КАФЕДРА ФОТОНИКИ И ФИЗИКИ МИКРОВОЛН



Заведующий кафедрой

Сухоруков Анатолий Петрович, профессор, д.ф.-м.н., лауреат Ленинской, Государственной и Ломоносовской премий,

У нас на кафедре 15 научно-исследовательских лабораторий; ведется активное сотрудничество с РАН: ИОФ, НЦВО, ЦЕНИ, ИРЭ.

Мы приглашаем студентов младших курсов стать членами нашего дружного коллектива



Кого готовит кафедра

Набор на кафедру в этом году - 13 студентов.

- Специальность физика
- Специализация радиофизика, лазерная физика и нелинейная оптика и др.
- Бакалавр (4 года), магистр (2 года после бакалавриата)

Лекции, семинары, практикум, дипломная работа (подготовка бакалавра)

3 курс осенний семестр

Научно-исследовательская работа

3 курс весенний семестр

- 1. Теория колебаний (ч. 1)
- 2. Введение в фотонику
- 3. Спец. физический практикум

Научно-исследовательская работа

4 курс осенний семестр

- 1. Теория колебаний (ч. 2)
- 2. Теория волн (ч. 1)
- За. Введение в физику микроволн
- 3б. Основы плазмоники
- 4. Спец. физический практикум
- 5. Научно-исследовательский семинар

Научно-исследовательская работа

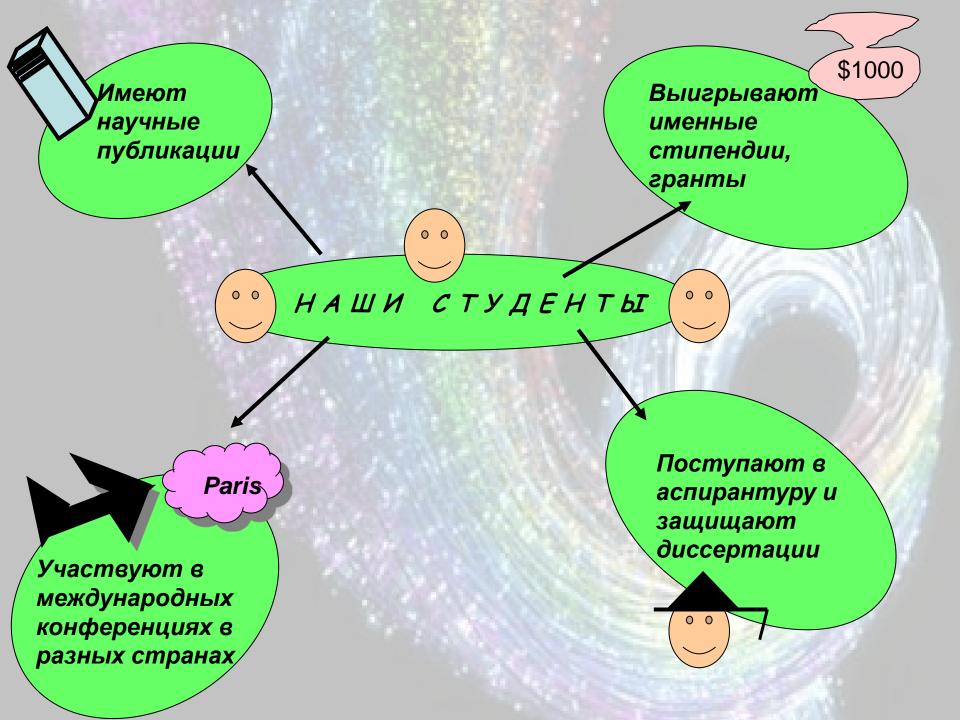
4 курс весенний семестр

- 1. Теория волн (ч. 2)
- 2. Статистическая радиофизика
- 3. Численные методы в физике
- **4а. Нелинейные квантовые явления в оптике**
- 4б. Распространение радиоволн в атмосфере
- 5а. Терагерцовая фотоника
- 5б. Оптическая и акустическая голография

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Лекционные курсы и курсы специализации (магистратура)

- 1. Магнитооптика и фотонные кристаллы
- 2. Динамика нелинейных колебаний и волн
- 3. Когерентное излучение электронов
- 4. Теория сигналов
- 5. Твердотельная электроника
- 6. Электромагнитные свойства веществ
- 7. Волны в слоистых средах
- 8. Физика наноструктур
- 9. Методы моделирования в нелинейной фотонике



На физфаке: кафедры

- •математики,
- •акустики
- •*ОФВП*,
- •квантовой статистики и теории поля,
 - •оптики и спектроскопии,
 - •физики колебаний,
 - •квантовой электроники.

PAH

- •ИОФ РАН (наноструктуры, нелинейная оптика, лазеры, волоконная и магнитооптика),
- •НЦВО,
 - **•**ЦЕНИ,
 - •ФИ РАН
 - •ИРЭ РАН,
 - •ИСОИ РАН.

НАШЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Государственные учреждения, министерства и ведомства РФ

Коммерческие проекты

Университеты в

- •Kumae,
- •Австралии,
- •Германии,
- •Испании,
- •Италии,
- •*США*,
 - •Индии,
 - •Норвегии.



Научные направления

ФОТОНИКА

- Нелинейная фотоника и плазмоника
- Магнитооптика и плазмоника
- Оптоэлектроника и акустооптика
- Математическое моделирование волновых процессов в фотонных кристаллах

ФИЗИКА МИКРОВОЛН

- Распространение радиоволн и беспроводная связь в урбанизированной среде
- Микроволновая электроника и беспроводная передача энергии
- Микроволны в радиовидении, спектроскопии и биомедицине
- Телекоммуникационные системы
- Распространение электромагнитных волн в атмосфере
- Электромагнитные волны в слоисто-неоднородных средах
- Разработка сверхчувствительных сенсоров
- Релаксация дефектов при микроволновой обработке материалов
- Электромагнитная экология
- Субмиллиметровая спектроскопия

ФОТОНИКА – искусство управления светом.

В электронике носителем информации является электрон, а в фотонике – фотон.

Общепризнано, что XXI столетие – век фотона.

Задача фотоники – управление характеристиками электромагнитной волны с помощью света, звука, магнитного поля, и т. д.



Лаборатория нелинейной фотоники и плазмоники

Руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Анатолий Петрович СУХОРУКОВ

Сотрудники: доцент, к.ф.-м.н. Григорий Алексеевич Князев

м.н.с. Дарья Олеговна Игнатьева

с.н.с., к.ф.-м.н. А.А. Калинович

профессор, д.ф.-м.н. С.В. Сазонов

Аспиранты:

Татьяна Войтова Дмитрий Зверев Игорь Савочкин

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ



ОТРАЖЕНИЕ ПУЧКОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

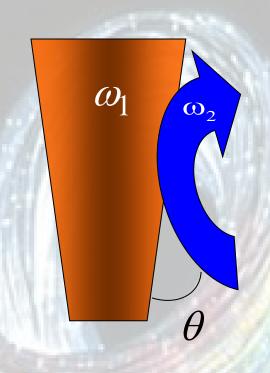
Нелинейные среды: показатель преломления зависит от амплитуды световой волны

- •фоторефрактивные кристаллы,
- •среды с тепловой нелинейностью,
- •кубичные и квадратично-нелинейные среды

Принцип действия:

Мощный оптический пучок формирует эффективную неоднородность показателя преломления, которая является своеобразным зеркалом в среде (аналог полного внутреннего отражения).

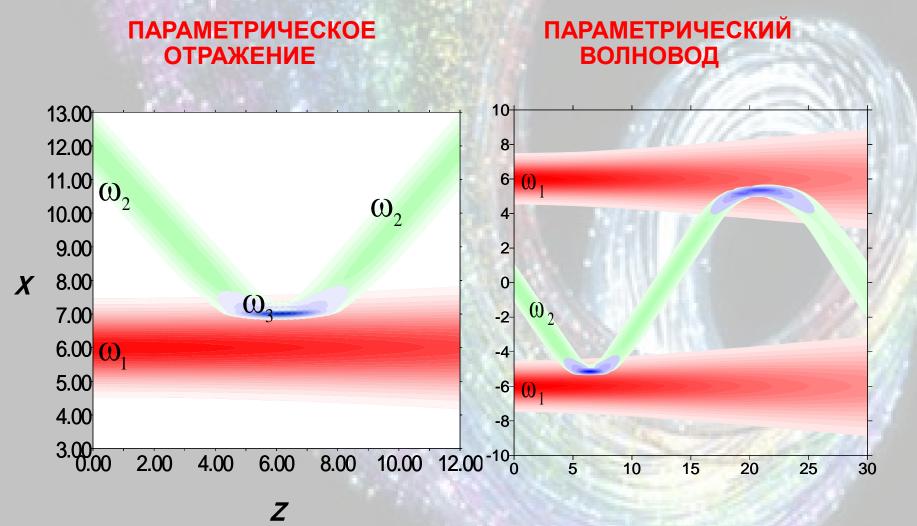
При определенных начальных условиях второй сигнальный пучок отражается от созданной накачкой неоднородности – осуществляется пространственное переключение сигнала.



Применение: оптические переключатели, основанные на эффекте отражения оптических пучков в дефокусирующей нелинейной среде

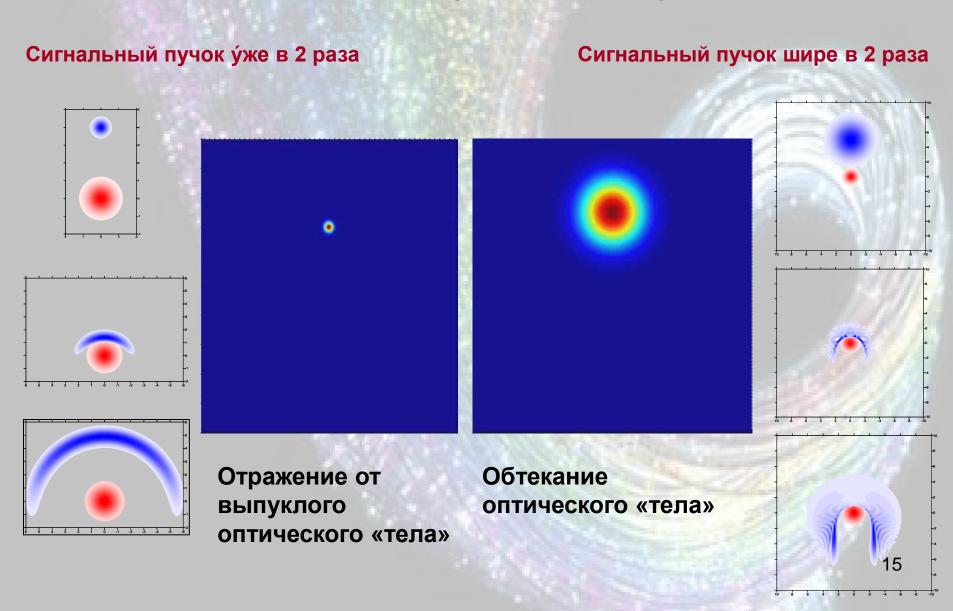
ОТРАЖЕНИЕ ПУЧКОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

Отталкивание лазерных пучков в квадратичнонелинейной среде



ОТРАЖЕНИЕ ПУЧКОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

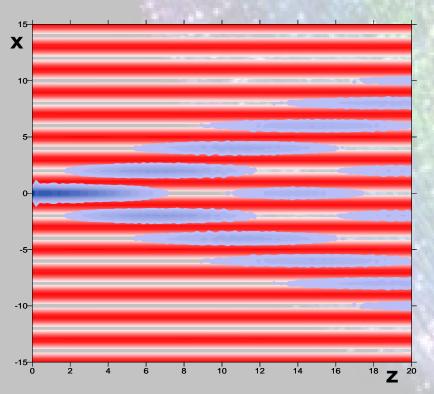
Динамика дифракции сигнального пучка (синий) на пучке накачки (красный)

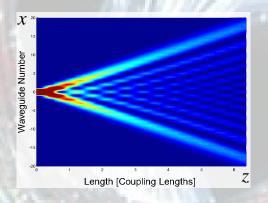


КАСКАДНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ

Индуцированные решетки в кубично-нелинейной среде: большая нелинейность, но модуляционная неустойчивость и большое время релаксации.

Каскадный процесс в квадратичнонелинейных средах лишен этих недостатков





Дискретную дифракцию можно применять для мультиплексирования каналов в системах передачи данных!

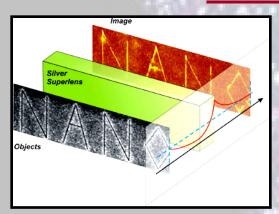
ОПТИКА МЕТАМАТЕРИАЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РЕФРАКЦИЕЙ

МЕТАМАТЕРИАЛЫ – искусственные среды, в которых резонансные элементы (размерами меньше длины волны) играют роль атомов в обычных веществах. Поэтому в таких средах возможно одновременно отрицательные ε и μ, и, как следствие, показателя преломления n.



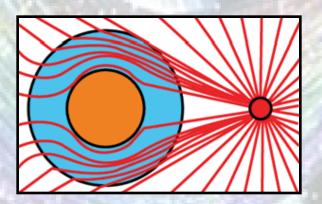
Оптические метаматериалы => элементы размера порядка 10-100 нм.

Новые уникальные возможности:



• Суперлинза (разрешение изображения больше, чем длина волны λ – критерий Релея)

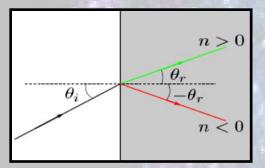
• Плащ-невидимка (возможность маскировки объетов, находящиеся за ними)



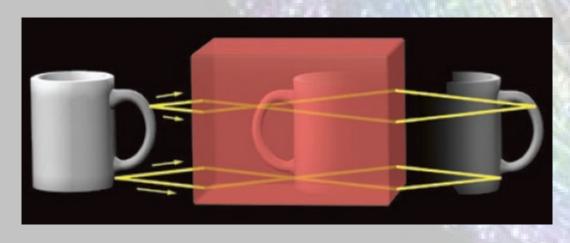
ОПТИКА МЕТАМАТЕРИАЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РЕФРАКЦИЕЙ

Распространение волн в средах с отрицательным показателем преломления описывается *теми же* формулами, что и в обычном случае

Преломление: падающий и преломленный лучи лежат по одну сторону от нормали к границе раздела







Принцип работы «суперлинзы»: фокусировка компонент ближнего и дальнего поля за счет отрицательной рефракции

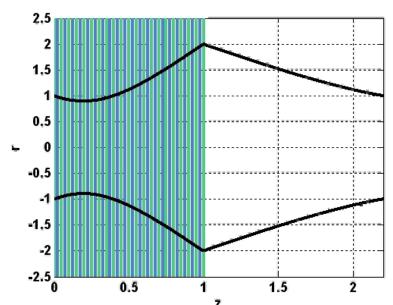
ОПТИКА МЕТАМАТЕРИАЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РЕФРАКЦИЕЙ

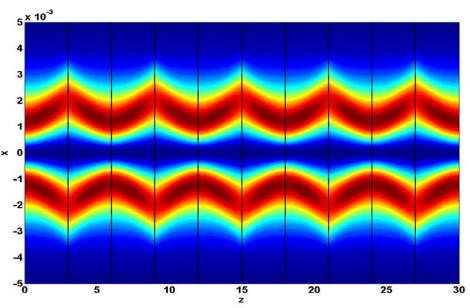
Возможное применение:

Квазиволноводное распространение пучков:

Аналогия фокусировки линзовой линией, только для любых (не только гауссовых) пучков.

Hапример, A(x)=x*sech(x)





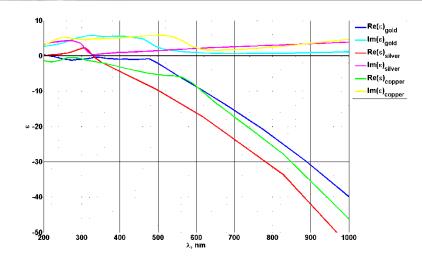
В резонаторе:

- Появление волноводных мод в резонаторе с <u>двумя выпуклыми</u> и <u>двумя плоскими</u> зеркалами
- Возможность мод с произвольным профилем
- Контроль <u>ширины моды</u>
- Контроль <u>устойчивости</u>

плазмоника

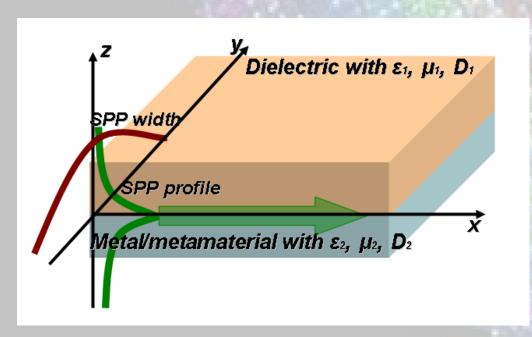
Диэлектрическая проницаемость металлов (модель Друде-Лоренца)

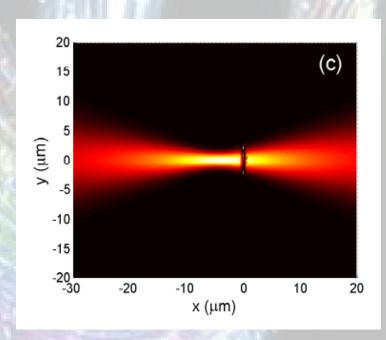
$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} - \frac{\omega_{ep}^{2}}{\omega^{2} - \omega_{eo}^{2} + i\gamma\omega}$$



Вдоль границы сред с разным знаком

диэлектрических или магнитных проницаемостей могут распространяться плазмонные волны



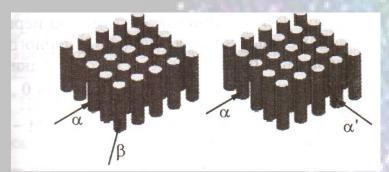


МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Доценты В.Ф. Марченко, И.Г. Захарова. Старший преподаватель М.В. Комиссарова н.с. И.Ю. Полякова <u>zaharova@phys.msu.ru</u>, ауд. 4-61

Численное моделирование линейных и нелинейных процессов в фотонных кристаллах. Основное внимание – распространению волновых пакетов (временных и пространственных) в области брэгговского резонанса периодической структуры.

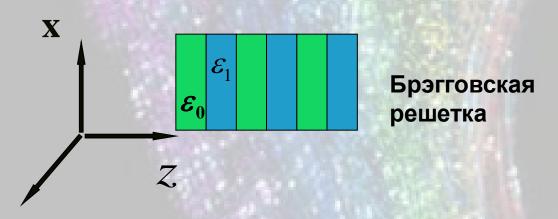
Фотонные кристаллы – структуры с периодической модуляцией диэлектрической проницаемости





- *Полосы пропускания и НЕпропускания излучения.
- * Любой вид дисперсии.
- * Нелинейные эффекты

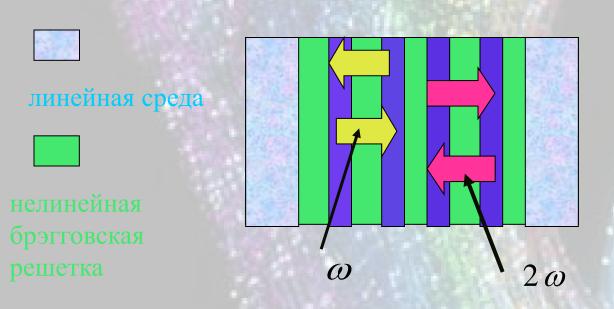
Периодическая структура – простейшая модель одномерного фотонного кристалла



Распространяются встречные волны, обменивающиеся энергией.

Изучается задача о дифракции очень узких пучков (апертура порядка нескольких оптических длин волн).
Пучки сильно дифрагируют вне области непропускания и затухая, сохраняют форму внутри нее.

Квадратичная нелинейность: волны на основной и удвоенной частотах.



Рассматривается двойной брэгговский резонанс, когда частота накачки лежит во второй полосе непропускания, а частота субгармоники — в первой полосе фотонного кристалла с квадратичной нелинейностью. Спектр возбуждаемой субгармоники может меняться от узкополосного спектра до спектра, занимающего всю частотную ширину брэгговского резонанса.

Лаборатория магнитооптики и плазмоники

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Владимир Игоревич БЕЛОТЕЛОВ



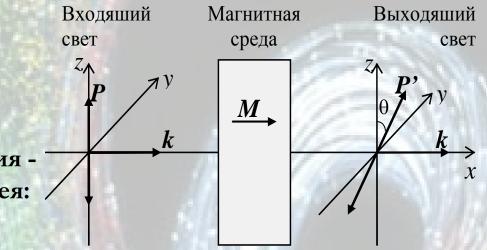
н.с. Андрей Николаевич Калиш аспиранты

Николай Хохлов Мария Майорова

BelotelovVI@gmail.com к. 4-64



Магнитооптика – управление светом с помощью магнитного поля



Управление поляризацией излучения - магнитооптический эффект Фарадея:

Одна из основных задач магнитооптики

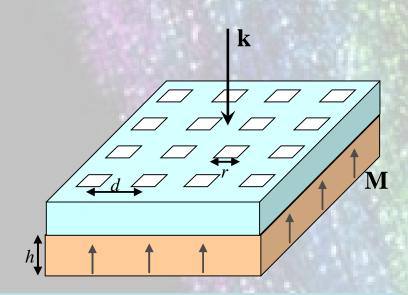
Получить материал:

- большой угол Фарадея (45°)
- большой коэффициент прохождения (>20%)

Пути решения

- Поиск материалов с большим значением гирации (удельного угла Фарадея) BiYIG; CdMnTe; ...
- Поиск нано и микро-структур, в которых МО эффекты усиливаются

Примеры наноструктурированных материалов магнитные фотонные кристаллы

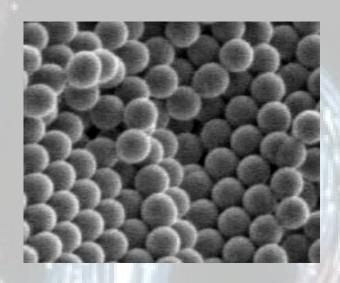


Перфорированная пленка

Металл – Au (h=68 нм, d=750 нм, r=390 нм)

Диэлектрик – BiYIG (h=117.6 нм)

Эффект Фарадея усиливается в десятки раз Прохождение велико 50%

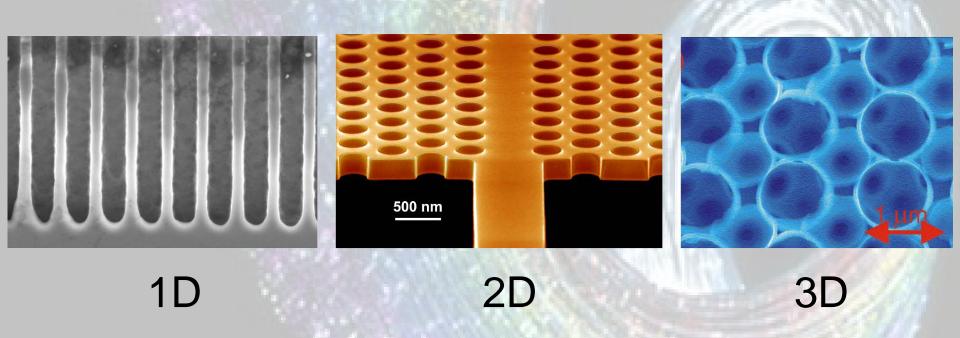


Немагнитные коллоидные сферы + полости, заполненные магнитной жидкостью

 $N - SiO_2$ M - магнитные жидкости

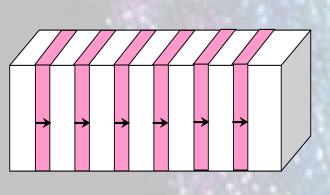
Эффект Фарадея усиливается в десятки раз Прохождение велико 50-80%

Периодическое наноструктурирование: фотонные кристаллы

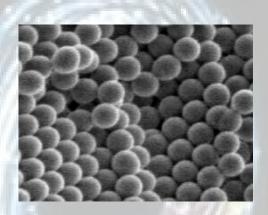


Оптические свойства (коэффициенты прохождения, отражения, поглощения) сильно зависят от структуры

Эффект Фарадея в магнитных фотонных кристаллах

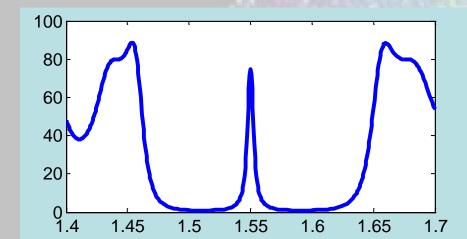


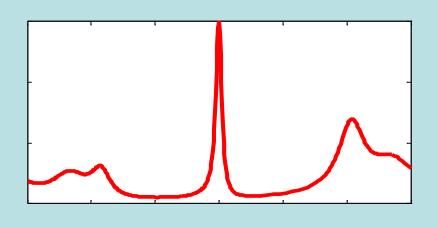




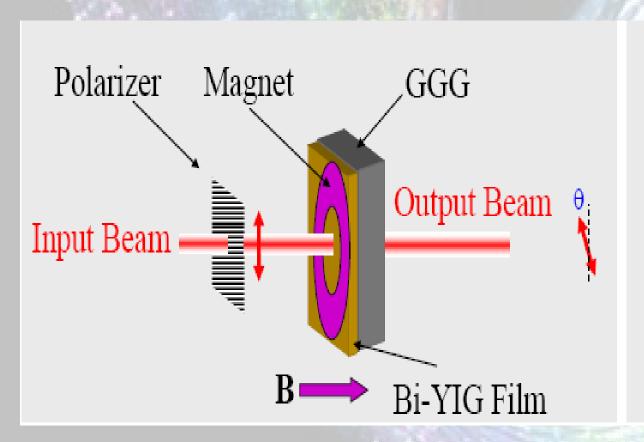
Коэффициент прохождения

угол Фарадея





Магнитооптический модулятор интенсивности света



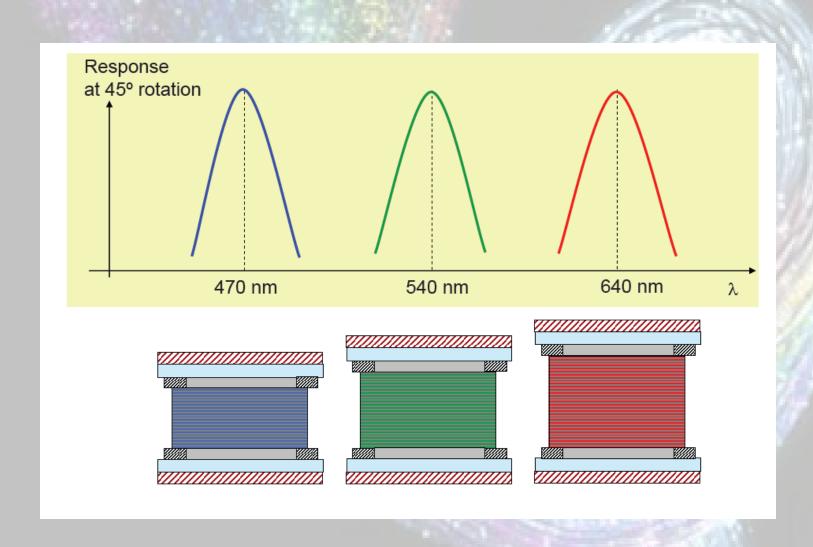
$\theta = VBl$

V = material constant

B = magnetic field

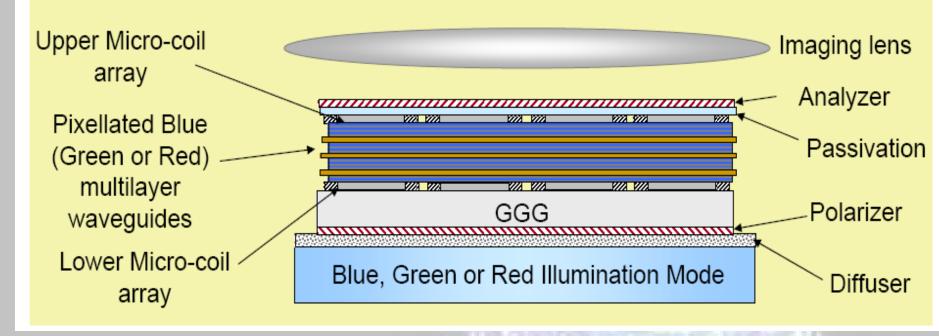
l = Film length

Магнитооптический проектор

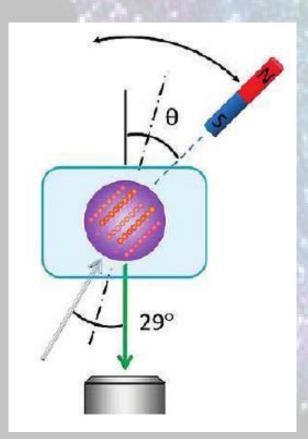


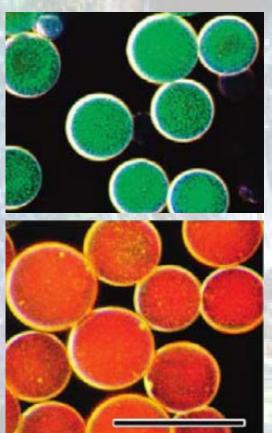
Магнитооптический проектор

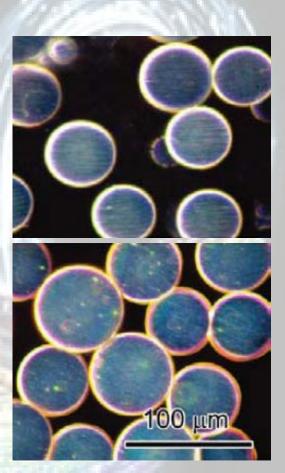
Structure includes: Polarizer, R and G and B panels, MO (< 6 micron thick), Upper and Lower Planar Micro-coils, Optical substrate, Nano Polarizer/Analyzer



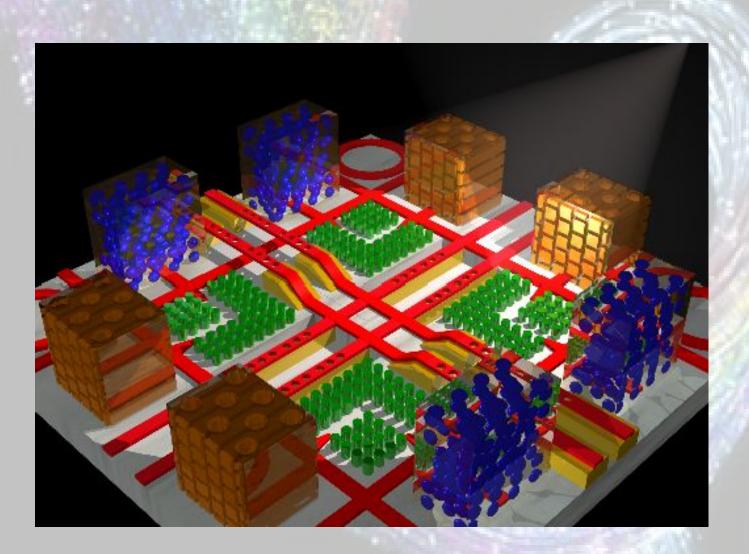
Цветная электронная бумага: микросферы с магнитными фотонными кристаллами



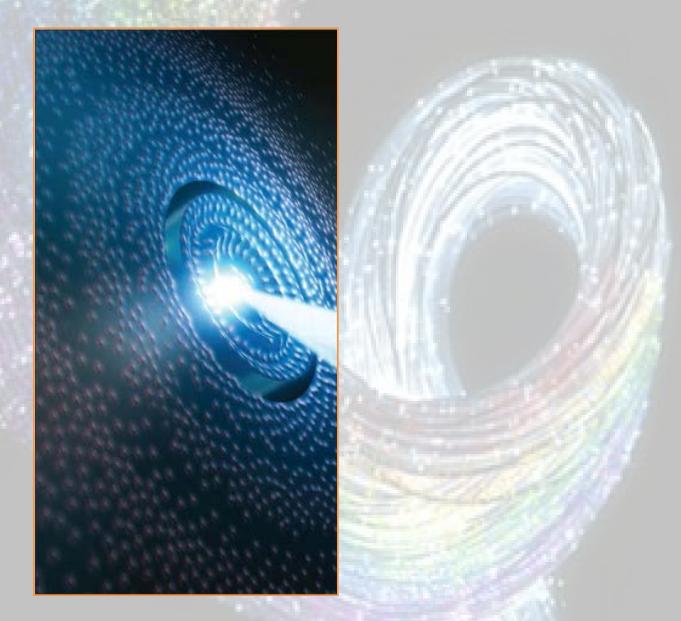




Магнитофотоника и оптические схемы



Плазмоника



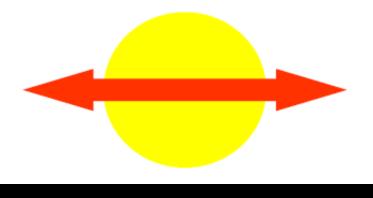
Плазмоника



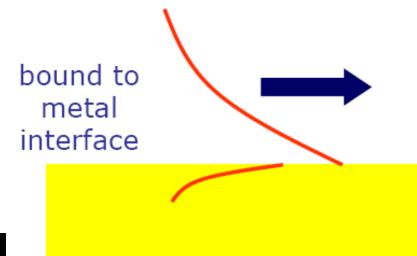
Плазмоны

Localized plasmons

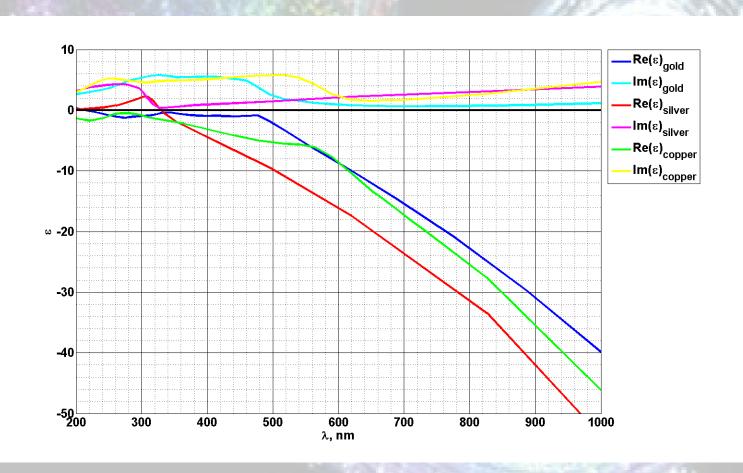
Dipole (and multipole) oscillations of electrons



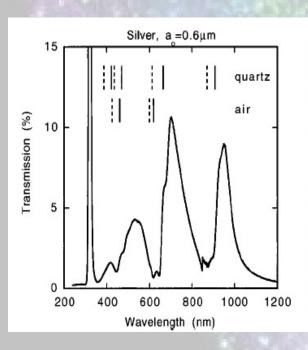
Propagating plasmons (surface plasmon polaritons)

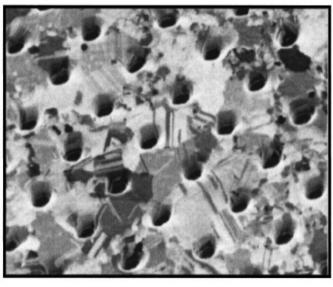


Поверхностные плазмонполяритоны

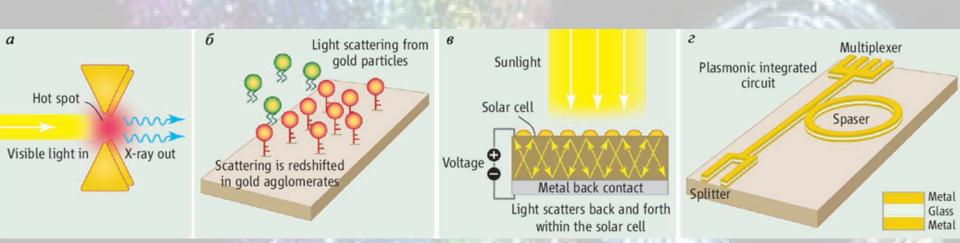


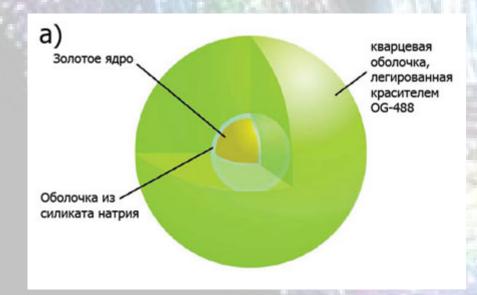
Экстраординарное оптическое пропускание



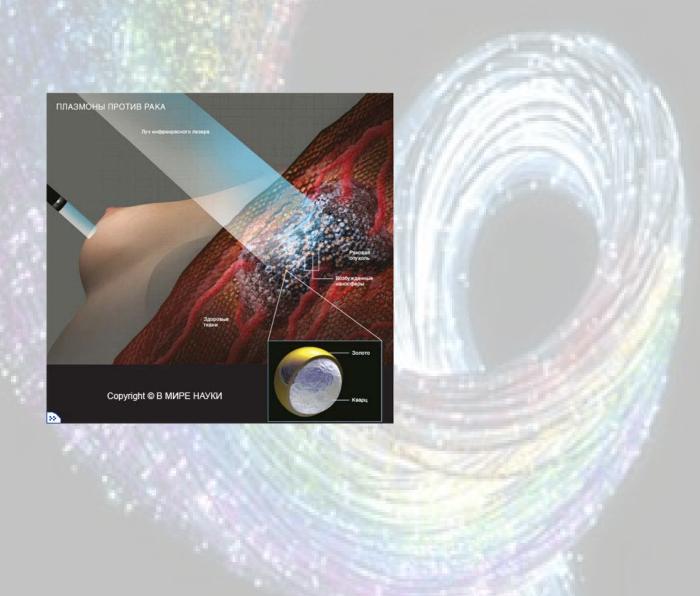


Приложения

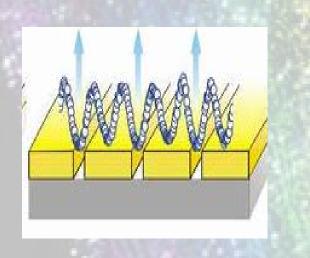




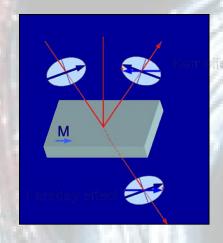
Приложения

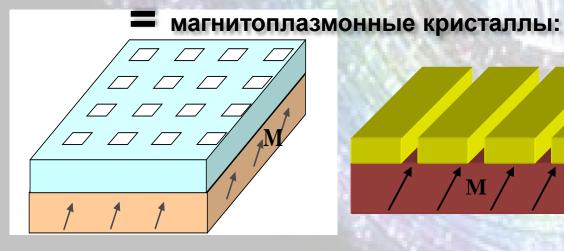


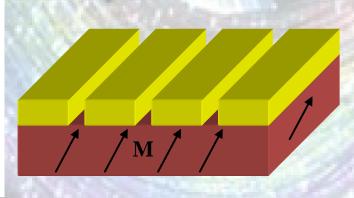
Плазмоника + магнитооптика











ОПТОЭЛЕКТРОНИКА И АКУСТООПТИКА

Акустооптика - изучает явление взаимодействия световых лучей с ультразвуковыми волнами, распространяющимися в среде, например, в кристалле.

Доцент, к.ф.м.н. Григорий Алексеевич КНЯЗЕВ, ауд. 2-60



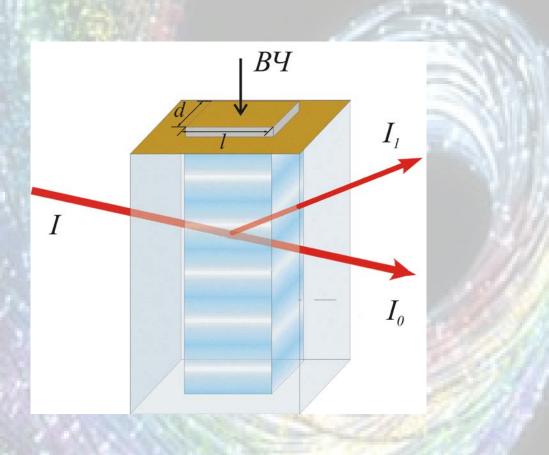
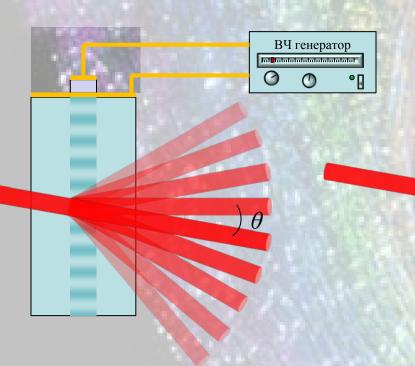


Схема акустооптической ячейки

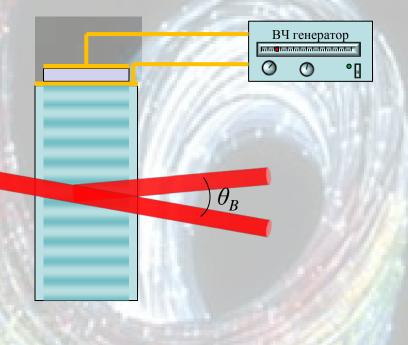
ДВА РЕЖИМА АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Дифракция Рамана-Ната

Дифракция Брэгга

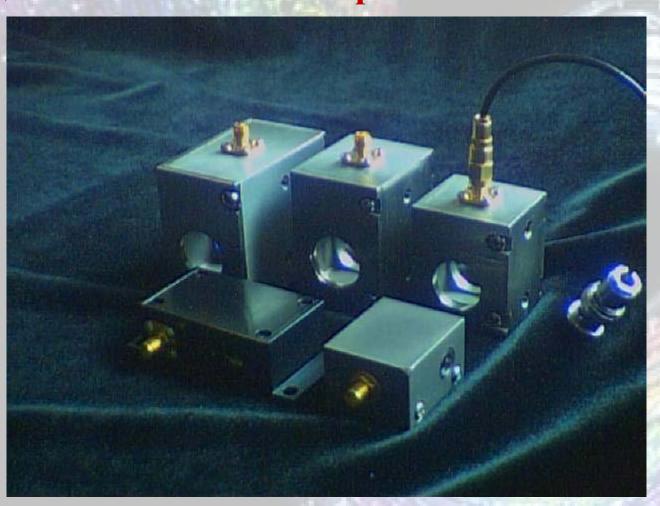


$$2 \Lambda \sin \theta_m = m \lambda, \quad m = 1, 2, \dots$$

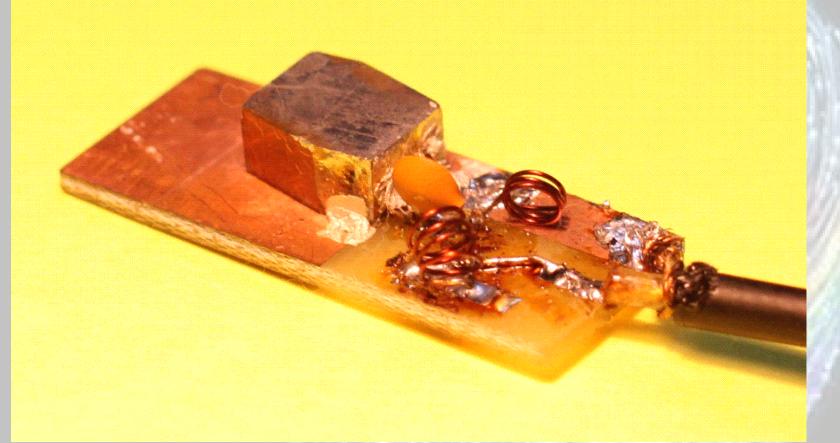


$$2\Lambda \sin \theta_B = \lambda$$
, $\Lambda = V/f$

Семейство фильтров предназначенных для работы в ультрафиолетовой инфракрасной и видимой областях электромагнитного спектра



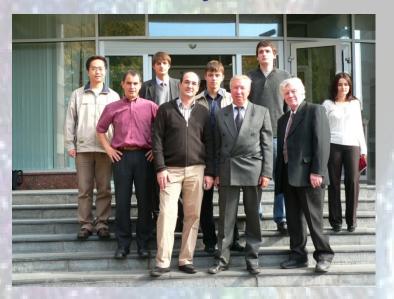
Фотография акустооптического фильтра на кристалле теллура (рабочие длины волн 8-14мкм)



Акустооптический фильтр на основе теллура был впервые создан на физическом факультете МГУ

Лаборатория электроники и микроволновой передачи энергии

доцент, к.ф.-м.н. Саввин Владимир Леонидович с.н.с., к.ф.-м.н. Г.М. Казарян ауд. 4-60



Электроника

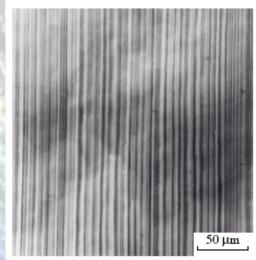
- физика поперечно-волновых взаимодействий в электронных потоках,
- -разработка новых поперечно-волновых устройств для усиления и преобразования микроволн в электрический ток.
- Эксперимент и компьютерное моделирование.

Рост кристаллов на космических аппаратах в условиях невесомости

Проект микроволновой передачи энергии на космический модуль для роста кристаллов полупроводников в условиях микрогравитации (g < 10⁻⁷g₀)

Технологический модуль содержит аппаратуру для роста кристаллов и обеспечивает низкий уровень микрогравитации на борту модуля. Энергия для роста кристаллов передается с базового модуля направленным лучом микроволн.





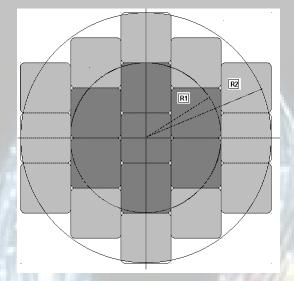
Фрагмент шлифа кристалла InSB:Те при увеличении его микроструктуры ($g = 10^{-5}g_0$)

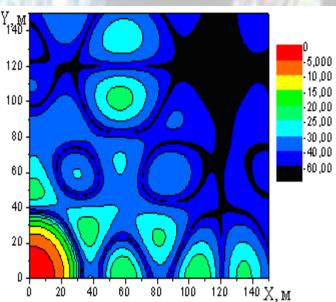
Проблемы экологии наземных линий микроволновой передачи энергии

Расчет поля излучения фазированной антенной решетки из 19 квадратных модулей для наземной линии (проект Grand Basin)

Анализ распределения мощности в плоскости приемной антенны

Оценка уровня мощности локальных максимумов потока мощности микроволн и пути их уменьшения до уровня экологической безопасности





Отдел субмиллиметровой спектроскопии ИОФ РАН

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Волков Александр Александрович

Спиновые изомеры воды

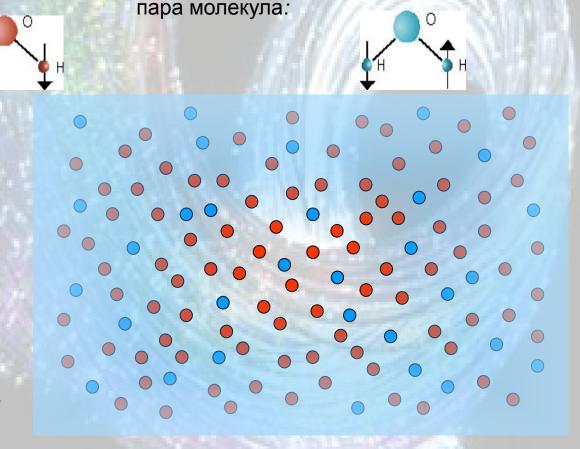
Молекула воды H₂O реализуется в одной из двух форм — орто и пара.
 Взаимные превращения орто-пара, пара-орто запрещены (маловероятны)

орто молекула:

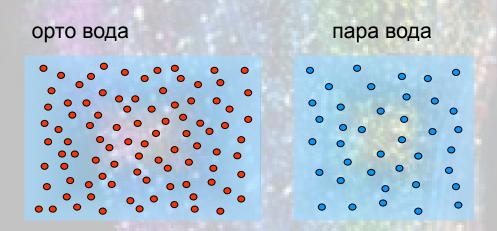
2. Водяной пар — смесь долгоживущих орто и пара молекул (в отношении 3:1):

Теоретически, орто и пара молекулы могут быть пространственно разделены

Наши студенты могут проходить преддипломную практику и выполнять диплом в этой лаборатории

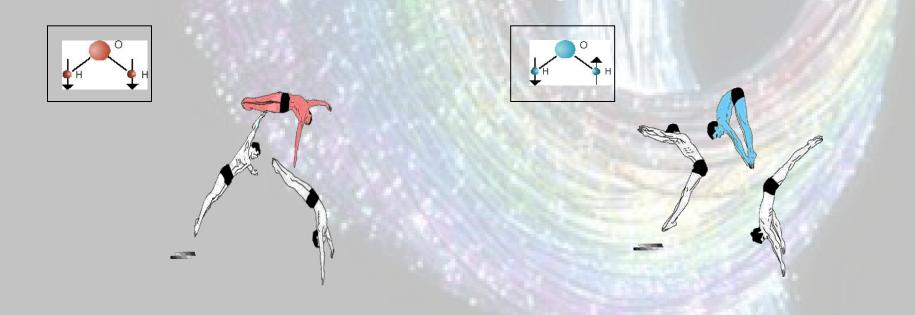


3. Задача: получить орто и пара воду в виде независимых субстанций:



4. Проблема: орто и пара вода химически неразличимы

5. Ключ к решению: *орто и пара молекулы имеют разные вращательные спектры, (по-разному усредняется дипольный момент)*:



РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ



Урбанизированная обладает среда сложными физическими свойствами высокой степенью неоднородности и анизотропии, которые влияют на дифракцию, интерференцию, рассеяние, отражение, Особый интерес дисперсию волн. представляет исследование явления многолучевого распространения – наличия многих трасс распространения радиосигнала

с различной задержкой, что приводит к существенной дисперсии. Использование радиофизических моделей зданий, учитывающих свойства стен, оконных и дверных блоков, систем отопления и электропитания и пр.); позволяет прогнозировать распространение радиоволн внутри и вне зданий с высокой степенью точности. Анализ импульсной характеристики (профиля задержек) и ее зависимости от несущей частоты позволяет получить информацию о физических процессах в канале, о пространственном распределении пропускной способности системы связи.

Нами проводятся экспериментальные исследования работы систем цифровой радиосвязи в условиях многолучевого распространения радиоволн. Лаборатория располагает радиоизмерительным оборудованием последнего поколения (Rohde&Schwarz), а также современным лицензионным программным обеспечением (AWR Design Environment, CST Microwave Studio).

Доцент, к.ф.-м.н. Анатолий Федорович Королев С.н.с., к.ф-м.н. П.Н. Захаров ауд. 2-55

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Основные направления исследований в области телекоммуникаций состоят в разработке и внедрении систем мониторинга состояния каналов передачи данных, в том числе создание программно-аппаратных комплексов дифференциального микроанализа потоков данных, в теоретических исследованиях режимов и собственных состояний сложных сетевых структур, в экспериментальных исследованиях процессов ретрансляции потоков по магистральным высокоростным сегментам, в экспериментальных исследованиях многокаскадных беспроводных сегментов ретрансляции потоков данных (локальный полигон на территории факультета). В последнее время начало применяться дискретное моделирование телекоммуникационных систем для тестирования физических и логических процессов в распределенных системах. Разрабатываются модели радиокластеров различной геометрии, систем полнооптической коммутации, анализируется устойчивость режимов обратной связи для сеансов передачи данных нового поколения.

Доцент, к.ф.-м.н. Наталия Александровна Сухарева, ауд. 2-50

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ



В лаборатории проводятся теоретические и экспериментальные взаимодействия процессов исследования и распространения электромагнитных волн в слоисто - неоднородных средах. Исследуется взаимодействие волн оптического и микроволнового диапазона с полупроводниками. Изучается металлами, диэлектриками И распространение световых пучков с ограниченной поляризационные, кросс - модуляционные и нелинейные эффекты, влияние потерь, рассеяния, а также распространение сверхкоротких световых импульсов. Полученные результаты служат основой для разработки в лаборатории новых методик решения прямых обратных задач взаимодействия и распространения

электромагнитных волн в веществе, созданию новых оптических, инфракрасных и микроволновых элементов.

Профессор д.ф.-м.н. Козарь Анатолий Викторович, ауд. 275

Заведующий кафедрой Анатолий Петрович Сухоруков комн. 2-59 тел. 939-44-18

Куратор младших курсов н.с. Андрей Николаевич Калиш комн. 4-64 тел. 939-11-34 kalish@physics.msu.ru