

* *
*

УДК 537.876.22

DOI: 10.17223/00213411/64/8/163

В.В. ФИСАНОВ^{1,2,3}

О ЗНАКЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТАМАТЕРИАЛОВ *

Критически анализируется понятие «отрицательный показатель преломления» применительно к дважды отрицательным метаматериалам. Положительное значение показателя преломления согласуется с определением вектора рефракции и волнового вектора. Приводится простой способ вычисления комплексного показателя преломления для диссипативных изотропных материалов с использованием понятия «идентификатор типа волны».

Ключевые слова: изотропные среды, метаматериалы, показатель преломления, прямые и обратные волны, вектор рефракции, идентификатор типа волны.

Метаматериалами, согласно первоначальному определению [1], называют гетерогенные структуры, архитектура которых направлена на достижение значений эффективных материальных параметров, превосходящих таковые для обычных макроскопических композитов. Идеальные изотропные электромагнитные метаматериалы характеризуются диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемостями, действительные значения которых не имеют каких-либо ограничений по знаку и по абсолютной величине.

Прозрачными для электромагнитных волн метаматериалами являются не только обычные дважды положительные ($\epsilon > 0, \mu > 0$), но и дважды отрицательные ($\epsilon < 0, \mu < 0$) среды, на что впервые обратил внимание Д.В. Сивухин [2]. Метаматериалы с такими параметрами появились в 2000-е годы [3] и оказались весьма перспективными для ряда приложений. Дважды отрицательные среды поддерживают распространение обратных нормальных волн (у которых направления фазовой и групповой скоростей противоположны). Этим средам приписывают, начиная с В.Г. Веселаго [4], отрицательные значения показателя преломления (хотя в формуле Максвелла $n = \sqrt{\epsilon\mu} > 0$) и называют их также материалами с отрицательным показателем преломления (см., например, [5, 6]).

Данное сообщение преследует цель показать, что введение термина «отрицательный показатель преломления» не является обязательным, а скорее обусловлено математическими и физическими неточностями описания явления отрицательного преломления волн. Л.И. Мандельштам ([7], стр. 435) упоминает о «логическом скачке», который обусловлен привычкой «к совпадению энергии и фазы» волны в дважды положительных средах. Но в бианизотропных средах направления фазовой и групповой скорости не совпадают, а в дважды отрицательных средах они строго противоположны. Объясняя эффект отрицательного преломления при падении плоской волны на плоскую границу раздела двух изотропных сред, одна из которых поддерживает обратные волны, он не вводит понятие «отрицательный показатель преломления», а поясняет, что для отклонения волнового вектора преломлённой волны от нормали к границе имеется одна из двух возможностей: под углом φ_1 или под углом $\pi - \varphi_1$. Вторая возможность реализуется в случае с обратной преломлённой волной. Противоположно направленный по отношению к волновому вектору преломлённый луч отклоняется на отрицательный угол $-\varphi_1$ (при положительном показателе преломления). Ход лучей показан у Веселаго на рис. 1 из статьи [4] и на рис. 3 из статьи [8], однако на этих рисунках отсутствует волновой вектор преломлённой волны. Скалярная форма закона Снеллиуса подразумевает именно волновые векторы, а не лучи всех трёх плоских волн, взаимодействующих с границей сред [9, 10]. В обозначениях статьи [4] формула Снеллиуса для отрицательного преломления должна иметь вид

* Результаты были получены в рамках выполнения 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>