

- 1. Роль физики в фотонике.**
- 2. Предмет физики.**
- 3. Эксперимент и теория в физике.**
- 4. Физические модели.**

История фотоники

Определение фотоники

А.Н. Теренин 1967 г.:

«Совокупность взаимосвязанных фотофизических и фотохимических процессов».

В более широком, современном понимании определение фотоники было дано в 1970-м году на 9 Международном конгрессе по скоростной фотографии.

Фотоника-область науки и техники, связанная с разработкой, применением и эксплуатацией систем, носителем информации в которых является **фотон**.

Фотоника изучает:

- 1) процессы генерации фотонов источниками когерентного излучения(лазеры);
- 2) процессы распространения оптического излучения в свободном пространстве или в оптических волокнах;
- 3) электрооптические, электроакустические и другие методы модуляции оптического излучения;
- 4) взаимодействие оптического излучения с нелинейными средами;
- 5) детектирование оптического излучения.

Что включает в себя фотоника?

В настоящее время **термин «фотоника»** охватывает огромную область наук и технологий, связанных с использованием светового излучения, или потока фотонов. **Фотоника** включает оптику, лазерную физику, квантовую электронику, спектроскопию, оптоинформатику, оптоэлектронику, квантовые технологии, оптическую метрологию, голографию, солнечную энергетику. Сюда же можно отнести биофотонику, нанофотонику, радиофотонику, сенсорную фотонику.

Еще одно очень важное направление связано с обработкой материалов (аддитивные технологии). Фотоника имеет отношение к энергии и коммуникациям: «зеленой энергетике», а также лазерной передаче данных с орбитальных аппаратов. **Фотоника** занимается фундаментальной фотоникой и будет связано с созданием **квантовых (фотонных) компьютеров**, а также взаимодействием фотонов с метаматериалами, обладающих электромагнитными свойствами, которых не существует в природе. Сюда же можно отнести разные виды визуализации – биоимиджинг, видеоспектрометрию, теравидение.



Роль фотоники в развитии будущих информационных технологий

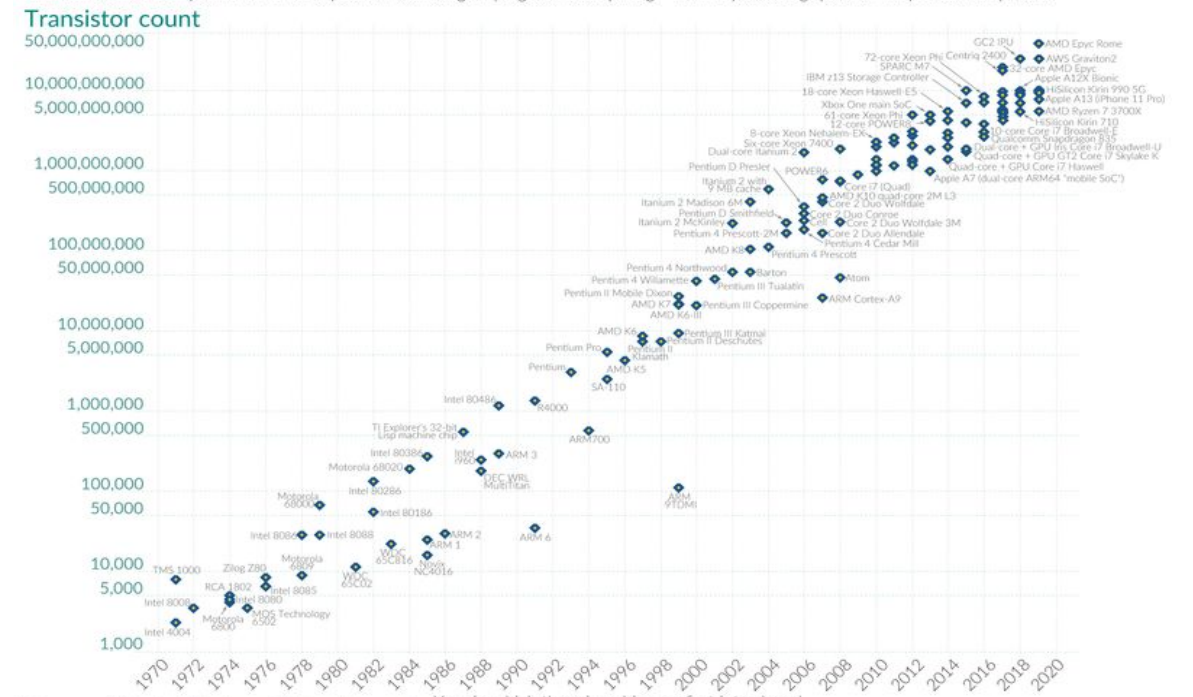
В эпоху информационных технологий человек не представляет себя без компьютеров, смартфонов и Интернета!!!



К.Т. прочно вошли в каждую сферу жизни людей. Во многих областях науки и техники необходимо производить высокопроизводительные вычисления или передачу большого объема данных.

Выведенный в XX веке эмпирический закон Мура гласит, что производительность процессоров должна удваиваться каждые 18 месяцев.

Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years Our World in Data
Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.



Роль фотоники в развитии будущих информационных технологий

Но, в последние годы их развитие подошло к технологическому пределу. Главная проблема заключается в обмене данными между вычислительными ядрами и памятью. Необходимо поднять пропускную способность каналов передачи информации. **Сделать это с помощью привычных методов становится невозможно!**

Переход на оптическую передачу данных – закономерный и логичный шаг в сложившейся ситуации. Дальнейшее развитие в этом направлении застопорилось из-за физических свойств кремния. Как материал создания оптических элементов для кремниевой фотоники он подходит отлично. Но в остальном его характеристики не идеальны. Кремний является полупроводником с непрямой запрещенной зоной, он плохо поглощает и излучает свет.

В качестве базы для лазерных излучателей приходится использовать другие полупроводниковые материалы, которые плохо совместимы с остальными элементами фотонной интегральной схемы. Решение этой проблемы должно привести к революции в фотонике и областях знаний, где она играет важную роль. Объединение в одном небольшом чипе лазерного излучателя, устройств модулирования и детектирования света позволит создать каналы передачи информации с терабитной пропускной способностью, что выведет информационные технологии на совершенно иной уровень.

Однако, следует отметить, что уже сейчас созданы оптические трансиверы на базе кремниевой фотонной технологии, обеспечивающие передачу данных со скоростью 100 Гбит/с и более.



Оптический трансивер от Intel на базе кремниевой фотонной технологии.

Роль фотоники для развития науки и техники

- Д. Белл выделял в истории человечества три технологических революции:
 - изобретение паровой машины в XVIII веке;
 - достижения в изучении химии и электромагнетизма в XIX веке;
 - изобретение компьютеров в XX веке;
 - **в XXI веке фотоника сыграет ту же роль, что прежде - паровая машина и электроника....**
- **В. Шалаев** (американский физик русского происхождения, профессор Университета Пердью (США, специалист в области нанооптики и метаматериалов, лауреат премии имени Макса Борна (2010) и премии Уиллиса Лэмба (2010) и один из самых высокоцитируемых российских физиков, живущих за рубежом).
- «Технологических революций можно вспомнить несколько. Одна из относительно недавних революций — это, конечно, **транзисторы**. Появилась вся электроника, появились компьютеры.
- Следующая технологическая революция — **лазеры**. Появилась оптоволоконная связь. Это полностью изменило мир.
- Следующей, я надеюсь, будет квантовая технологическая революция. Вещи, которые изменят нашу жизнь, — **квантовая информатика, квантовые компьютеры**. Это будет совершенно революционно»

Развитие фотоники-объективная необходимость современности

Развитие электроники происходило в несколько этапов:

- 1) Понятие базовых **физических** принципов,
- 2) создание основных компонентов устройств электроники (конденсаторов, катушек индуктивности, сопротивления, радиоламп, и т.д.).
- 3) Разработка полупроводниковых диодов, и транзисторов, применявшиеся в электронных схемах различного назначения, начиная от связи и заканчивая управлением. Характерной особенностью этого этапа является «дискретный» характер устройств электроники.

Затем, во второй половине XX века, появились устройства высокой степени интеграции – **микросхемы, а потом и процессоры, содержащие громадное количество элементарных компонент.** В результате произошёл переход количества в качество, наиболее яркой и понятной иллюстрацией которого может служить **современный смартфон.**

В настоящее время подключение к информационным сетям, которое 15-20 лет назад было доступно только воображаемым героям фантастики, является повседневной реальностью для любого человека. Возможности современной электроники в значительной степени обусловлены прорывными достижениями в области технологии устройств высокой степени интеграции.

Ограничения дальнейшего развития устройств электроники

Однако высокая степень интеграции явилась, в свою очередь, источником ограничений дальнейшего развития устройств электроники. Миниатюризация и высокая плотность компонент процессоров привели к возникновению множества проблем.

Во-первых, каждый элемент электронного устройства выделяет тепло. Тепловыделение отдельного транзистора незначительно, однако вследствие высокой плотности транзисторов суммарное тепловыделение становится существенным, что приводит к перегреву процессора из-за отсутствия материалов, способных эффективно отводить тепло.

В настоящее время такие гиганты индустрии, как Google и Facebook, были вынуждены расположить свои «дата-центры» (центры обработки данных) в условиях холодного климата: за полярным кругом и на Севере на нефтяных платформах, где много холодной воды. А крупнейший в Китае дата-центр находится на высоте в 1065 м над уровнем моря в Хух-Хото, во Внутренней Монголии. Проблема требует решения, потому что плотность систем хранения данных будет только расти. Из культуры пользователей уходит навык что-то стирать или уничтожать, как было еще 20 лет назад, когда люди пользовались дискетами или дисками. Облачное пространство кажется бесконечным.

Ограничения дальнейшего развития устройств электроники

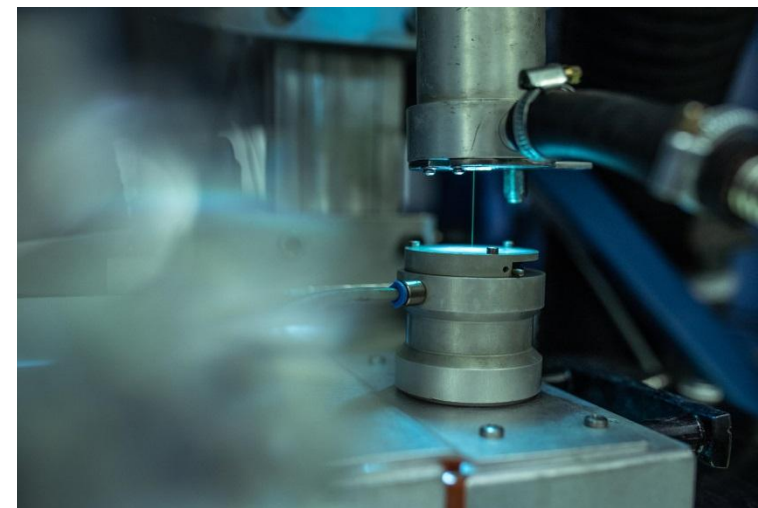
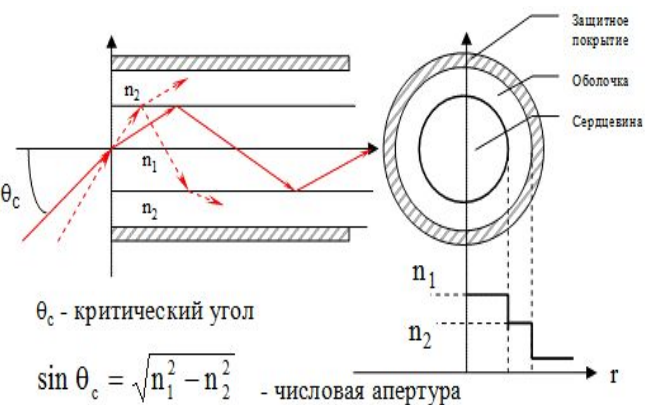
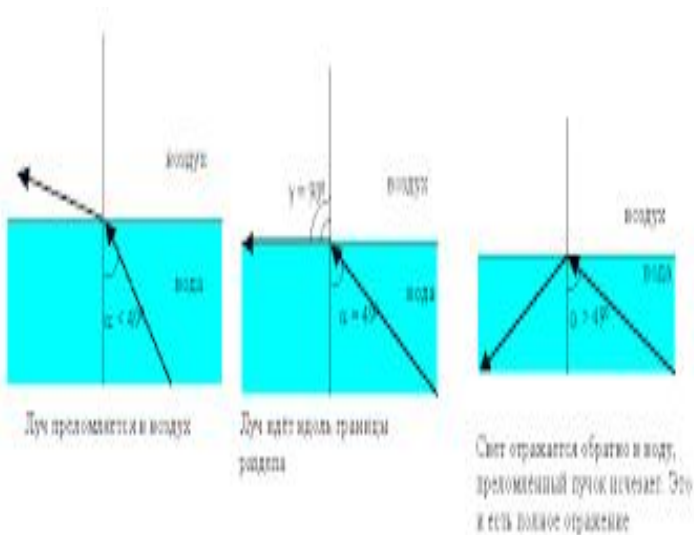
- **Вторая проблема** связана с малыми размерами элементов процессора. По законам физики хорошо известно, что, с малых объектов очень хорошо «стекает» заряд. Неконтролируемая утечка заряда, в свою очередь, приводит к увеличению вероятности возникновения ошибки при работе устройства. Кроме того, при большой плотности элементов, включая электрические соединения, возрастают паразитные ёмкости, индуктивности и сопротивления. Результатом является увеличение характерного времени переходных процессов, что препятствует повышению тактовой частоты.

В течение последних нескольких лет тактовая частота процессор практически не растёт, дальнейший прогресс осуществляется в результате совершенствования их архитектуры И, наконец, число электронов, принимающих участие в элементарном логическом акте, приблизилось к единице, что является естественным ограничением процесса дальнейшей миниатюризации.

Совокупность обозначенных выше проблем формирует серьёзные ограничения в развитии различных приложений электроники. Растущие требования, предъявляемые к информационным системам, вызвали к жизни идею использовать в качестве носителей информации не электроны, а фотоны. Аналогичная ситуация имеет место во многих других приложениях, что привело к возникновению фотоники – области науки и техники, где на смену электронам пришли фотоны.

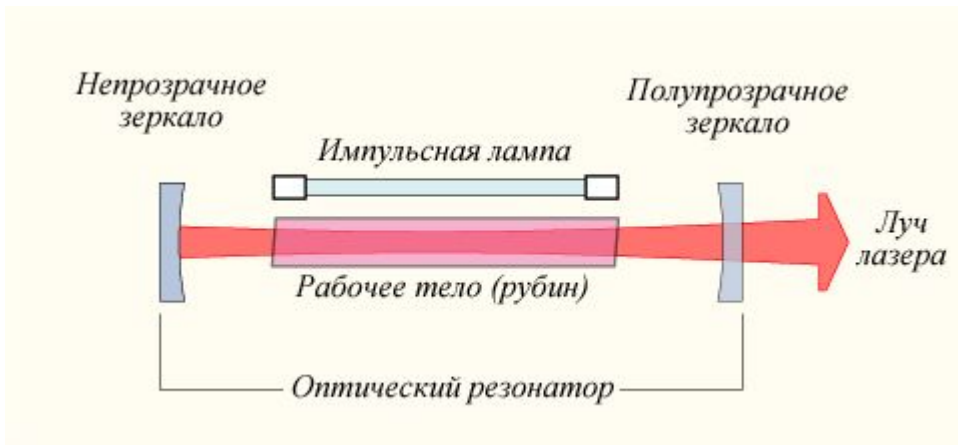
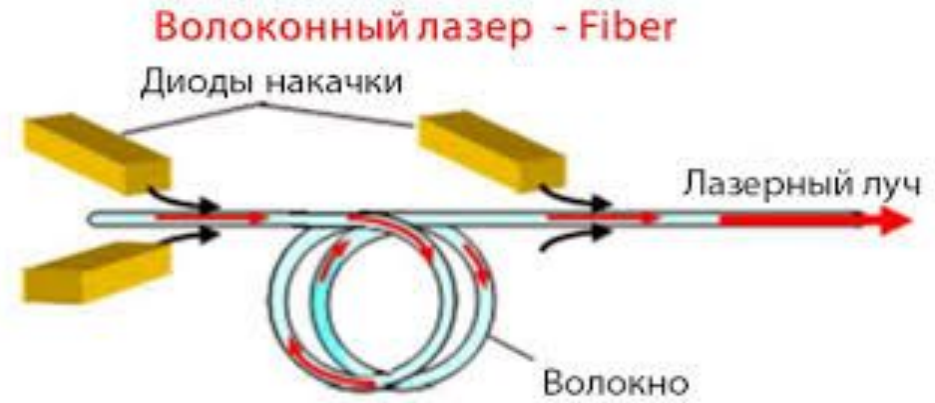
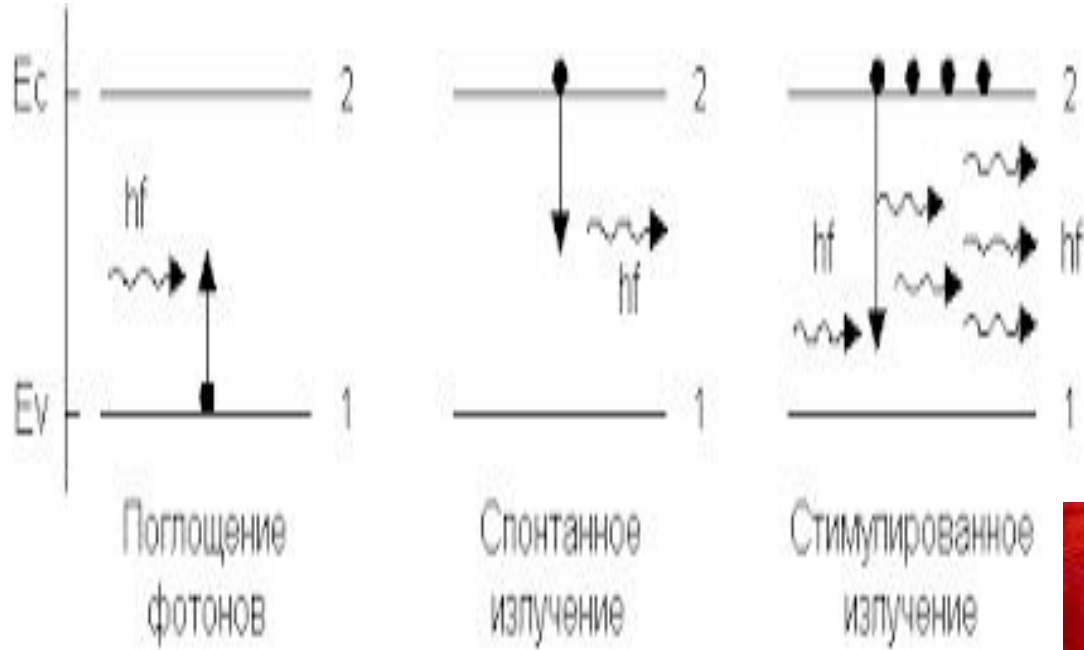
Однако на пути развития фотоники стоит множество серьёзных проблем. Электроны имеют заряд, поэтому могут управляться электрическим или магнитным полями. Фотоны нейтральны и сейчас перед наукой стоит проблема эффективного управления фотонами. Отсутствие эффективных механизмов управления потоками фотонов является одной из причин отсутствия быстродействующих оптических компьютеров, а также систем обработки информации, основанные исключительно на устройствах фотоники.

Оптические световоды



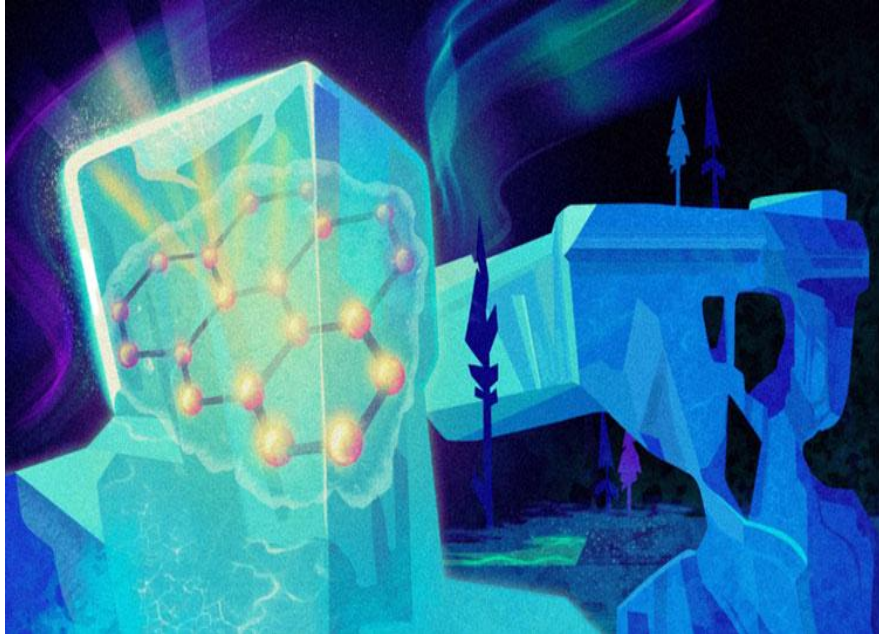
Луч света распространяющийся в сердцевине OB под углом \leq критического испытывает на границе раздела сердцевина/оболочка эффект полного внутреннего отражения. Такой луч называется *ведомой модой* и способен распространяться на очень большие расстояния.

Принципы работы лазера

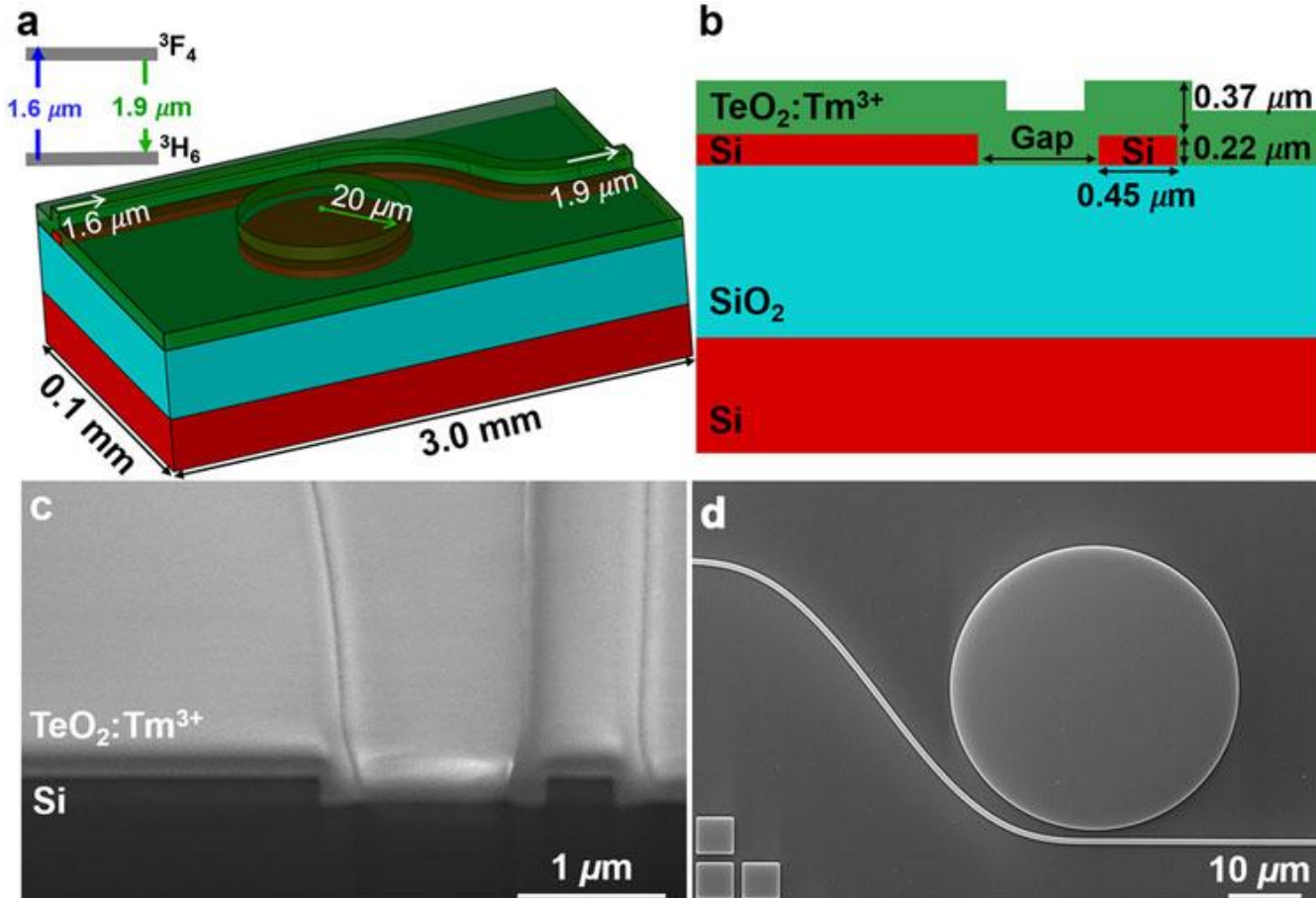


Аномально сильное поглощение света намагниченным графеном пригодится в фотонике и для связи 6G

Исследователи из МФТИ (Россия), университета Регенсбурга (Германия), Массачусетского технологического института и университета Канзаса (США) обнаружили аномально сильное поглощение света в намагниченном графене. Явление может быть использовано в разработке чрезвычайно компактных устройств связи, чувствительных датчиков и систем генерации электричества от солнечной энергии. Работа опубликована в *Nature Physics* — самом престижном издании по физике.



Технология создания лазеров на кремнии — потенциальный прорыв в кремниевой фотонике



Резонатор представляет собой миниатюрный вытравленный в кремниевой подложке диск с сужающимся зазором между ним и соседней рельефной кремниевой структурой. С помощью одноэтапного напыления на диск и соседние поверхности наносится плёнка теллурита, легированного тулием. Плёнка, легированная ионами тулия обеспечивает генерацию фотонов с длиной волны 1,9 мкм.

Как сделать вещи невидимыми?

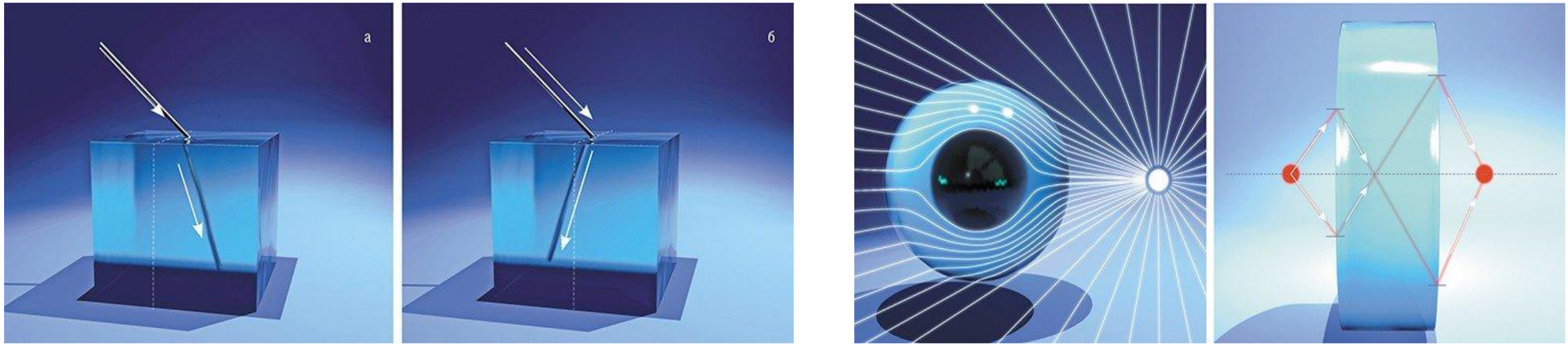
В. Шалаев.

Используя метаматериалы — искусственно созданные материалы с не существующими в природе свойствами.

Плащ-невидимка, лишь одно из возможных применений метаматериалов. Важно, что с помощью таких материалов можно создавать пространство для света. Обычно свет в свободном пространстве распространяется вдоль прямых линий — лучей. А метаматериалы как бы искривляют пространство, заставляют свет идти в определенном направлении. Они могут работать, как черная дыра, и полностью захватывать свет или делать так, чтобы свет огибал предмет. Если создать из таких материалов одежду, то появится эффект невидимости. Свет обходит вокруг вас, можно увидеть, что находится за вами, но вас увидеть становится невозможно.

Концепция метаматериалов, которые позволяют создать пространство для света и контролировать его свойства, — одна из самых блестящих идей в физике за последнее время. На самом деле более интересный результат не уже упомянутый плащ-невидимка, а работа, где мы продемонстрировали первый материал с отрицательными показателями преломления. Показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света замедляется в материале по сравнению с вакуумом. Обычно в материале свет распространяется чуть медленнее, потому что он взаимодействует с атомами. Отрицательное преломление говорит о том, что энергия в таком материале распространяется в одном направлении, а фаза — в другом. Это фантастическое

Как сделать вещи невидимыми?



Схематичная иллюстрация преломления света в системах: воздух–обычный материал с положительным коэффициентом преломления (а); воздух–метаматериал с отрицательным коэффициентом преломления (б)

Схематичная иллюстрация огибания лучами предмета, окруженного метаматериалом. Справа: Построение хода лучей в собирающей линзе на основе плоскопараллельной пластины из метаматериала с отрицательным коэффициентом преломления. У такой линзы отсутствует фокальная плоскость – это означает, что она создает объемное изображение. С помощью такой линзы возможна передача изображений с разрешением, много меньшим длины волны

Медицинская фотоника



Зачем физика Вам?

- Изучение физики дает человеку хорошую подготовку к широкому диапазону видов деятельности, включая инженерное дело, научное исследование, преподавание, даже работу в финансовом секторе. Знание научных методов физики, полученное во время обучения в университете, окажется ценным в любой будущей карьере.

- 1) Что изучает физика?
- 2) Теория и эксперимент в физике.
- 3) Физические модели.
- 4) Связь физики с другими науками.
- 5) Разделы физики.
- 6) Механика. Классическая механика. Квантовая механика.

Релятивистская механика.

Физика - наука о природе.

А.Ф. Иоффе (1880 – 1960), российский физик, **определил физику, как науку, изучающую общие свойства и законы движения вещества и поля.**

Окружающий нас мир, все существующее вокруг нас и обнаруживаемое нами посредством ощущений, представляет собой материю.

Неотъемлемым свойством материи и формой её существования является **движение** – это всевозможные изменения материи – от простого перемещения до сложнейших процессов мышления.

В настоящее время общепринято, что все взаимодействия осуществляются посредством полей (например, гравитационных, электромагнитных, полей ядерных сил). **Поле**, наряду с веществом, является одной из форм существования материи. Неразрывная связь поля и вещества, а также различие в их свойствах рассматриваются в курсе физики.

Методами физических исследований являются: опыт, гипотеза, теория, эксперимент.

Опыт - основной метод исследования в физике, он заключается в наблюдение исследуемого явления в точно контролируемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и воссоздать его каждый раз при повторении этих условий.

Гипотеза - научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо факта или явления. Гипотеза подтверждается опытом.

Эксперимент - научно поставленный опыт с целью проверки гипотезы.

Физическая теория - система основных идей, обобщающих опытные данные и отражающих объективные закономерности природы. Она дает объяснение целой области явлений природы с единой точки зрения.

Механика.

Механика – раздел физики, изучающий закономерности механического движения. Основные законы механики установлены итальянским физиком и астрономом Г. Галилеем (1564 - 1642) и окончательно сформулированы английским ученым И. Ньютоном (1643 - 1727).

Механика Галилея-Ньютона называется классической механикой, в ней изучаются законы движения макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света в вакууме ($v \ll c$). Законы движения макроскопических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света в вакууме, изучаются релятивистской механикой, законы движения микроскопических тел (отдельные атомы и элементарные частицы) - изучаются квантовой механикой.

Классическая и квантовая механика



Для электрона мы можем описать лишь примерно, в каких областях он может находиться, и с какой вероятностью