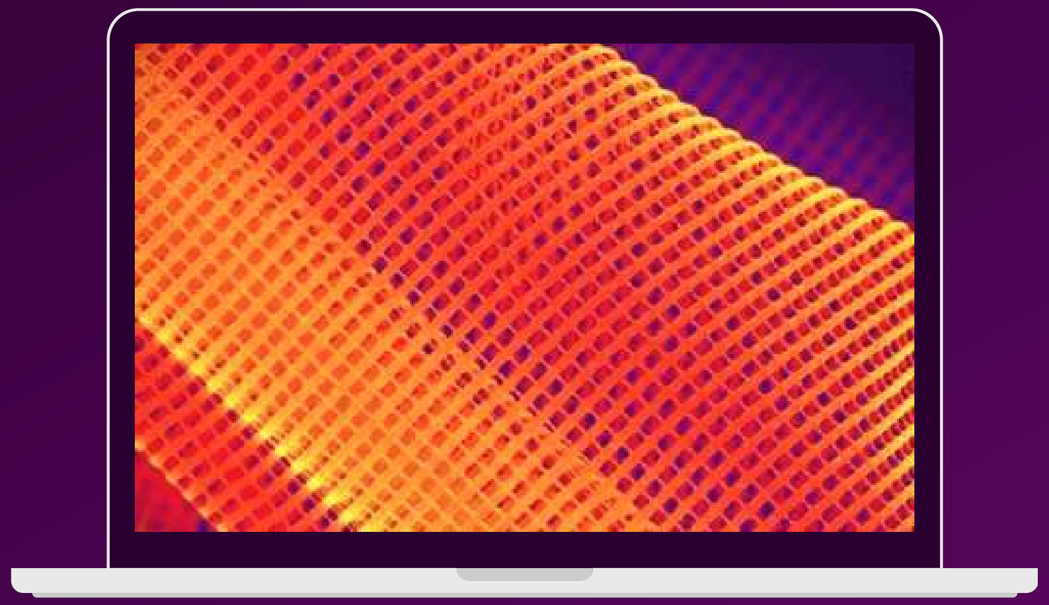
01

Легкая промышленность | изобретения и инновации

Метаматериалы в легкой промышленности

Дата: 28 октября 2026 г.

Баркова Ульяна Владимировна



Метаматериалы

Метаматериалы — это класс искусственных композиционных структур, свойства которых (электромагнитные, акустические, механические, тепловые) определяются не столько свойствами исходных веществ, сколько специально спроектированной периодической микро- или наноструктурой. (внедрёнными элементами или «метаатомами»). Благодаря такой архитектуре они приобретают уникальные физические свойства, не встречающиеся в природе: например, отрицательный показатель преломления, способность огибать объект световыми волнами или аномально поглощать излучение.

История МЕТАМАТЕРИАЛОВ

1967-1968

Советский физик Виктор Веселаго теоретически предсказал существование материалов с одновременно отрицательными диэлектрической (ε) и магнитной (μ) проницаемостями. Он назвал их «левосторонними» (left-handed materials), поскольку векторы электрического поля, магнитного поля и волновой вектор образуют левую тройку. Тогда это оставалось теоретической гипотезой.



Виктор Веселаго

1996-2000

Джон Пендри и его группа предложили практические конструкции (на основе расщеплённых кольцевых резонаторов и металлических проволок), которые позволили реализовать левосторонние среды.



Джон Пендри

2000 — 2026

Экспериментальная демонстрация метаматериалов в СВЧ-диапазоне, затем в оптике, акустике и механике; развитие метаповерхностей, программируемых и цифровых метаматериалов.

Как устроен метаматериал



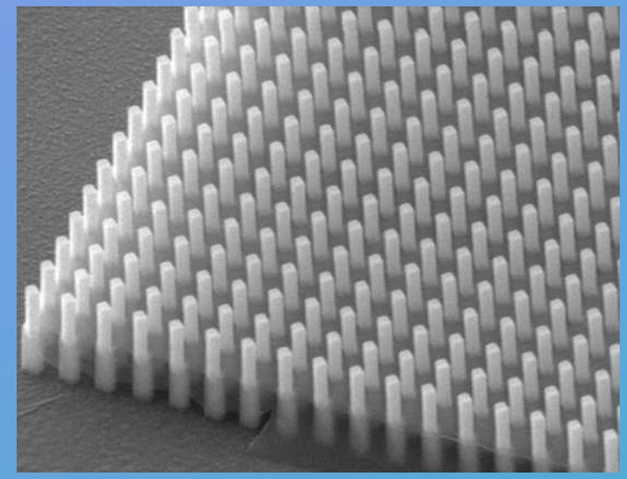
КОЛЬЦО С ЗАЗОРОМ

Отрицательная магнитная проницаемость может быть получена для проводящего кольца с зазором.



КОНСТРУКЦИЯ

Первый метаматериал представлял собой искусственную конструкцию из тонких металлических стержней и небольших медных колец с разрывами, расположенных в определённом порядке.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

В дальнейшем, уменьшая размеры структурных элементов, исследователи смогли перейти к созданию метаматериалов, работающих на более высоких частотах.

Классификация по типу взаимодействия

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ (ЭМ) МЕТАМАТЕРИАЛЫ

-управляют электромагнитными волнами (СВЧ, ТГц, оптика). Ключевые эффекты: отрицательное преломление, невидимость, сверхлинзы.

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

-управляют звуковыми волнами: звукоизоляция, акустическая «маскировка», фокусировка ультразвука.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

-обладают необычными механическими свойствами: отрицательный коэффициент Пуассона (ауксетики), высокая удельная прочность, поглощение энергии удара.

ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

-управляют тепловыми потоками: тепловая маскировка, концентрация или перенаправление тепла.

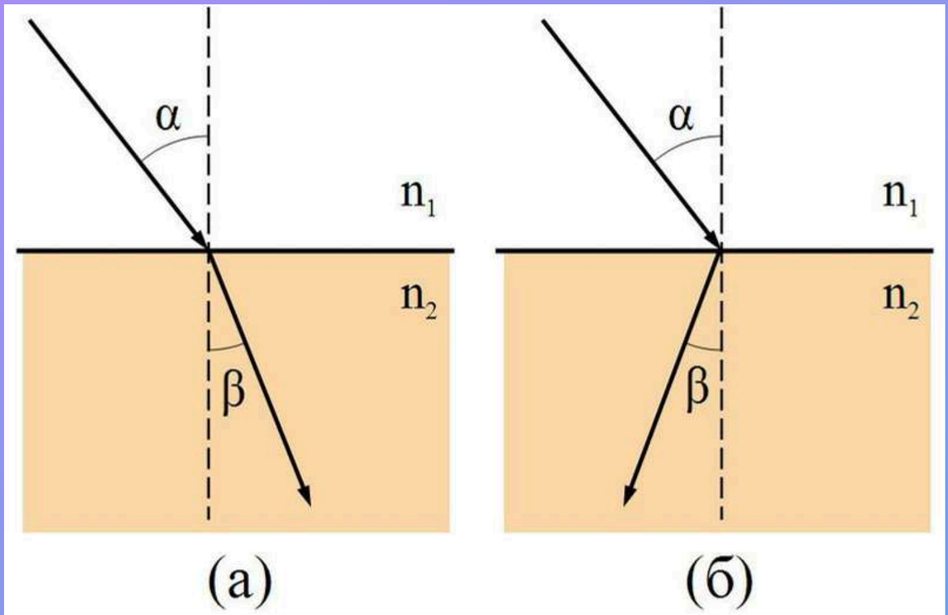
Отрицательное преломление



Гипотетическое отрицательное преломление в жидкости (справа) в сравнении с действием обычной воды (иллюстрация TU Wien)

Отрицательное преломление — это явление, при котором луч, переходя из одной среды в другую, отклоняется не в привычную сторону, а в противоположную, как если бы у среды был отрицательный показатель преломления. Теоретически его предсказал Виктор Веселаго в 1967 году, а экспериментально удалось реализовать только в метаматериалах — искусственных структурах, у которых одновременно отрицательны диэлектрическая и магнитная проницаемости.

Преломление света на границе двух оптических сред



$$n_1 \cdot \sin\alpha = n_2 \cdot \sin\beta$$

ЗАКОН СНЕЛЛИУСА

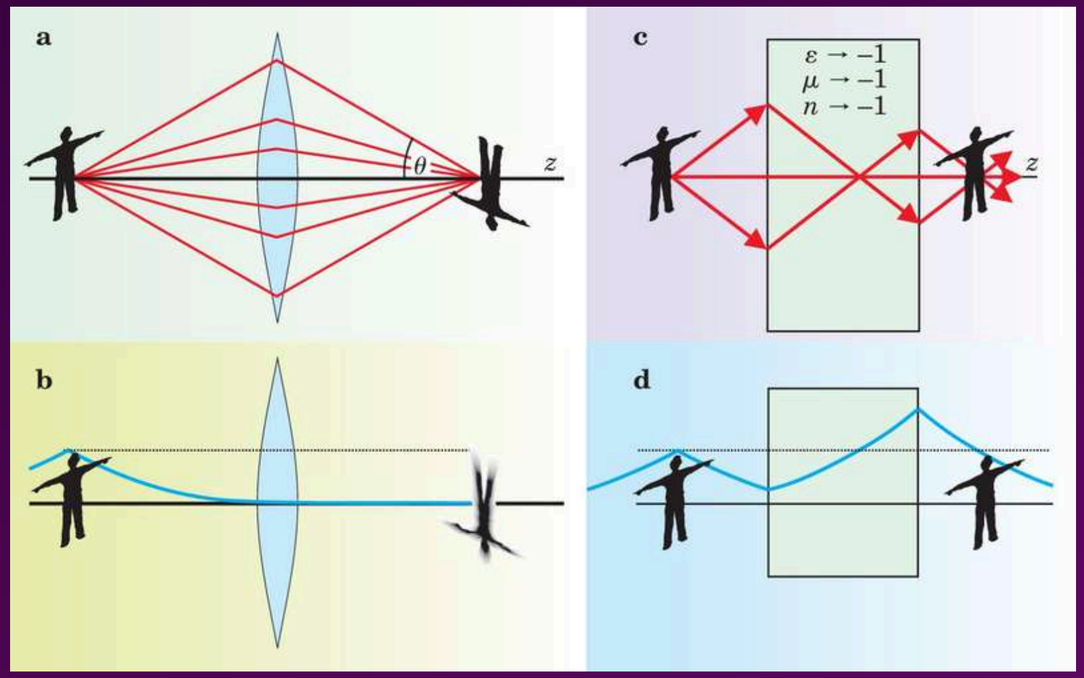
где α – угол падения света, пришедшего из среды с показателем преломления n1, а β – угол преломления света в среде с показателем преломления n2.

Отношение скорости света с в вакууме к фазовой скорости v света в среде называется абсолютным показателем преломления этой среды.

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon \cdot \mu} \approx \sqrt{\varepsilon}$$

n-абсолютным показателем преломления этой среды,
c- скорость света с в вакууме,
v- фазовая скорость света в среде,
ε – относительная диэлектрическая проницаемость,
μ – относительная магнитная проницаемость.

Суперлинза

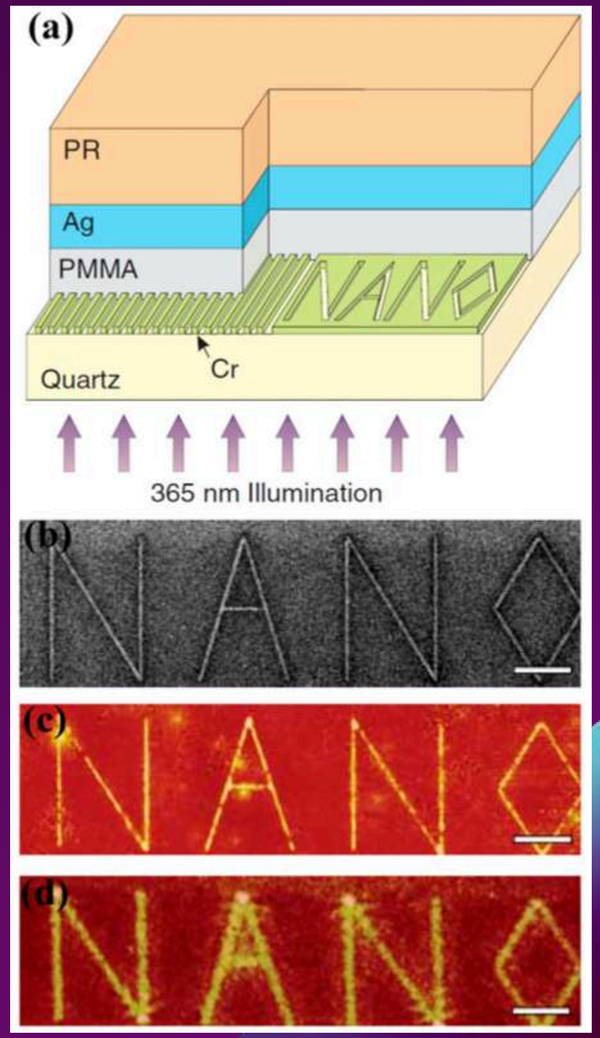


Обычная линза (a,b) не может различать мелкие детали. Часть информации о мелких деталях переносится так называемыми затухающими волнами, которые быстро ослабевают при удалении от объекта.

Обычные оптические линзы имеют ограничение, называемое дифракционным пределом. Они могут показывать детали, размер которых равен или больше длины волны света, отраженного от объекта. Линза, сделанная из метаматериала с отрицательным коэффициентом преломления, не обладает дифракционным пределом.

Суперлинза

В 2005 году исследователи Калифорнийского университета в Беркли экспериментально продемонстрировали работу суперлинзы.В ходе эксперимента учёным удалось получить изображение миниатюрной надписи «NANO» с разрешением лучше дифракционного предела. идеальная суперлинза Пендри была теоретической моделью материала с отрицательным показателем преломления, то серебряная суперлинза 2005 года стала реальным экспериментальным устройством, использующим отрицательную диэлектрическую проницаемость серебра.



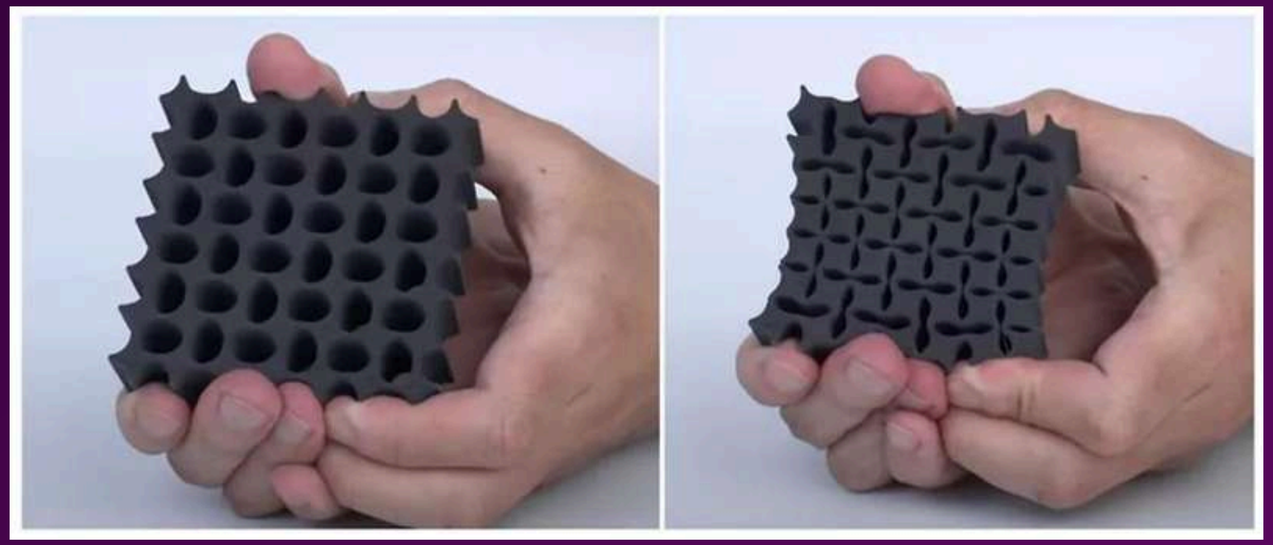
Свойства метаматериалов

Метаматериалы могут избирательно поглощать, пропускать или перенаправлять волны (электромагнитные, звуковые). Эти свойства используются при разработке оптических и радиочастотных фильтров, поглощающих покрытий, антенн и звукоизоляционных конструкций. Одно из наиболее необычных применений — создание маскирующих оболочек, способных направлять волны в обход объекта, делая его менее заметным для определённого вида излучения.



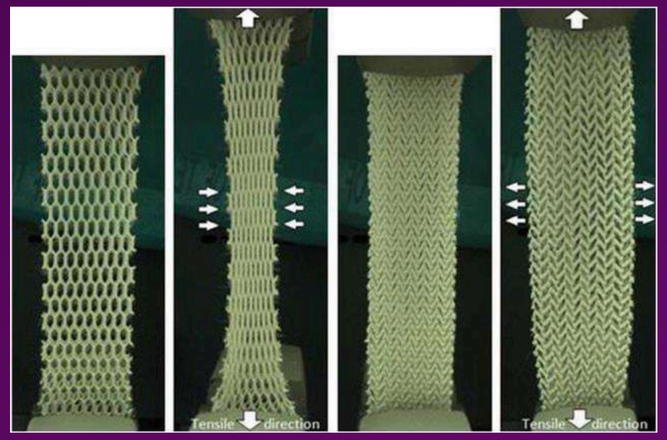
Концепт экрана-невидимки

Ауксетичность



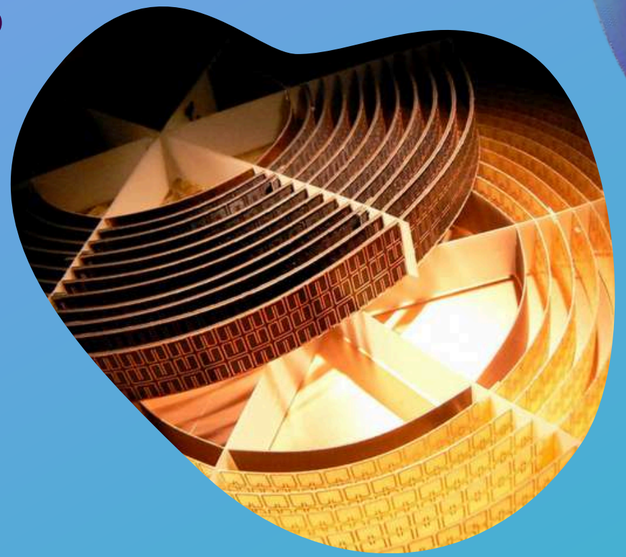
Ауксетичность (или ауксетичные материалы) — это материалы, которые обладают необычным свойством: при растяжении они становятся толще (расширяются) в перпендикулярном направлении, а при сжатии — сужаются.
В отличие от большинства обычных материалов (например, резинки, которая истончается, если её растянуть), ауксетики имеют отрицательный коэффициент Пуассона.

При растяжении ауксетик расширяется не только вдоль приложенной силы, но и в поперечном направлении. А при сжатии, наоборот, сужается в поперечном направлении.



Перепрограммируемые метаматериалы

Перепрограммируемые метаматериалы — это структуры, свойства которых (жёсткость, акустический отклик, параметры электромагнитной волны) можно изменять после изготовления с помощью внешнего сигнала: магнитного поля, электрического напряжения или механического воздействия. В отличие от обычных метаматериалов с фиксированной геометрией, они позволяют настраивать функциональность на лету — от «стирания и записи» механической памяти до динамического управления фронтом волны в программируемых метаповерхностях. Это открывает путь для создания адаптивных антенн, способных изменять направление излучения, систем активного шумоподавления, роботизированных конструкций с регулируемой жёсткостью и устройств других устройств, способных адаптироваться к различным условиям и задачам.



Метаматериалы и легкая промышленность

Лёгкая промышленность — это отрасли, выпускающие в основном предметы массового потребления: ткани, одежду, трикотаж, обувь, кожгалантерею, меховые изделия. Для лёгкой промышленности особенно интересны два типа:

МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

в том числе ауксетики: при растяжении они расширяются поперёк, а при сжатии — сужаются.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ/ТЕКСТИЛЬНЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

ткани с проводящими или структурированными элементами, которые управляют электромагнитными волнами.

Метаматериалы в легкой промышленности



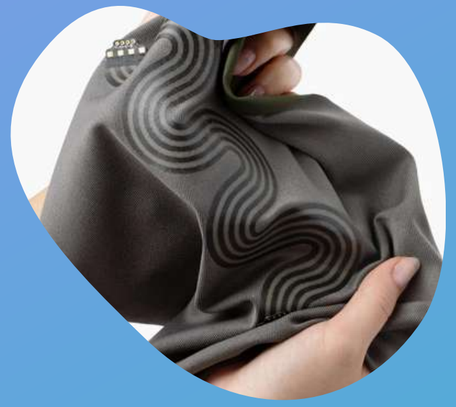
АУКСЕТИЧЕСКИЕ ТКАНИ

Из них можно делать одежду, которая лучше повторяет движения тела.. Актуально для спортивной одежды, защитных костюмов, обуви и протезов.



ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ауксетические волокна и ткани способны лучше поглощать энергию удара и распределять нагрузку-это перспективно для наколенников, жилетов, шлемов и спецодежды.



ТКАНИ-ЭКРАНЫ

Обычную ткань модно модифицировать проводящими полимерами, металлическими и углеродными слоями, чтобы она экранировала электромагнитные помехи. Такие материалы уже исследуют для защитной и носимой электроники.

Метаматериалы в легкой промышленности

Направление	Что дает метаматериал	Возможные продукты
Одежда и спорт	Лучшее прилегание, распределение давления, гибкость	Спортивная одежда, компрессионное белье, одежда с зонами поддержки
Защитная одежда	Поглощение и распределение удара при сохранении гибкости	Наколенники, жилеты, рабочаяяя одежда, элементы СИЗ
Обувь	Амортизация, адаптация к нагрузке, легкость	Стельки, подошвы,спортивная и ортопедическая обувь
Умный текстиль	Антенны,датчики,экранирование сигналов	Одежда с датчиками, носимые устройства, защитные ткани
Медицинский текстиль	Управляемая компрессия и комфортное прилегание	Бандажи, компрессионные изделия,эоементы протезов
Интерьер и товары для дома	Компактность, трансформация, легкие конструкции	складные ширмы, мебельные элементы, декоративные панели

Особенности применения



УМНАЯ ОДЕЖДА

Могут работать как гибкие антенны,сенсоры и избирательные экраны



ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВОЙСТВ

Меняют логику легкой промышленности “ткань+крой+пошив” к логике проектирования свойств изделия



ПРИМЕРЫ ИЗДЕЛИЙ

Кроссовок с ауксентической стелькой может расширяться в зоне стопы при нагрузке, а спортивная куртка-иметь тканевые зоны, экранироующие электромагнитныые помехи для носимой электроники

Контакты

Баркова Ульяна
+7 916 053 97 85
ulianka88@bk.ru



Источники

www.laser-portal.ru/content_139

www.itp.ac.ru/ru/news/science-news/132/