. В случае же метаматериала из резонаторов, как показали численные расчеты [6–9], обратные волны выходят за геометрические пределы метаматериала. Объяснение этого эффекта в данных работах отсутствовало.

В настоящей работе на основе анализа распространения электромагнитного излучения в среде из электрических и магнитных диполей [10, 11] показано, что область существования обратных волн действительно выходит за пределы метаматериала, и представлен физический механизм этого явления.

Пусть размеры включений в среде меньше других характерных размеров задачи. Тогда включения можно рассматривать как совокупность точечных электрических и магнитных диполей. Распространение поля в такой среде определяется взаимодействием этих диполей с падающим полем и описывается в модели молекулярной оптики [12]. По сравнению с методом Сивухина [12] в данной работе рассматриваются не только электрические, но и магнитные диполи. В выражениях для полей диполей учтен вклад всех зон, а не только волновой, как в работе [12]. Поэтому можно рассматривать среду из дипольных монослоев, расположенных на расстояниях друг от друга, меньших длины волны. В отличие от [12] учитывается воздействие одних монослоев на другие.

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, дополнительное соглашение от 21.04.2020 № 075-02-2020-1529/1.

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>