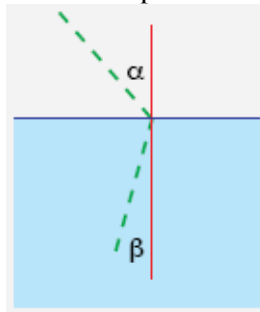


Отрицателен показател на пречупване. Метаматериали¹

През 1968 г. съветският физик Виктор Веселаго прави странно предсказание: показателят на пречупване на една среда би могъл да има *отрицателна* стойност, без това да противоречи на никой от познатите физични закони. Това означава, че един



Фиг. 1.

светлинен лъч би се пречупил към същата страна на нормалата на границата между две среди, от която идва и падащият лъч (фиг. 1). Ако от подобно вещество се направи вдлъбната леща, тя би фокусирала паралелен сноп лъчи, а изпъкналата леща би го превърщала в разходящ сноп, т.е. обратно на лещите от обикновено вещество.

През 1996 г. Джон Пендри и сътрудниците му предлагат метод за създаване на материали с подобни странни свойства. През 2000 г. са публикувани първите експериментални резултати за отрицателен показател на пречупване на лъчение от микровълновия диапазон. Те са посрещнати с голяма доза недоверие. През 2002 г. споровете все още имат пълен размах. Някои смятат, че отрицателен показател на пречупване предполага скорости, по-големи от скоростта на светлината във вакуум и са възможни или само за фазовата скорост, или само за груповата скорост, но не и скоростта на пренасяне на енергията или за истинската скорост, с която се пренасят сигналите. Принципният проблем би възникнал само, защото за някои физични системи ъгълът на пречупване е различен за посоката на преместване на фазовите повърхности и за посоката на движение на енергията.

Междувременно обаче дебатите приключват. Отрицателни стойности на показателя на пречупване наистина се наблюдават често, а съответните системи се изучават усилено по целия свят. Материалите, за които показателят на пречупване е отрицателен се наричат *ляво-ориентирани*. Причина за това е фактът, че в тях векторите на електричното поле, на магнитното поле и вълновият вектор образуват **лява** тройка вектори, докато във вакуум и в болшинството вещества тази тройка е дясна. Такива материали имат *отрицателна* магнитна проницаемост и отрицателна електрична проницаемост. Освен необикновените свойства по отношение на пречупването, левите материали имат отрицателна фазова скорост, т.е. фазовите повърхности се преместват в посока, противоположна на посоката на разпространение на енергията. В тях се наблюдават също така обратен ефект на Доплер и тъпи ъгли при ефекта на Вавилов – Черенков (лъчението на Вавилов – Черенков е назад, вместо напред).

Най-впечатляващо е, че материалите с отрицателен показател на пречупване биха дали възможност да се правят напълно плоски лещи. Освен това, през 2000 г. Пендри привлече вниманието на цялата физична общност с предсказанието си, че лещи, направени от подобни материали, например с $n = -1$, биха били *идеални*, което би позволило да се преодолее т.нар. дифракционно ограничение. Причина за това е фактът, че подобна леща би давала изображения и на безкрайно малките части от вълните,

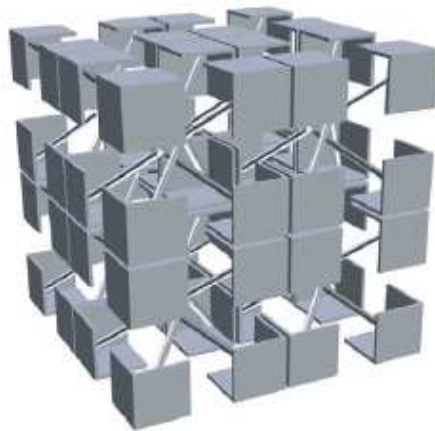
¹ По книгата на Кристоф Шилер *Motion Mountain* (достъпна на адрес www.motionmountain.net).

като съответно ги увеличи. Изглежда, че първите експериментални данни потвърждават това предсказание, но изследванията в тази насока са извънредно интензивни.

Може да се отбележи, че един тип системи с отрицателен показател са известни отдавна – това са дифракционните решетки. Докато дифракционната решетка обаче действа само в едно направление, материалите с отрицателен показател на пречупване се държат като дифракционни решетки във всички пространствени направления.

Най-простият начин за осъществяване на ляво-ориентирана система са метаматериалите. *Метаматериалите* представляват изкуствено създадени метало-изолаторни структури, които имат отрицателен показател на пречупване за вълни с дължина на вълната от определен диапазон – обикновено в радиодиапазона или в микровълновата област.

Понастоящем съществуват два основни подхода за осъществяване на метаматериали. В първия метаматериалът се изгражда като голяма мрежа от резонансни трептящи (LC-) кръгове. Вторият подход е те да се изградят от резонансни предавателни линии. Във втория случай загубите са по-малки, а спектърът – по-широк. Един пример за изотропен метаматериал е показан на фиг. 1.



Фиг. 2.

Повечето метаматериали са предназначени за вълни от микровълновия диапазон. Наскоро бяха идентифицирани кристали, които действат като ляво-ориентирани материали в оптичния диапазон, макар и само за определена фиксирана честота и само в едно направление. Изследванията в тази област са много интензивни. Очаква се метаматериалите да намерят приложения при конструирането на антени. Една диполна антена, например, разположена над метаматериал, би излъчвала насочено в една плоскост. Най-нереалистични са очакванията на хората, които се надяват с помощта на метаматериалите да получат такива покривала, които, наметнати върху един предмет, да го правят невидим. Докато като пазарен лозунг това служи добре за привличане на финансови ресурси, все пак е нереалистично заради неизбежните загуби на сигнала във веществото, заради дисперсията и, накрая, заради крайния размер на отделния елемент. Сега за сега, всички самолети, за които се твърди, че са невидими за определени (радарни) честоти, в края на краищата се откриват с радари. Известно е обаче, че източниците за финансиране на военни разработки, имат само далечна връзка с действителността.