



МЕТАМАТЕРИАЛЫ – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ? "ОБРАТНЫЙ" ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

ЧАСТЬ 1

А.Л.Потапов, *potapov555@tut.by*,
ГНУ "Институт химии новых материалов НАН
Беларусь", Минск, Беларусь

Критически рассмотрена концепция создания в оптической области спектра материалов с обратным показателем преломления – метаматериалов, возможность реализации на их основе "суперлинзы", "шапки-невидимки" и т.д. Предложена идея создания плоской линзы, ход лучей в которой соответствует модели распространения света при обратной рефракции. Сделана попытка аргументированно доказать, что часть ученых, занимающихся этой тематикой, выдают желаемое за действительное, злоупотребляют теоретическими расчетами.

1. МЕТАМАТЕРИАЛЫ

1.1. История развития концепции метаматериалов

Теоретическая возможность существования сред с отрицательным показателем преломления была предложена еще советским физиком Виктором Веселаго в 1967 году [1].

Веселаго – один из первых авторов, начавших развивать идею о материалах с аномальными свойствами, позднее получившими название "метаматериалы".

Следует отметить, что Веселаго лишь выдвинул гипотезу о том, что материалы с аномальными свойствами, такими как отрицательный показатель преломления (Negative Index Materials, NIMs*) и др., могут существовать.

* Термин "метаматериал" можно применять ко многим современным композитным материалам, поэтому в дальнейшем будем использовать аббревиатуру NIM – материал с отрицательным показателем преломления. Термины "левосторонний материал" (left-handed material, LHM) или "левая среда" являются синонимами NIM. Термин "правая среда" означает материал, где действуют классические законы оптики.

METAMATERIALS: MYTH OR REALITY? "REVERSE" REFRACTIVE INDEX PART 1

Potapov A.L., *potapov555@tut.by*,
State Scientific Institution "Institute of Chemistry of
New Materials of the National Academy of Sciences of
Belarus", Minsk, Belarus

The concept of the materials with reverse refractive index, i.e. metamaterials, in optical spectral region, the possibility of implementation of "superlens", "cloak of invisibility" etc. on the basis of these metamaterials are critically considered. The idea of two-dimensional lens design which beam path corresponds to lighting model in case of reverse refraction is offered. The attempt to prove reasonably that a part of the scientists who are engaged in this subject mistake the wish for the reality and take advantage of theoretical calculations.

1. METAMATERIALS

1.1. History of metamaterials concept development

Theoretically the opportunity of negative refractive index mediums existence was offered by the Soviet physicist Victor Veselago as far back as in 1967 [1].

Veselago is one of the first authors who began to develop the idea concerning materials with anomalous properties which were later named as "metamaterials".

It is necessary to mark that Veselago only made a hypothesis that materials with anomalous properties, such as the negative refractive index (Negative Index Materials, NIMs*) and others can exist. There were no facts confirming this hypothesis.

In view of materials absence with the anomalous properties the hypothesis was forgotten up to the 21st century.

* "Metamaterial" can be applied to many modern composite materials, therefore NIM which means material with the negative refractive index will be used further. The terms "left-handed material" (LHM) or "the left media" are synonymous to NIM. "Right media" means material working under classic laws of optics.

Никаких фактов, подтверждающих данную гипотезу, не было.

Ввиду отсутствия самих материалов с аномальными свойствами гипотеза была забыта вплоть до XXI века.

Всплеск интереса к отрицательной рефракции электромагнитных волн, в том числе света, когда преломленный луч отклоняется по другую сторону от нормали к границе раздела сред, возник в начале XXI века после публикаций группы ученых из университета Сан-Диего (США), сообщивших о создании композитных материалов, обладающих отрицательным показателем преломления [2-4].

Также следует отметить статью английского физика Дж.Пендри [5], который сделал следующее предсказание: в плоскостной NIM-пластиинке будет отсутствовать дифракционный предел на размер фокального пятна, присущий обычным линзам. Подобное фокусирующее устройство Пендри назвал совершенной линзой (perfect lens). Особенность такой perfect lens – расстояние между NIM-линзой и объектом исследования должно быть меньше длины волны света в видимом диапазоне, т.е. ~50-200 нм. По мнению Пендри, это означает, что можно создавать оптические микроскопы с недоступным ранее разрешением (с помощью оптической системы невозможно различить между собой два предмета, если они находятся друг от друга на расстоянии, меньшем длины волны наблюдения **).

Число исследований и публикаций, посвященных NIM, растет в связи с предполагаемыми перспективами их использования.

1.2. Нынешнее состояние

Однако до сих пор публикации по NIMs вызывают споры на семинарах и на страницах научных журналов, где обсуждаются как история возникновения этого направления, так и принципиальные идеи, заложенные в его основу.

Споры возникают потому, что никому не удалось создать NIM, работающий в видимой области спектра. Также никто не смог объяснить

** Следует отметить, что ближнепольные микроскопы могут преодолеть дифракционный предел. Для этого объект исследования и сканирующий зонд должны находиться на расстоянии, меньшем λ излучающего лазера. Принцип работы ближнепольного микроскопа не связан с концепцией метаматериалов и отрицательной рефракцией (подробнее см. в разделах 2.5 и 2.6 части 2).



Surge of interest in the negative refraction of electromagnetic waves including light, when the refracted beam deviates on other side of a normal to media border, arose at the beginning of the 21st century after publications of San Diego University (USA) scientists group which reported about creation of the composite materials having the negative index of refraction [2-4].

Also it is necessary to note the article of English physicist J. Pendry [5] who made the following prediction: a diffraction limit at the size of a focal spot peculiar to conventional lenses in parallel-sided NIM plate won't appear. The similar focusing device was called a perfect lens by Pendry. The peculiarity of such perfect lens is that the distance between a NIM lens and research subject shall be less than light wavelength in the visible range, i.e. ~50-200 nm. According to Pendry, it means that it is possible to create optical microscopes with a resolution never before available (it is impossible to distinguish two subjects by means of an optical system if they are at distance less than observation wavelengths **).

A number of the researches and publications devoted to NIMs grow relating to supposed possibilities of their application.

1.2. Present situation

However publications on NIMs still cause disputes at seminars and on pages of academic periodicals where both history of origin of this trend, and the principal ideas serving as its basis are discussed.

** It should be noted that near-field microscopes can overcome the diffraction limit. For this purpose a research object and the scanning probe should be separated by a distance less than λ of radiating laser. The near-field microscope operating principle is not bound to the concept of metamaterials and the negative refraction. See chapter 2.5 and 2.6 for more detail.

физические механизмы предполагаемых аномальных явлений.

Возник парадокс: теоретические предсказания есть, публикации и исследования тоже есть, причем в большом количестве, а вот объяснений физического механизма предполагаемых удивительных свойств, равно как и самих NIM, работающих в видимом диапазоне, нет.

Рассмотрим подробнее, какими же именно характеристиками должны обладать гипотетические NIM согласно Веселаго. А к этим воистину удивительными свойствам (эффектам) NIM относятся:

- обратный (отрицательный) показатель преломления;
- обратный эффект Доплера;
- обратный эффект Вавилова-Черенкова;
- эффект "шапки-невидимки" [6, 7];
- эффект "суперлинзы" (perfect lens) [5];
- отрицательная магнитная и диэлектрическая проницаемости (раздел 2.5, часть 2);
- фазовая и групповая скорости электромагнитных волн в NIM имеют противоположные направления (раздел 2.9, часть 2);
- обратный сдвиг Гуса-Хенхен (раздел 2.12, часть 2).

Дадим общее определение метаматериалу (NIM).

Метаматериал – такой композитный материал, свойства которого обусловлены не столько индивидуальными физическими свойствами его компонентов, сколько микроструктурой.

Основные способы изготовления метаматериала:

- внедрение в прозрачную полимерную средуnano-, субмикронных или микронных объектов;
- построение массива, состоящего из пластинок. На пластиинки нанесены кольцеобразные (замкнутые и незамкнутые) элементы, выполненные из металла. Поверх кольцеобразных элементов могут быть нанесены и другие составные элементы;
- изготовление метаматериала методом электронно-лучевой литографии (electron beam lithography, EBL);
- изготовление фотонных кристаллов* (раздел 2.10, часть 2).

* Фотонный кристалл – материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления (подробнее см. в разделе 2.10, часть 2).

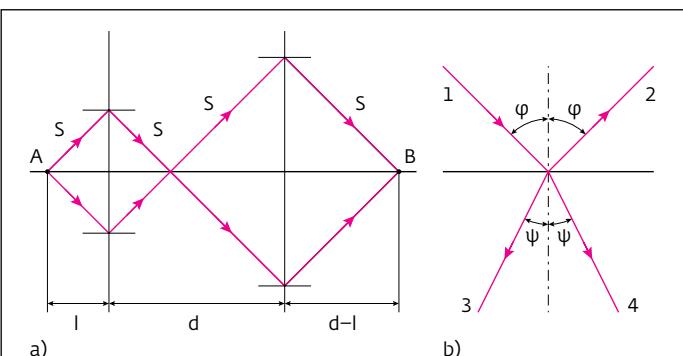


Рис.1. Прохождение света: a) через пластину из левого вещества толщиной d , A – источник излучения, B – приемник излучения; б) прохождение луча через границу двух сред [1]: 1 – падающий луч, 2 – отраженный луч, 3 – преломленный луч, если вторая среда левая, 4 – преломленный луч, если вторая среда правая

Fig. 1. Light passing: a) through a plate from the left substance with d thickness, A is a source of radiation, B is a radiation receiver; b) through border of two media [1]: 1 – incident beam, 2 – reflected beam, 3 – refracted beam, if the second medium is left, 4 – refracted beam, if the second medium is right.

Disputes arise because nobody managed to create NIM working in visible spectrum. Also nobody could explain physical mechanisms of supposed abnormal phenomena.

A paradox has arisen: there are theoretical predictions, at that publications and researches exist on a large scale, but there are no explanations of the physical mechanism of supposed surprising properties, as well as NIMs working in the visible range.

Let us see in more detail, what characteristics hypothetical NIMs should have according to Veselago. And NIMs truly have the following surprising properties (effects):

- reverse (negative) refractive index;
- Doppler's reverse effect;
- Vavilov-Cherenkov reverse effect;
- effect of the "cap of darkness" [6, 7];
- effect of "superlens" (perfect lens) [5];
- the negative magnetic and dielectric inductive capacity (chapter 2.5);
- phase and group rates of electromagnetic waves have opposite directions in NIMs (chapter 2.9);
- Goos-Hanchen effect (chapter 2.12).

Let us give the general definition of metamaterial (NIM).

Metamaterial is such a composite material the features of which are less likely caused by individual

Такой композитный материал демонстрирует свойства, не характерные для объектов, встречающихся в природе. Попробуем разобраться, как такое возможно.

1.3. Отрицательный показатель преломления

Одним из наиболее горячо обсуждаемых в последнее время эффектов является отрицательный показатель преломления.

Остановимся на этом эффекте подробнее, так как из отрицательного показателя преломления вытекают и остальные характеристики NIM.

Рассмотрим внимательнее, что же предположил Виктор Веселаго в 1967 году [1]. Статья Веселаго имеет особое значение, так как все последующие авторы базируются именно на его работе, пользуются его рисунками и умозаключениями.

Анализ рисунков, предложенных Веселаго (рис.1а,б), на которые ссылаются все последующие авторы, вызывает ряд сомнений.

- Почему луч света отклоняется только на границе раздела фаз, а не отклоняется при

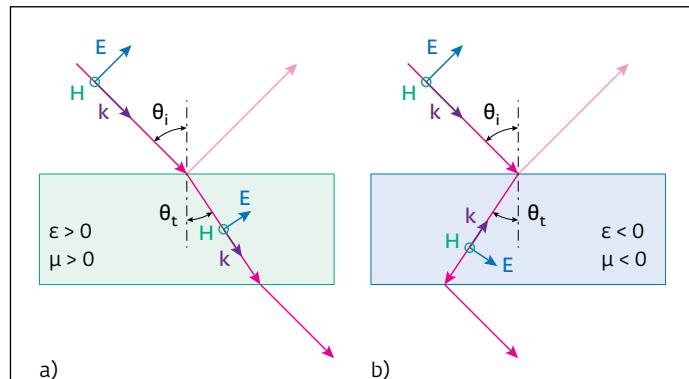


Рис.2. Рефракция пучка света при прохождении из воздуха в более плотную среду: а) классическая рефракция (закон Снеллиуса); б) аномальная рефракция при использовании в качестве более плотной среды NIM

Fig. 2. Light beam refraction when passing to denser medium from air: a) classical refraction (Snell's law); b) the abnormal refraction when using NIM it as denser medium

physical properties of its components, than by its microstructure.

Main methods of metamaterial preparation are the following:



прохождении сквозь композит, насыщенный какими-либо объектами, элементами (рис.1а)?

- Почему на рис.1а нет преломления за счет изменения плотности среды, а на рис.1б угол входа и выхода различны (φ и ψ)?
- Почему в "левой среде" (рис.1б) луч идет именно по траектории 3?
- Отраженный от левого вещества луч отсутствует. Почему? Нет ни объяснения, ни доказательств.

На рис.2 [8] показана рефракция света при прохождении из воздуха в более плотную среду согласно закону Снеллиуса (рис.2а) и рефракция при прохождении через NIM (рис.2б). Как видно, за 40 лет ничего нового привнесено не было, за исключением отраженного луча и появления направления волнового вектора $k=2\pi/\lambda$.

1.4. Обсуждение предполагаемого эффекта обратной рефракции

Структура NIMs и эксперименты, описанные в статьях [2-4, 7, 8], свидетельствуют о том, что электромагнитное излучение (ЭМИ) может пойти по нетипичной траектории (рис.2б), например, после двукратного отражения. Помимо отражения необходимо учитывать дифракцию, диффузию, рефракцию сквозь объект, размер объекта (теория Рэлея, теория Ми, теория Фраунгофера), показатель преломления, геометрию, шероховатость, диэлектрическую проницаемость объекта, плазмонное усиление, образование плазмон-поляритонов, образование эванесцентного поля, эффект брэгговской дифракции, дисперсию и поглощение света (подробнее см. в главе 2, часть 2). На данном этапе мы будем рассматривать взаимодействие ЭМИ с объектом в упрощенном виде, руководствуясь только отражением, рефракцией и интерференцией.

Вместо введения в прозрачную среду нано-, субмикронных или микронных объектов NIM может быть изготовлен, например, из металлических (Ме) объектов с размерами 5-15 мм, в расчете на СВЧ-излучение [4]. СВЧ-излучение будет отражаться от Ме объектов. Общий принцип построения структуры NIM остается неизменным – отражение ЭМИ от препятствия с последующей интерференцией. Более подробный анализ статьи Р.Шелби с соавторами [4] представлен ниже по тексту.

- embedding of nano-, submicron or micron objects in the transparent polymeric medium.
- creation of the array consisting of plates. The ring-shaped elements (closed and nonclosed) executed from metal are applied on the plates. Other components can be applied above ring-shaped elements.
- metamaterial creation by the method of electron beam lithography (EBL).
- photonic crystal creation* (chapter 2.10).

Such composite material shows features that are not typical for objects occurring in nature. Let us try to find out how it can be possible.

1.3. Negative refractive index

One of most discussed effects in recent times is the negative refractive index.

Let us dwell upon this effect as other characteristics of NIMs are also caused by negative refractive index.

Let us consider more attentively what Victor Veselago has assumed in 1967 [1]. Veselago's article has special significance as all subsequent authors' works are based on his work and use his drawings and conclusions.

The analysis of drawings offered by Veselago (fig. 1a, b) to which all further authors refer, raises some doubts.

- Why did the light beam deviate only on the phase border, and does not deviate when passing through the composite saturated with any objects, elements (fig. 1a)?
- Why is there no refraction because of changing medium density in fig.1a, and why inlet and outlet angle are different (φ и ψ) in fig.1b?
- Why did the beam just follow the trajectory 3 in "the left medium" (fig. 1b)?
- Why is the beam reflected from the left substance absent? There is neither explanation, nor proofs for this fact.

Light refraction is shown in fig. 2 [8] at passing from air to denser medium according to a Snell's law (fig. 2a) and the refraction at passing through NIM is shown in fig. 2b. Apparently, no updates had yet been introduced over a period of 40 years, except for a reflected beam and wave vector direction of $k=2\pi/\lambda$ occurrence.

* Photonic crystal is a material the arrangement of which is characterised by periodical change of refraction index. For details, see chapter 2.10.

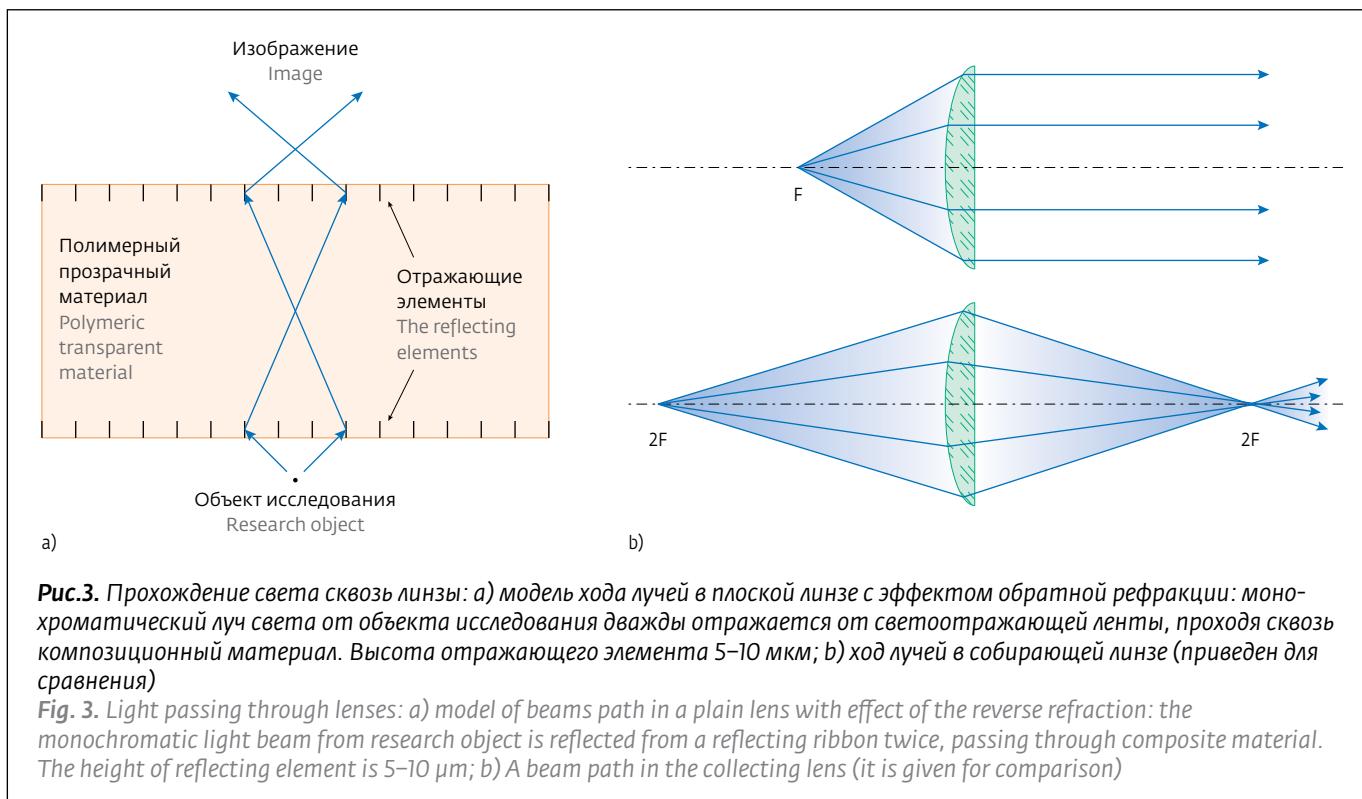


Рис.3. Прохождение света сквозь линзы: а) модель хода лучей в плоской линзе с эффектом обратной рефракции: монохроматический луч света от объекта исследования дважды отражается от светоотражающей ленты, проходя сквозь композиционный материал. Высота отражающего элемента 5–10 мкм; б) ход лучей в собирающей линзе (приведен для сравнения)

Fig. 3. Light passing through lenses: a) model of beams path in a plain lens with effect of the reverse refraction: the monochromatic light beam from research object is reflected from a reflecting ribbon twice, passing through composite material. The height of reflecting element is 5–10 μm ; b) A beam path in the collecting lens (it is given for comparison)

Пучок ЭМИ также можно раздвоить, используя эффект двойного лучепреломления, например, воздействуя на материал электрическим полем (эффект Керра, подробнее в разделе 2.11, часть 2). Но эффект Керра не влияет на само ЭМИ, а изменяет структуру материала, ориентируя молекулы под воздействием электрического поля.

Таким образом, механизм взаимодействия ЭМИ с объектом (объектами), сопровождающийся эффектом обратной рефракции, можно реализовать, используя несколько способов:

- отражение (с последующей интерференцией) видимого света от объектовnano-, субмикронного и микронного размера;
- отражение СВЧ-излучения от Ме-объектов размерами 5–15 мм;
- двойное лучепреломление под воздействием электрического поля (эффект Керра).

Попробуем разобраться, о чём же идет речь и насколько реально получить и использовать NIM. Или это очередной мыльный пузырь, наподобие перспектив водородной энергетики или опасности истощения озонового слоя?

На рис.3а представлена модель, показывающая, как ЭМИ способно отразиться в NIM под обратным углом согласно рис.1б (траектория 3), предложенному Веселаго, и рис.2б.

1.4. Discussion of supposed effect of reverse refraction

The structure of NIMs and experiments described in articles [2–4, 7, 8] demonstrate that the electromagnetic radiation can follow nontypical trajectory, after double reflection (fig. 2b), for example. Apart from reflection it is necessary to consider diffraction, diffusion, refraction through an object and the object size (Rayleigh's theory, Mie's theory, and the theory of Fraunhofer), refractive index, geometry, roughness, object's dielectric capacity, plasmon enhancement, creation of plasmon polaritons, creation of evanescent field, effect of Bragg diffraction, dispersion and light absorption (see chapter 2 in more detail). At this stage we will consider an interaction of electromagnetic radiation with an object in simplified form, being guided only by reflection, refraction and interference.

Instead of introduction of nano-, submicron or micron objects in the transparent medium NIM can be made, for example, of metal (Me) objects of 5–15 mm, counting on microwave radiation (super-high-frequency radiation) [4]. The microwave radiation will be reflected from metal objects. The common principle of NIM structure creation remains changeless, i.e. reflection of electromagnetic radiation from an obstacle with the subsequent interference takes place.

Обратная рефракция в NIM представляет собой не аномальную рефракцию, а эффект отражения ЭМИ от объектов, находящихся в прозрачной среде. Например, это может быть сверхтонкая алюминиевая отражающая лента, находящаяся в композиции на основе поливинилового спирта (основа для изготовления пленочных поляризаторов).

ЭМИ проникает внутрь прозрачной среды, претерпевая классическую "положительную" рефракцию на границе раздела сред, согласно закону Снеллиуса (рис.2а), отражается от поверхности ленты, беспрепятственно проходит сквозь массив полимера (рис.3а), повторно отражается на выходе (в соответствии с рис.1а и 2б) и попадает к наблюдателю.

Чтобы создать из такого объекта линзу, необходимы:

- определенный размер и геометрия расположения ленты в композите;
- оптимальное расстояние между NIM-пленкой и объектом исследования (фиксированные углы вхождения света);
- монохроматический свет;
- интерференционное усиление сигнала;
- точность изготовления.

Геометрия отражающих объектов, инкорпорированных в приповерхностные слои прозрачного полимера, может быть различна (не только лента). Например, в качестве отражающего элемента могут быть использованы кристаллы наноцеллюлозы, имеющие форму вытянутого параллелепипеда, или сферические Me-частицы, или кристаллы в виде правильных двенадцатигранников (додекаэдров).

Какого же размера должны быть отражающие объекты, находящиеся в композите? Можно рассмотреть 3 типа объектов: 1 - на порядок и более превышающие длину волны падающего света λ ; 2 - по размерам сопоставимые с λ ; 3 - много меньше λ . Оценку будем проводить исходя из длины волны падающего света 450 нм (видимый диапазон).

Тип 1. Чтобы работали законы геометрической оптики, описываемые формулами Френеля, размер введенных в прозрачную среду объектов должен составлять более 4,5 мкм ($d \gg \lambda$). Объекты должны обладать хорошей отражающей способностью. Так как преобладать будут законы отражения, а не преломления, то целесообразно вместо введения микронных объектов изготовить NIM в виде рефлектора с набором концентрических окруж-

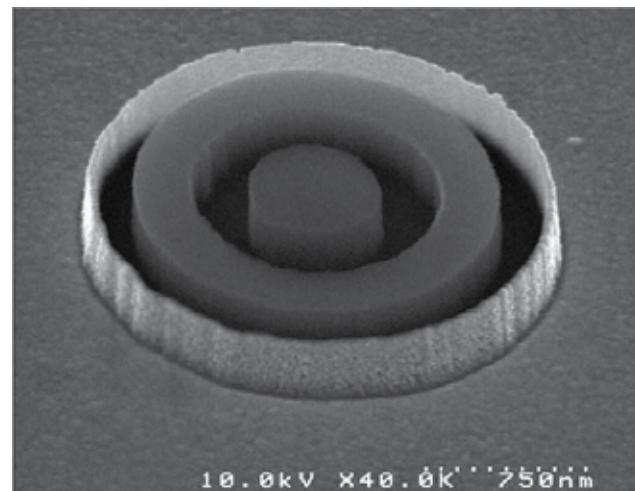


Рис.4. Нанолинза (бинарная кольцевая структура, состоящая из диэлектрика и металла в одном слое, находится на поверхности кварцевой подложки) [9]. Кольца серого цвета – диэлектрические элементы нанолинзы, изготовленные из мембранны нитрида кремния. Два резистивных слоя (которые трансформируются под пучком электронов) разделены плотной алюминиевой пленкой толщиной 20 нм. Фотография сделана с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ). Линза изготовлена методом ЕВ

Fig. 4. Nanolens (the binary ring structure consisting of dielectric and metal in one layer is on a surface of a quartz substrate) [9]. Gray rings are the dielectric elements of a nanolens made of a silicon nitride membrane. Two resistive layers (which are transformed under beam of electrons) are divided by dense aluminium film 20 nm thick. The picture is taken by means of the scanning electronic microscope. The lens is made by the EB method

More detailed analysis of R. Shelby's article with co-authors [4] is given below in the text.

It is also possible to bisect electromagnetic radiation beam, using the effect of double refraction, for example, affecting material with electric field (the Kerr effect, see chapter 2.11 for more detail). But Kerr effect does not influence electromagnetic radiation, but changes the structure of material, orienting molecules under the influence of electric field.

Thus, the mechanism of electromagnetic radiation interaction with an object (objects) followed by the effect of the reverse refraction can be realized in several ways:

- reflection (with the subsequent interference) of visible light from objects nano-, submicron and micron size;
- reflection of the microwave radiation from metal objects the sizes of which are 5-15 mm;

ностей из отражающей сверхтонкой наноленты. На рис.4 приведена фотография подобной кольцевой структуры [9].

Тип 2. В случае, если размеры объекта близки к λ падающего света ($d \approx \lambda$), диаграмма направленности рассеяния становится сложной (подробнее см. разделы 2.1 "Теория рассеяния М�" и 2.2 "Теория дифракции Фраунгофера"). Проявляется интерференция волн, отраженных от различных участков поверхности объекта. Интенсивность рассеянного под определенным углом света зависит от того, сколько раз волна укладывается на диаметре объекта, поэтому интенсивность рассеяния сильно зависит от размеров объекта. Предполагаемый размер объектов, находящихся в композите, должен составить 100-1000 нм.

Количество отражающих субмикронных объектов, находящихся на поверхностях композита, должно быть таким, чтобы луч света отражался не более двух раз (на входе и на выходе). В противном случае вместо NIM будет обыкновенная полупрозрачная, рассеивающая свет пленка (произойдет многократное рассеяние и поглощение).

- double refraction under the influence of an electric field (electrooptical Kerr effect).

Let us try to find out what is meant here and whether it is practical to obtain and use NIM. Or is it only the next "soap bubble", like prospects of hydrogen power engineering or danger of ozone layer exhaustion?

The model showing how electromagnetic radiation is capable to be reflected in NIM at the reverse angle according to fig. 1b and fig. 2b (trajectory 3) offered by Veselago is presented in fig. 3.

The reverse refraction in NIM represents not the abnormal refraction, but the effect of electromagnetic radiation reflection of the objects which are in the transparent medium. For example, it can be the superfine aluminum reflecting film being in composition on the basis of polyvinyl alcohol (the basis for manufacture of film polarizer).

Electromagnetic radiation gets inside the transparent medium, undergoing a classical "positive" refraction on media border, according to a Snell's law (fig. 2a), then it is reflected from a film surface, and easily passes through the polymer mass (fig. 3a), and is reflected again at the output (according to fig. 1a and 2b) and gets to the observer.



Тип 3. В случае если λ много больше размера объектов, содержащихся в материале ($d \ll \lambda$), происходит рэлеевское рассеяние (оно же молекулярное). В таком случае речь уже идет о нанообъектах с размерами меньше 45 нм. Столь малые объекты не представляют интереса с точки зрения создания NIMs, работающих в видимом диапазоне (луч света не изменяет траекторию, а частично рассеивается, теряет энергию и соответственно увеличивает длину волны).

Таким образом, предложенная нами схема прохождения света сквозь NIM (рис.3а) может являться прототипом плоской суперлинзы в видимом диапазоне.

1.5. Критика

- Понятие отрицательной рефракции и ряд формул со знаком минус только запутывают и уводят от понимания сути процесса [10]. Логичнее использовать термин "обратная рефракция".
- Создание на основе NIM микроскопа, превосходящего дифракционный предел оптического микроскопа (~300 нм) в несколько раз, неактуально, так как существуют и активно используются следующие устройства:
 - ближнепольные микроскопы (разрешающая способность до ~25 нм),
 - атомно-силовые микроскопы (разрешающая способность до ~2 нм),
 - электронные микроскопы (разрешающая способность до ~1 нм).
- Принципиальное ограничение, обязательно присущее NIM (диспергирующему композиту), – потери, вызванные рассеянием ЭМИ на инкорпорированных объектах.

Классическое рассеяние сопровождается дополнительными эффектами, такими как резонансная флуоресценция, комбинационное (рамановское) рассеяние и параметрическое рассеяние света [11].

Качественное продвижение будет достигнуто, если удастся создать NIM с малыми потерями в видимом диапазоне. Возникает дilemma: с одной стороны, необходимо, чтобы свет отразился от объектов, а с другой – необходимо обеспечить малые потери (и искажения) при прохождении NIM.

- М.Стокман в своей работе [12] утверждает, что получение сверхразрешения в оптическом диапазоне невозможно. "Если резонансные включения вводятся в пассивную

To create a lens from such object, the following aspects are necessary:

- the particular size and geometry of film arrangement in a composite;
- optimum distance between a NIM film and an object of a research (fixed angles of light exit);
- monochromatic light;
- interference signal amplification;
- manufacture accuracy.

The geometry of reflecting objects incorporated in surface layers of transparent polymer can be different (not only a tape). For example, as the reflecting element nanocellulose crystals, having the shape of the extended parallelepiped, either spherical metal particle, or crystals in the form of pentagon dodecahedrons (dodecahedrons) can be used.

What should be the size of reflecting objects containing in a composite? It is possible to consider 3 types of objects: 1 are objects the size of which exceeds the incident light wavelength λ by over ten times, 2 are objects comparable with λ sizes, 3 are objects which is much less than λ . We will carry out the assessment proceeding from impinging light wavelength of 450 nm (visible range).

1. The size of objects, entered into the transparent medium, should be more than $4.5 \mu\text{m}$ ($d \gg \lambda$) to make geometrical optics laws described by Fresnel formulas work. These objects should have a good reflectivity. Since reflection laws shall prevail over refraction laws, it is expedient to make instead of micron objects introduction the NIM in the form of a reflector with a set of concentric circles of the reflecting superfine nanoribbon. The photo of similar ring structure is provided on fig. 4 [9].

2. In case of object sizes closeness to λ of impinging light ($d \approx \lambda$) the scattering direction diagram becomes the composite (see chapters 2.1 Mie's theory of scattering and 2.2 Fraunhofer's theory of diffraction for more detail). The wave interference reflected from various sites of object surface is shown. The intensity of light scattering at particular angle depends on that how many times does the wave settle on object diameter and therefore scattering intensity depends heavily on the object sizes. The supposed size of objects which are placed in a composite should be of 100–1000 nm.

The number of reflecting submicron objects on composite surfaces should be such that the light beam will be reflected no more than two times (at input and at output). Otherwise instead of NIM there should be an ordinary semitransparent dissipate light ribbon (there will be a multiple scattering and absorption).

диэлектрическую среду, то анализ соотношений, основанных на принципе причинности (соотношение Крамерса-Кронига), показывает, что отрицательное преломление всегда сопровождается существенными потерями".

Принцип причинности (в физике) – устанавливает допустимые пределы влияния физических событий друг на друга.

Соотношение Крамерса-Кронига – выражение дисперсионных соотношений* в классической электродинамике. В этом случае

$$\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) + i\epsilon''(\omega),$$

где $\epsilon(\omega)$ – диэлектрическая проницаемость, ω – частота ЭМИ.

Действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости (соответственно 1-й и 2-й члены уравнения) определяют показатель преломления и показатель поглощения (оптические постоянные) данной среды. Таким образом, эти показатели **не являются независимыми один от другого**, и, следовательно, появляется принципиальная возможность по спектру одной из оптических постоянных вычислять спектр другой, не прибегая к непосредственным измерениям последнего [13]. Это позволяет в ряде случаев уменьшить объём экспериментально получаемой информации, необходимой для определения оптических постоянных, например, в области интенсивных полос поглощения конденсированных сред. Выполнимость соотношений Крамерса-Кронига неоднократно проверялась экспериментально для различных сред в различных агрегатных состояниях и при различной температуре (кристаллы, жидкости, растворы) [14].

В работах [15, 16] также утверждается, что отрицательное преломление противоречит принципу причинности и потому не существует.

- С критическими замечаниями относительно предсказания Пендри о суперлинзе

* Дисперсионные соотношения – интегральные представления функций отклика, описывающих реакцию равновесной стационарной физической системы на внешние воздействия. В более узком смысле дисперсионные соотношения связывают рефракцию распространяющихся в системе волн с их поглощением.

3. In case if λ is much more than the size of objects contained in material ($d \ll \lambda$), a Rayleigh scattering (as well as molecular) take place. In that case the question concerns already nanoobjects with sizes less than 45 nm. So small objects are not of interest from the point of view of NIMs creation working in a visible range (the light beam does not change a trajectory, and partially scatter, loses energy and respectively increases a wavelength).

Thus, our proposed scheme of light passing through NIM (fig. 3a) can be a prototype of a plain superlens in a visible range.

1.5. Criticism

- The concept of the negative refraction and a number of formulas with negative value only confuses and diverts from comprehension of process content [10]. It is more logical to use the term "reverse refraction".
- Creation of the microscope several times exceeding the optical microscope diffraction limit (~300 nm) on the basis of NIM is irrelevant as the following devices exist and are regularly used:
 - near-field microscope (resolution is up to ~25 nm),
 - atomic-force microscope (resolution is up to ~2 nm),
 - electronic microscope (resolution is up to ~1 nm).
- The fundamental restriction, certainly particular to NIM (dispersing composite) is the losses caused by electromagnetic radiation scattering on the incorporated objects.

Typical scattering is followed by additional effects, such as resonance fluorescence, Raman (combinational) scattering and parametrical light scattering [11].

Qualitative advance will be reached when it is succeeded in creating NIM with small losses in a visible range. There is a dilemma which means that on the one hand it is necessary for the light to be reflected from objects, and on the other hand it is necessary to provide small losses (and distortions) when NIM passing.

- In his work M. Stockmann claims that superresolution obtaining in optical range is impossible [12]. "If resonance inclusions are entered into the passive dielectric medium, the analysis of the ratios based on causality principle (Kramers-Kronig relation) shows that the negative refraction is always followed by essential losses".

выступают авторы статей [17, 18]. Следует отметить, что эта критика осталась практически незамеченной из-за большого количества теоретических работ в пользу Пен드리.

- Рассмотрим вопрос, касающийся показателя преломления $n \leq 1$. Какова будет скорость ЭМИ в среде с таким показателем преломления?

Известно, что показатель преломления напрямую соотносится со скоростью ЭМИ в среде. Так, для вакуума $n=1,0$, для воздуха $n=1,000292$, для воды $n=1,334$, для алмаза $n=2,42$. Например, в воде скорость ЭМИ составит $0,74 \cdot c$, т.е. $2,24 \cdot 10^8$ м/с.

В работе В.Шалаева с соавторами [19] получен отрицательный показатель преломления $n=-0,3$. Аналогичная ситуация и у Веселаго [1], $n=-1$.

Как же интерпретировать $n=-0,3$? Получается, что скорость ЭМИ в NIM будет более чем втрое превышать скорость света?

Оказывается, исследователи из области практической физики незаметно для большинства читателей перешли в область абстрактной математики. Показатель преломления $n \leq 1$ описывает фазовую скорость ЭМИ (абстрактную – связь между фазами колебаний в различных точках пространства), а не групповую (реальную, см. раздел 2.9, часть 2). А фазовая скорость может принимать любые значения, в том числе больше скорости света.

- Одним из основных доказательств существования NIM считается работа Шелби с соавторами "Экспериментальное подтверждение отрицательного показателя преломления" 2001 года [4], на которую и ссылаются как на неоспоримое доказательство, подтверждающее гипотезу Веселаго.

Рассмотрим эту работу подробнее.

Исследователям удалось получить NIM при облучении образца СВЧ-излучением с длиной волны 3 см (рис.5) (микроволновая область спектра, 0,3-30 см). При этом использовались кольцевые резонаторы для получения отрицательной магнитной проницаемости и проволочные элементы для получения отрицательной диэлектрической проницаемости.

Фактически это означает, что экспериментаторы получили результат путем введения в материал большого количества сложных по форме объектов и создания в образце

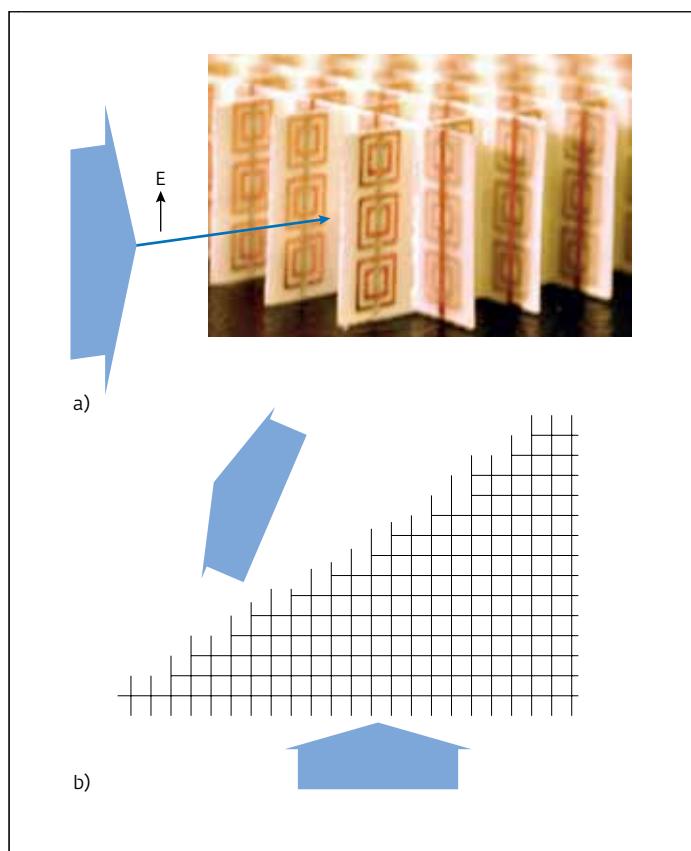


Рис.5. Образец с эффектом обратной рефракции:
а) образец (изготовлен Шелби с соавторами) состоит из массива пластинок, собранных в единую конструкцию. Сквозь образец пропускают микроволновое излучение. Каждая пластинка состоит из набора кольцевых резонаторов и проволок, изготовленных из меди. Резонаторы и проволоки находятся на обеих сторонах пластиинки. Размеры одной пластиинки 5×12 мм. Медные проволоки изготовлены путем нанесения меди на волокна стекла (длина проволоки 12 мм, диаметр 0,25 мм). Поляризованное микроволновое излучение подавалось на образец сбоку с таким расчетом, чтобы электрическое поле было параллельно проволокам (направление излучения показано на рисунке синей стрелкой). Длина волны падающего излучения 3 см; б) прохождение микроволнового излучения через NIM (вид сверху). На выходе СВЧ-излучения из NIM массив пластинок образует "лесенку". Угол между входящим и выходящим лучом составляет 61° (синие стрелки)

Fig. 5. Sample with effect of the reverse refraction: a) sample (made by Shelby and his co-authors) consists of the plates collected in united structure. Microwave radiation is passed through the sample. Each plate consists of a set of ring-shaped resonators and wires manufactured of copper. Resonators and wires are on both sides of a plate. Sizes of one plate are 5×12 mm. Copper wires are made by putting copper on glass fibres (wire length is 12 mm, diameter is 0.25 mm). Polarized microwave radiation was applied to put on a sample sideways so that the electric field was parallel to wires (the radiation direction is shown by a blue arrow). A wavelength of incident radiation is 3 cm. b) Passing of microwave radiation through NIM (top view). At the microwave radiation output from NIM plates plate array forms "ladder". The angle between the input and output beam was 61° (blue arrows).

электромагнитных полей (ЭМП) (рис. 5а). В результате им удалось искусственно направить (отразить) луч в нетипичном направлении. Это лишь попытка подогнать эксперимент под гипотезу.

В работе [4] просматривается аналогия с эффектом двойного лучепреломления в анизотропном кристалле. При двойном лучепреломлении (см. раздел 2.11) необыкновенный луч идет по аномальной траектории. В работе Шелби луч также направляется по нетипичной траектории вследствие многократного отражения СВЧ-излучения от Me-элементов конструкции NIM. В результате одно из преобладающих направлений рассеянного и отраженного излучения совпадает с предполагаемым направлением обратной рефракции.

Следует отметить, что эксперимент, проведенный Шелби с соавторами, соответствует методу статического рассеяния (оно же рассеяние Фраунгофера, раздел 2.2) за исключением того факта, что авторы не приводят интенсивность угло-

The causality principle (in physics) sets tolerance limits of physical events influence against each other.

Kramers-Kronig relation is the expression of dispersion ratios* in a classical electrodynamics. In this case

$$\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) + i\epsilon''(\omega),$$

where $\epsilon(\omega)$ is a permittivity, ω is an electromagnetic frequency.

The real and imaginary parts of permittivity (respectively they are the 1st and the 2nd members of equation) define refractive index and absorption index (optical constants) of this medium. Thus, these indexes are not independent of each other, and, therefore, the principal possibility occurs to calculate on a range of one of optical constants

* Dispersion relationships are integral representations of response functions describing a response of balanced stationary physical system to external effects. In the narrow sense dispersion relationships connect the refraction of waves extended in the system with their absorption.



вого распределения излучения на выходе из NIM.

Авторы статьи оперируют такими понятиями, как отрицательная диэлектрическая и отрицательная магнитная проницаемости (теоретическое предположение Веселаго). Однако физического объяснения для этих отрицательных значений нет. Авторы ни слова не говорят о том, как они их измели.

К техническим недостаткам эксперимента можно отнести тот факт, что исследователи направляют СВЧ-излучение с длиной волны 3 см в зазор между Al-дисками шириной 1,2 см, что приводит к деформации входящего пучка еще до входа в ячеистую структуру NIM.

Следует отметить тот факт, что материал с эффектом обратной рефракции будет работать только на определенной длине волны, зависящей от геометрии ячеистой структуры образца, что подтверждается данными, приведенными в статье [4].

В эксперименте используется микроволновое излучение, а не видимый свет. Это можно объяснить тем, что интенсивное микроволновое излучение, в отличие от видимого света, легко проходит сквозь непрозрачные диэлектрические материалы. Кроме того, использование микроволн снижает требования к миниатюризации конструкции, позволяя изготовить пластиинки соответствующего размера (длина волны излучения и анизотропных объектов NIM должны иметь сопоставимые размеры).

В результате воздействия СВЧ-излучения в исследуемом NIM наводятся ЭМП за счет медных элементов конструкции (аналогично помещению в СВЧ-печь М-предметов, по которым течет ток, индуцируя ЭМП и вызывая искрение). Возникшее мощное ЭМП на "лесенке" NIM (рис 5b) отражает часть СВЧ-излучения в направлении, соответствующем гипотетической обратной рефракции (согласно траектории луча 3 на рис.1b).

Геометрия NIM в виде призмы (рис.5b) не случайна. Часть лучей, идущих в ячеистой структуре NIM по диагонали слева направо (из-за отражения и рассеяния на экранирующих дисках), будут отражаться на "лесенке", и на выходе из NIM станут двигаться в направлении справа налево.

occurs to calculate a range of another one, without resorting to direct measurements of the last one [13]. In some cases it allows it to reduce the volume of experimentally obtained information in some cases which is necessary for defining the optical constants, for example, in the region of intensive absorption bands of the condensed media. Feasibility of Kramers-Kronig relations was repeatedly checked experimentally for various media in various aggregative states and at different temperatures (crystals, liquids, solutions) [14].

It is also claimed in works [15, 16] that the negative refraction contradicts the causality principle and therefore it does not exist.

- The authors of articles [17, 18] make critical observations with respect to Pendry's prediction for a superlens. It should be noted that this criticism remained almost unnoticed because of a large number of theoretical works in favor of Pendry.
- Let us consider the question concerning refractive index $n \leq 1$. What will be the electromagnetic radiation speed in the medium with such refractive index?

It is known that refractive index is directly linked with electromagnetic radiation velocity in the medium. So, for vacuum $n = 1.0$, for air $n = 1.000292$, for water $n = 1.334$, for diamond $n = 2.42$. For example, the velocity of electromagnetic radiation in water will be $0.74 \cdot c$, i.e. $2.24 \cdot 10^8 \text{ m/c}$.

In the work of V.Shalaev and his co-authors [19] the negative refractive index of $n = -0.3$ is achieved. A similar situation is considered in Veselago's work [1], $n = -1$.

How to interpret $n = -0.3$? It turns out that electromagnetic radiation velocity in NIM will exceed the light velocity more than three times.

It appears that researchers have passed from practical physics into the field of the abstract mathematics without being noticed by most readers. The refractive index $n \leq 1$ describes the phase velocity of electromagnetic radiation (abstract velocity connection between oscillation phases in various space points), but not a group velocity (actual), see chapter 2.9. And a phase velocity can be of any value, including the value that is more than light velocity.

- The work of Shelby and his co-authors "The experimental verification of negative refractive index", 2001 is regarded as one of the main proofs of NIM existence [4] and accuracy of Veselago's hypothesis.

Let us consider this work in more detail.



Эксперимент Шелби был усовершенствован в работе [20]. В качестве NIM использовали многослойную ячеистую структуру металл-диэлектрик (чередующиеся слои Ag толщиной 30 нм и слои MgF_2 толщиной 50 нм), которую подвергали ИК-облучению в диапазоне 1200–1700 нм. NIM также выполнен в виде призмы, ход лучей соответствует рис. 5b. Фактически происходит отражение ИК-излучения на выходе из NIM-призмы за счет ячеистой структуры.

Суммируя изложенную в работе [4] информацию, можно констатировать следующее:

- авторы статьи добросовестно исследовали прохождение СВЧ-излучения сквозь ячеистый материал сложной формы;
- часть СВЧ-излучения действительно отклонилась в направлении обратной рефракции;
- отклонение СВЧ-излучения произошло за счет отражения от М-элементов, внедренных в материал. Это не рефракция;
- СВЧ-излучение по проникающим свойствам существенно отличается от видимого света, что позволяет утверждать, что данный эксперимент нельзя будет миниатюризировать и повторить для видимого света. Авторы статьи, кстати, честно об этом говорят: "It is unlikely that the inherent material properties of conductors will scale much past the infrared, rendering left-handed materials, such as those used here, ineffective";
- рассеяние и поглощение на внедренных в NIM объектах сведет на нет все усилия по созданию линзы из NIM в видимой области спектра [21];
- предсказание Пендри о суперлинзе остается всего лишь предсказанием. Делать предположения о том, что эффект суперлинзы будет работать в ближнем поле (на расстояниях, менее λ видимого света, т.е. ~50–200 нм) преждевременно.

Возникает вопрос – можно ли изготовить метаматериал или нет? Чтобы ответить на него, необходимо разобраться с рядом сложных оптических эффектов, отделить смелые прогнозы ряда ученых от реально наблюдаемых оптических эффектов. В первую очередь необходимо разобраться с физической сущностью наблюдаемых эффектов, а не с их математическим описанием или математическим моделированием.

Researchers succeed in obtaining NIM at sample treatment with microwave radiation with the wavelength of 3 cm (fig. 5) (a microwave spectral range is 0.3–30 cm). At the that ring-shaped resonators were used for obtaining the negative magnetic conductivity and wire elements were used for receiving the negative permittivity.

Actually it means that experimenters received the result by introduction of a large number of the multiplex objects into material and creation of electromagnetic fields in the sample (fig. 5a). As a result they managed to direct artificially (to reflect) a beam in nontypical direction. It is only the attempt to adjust an experiment to a hypothesis.

The analogy with double refraction effect in anisotropic crystal is considered in work [4]. At double refraction (see chapter 2.11) an unusual beam follows the abnormal trajectory. The beam also follows an abnormal trajectory owing to a multiple reflection of the microwave radiation from metal elements of NIM structure in Shelby's work. As a result one of the prevailing directions of scattered and reflected radiation coincides with the supposed direction of the reverse refraction.

It should be noted that the experiment made by Shelby and his co-authors corresponds to static scattering method (scattering of Fraunhofer, chapter 2.2) except for the fact that authors do not adduce the intensity of angular radiation distribution at output from NIM.

Authors of the article use such concepts as the negative permittivity and the negative magnetic permeability (theoretical assumption by Veselago). However, there is no physical explanation for these negative values. Authors do not say anything how they have measured them.

The fact that researchers guide microwave radiation with the wavelength of 3 cm to a gap between Al disks of 1.2 cm wide that leads to deformation of the entering beam before an entrance to a cellular structure of NIM can be represented as technical shortcomings of experiment.

It should be noted the fact that material with effect of the reverse refraction will work only at a certain at the particular wavelength depending on geometry of a cellular structure of a sample that is confirmed by the data presented in article [4].

Microwave radiation instead of visible light is used for the experiment. It can be explained with the fact that strong microwave radiation, unlike visible light, easily passes through



Мы попробуем ответить на поставленный вопрос и рассмотрим оптические эффекты во второй части статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Веселаго В.Г.** Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и μ . – Успехи физ. наук, 1967, т. 92, с. 517–526.
2. **Veselago V.G.** Jelektrodinamika veshhestv s odnovremенно otricatel'nyimi znachenijami ϵ i μ . – Uspehi fiz. nauk, 1967, t. 92, s. 517–526.
3. **Smith D.R., Padilla Willie J., Vier D.C., Nemat-Nasser S.C., Schultz S.** Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. – Phys. Rev. Lett., 2000, v. 84, p. 4184–4187.
4. **Shelby R.A., Smith D.R., Nemat-Nasser S.C., Schultz S.** Microwave transmission through a two-dimensional, isotropic, left-handed metamaterial. – Appl. Phys. Lett., 2001, v. 78, p. 489–491.
5. **Pendry J.B.** Negative refraction makes a perfect lens. – Phys. Rev. Lett., 2000, v. 85, p. 3966–3969.
6. **Шварцбург А.** Свет в конце туннеля. – Наука и жизнь, 2008, № 8, с. 34–39.
7. **Shvarcburg A.** Svet v konce tunnelja. – Nauka i zhizn", 2008, № 8, s. 34–39.
8. **Pendry J.B., Schurig, D., Smith D.R.** Controlling electromagnetic fields. – Science, 2006, v. 312, p. 1780–1782.
9. **Cai W., Shalaev V.** Optical Metamaterials. Fundamentals and Applications. – Springer, 2010, p. 104.
10. **Лу Б.-Р., Chen Y., Wang S.-W., Huq E., Rogers E., Kao T.S., Qu X.-P., Liu R., Zheludev N.I.** A novel 3D nanolens for sub-wavelength focusing by self-aligned nanolithography. – Microelectronic Engineering, 2010, v. 87, p. 1506–1508.
11. **Давидович М. В.** Почему не может быть использован отрицательный показатель преломления. – Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Физика, 2011, вып. 1, с. 42–47.
12. **Davidovich M.V.** Pochemu ne mozhet byt" ispol'zovan otricatel'nyj pokazatel" prelomlenija. – Izvestija Saratovskogo universiteta. Novaja serija. Ser.: Fizika, 2011, vyp. 1, s. 42–47.
13. **Клышко Д.** Рассеяние света. – Наука и жизнь, 1988, № 1, с. 26–28.
14. **Klyshko D.** Rassejanie sveta. – Nauka i zhizn", 1988, № 1, s. 26–28.
15. **Stockman M.I.** Criterion for negative refraction with low optical losses from a fundamental principle causality. – Phys. Rev. Lett., 2004, v. 98, p. 177404 (4).
16. **Альперович Л.И., Бахшиев Н.Г., Забиякин Ю.Е., Либов В.С.** Соотношения Крамера-Кронига для молекулярных спектров жидкостей и растворов. – Оптика и спектроскопия, 1968, т. 24, с. 60–63.
17. **Al'perovich L.I., Bahshiev N.G., Zabijakin Ju.E., Libov V.S.** Sootnoshenija Kramersa-Kroniga dlja molekuljarnyh spektrov zhidkostej i rastvorov. – Optika i spektroskopija, 1968, t. 24, s. 60–63.
18. **Забиякин Ю.Е.** Проверка дисперсионных соотношений Крамера-Кронига в широком интервале температур. – Оптика и спектроско-

nontransparent dielectric materials. Besides, the use of microwaves reduces the requirements for miniaturization of a structure, enabling to manufacture plates of corresponding size (radiation wavelength and anisotropic objects of NIM should have the comparable sizes).

As a result of microwave radiation influence in the studied NIM electromagnetic fields are induced by means of copper structural elements (similar to energized metal objects subjects' placement into microwave oven, current flows through the object inducing electromagnetic field and causing sparking). The high intensity electromagnetic field in ladder-type of NIM (fig. 5b) reflects a part of microwave radiation in the direction corresponding to a hypothetical reverse refraction (according to a trajectory of a beam 3 in fig.1b).

NIM geometry in the form of a prism (fig. 5b) is not casual. A part of beams going through cellular structure of NIM diagonally from left to right (because of reflection and scattering on shielding disks), will be reflected in "ladder" and at output from NIM should move from right to left.

Shelby's experiment was improved in work [20]. A multilayer cellular dielectric-metal structure, subjected to infrared radiation in the range of 1200–1700 nm was used as NIM (the alternating layers of Ag 30 nm thick and layers of MgF₂ 50 nm thick). NIM is also executed in the form of a prism, the path of beams corresponds to fig. 5b. Actually, there is a reflection of infrared radiation at output from NIM prism because of a cellular structure.

Summarizing information explained in work [4], it is possible to state the following.

- Authors of the article have honestly investigated microwave radiation passing through cellular multiplex material.
- A part of the microwave radiation really deviated in the direction of reverse refraction.
- A deviation of the microwave radiation occurred due to reflection from metal elements introduced in material. This fact does not demonstrate refraction.
- The microwave radiation differs significantly from visible light according to penetrating properties that allows claiming that this experiment cannot be miniaturized and repeated for visible light. Besides the authors of the article honestly notice: "It is unlikely that the inherent material properties of

пия, 1968, т. 24, с. 828–829.

Zabijakin Ju.E. Proverka dispersionnyh sootnoshenij Kramersa-Kroniga v shirokom intervale temperatur. – Optika i spektroskopija, 1968, т. 24, с. 828–829.

15. **Valanju P.M., Walser R.M., Valanju A.P.** Wave refraction in negative-index media: always positive and very inhomogeneous. – Phys. Rev. Lett., 2002, v. 88, no. 18, p. 187401 (4).
16. **Ордин С.** Причинность можно представить. Причинность в оптике. – Нанотехнологическое общество России, 2013. (URL: <http://www.rusnor.org/pubs/articles/10019.htm>).
17. **Ordin S.** Prichinnost' mozhno predstavit'. Prichinnost' v optike. – Nanotekhnologicheskoe obshhestvo Rossii, 2013. Kod dostupa: <http://www.rusnor.org/pubs/articles/10019.htm>
18. **Garcia N., Nieto-Vesperinas M.** Left-handed materials do not make a perfect lens. – Phys. Rev. Lett., 2002, v. 88, no. 20, p. 207403 (4).
19. **Hooft G.W.** Comment on "Negative Refraction Makes a Perfect Lens". – Phys. Rev. Lett., 2001, v. 87, iss. 24, p. 249701.
20. **Shalaev V.M., Cai W., Chettiar U.K., Yuan H., Sarychev A.K., Drachev V.P., Kildishev A.V.** Negative index of refraction in optical metamaterials. – Opt. Lett., 2006, v. 30, p. 3356–3358.
21. **Valentine J., Zhang S., Zentgraf T., Ulin-Avila E., Genov D.A., Bartal G., Zhang X.** Three-dimensional optical metamaterial with a negative refractive index. – Nature, 2008, v. 455, p. 376–379.
22. **Smith D.R., Kroll N.** Negative Refractive Index in Left-Handed Materials. – Phys. Rev. Lett., 2000, v. 85, p. 2933–2936.

conductors will scale much past the infrared, rendering left-handed materials, such as those used here, ineffective".

- Scattering and absorption on the objects introduced in NIM should neutralize all efforts on creation of a lens from NIM in the visible range area [21].
- Pendry's prediction for a superlens remains only a prediction. It is premature to make assumptions that the effect of a superlens should work in a near field (at distances less than λ of visible light, i.e. ~50–200 nm).

The question arises concerning whether it is possible to make metamaterial or not. To answer this question, it is necessary to deal with a number of the complicated optical effects, to separate courageous forecasts of a number of scientists from really observed optical effects. First of all it is necessary to deal with a physical essence of observed effects, but not with their mathematical description or mathematical modelling. We will try to answer the above question and we will consider optical effects in the following issue.

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГОЛОЭКСПО 2017 (НОЛОЭКСПО 2017)

Принять участие в Международной научно-технической конференции "Голография. Наука и практика" приглашает специалистов организационный комитет конференции. Мероприятие состоится 12–14 сентября 2017 года в Звенигороде, в отеле HELIOPARK Thalasso, ул. Лермонтова, 1 (www.heliopark-thalasso-hotel.ru)

Цель конференции – обсуждение новейших научно-технических достижений и технологий в области голографии в России, Республике Беларусь, в других странах СНГ и за рубежом, а также оценки состояния рынка голографических технологий и продукции и направлений их развития.

Планируется работа следующих секций:

- Секция №1 – "Технологии получения защитных голограмм"



- Секция №2 – "Формирование изображений и отображение информации с помощью голограммной оптики и оптико-голографических систем"
- Секция №3 – "Метаматериалы, нанотехнологии и плазмонные структуры для голографии, голограммные и дифракционные оптические элементы, методы компьютерного синтеза и технология изготовления"
- Секция №4 – "Изобразительная голография и фоточувствительные материалы для голографии"
- Секция №5 – "Голографическая интерферометрия, голографическая память, оптико-голографическая обработка информации"

С.Б.Одиноков, Председатель Организационного комитета, д.т.н., профессор XIV Международной конференции ГолоЭкспо 2017 XXV Международная Конференция