

SINDIRMA ƏMSALI MƏNFİ OLAN METAMATERİALLARIN ƏSAS XASSƏLƏRİ VƏ ONLARIN PERSPEKTİV TƏTBİQLƏRİ

QASIMOV NAĞI ABBASƏLİ OĞLU

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Azadlıq küç.34, Bakı

ORCID: 0000-0001-9243-2297

Materialların optik xassələrini müəyyənləşdirən əsas parametrlərdən biri onun sındırma əmsalıdır. Son illərdə aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, sındırma əmsalı müsbət dəyərlər almaqla yanaşı mənfi dəyərlər də ala bilər. Bu isə fizikada əsrlərdir bilinən fiziki qanunlara fərqli prizmadan baxmaq üçün yeni üfüqlər açır. Xüsusilə fizikanın optika bölməsində sındırma əmsalı, demək olar ki, bütün fiziki qanunların düsturlarında birbaşa, və ya dolaylı yolla iştirak edir. Bu düsturların nəzəri analizi göstərir ki, sındırma əmsalının mənfi olması riyazi ifadənin sadəcə işarəsini deyil, onun fiziki mahiyyətini də əsaslı şəkildə dəyişir. Bu isə öz növbəsində sındırma əmsalı mənfi olan materialların adi materiallarda olmayan bir sıra yeni xassələrini və tətbiq imkanlarını araşdırmağa imkan verir. Bu məqalədə sındırma əmsalı mənfi olan materiallar haqqında ümumi məlumat verilmiş və son illərə aid olan müasir ədəbiyyat istifadə edilərək belə materialların perspektiv tətbiq imkanları araşdırılmışdır. Həmçinin sındırma əmsalının mənfi olmasına dair mövzuların ali təhsil müəssisələrinin ümumi fizika fənnlərinin tədris proqramlarına salınmasının zəruriliyindən bəhs edilmişdir.

Açar sözlər: metamaterial, mənfi sındırma əmsalı, optika

PACS: 78.67.Pt, 81.05.Xj

GİRİŞ

Sındırma əmsalı dedikdə ilk ağla gələn adətən müsbət işarəli bir ədəd olur. Ətrafımızda mövcud olan su, şüşə və s. kimi şəffaf materialların sındırma əmsalı işığın görünən oblastında təqribən 1.3-1.5 civarındadır. Sual oluna bilər ki, sındırma əmsalı hər zaman müsbətdirmi, və ya onu müsbət edən şərtlər nədir? Elə şərtlər təmin etmək olarmı ki, sındırma əmsalı müsbət yox, mənfi işarəli olsun? Bu suallar XX əsrin 60-cı illərində sovet alimi Viktor Veselaqonu düşündürmüş və o, 1967-ci ildə sındırma əmsalının mənfi olmasına dair məşhur məqaləsini yazmışdır [1]. Məqalənin ingilis dilində olan tərcüməsi 1968-ci ildə dərc edilmiş və bu günə qədər 8000-dən çox istinad almışdır [2]. Bu məqaləsində Veselaqo, sındırma əmsalı mənfi olan materialların mövcud ola biləcəyini nəzəri olaraq əsaslandırılmış, belə materialların mövcud olma şərtlərini araşdırmış, hətta bəzi tətbiq imkanlarından da bəhs etmişdir. Lakin, o illərdə sındırma əmsalı mənfi olan materialın təcrübi olaraq əldə edilməsi göstərilən səylərə rəğmən mümkün olmamış və nəticədə belə materialların mövcudluğuna skeptik yanaşılmışdır. XX əsrin əvvəllərində Veselaqonu təkrar xatırladılar. 2000-ci ildə [3] ilk dəfə olaraq sındırma əmsalı mənfi olan materialın alınmasına dair tədqiqat işi dərc edilmişdir. Daha sonra bu fakt digər tədqiqatçılar tərəfindən araşdırılaraq təsdiqləndi və bu sahədəki elmi işlər daha da inkişaf etdirilməyə başlandı. Smith və digərləri (2000) mənfi sındırma əmsalını mikrodalğa oblastında metamaterial adlandırılan kompozit materialda müşahidə etmişdilər.

MƏNFİ SINDIRMA ƏMSALI VƏ BƏZİ TƏTBİQ İMKANLARI

Metamaterial, müəyyən elementlərin periodik olaraq düzülməsi ilə süni şəkildə formalaşdırılan materiallara deyilir. Elementlərin formasını, ölçülərini və aralarındakı məsafəsini dəyişməklə metamaterialların

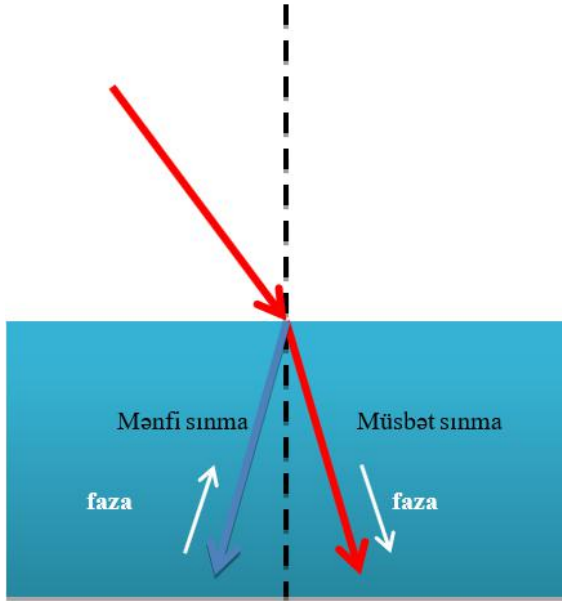
müxtəlif xassələrini dəyişmək və idarə etmək mümkündür. Elementlər material olaraq müxtəlif formalı metal, və ya dielektriklərdən ibarət ola bilər [4]. Sındırma əmsalı mənfi olan ilk metamaterialın ümumi quruluşu şəkil 1-də göstərilmişdir [3]. Şəkildən göründüyü kimi ilk metamaterial metal uzun çubuqlardan və kəsiyi olan dairəvi halqalardan ibarətdir. Uzun çubuqlar elektro-maqnit dalğasının elektrik sahəsinə, dairəvi halqalar isə maqnit sahəsinə həssasdır. Çubuq və halqaların müəyyən ölçülərində sındırma əmsalının mənfi olmasını təmin etmək mümkün olur.



Şəkil 1. İxtira edilən ilk metamaterialın vizual görünüşü.

Məlum olduğu kimi, elektro-maqnit dalğalarının mühit daxilində yayılması zamanı iki növ sürəti ayırd etmək olar: faza və qrup sürəti. Adətən materiallarda faza və qrup sürətlərinin ədədi qiymətləri bir-birindən fərqli olsa da eyni istiqamətdə olurlar. Sındırma əmsalı mənfi olan metamaterialları digər materiallardan fərqləndirən əsas xassələrdən biri odur ki, belə material daxilində yayılan elektro-maqnit dalğalarının faza və qrup sürətləri əks istiqamətlərdə olurlar. Bu xüsusiyyət bir çox fiziki qanunların təəccüblü şəkildə tərs şəkildə baş

verməsinə səbəb olur. Məsələn, sındırma əmsalı mənfi olan metamateriallarda sınma qanunu, Dopler effekti, Çerenkov effekti kimi bir çox fiziki qanunlar tərs şəkildə baş verir. Məsələn optikada yaxşı bilinən Snell qanununu (ışığın sınması) göstərmək olar (şəkil 2). Şəkildən görüldüyü kimi, sınan işıq qırmızı oxla göstərilən alışılmış istiqamətdə deyil, ona güzgü əksi olan göy ox istiqamətində davam edir. Elmi ədəbiyyatda bu effekt mənfi sınma olaraq (ingiliscə “negative refraction”) adlandırılmış və mikrodalğa oblastında təcürbi olaraq təsdiq edilmişdir.



Şəkil 2. Tərs Snell qanunu

Sındırma əmsalının mənfi olması praktiki nöqteyi nəzərdən bir çox istiqamətlərdə perspektivli tətbiq imkanları açır. Bunlardan superlinza [5], hərbi məqsədlər üçün istifadə oluna bilən optik görünməzlik tətbiqləri (ingiliscə “optical cloaking”) [6], zəlzələdən qorunma [7], antena qurğularında tətbiqləri [8] və bir çox digər sahələri misal göstərmək olar [9]. Metamateriallarla bağlı tətbiq imkanları hazırda sürətlə genişlənməkdədir. Praktiki tətbiqlərlə yanaşı metamateriallar fundamental fizikanın da bəzi sahələrinə nüfuz edir [10] və bu sahələrin daha yaxşı anlaşılması baxımından önəm kəsb edir [11].

NƏTİCƏ

Nəticə olaraq qeyd edilməlidir ki, metamateriallar və xüsusilə də sındırma əmsalı mənfi olan metamateriallar müasir fizikada mühüm yer tutur və tətbiq nöqteyi-nəzərindən bir çox yeni imkanlar açır. Sındırma əmsalının mənfi olması yaxşı bilinən fiziki qanunauyğunluqların ekzotik formada dəyişilməsinə səbəb olur. Belə materiallar, tətbiq imkanları ilə yanaşı fundamental fizikada da yeni istiqamətlərin formalaşmasına tökan verir. Sındırma əmsalının mənfi olmasının mümkünlüyü təsdiq edildikdən sonra, elektromaqnetizm və optika dair kitabların yenidən yazılması zərurəti ortaya çıxmışdır və hazırda bir çox müasir fizika kitablarında bu dəyişikliklər nəzərə alınmışdır. Bu baxımdan bu sahəyə dair mövzuların Azərbaycanın ali təhsil müəssisələrinin tədris proqramlarında da nəzərə alınması tədris və tədqiqat yönündən mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Qeyd etmək olar ki, metamaterialların tədqiqi, gələcəkdə məlum bəzi fiziki proses və qanunauyğunluqlara yenidən baxılmasını zəruri edəcəkdir.

- [1] B.G. Veselago. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и μ . Успехи Физических Наук, 1967, 92, 517–526.
- [2] V.G. Veselago. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . Soviet Physics Uspekhi, 1968, 10(4), 509–514.
- [3] D.R. Smith, W.J. Padilla, D.C. Vier, S.C. Nemat-Nasser & S. Schultz. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. Physical Review Letters, 2000, 84(18), 4184–4187.
- [4] S. Jahani & Z. Jacob. All-dielectric metamaterials. Nature Nanotechnology. 2016, 11, 23–36.
- [5] J.B. Pendry. Negative refraction makes a perfect lens. Physical Review Letters. 2000, 85(18), 3966–3969.
- [6] S. Vellucci, A. Monti, M. Barbuto, A. Toscano & F. Bilotti. Progress and perspective on advanced cloaking metasurfaces: From invisibility to intelligent antennas. EPJ Applied Metamaterials. EDP Sciences, 2021.
- [7] A. Bandari. Seismic metamaterial protects buildings from earthquake damage. Scilight, 2020, (28), 281101.
- [8] F. Karadağ, F.O. Alkurt, M. Karaaslan & E. Unal. Microwave Imager Design with 2.46 GHz Microstrip Patch Antennas. Adıyaman University Journal of Science, 2019.
- [9] R. Kumar, M. Kumar, J.S. Chohan & S. Kumar. Overview on metamaterial: History, types and applications. Materials Today: Proceedings, 2022, 56, 3016–3024.
- [10] V.G. Veselago. Negative refraction, light pressure and attraction, equation $E=mc^2$ and wave-particle dualism. EPJ Applied Metamaterials. EDP Sciences. 2014, 1, 9.
- [11] N. Gasimov, M. Karaaslan, C. Sabah & F. Karadağ. Some aspects of mass-energy equivalence which appears in left-handed metamaterials. EPJ Applied Metamaterials, 2019, 6, 16.

N.A. Gasimov

BASIC PROPERTIES OF METAMATERIALS WITH NEGATIVE REFRACTIVE INDEX AND THEIR PROSPECTIVE APPLICATIONS

One of the main parameters that determine the optical properties of materials is its refractive index. Recent studies have shown that the refractive index can take both positive and negative values. This opens up new horizons to look at the physical laws that have been known in physics for centuries from a different perspective. Especially in the optical branch of physics, the refractive index directly or indirectly participates in the formulas of almost all physical laws. A theoretical analysis of these formulas shows that a negative refractive index fundamentally changes not only the sign of the mathematical expression, but also its physical essence. This, in turn, makes it possible to explore a number of new properties and applications of materials with a negative refractive index that are not available in conventional materials. This article provides general information about materials with a negative refractive index and explores the promising application possibilities of such materials using modern literature in recent years. Mention was also made of the need to include topics related to the negative refractive index in the curricula of general physics subjects in higher educational institutions.

Н.А. Касымов

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАМАТЕРИАЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Одним из основных параметров, определяющих оптические свойства материалов, является его показатель преломления. Исследования, проведенные в последние годы, показали, что показатель преломления может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Это открывает новые горизонты, чтобы посмотреть на физические законы, известные в физике на протяжении столетий, с другой точки зрения. Особенно в оптическом разделе физики показатель преломления прямо или косвенно участвует в формулах почти всех физических законов. Теоретический анализ этих формул показывает, что отрицательный показатель преломления принципиально меняет не только знак математического выражения, но и его физическую сущность. Это, в свою очередь, позволяет исследовать ряд новых свойств и областей применения материалов с отрицательным показателем преломления, недоступных в обычных материалах. В данной статье даны общие сведения о материалах с отрицательным показателем преломления и исследованы перспективные возможности применения таких материалов с использованием современной литературы последних лет. Упомянулось также о необходимости включения тем, связанных с отрицательным показателем преломления, в учебные программы предметов общей физики высших учебных заведений.

Qəbul olunma tarixi: 15.03.2023