

В.Г. Горохов,
Институт философии РАН
А.С. Сидоренко,
Институт электроники и промышленных технологий
АН Молдовы

Роль фундаментального образования в развитии новейших технологий

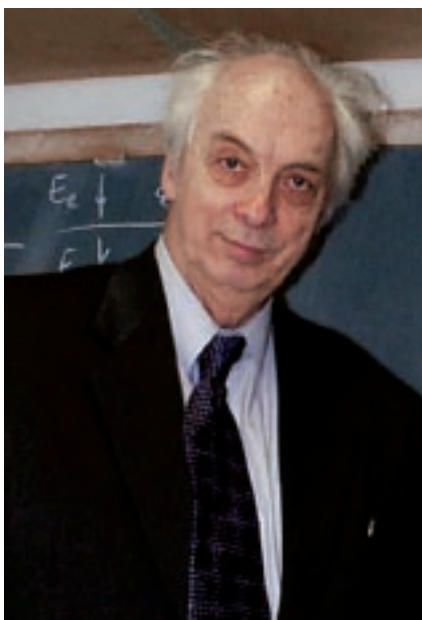
ОБ ОТКРЫТИИ РОССИЙСКИМ ПРОФЕССОРОМ

В.Г. ВЕСЕЛАГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Вот каким образом описывает ход открытия В.Г. Веселаго профессор Джон Пендри в своей небольшой статье в журнале Nature в 2003 году [14]: «Свет пересекает границу между различными материалами... При вхождении во многие материалы свет отражается с положительным углом отклонения... Однако несколько лет назад Веселаго выдвинул предположение, что некоторые материалы могут производить "негативное отражение". В 2001 г. было сообщено, что негативное отражение зарегистрировано в одном из искусственно созданных материалов... Веселаго обнаружил, что материалы с отрицательным коэффициентом фокусировали свет подобно линзе. <...> Хук и другие смогли проверить некоторые фокусирующие способности таких материалов. Это как раз та область, в которой, как ожидается, будет продолжаться работа».

В последнее время все больше и больше раздается голосов о необходимости повышения результативности науки, о важности не столько фундаментальных, сколько прикладных исследований и разработки современных технологий, снижения затрат на науку в целом, и в особенности на ее теоре-

тическую часть, достижения самокупаемости научных разработок за счет их скорейшего внедрения в практику. В особенности эти голоса усиливаются



Доктор физико-математических наук, профессор Виктор Георгиевич Веселаго работает в настоящее время в Институте общей физики РАН и в Московском физико-техническом институте

со стороны чиновников от науки. Историкам и философам науки, однако, хорошо известно, что без развития фундаментальных и теоретических на-

учных исследований никаких прикладных результатов ожидать не приходится, хотя эти результаты, возможно, и появятся с некоторым временным сдвигом. Физикам-экспериментаторам, кстати сказать, также абсолютно ясно, что сегодня никакой сколько-нибудь значимый результат в науке и технике не может быть получен без предварительного и последующего теоретического исследования. В данной заметке мы хотели бы привести конкретный пример из недалекого прошлого, доказывающий не только эвристическую и мировоззренческую ценность теоретической науки, но и ее важность для развития новейших технологий. А именно речь пойдет об открытии поистине мирового значения, сделанном российским физиком В.Г. Веселаго еще в 1967 году и более чем через тридцать лет получившем блестящее подтверждение в работах американских инженеров и ученых.

Лучше всего эту ситуацию охарактеризовал в одном из своих интервью, сам ученый: «В моей самой первой статье я показал, что коэффициент преломления, который до того считался всегда положительным, на самом деле может быть и отрицательной величиной. Это может быть тогда, когда электрическая и магнитная проницаемости оказываются отрицательными. Это мое предсказание сбылось через 33 года, когда профессор

Смит реализовал композитный материал с отрицательным коэффициентом преломления, а профессор Пендри показал, что предложенная мной плоская линза из материала с отрицательным преломлением может обладать повышенной разрешающей способностью. Надо заметить, что важность всех этих результатов состоит даже не в том, что

В статье, опубликованной в 1967 году, Веселаго высказывает предположение о том, что диэлектрическая и магнитная проницаемости, которые являются основными характеристиками, определяющими распространение электромагнитных волн в среде, могут быть отрицательными, что существует принципиальная возможность

хождения луча через границу двух сред в зависимости от свойств материала среды он может отклоняться в различном направлении, причем, как правило, всегда наблюдаются отраженный и преломленный лучи [13]. Такие вещества получили название «левые вещества», так как в них направление распространения энергии противоположно фазовой скорости электромагнитной волны, а в правых они совпадают.

Практическая важность такого рода веществ, если бы они действительно существовали, очевидна, особенно для решения задач радиолокации, связанных с конструированием ложных объектов или материалами, создающими неверное представление об объекте или же дающими возможность вообще скрывать его от наблюдателя. Таким образом, предмет можно сделать невидимым, правда, в определенном узком частотном диапазоне (рис. 3).

«Использование левых веществ, — писал Веселаго еще в 1967 году, — позволило бы в принципе создать весьма необычные преломляющие системы» [2, с. 520]. В качестве примера

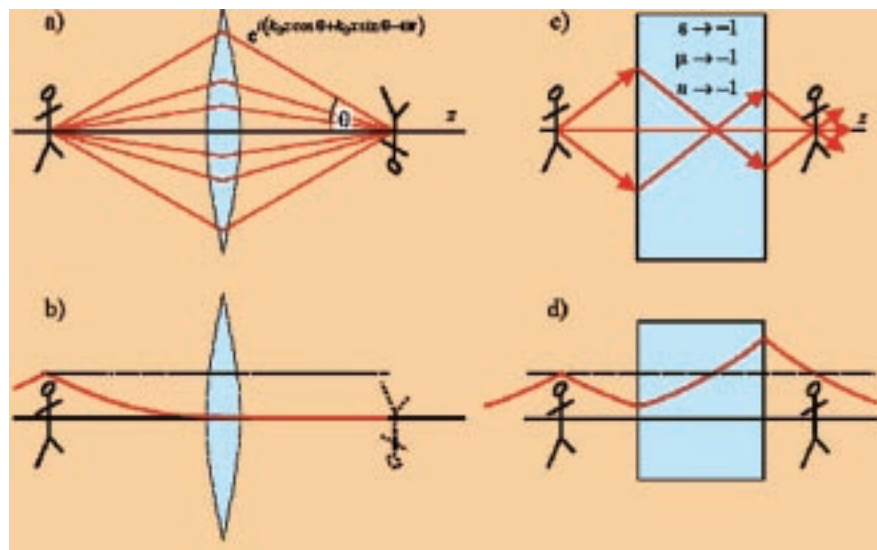


Рис. 1. Линзы: а — обычные линзы, требующие широкой апертуры для достижения хорошей разрешающей способности, но даже в этом случае существуют ограничения разрешающей способности при используемой длине волны; б — ослабление сигнала от объекта наблюдения меньше длины волны светового излучения в обычной линзе; в — линза Веселаго в отличие от обычной оптической линзы переносит изображение предмета из пространства объектов в пространство изображений без искажений; г — ослабление сигнала от объекта наблюдения меньше длины волны светового излучения в линзе Веселаго.

можно получить отрицательный коэффициент преломления, а в том, что теперь можно получать композитные материалы с любыми, не обязательно отрицательными величинами обеих проницаемостей» [19].

ЛИНЗА ВЕСЕЛАГО

Линза Веселаго — это оптическое устройство, фокусирующее в точку излучение точечного источника, но не фокусирующее в точку параллельный пучок лучей (рис. 1).

создания сред с такими показателями. Заметим, что видимый нами свет также является частным случаем электромагнитных волн. Поэтому открывается возможность создания условий, которые делают объекты невидимыми (правда, только на определенных частотах волн). Через почти тридцать лет появились сообщения, что профессор Смит реализовал такую «невидимость».

Пояснить смысл лучше всего графически. На рис. 2 показано, что при про-

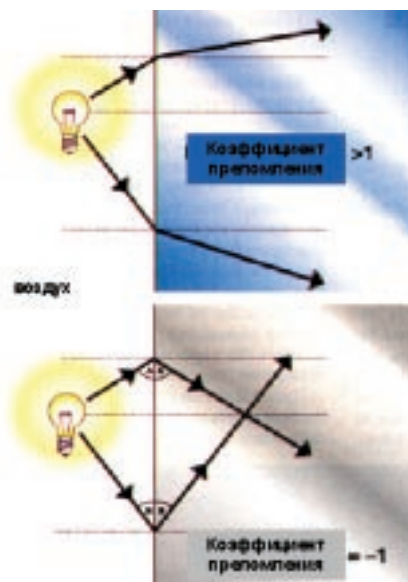


Рис. 2. Прохождение луча через границу двух сред

он привел простую пластину из левого вещества (рис. 4), находящуюся в вакууме. Если источник расположен на небольшом расстоянии от поверхности такой пластины (меньше его толщины), то она может сфокусировать в точку пучок исходящих от него лучей. «Таким образом, В.Г. Веселаго показал, что плоский слой вещества с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = -1$ и маг-



Виталий Георгиевич Горохов

профессор, доктор философских наук, ведущий научный сотрудник Института философии РАН, заведующий кафедрой философии науки и техники Государственного университета гуманитарных наук, профессор философского факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и кафедры культурологии и социологии им. Н.Э. Баумана. Сфера научных интересов: философия и история науки и техники. Автор более двухсот научных работ и двенадцати монографий.

Анатолий Сергеевич Сидоренко

профессор, доктор физико-математических наук, директор института электроники и промышленных технологий (Electronic Engineering and Industrial Technologies). Специалист в области сверхпроводимости низкоразмерных систем. Лауреат Государственной премии Республики Молдова, автор ста восьмидесяти научных работ, пяти монографий, шестнадцати патентов на изобретения



нитной проницаемостью $\mu = -1$ служит устройством типа линзы, переносящим изображение предмета из одной области пространства в другую. И хотя у

стина является линзой. Такая пластина – идеальный оптический прибор, который переносит изображение предмета из пространства объектов в про-

нологий. И действительно, такое время наступило, когда на арену вышли нанотехнологии, как раз и позволившие создать такого рода вещества и работать непосредственно в нанометровой близости от поверхности этих веществ. Эти вещества получили также название метаматериалов.

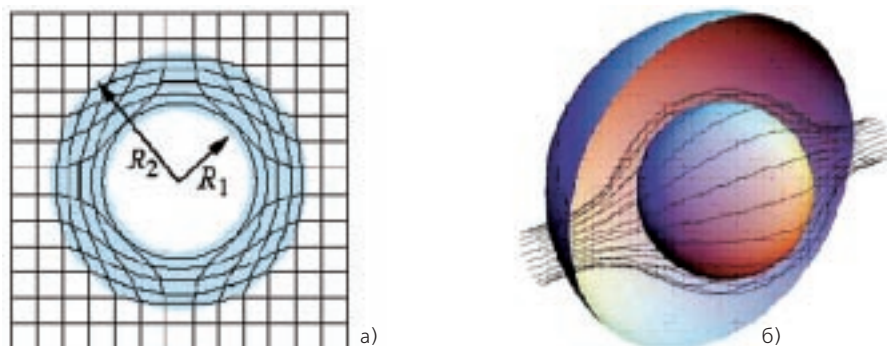


Рис. 3. Оболочки невидимости: а - схематическое изображение в двухмерной системе координат оболочки, обеспечивающей невидимость объекта (оболочка невидимости); б - траектории лучей, огибающих оболочку невидимости, сконструированную таким образом, чтобы удовлетворять трем противоречивым условиям, а именно она не должна: 1) рассеивать падающие излучения, 2) отбрасывать тени, 3) пропускать излучение к объекту, скрытому внутри оболочки невидимости. Для выполнения этих трех условий конструкция оболочки невидимости, т.е. использованного для этого метаматериала, должна обеспечить такое искривление лучей падающего излучения, чтобы они огибали скрытый внутри оболочки невидимости объект. Эффективность такого покрытия была продемонстрирована сначала с помощью компьютерного моделирования и совсем недавно экспериментально – объект действительно исчезает с экрана радара [19]

такой линзы отсутствует фокальная плоскость, она создает объемное действительное изображение предмета» [4, с. 439]. При этом, как видно на

странство изображений без всяких искажений. Но такой перенос возможен только для предметов, отнесенных от пластины на расстояние не

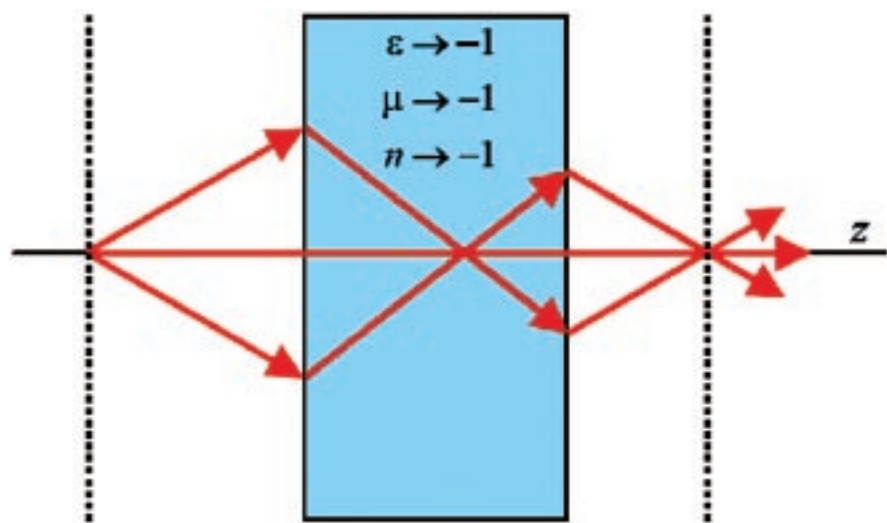


Рис. 4. Среда с отрицательным показателем преломления. Такая среда изгибает луч света под отрицательным углом относительно поверхности. Свет, исходящий от точечного источника, в плоскости предмета поворачивается в противоположном направлении и затем обратно сходится в точку. Выйдя из этой среды, световой луч вторично фокусируется в плоскости изображения [10]

рис. 4, формируются два действительных изображения объекта: одно внутри пластины, а второе с противоположной стороны пластины от наблюдаемого объекта. В своей статье, опубликованной в 2003 году, Веселаго пишет следующее: «Факт фокусировки точечного источника света также в точку, расположенную по другую сторону пластины, не означает, что эта пла-

больше, чем толщина пластины» [3, с. 792].

В заключение своей статьи В.Г. Веселаго говорит о трудности экспериментального доказательства полученных теоретических предположений и о необходимости получения такого рода левых веществ, что, по его мнению, станет скоро возможным в связи с быстрым развитием современных тех-

ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫЕ ВЕЩЕСТВА С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ – МЕТАМАТЕРИАЛЫ: ПУТЬ К НОВЫМ ЯВЛЕНИЯМ

Метаматериалы, собственно говоря, принадлежат к особой разновидности так называемых композиционных материалов, или композитов, известных еще до эпохи нанотехнологий. Композит – это любой материал, сделанный из более чем одной составляющей. Композиционные материалы представляют собой, в частности, матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц и др.). Современные композиционные материалы обычно состоят из двух компонентов: волокна и матрицы. Сегодня характерен переход к стадии широкого комплексного исследования служебных характеристик композиционных материалов, которые рассматриваются как сложные системы (в частности, наноструктуры). Например, в Исследовательском центре г. Карлсруэ (Германия) ведутся исследования по созданию (с помощью целенаправленного изменения наноструктур) так называемых нанокompозитов, используемых в микросистемотехнике, биологии, медицине, аэрокосмической промышленности, автомобиле- и судостроении и во многих других областях. В Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН начиная с 1990 года изучаются и изготавливаются композиты для создания радиопоглощающих материалов с отрицательной диэлектрической, а с 1993 года – отрицательной магнитной проницаемостями [4, с. 440]. Толчком к экспоненциальному росту публикаций, посвященных метаматериалам, стали выдающиеся работы профессора Пендри и профессора Смита, опубликованная в 2000 году [20].

В этой работе отмечалось, что линза Веселаго способна «переносить изображение предмета с точностью, не ограниченной так называемым вол-

новым пределом». С помощью оптической системы невозможно различить между собой два предмета, если они находятся на расстоянии, меньшем

гда теряется». Пендри как раз и обратил внимание на то, что пластина с отрицательными значениями магнитной и диэлектрической проницаемости

ности такого рода метаматериала очень важна и для развития самой нанотехнологии, поскольку может позволить значительно улучшить разрешение фотолитографии, являющейся одним из важнейших методов конструирования наносистем» [4, с. 443-444].

Наконец, профессор Смит с сотрудниками создал метаматериал с отрицательным показателем преломления (рис. 5).

Проведенные этими учеными, а затем и несколькими независимыми группами исследователей эксперименты [8, 18] показали полную справедливость теоретических выводов профессора Веселаго. Кроме того, в настоящее время имеется «множество предложений по созданию устройств, основанных на явлении отрицательного преломления, часть из которых уже реализована» [4, с. 442]. Вопрос ставится даже о замене традиционных элементов электронных схем на наноземленты, выполненные из мета-

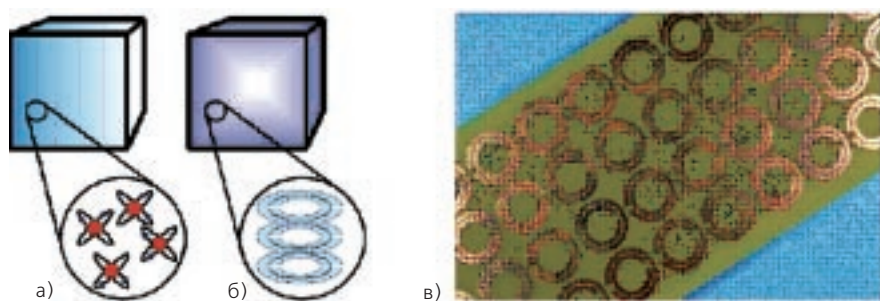


Рис. 5. Фотонные метаматериалы в различных материалах: а – в обычном материале отклик на электромагнитное излучение определяется атомами или молекулами его составляющими; б – в метаматериале отклик на электромагнитное излучение определяется большим количеством более крупных структурных единиц – метамолекул – искусственных включений, размеры которых намного превышают размеры атома, но меньше длины волны падающего электромагнитного излучения [10] в – пример метаматериала, сделанного из расщепленных медных колец, выгравированных на пластинке; их размер в несколько миллиметров дает резонансную частоту в 10 GHz (гигагерц)

длины электромагнитной волны. «Именно поэтому при исследовании микромира и создании микрообъектов специалисты вынуждены переходить

стей может усиливать экспоненциально затухающие волны. Он также предложил использовать для этих целей пленку серебра. «Плоский слой начи-

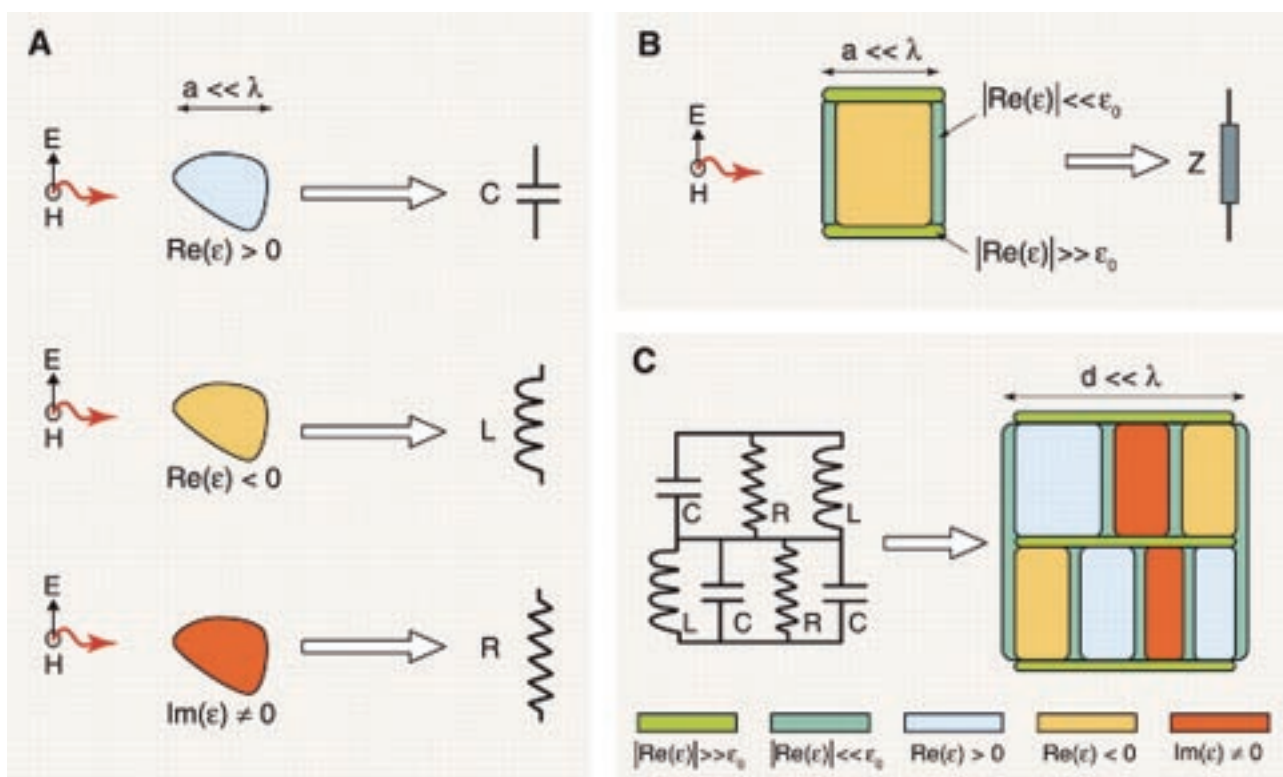


Рис. 6. Наночастицы, имеющие размеры меньше длины волны ($a \ll \lambda$), как сосредоточенные элементы на оптической частоте и блоки, составленные из таких наночастиц: а – наночастицы, имеющие размеры меньше длины волны, после освещения их монохроматическим оптическим сигналом могут эффективно играть роль сосредоточенных элементов оптической цепи в зависимости от диэлектрической проницаемости материала, из которого они изготовлены; б – оптический наномодуль из наночастиц, выполненный в виде изолированного оптического наноземлента с двумя клеммами; в – блок, составленный из нескольких оптических наномодулей, соединенных друг с другом. Если такой схеме оптическим сигналом передается возбуждение, то оптическое электрическое поле и ток смещения в этих элементах подобраны и структурированы таким образом, что этот блок может вести себя в определенном диапазоне частот примерно так, как электронная схема,

дуть на все меньшие длины волн». Кроме того, «затухающие волны не доходят до приемника и часть информации о наблюдаемом объекте все-

нает работать как резонатор для затухающих волн. Если в слое нет «потерь», т.е. полностью восстанавливается изображение источника. Указанная особен-

материалов, что обеспечит возможность дальнейшей миниатюризации этих схем с одновременным ускорением процессов обработки информа-

ции (рис. 6). При этом одна из решающих проблем создания такого рода наносем оптического диапазона заключается в соединении таких наноэлементов между собой, что может быть достигнуто за счет тонкослойных пленок на основе использования открытого В.Г. Веселаго физического эффекта.

Итак, можно со всей определенностью утверждать, что в данном конкретном случае теоретическое предсказание получило не только экспериментальное доказательство, но и широкую сферу практического применения. Более того, без основополагающих теоретических работ профессора Веселаго вряд ли можно было бы удовлетворительно объяснить свойства вновь полученных нанотехнологией метаматериалов.

Социальную значимость такого рода открытия подчеркивают исторические факты: получение, распространение и применение новых материалов всегда играло значительную роль в обществе. Не случайно учеными выделяются каменный, бронзовый и железный века; овладение железом привело к господствующему положению новые народы и к распаду раннедоминирующей империи, а вооружение рыцаря в средние века — к изменению социально-хозяйственной структуры, способной его этим вооружением обеспечить. Сегодня уже всерьез говорят о разработке новейших легких, прочных, механически активных и даже «интеллектуальных» материалов (например, приспособляющихся к окружающей среде, или вырабатывающих энергию, или же усиливающих природные способности) для индивидуального вооружения современного солдата. Одно из важных мест в этом ряду несомненно занимают и метаматериалы [7].

РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО И ГУМАНИТАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Следует отметить весьма показательный факт: число ссылок на английском языке на работы В.Г. Веселаго постоянно растет (данные о цитировании его работ на сайте: <http://ufn.ru/ru/ufn90.html#cited>), тогда как ссылки в литературе на русском языке минимальны.

В «Википедии» на русском языке сказано: «Виктор Георгиевич Веселаго

(р. 1929 году в УССР) — российский физик, в 1967 году предсказавший существование материалов с отрицательным показателем преломления (метаматериалов)» (http://de.wikipedia.org/wiki/Wiktor_Georgijewitsch_Wesselago).

Несомненно, что в этом открытии огромная заслуга самого ученого, однако не меньшую роль, как нам кажется, сыграла та научная среда, научная школа, сформировавшаяся в Советском Союзе. Естественно, что в своих исследованиях Веселаго опирался на ряд предшественников, среди которых в первую очередь следует отметить академика Л.И. Мандельштама, в трудах которого уже рассматривался эффект отрицательного преломления для того случая, когда фазовая и групповая скорости противоположны по направлению. Однако В.Г. Веселаго принадлежит заслуга четкого введения в научный оборот понятия отрицательного коэффициента преломления, вслед за тем термин «отрицательное преломление» стал применяться гораздо более широко, в том числе в случаях, о которых говорил Мандельштам. Вот что пишет сам Виктор Георгиевич о своем научном пути: «За время работы в ФИАНе—ИОФАНе я прошел стандартный путь “советского ученого” — от студента-дипломника до доктора наук, заведующего отделом сильных магнитных полей ИОФАН. В конце восьмидесятых годов в отделе было около 70 человек, включая аспирантов и прикомандированных. Тематика отдела включала 5–7 разных направлений — от магнитных жидкостей до высокотемпературной сверхпроводимости. По сути, отдел был маленьким институтом в институте. Жизнь у нас кипела, успехи были заметны, мы были на виду, мы имели хорошие контакты с зарубежными учеными, а студенты, стажеры и аспиранты буквально ломались к нам в двери (это очень показательный признак успеха). На протяжении примерно 40 лет такой работы я выпустил более 30 (но менее 40) кандидатов. Из всех моих аспирантов только 2 не защитились».

Распад СССР отрицательно отразился на развитии нашей науки, говоря словами Виктора Георгиевича: «Вся сегодняшняя ситуация с наукой... глубоко трагична... Институты быстро освободились от наиболее сильных и перспективных молодых сотрудников, которые либо уехали за границу, либо

ушли во внутреннюю эмиграцию — в банки и т.д.... При всех обстоятельствах погибнут, или преобразуются наши крупные институты, и тем самым погибнут крупные научные школы — наша заслуженная гордость». В этом пункте мы позволили бы себе не согласиться с оценкой уважаемого ученого, которая была высказана, впрочем, еще в публикации 1997 года. Сегодняшнее развитие мировой науки показывает, что наши научные школы продолжают существовать, превратившись в своего рода «невидимые колледжи».

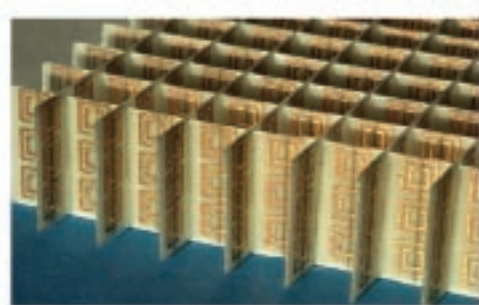
Это понятие было введено в обиход в 1960-е гг. американским социологом науки Прайсом, который выдвинул гипотезу о существовании в каждой активно развивающейся области науки «невидимых колледжей», т.е. сплоченных и активных групп ученых, хотя и географически разделенных, но с общими исследовательскими интересами, стремящихся заменить формальные коммуникации личными неформальными контактами. Причем информация, полученная по неформальным коммуникационным каналам, бывает часто более важна для дальнейшего эффективного проведения исследований в данной области науки, чем полученная по официальным каналам и через публикации. В концепции германского социолога Никласа Лумана именно коммуникация становится основной структурой общества, причем никакая коммуникация невозможна без общества, а никакое общество — без коммуникации. Это утверждение полностью справедливо и для научного сообщества. В современном информационном обществе с развитием разветвленной сети Интернет простанственно-временная преграда для непосредственного научного общения фактически снимается. И бывшие советские ученые благодаря социокультурной общности и отсутствию языковых барьеров продолжают сохранять традиции советских научных школ, взаимопонимание и коммуницировать друг с другом независимо от государственной и национальной принадлежности. В этом смысле Советский Союз ученых продолжает существовать виртуально, хотя сам СССР давно уже не существует реально вопреки всем усилиям разрушить нашу науку.

Именно в этом пункте мы хотели

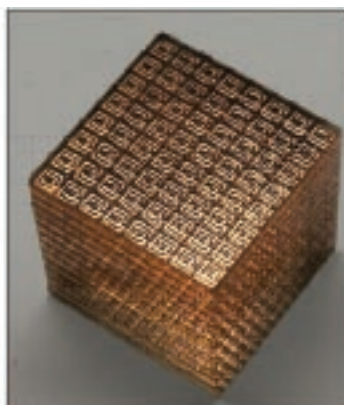
бы присоединиться к мнению академиков Е.П. Велихова и В.Б. Бетелина, высказанному ими в статье «Промышленность, инновации, образование и наука»: «Наука в России сильна фун-

развитие нанотехнологий демонстрирует скорее возрастание роли фундаментальных исследований, без которых невозможны ни наносистемотехника, ни нанопроизводство. Напротив,

тических ресурсов и др. Поэтому научное исследование неизбежно становится проблемно и проектно-ориентированным, а это требует развития новых форм организации науки, невзирая на узкодисциплинарные приоритеты. В таких научных коллективах работают специалисты самых разных областей науки и техники и единственно, что их объединяет – общая проблема, на решение которой отпущены определенные государственные или частные средства. А это, в свою очередь, означает, что ученый больше не может считать свою деятельность этически и социально нейтральной, т.е. он выходит за рамки своей специальности в область философской рефлексии.



а)



б)

Рис. 7. Метаматериалы различной формы:

а-конструкция, состоящая из пластинок стекловолокна (высотой в 1 см) с медными вставками в виде петель и проволоки, чтобы создать отрицательную магнитную μ и отрицательную диэлектрическую ϵ проницаемость, которая была первым метаматериалом с отрицательным преломлением, использованным Давидом Смитом в его экспериментах; б-кубическая структура, созданная для получения отрицательного коэффициента преломления в гигагерцевом GHz диапазоне.

даментальной математической подготовкой ученых, органичной связью с системой образования и интересом к прикладным проблемам, рассматриваемым как надежный источник развития фундаментальной науки». Сегодняшняя ситуация, как справедливо подмечено в этой статье, стильно схожа с ситуацией с учеными и инженерами в послереволюционной России, когда ее «покинули тысячи высокообразованных людей, в том числе около 3 тысяч дипломированных инженеров, внесших впоследствии значительный вклад в развитие высокотехнологичных отраслей как в Европе, так и в США. Поэтому сегодня, как и полвека назад, весьма злободневно звучит высказывание С.П. Тимошенко: «Традиции старой школы оказались очень сильными, а с помощью остатков старых преподавательских кадров было возможным привести в порядок инженерное образование, разрушенное во время революции».

Рассуждения о конце фундаментальных исследований (см., например, статью «Конец чистой науки: научная политика... в нанотехнологической национальной инициативе» [8]) и необходимости скорейшего получения прикладных, а по сути дела коммерческих результатов, как правило, сопровождаются и отрицанием роли философской рефлексии для науки. Именно пример с открытием профессора Веселаго доказывает обратное. Да и

прикладные исследования, разработки новейших технологий и даже само производство в нанобласти становятся невозможным без одновременно проводимых фундаментальных исследований. Здесь сам научный эксперимент сливается с инженерными разработками, а нанопроизводство вообще становится неотделимым от научного эксперимента, подтягиваясь невольно к его неизбежно высокому научно-теоретическому уровню. Поэтому когда говорят о нанотехнологии как о нанотехнонауке, то подчеркивают именно этот аспект, а не снижение теоретического уровня до уровня ремесленной практики и обыденного сознания.

Следует, конечно, учесть те изменения, которые произошли в мире в области научно-технической политики, в науке и технике, которые прорвали ставшие тормозом для их развития узкие бюрократические границы дисциплинарной науки прошлого века и стали междисциплинарными и даже трансдисциплинарными, учитывая выход дискуссий по этой проблематике за рамки науки в широкую общественную сферу. Это диктуется изменением положения дел в обществе, которому часто настоятельно требуются новые знания о жизненно важных для самого его существования процессах и проблемах, например климатических изменениях, утилизации отходов, о поиске новых энерге-

Таким образом, то же самое, что мы сказали о науке и технике, приложимо к связи современного научного исследования с философской рефлексией, без которой развитие науки становится просто невозможным. Например, бурный прогресс нанонауки и нанотехнологии ставит перед учеными по-новому многие старые философские проблемы и выдвигает на первый план целый ряд новых методологических, социальных, когнитивных и тому подобных проблем, осмысление которых требует высокого философского уровня, т.е. должно проводиться с участием профессионалов в этой области (об этом см. статьи В.Г. Горохова: Нанотехнологии. Эпистемологические проблемы теоретического исследования в современной технонауке (статьи 1 и 2) // Эпистемология и философия науки. 2008.Т. XVII, № 2.3; Нанозтика: значение научной, технической и хозяйственной этики в современном обществе // Вопросы философии. 2008. № 10).

Пример, приведенный нами в данной статье, убедительно показывает также важность и необходимость широкого фундаментального образования для дальнейшего развития науки и техники, которым славилась советская научная школа. В недавно опубликованной в сборнике «Этика: этические и социальные следствия нанотехнологии» статье «Может ли наука быть катализатором реформы образования?» справедливо утверждается, что строго дисциплинарная модель должна быть изменена и искусственные барьеры между химией, физикой и биологией устранены. У студен-

тов должно быть развито не только строгое понимание биологии, химии и физики, но и представление о взаимосвязи этих наук, без чего нанотехнология развиваться не может. К этому обязательно должны быть, по мнению авторов, добавлены этические и социальные аспекты развития новых технологий. Поскольку развитие нанотехнологии становится органически связанным с повышенной социальной ответственностью, социальная и этическая проблематика, которая раньше приписывалась лишь использованию научных результатов, включается сегодня в само «тело» наноауки. Это подтверждает высказанный академиком В.С. Степиным тезис о том, что обсуждение и исследование в рамках самой науки и техники социальных и этических вопросов является характерной отличительной чертой так называемой постнеклассической науки. «Постнеклассический тип научной рациональности расширяет поле рефлексии над деятельностью. Он учитывает соотношенность получаемых знаний об объекте не только с особенностью средств и операций деятельности, но и с ценностно-целевыми структурами. Причем эксплицируется связь внутринаучных целей с вненаучными, социальными ценностями и целями». Этот факт наглядно демонстрирует

нанотехнология, где даже в специальных справочных изданиях обязательно предусмотрены разделы, связанные с социальными и этическими проблемами (рис. 8).

Проведенный недавно анализ курсов по нанотехнологии [2, с.440], читаемых сегодня на уровне подготовки



Рис. 8. В «Руководстве по нанотехнологии» специальный раздел носит название «Социальные и этические следствия нанотехнологии», включающий подразделы «Приложения и социальные влияния» (38.1), «Главные социотехнические сдвиги» (38.3), «Источники этического поведения» (38.4) и «Общественное мнение» (38.5).

магистра, ясно показал, что организовать в этой области систему обучения, одновременно покрывающую все аспекты наноауки и нанотехнологии, практически невозможно. Более того, при подготовке магистров согласно Болонскому процессу (1-й год обучения или 60 кредитных курсов, и 1-й се-

мestr проектной работы) невозможно подготовить полноценного специалиста в этой, по сути дела, междисциплинарной области науки и техники. Следовательно, академическое обучение в сфере нанотехнологии должно иметь трехступенчатую организацию: получение степени бакалавра в одной из существующих областей науки, вроде физики, биологии или технических наук; обучение на уровне магистра в области наноауки или нанотехнологии; аспирантская программа по нанотехнологии/наноауке. Именно такая многоступенчатая система подготовки специалистов и существует в России. Более того, на уровне аспирантской подготовки несколько лет назад создан и успешно внедряется курс истории и философии науки, позволяющий расширить кругозор специалистов, в том числе в области нанотехнологии. Опыт показывает, что особое значение при этом играют семинарские занятия и дискуссии, а также подготовка и обсуждение рефератов по истории науки.

Это необходимо для развития у будущих исследователей способности более широкого, философского осмысления исследовательских результатов, научных знаний и системотехнических решений в этой междисциплинарной области научно-технической деятельности.

Литература

1. *Веселаго В.Г.* О времени и о себе // Химия и жизнь — XXI век. 1997. № 5.
2. *Веселаго В.Г.* Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и m // Успехи физических наук. 1967. Т. 92. Вып. 3.
3. *Веселаго В.Г.* Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и m // Успехи физических наук. 2003. Т. 173 № 7.
4. *Гуляев Ю.В., Лагарьков А.Н., Никитов С.А.* Метаматериалы: фундаментальные исследования и перспективы применения // Вестник РАН. 2008. Т. 78. № 5.
5. Некоторые работы В.Г. Веселаго на русском и английском языках // <http://zhurnal.ape.relarn.ru/~vvg>
6. *Engheta N.* Circuits with Light at Nanoscales: Optical Nanocircuits Inspired by Metamaterials // Science, 2007. Vol. 317. № 5845 // <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5845/1698>
7. *John B. Pendry and David R. Smith.* Reversing Light: Negative Refraction // Physics Today. December 2003. <http://www.physicstoday.org>
8. *Jonson A.* The End of Pure Science: Science Policy from Bayh-Dole to the NN // D. Baird et al. (Eds.). Discovering the Nanoscale. IOS Press. 2004.
9. *Moore D.* Nanotechnology and the military // Nanoethics: The ethical and social implications of nanotechnology. Eds. F. Allhoff et al. Hooboken. New Jersey, 2007.
10. *Pendry J.B.* Metamaterials and the Control of Electromagnetic Fields // Conference Paper. Conference on Coherence and Quantum Optics (CQO), 2007. Rochester, New York, June 13, 2007. Optical Society of America, 2007. <http://www.cmth.ph.ic.ac.uk/photronics/Newphotronics/pdf/RochPaper.pdf>
11. *Pendry J.B.* Metamaterials in the sunshine // Nature Materials. 2006. Vol. 5. www.nature.com/naturematerials
12. *Pendry J.B.* Negative refraction // Contemporary Physics. 2004. Vol. 45. № 3.
13. *Pendry J.* Positively negative // Nature. 2002. Vol. 420. № 14. www.nature.com/nature
14. *Pendry J.* Positively negative // Nature. 2003. Vol. 423. www.nature.com/nature
15. *Schank P., Krajcik J., Junker M.* Can nanoscience be a catalyst for educational reform? // Nanoethics: The ethical and social implications of nanotechnology. F. Allhoff et al. Hooboken. New Jersey, 2007
16. *Schmid G. et al.* Nanotechnology. Assessment and Perspectives. Berlin, 2006.
17. *Seif Ch.* Offbeat Lenses Promise Perfect Fidelity // Science, 2000. Vol. 290. № 10. www.sciencemag.org
18. *Shelby R.A., Smith D.R., Schultz S.* Experimental Verification of a Negative Index of Refraction. Science, 2001. Vol. 292. № 5514. <http://www.cmth.ph.ic.ac.uk/photronics/Newphotronics/pdf/press.pdf>
19. *Smith D.R., Pendry J.B.* Homogenization of metamaterials by field averaging (invited paper) // Journal of Optical Society of America. 2006. Vol. 23. No. 3.
20. *Smith W., Padilla D.C., Vier, S.C., Nemat-Nasser, and S. Schultz.* A composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. Phys. Rev., 2000. Lett. 84.
21. <http://ufn.ru/ru/ufn90/veselago.html>