

Творческая работа

“Размышления в тиши гармонии наук”

Работа Киволи Петра, 8 класс, научный руководитель Чопорова Жанна Владиславовна



“Когда в тиши гармонии наук
Звучит пчелы беспмятное слово,
Раскрытый полдень падает из рук,
Разжавшихся мечтания земного.
Полуденного счастья бытие
Лежит у ног, всегда у ног мечтанья...”
Б.Б. Божнев

Фото Смирнов А

1. Что такое свет?

Свет - это волновое и корпускулярное явление одновременно. Не удивительно ли?

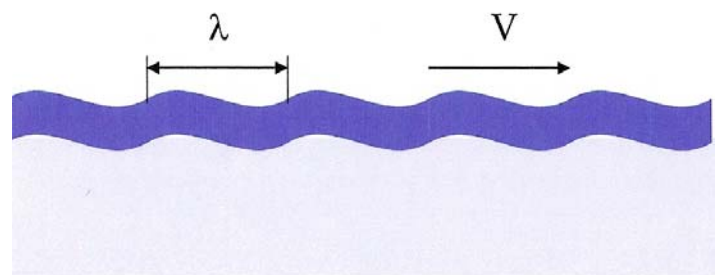
Свет – это электромагнитная волна. А для любой волны мы можем составить уравнение, связывающее ее параметры: *период* – интервал времени, через который система приходит в то же самое состояние; *скорость движения волны* – скорость, с которой перемещается в пространстве выделенная точка волны; *длину волны* – расстояние между одинаковыми значениями какой-либо величины в волне.

Обозначим *период* переменной T , *скорость движения волны* – V , а *длину световой волны*, определяющую её цвет - λ . Тогда наше уравнение связи будет выглядеть так:

$$\lambda = VT$$

Ниже указаны длины волн, соответствующих основным спектральным цветам, выраженные в миллиардных долях метра. Надо дополнить, что оценка цвета, даваемого глазом, довольно неопределенна.

Ультрафиолетовый - Фиолетовый	390
Фиолетовый - Синий	435
Синий - Зеленый	495
Зеленый - Желтый	570
Желтый - Оранжевый	590
Оранжевый - Красный	630
Красный - Инфракрасный	770



Свет распространяется как частички - фотоны. Фотон движется со скоростью 300 000 км/с. Фотон существует только в движении, у него нет массы покоя, он никогда не останавливается. При взаимодействии с веществом фотон поглощается, исчезает.

Однако, как выяснилось, в природе существуют такие оптические среды, где рождаются фотоны и по причине дифракции не могут покинуть кристалл. Название им - фотонные кристаллы. Их можно создать из привычных для нас материалов – полимеров, оксидов, полупроводников, металлов и др., поведение фотонов в которых будет весьма необычным. Ученые предполагают, что формирование трехмерных фотонных кристаллов позволит создать такие устройства, которые произведут настоящую революцию в оптоэлектронике, а в перспективе - создание сверхбыстрых фотонных компьютеров, в которых логические операции будут производиться не электронами, а фотонами.

2. Почему мы видим мир окрашенным?

Ведь ночью, в темноте, окружающая нас картинка черно-серая, и только освещенный предмет видится цветным. Значит, именно свет обладает свойствами делать наш мир разноцветным. Каковы же эти свойства?

При прохождении света из одной среды в другую можно наблюдать явления отражения света от поверхности среды, поглощения света в среде, преломления света и рассеяния света частичками среды.

Благодаря отражению света от предметов, поглощению, рассеянию и преломлению мы видим такой разнообразный мир. Так, например, этот колокольчик мы видим голубым, потому что белый солнечный свет, попадая на колокольчик, поглощается во всех спектральных цветах, кроме голубого, который отражается диффузно во всех направлениях. Коэффициент отражения называется альбедо. Белая бумага имеет альбедо 0,7-0,8. Высокое альбедо 0,95 имеют поверхности, покрытые белым порошком окиси магния. Малым альбедо 0,01-0,02 обладают темные поверхности, которые практически поглощают весь падающий на них свет.



Фото Чопорова А. .

Отражение света – это возвращение световой волны при ее падении на поверхность раздела двух сред с различными показателями преломления “обратно” в первую среду.

Опыт по наблюдению зеркального отражения света от стеклянной пластины, от воды.

Преломление света – это изменение направления распространения света при прохождении через границу раздела двух прозрачных сред

Опыт по наблюдению преломления света в воде.

Опыт по наблюдению преломления света, проходящего через призму.

Направим свет на стеклянную призму, и на выходе будем наблюдать спектр. Белый свет разложился на спектральные составляющие. Это произошло потому, что световые лучи различных цветов имеют разный показатель преломления в веществе. Меньше всего преломляются красные лучи, а больше всего - фиолетовые.



В природе это явление наблюдается в виде радуги.

Как неожиданно и ярко,
 Во влажной неба синеве,
 Воздушная воздвиглась арка
 В своем минутном торжестве!
 Один конец в леса вонзила,
 Другим за облака ушла-
 Она полнеба обхватила

И в высоте изнемогла.
 О, в этом радужном виденье
 Какая нега для очей!
 Оно дано нам на мгновенье,
 Лови его – лови скорей!
 Смотри – оно уж побледнело,
 Еще минута, две – и что ж?

Ушло, как то уйдет всецело,
 Чем ты и дышишь и живешь.

Ф.И. Тютчев

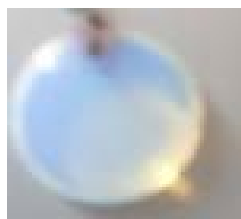


По виду радуги можно приближенно оценить размеры капель дождя, образовавших эту радугу. В целом, чем крупнее капли дождя, тем радуга получается уже и ярче, особенно характерным для крупных капель является наличие насыщенного красного цвета в основной радуге.(2).

Диаметр капель d,мм	Вид радуги
1-2	Очень яркие фиолетовый и зеленый цвета и красная дуга
0,5	Ослабевают красный цвет.
0,2	Красный цвет исчезает почти полностью. Несколько фиолетово-розовых дополнительных дуг сменяются зелеными.
0,08 – 0,1	Яркий цвет только фиолетовый. Красного цвета в основной радуге больше нет. Наружный край радуги оранжевый. Остальные – бледные. Радуга широкая.
Меньше 0,05	Радуга белесая (может быть морозящий дождь). Она примерно в два раза шире обычной радуги и имеет вид блестящей белой полосы.

Рассеяние света.

Если в среде присутствуют мелкие частички, то свет на них рассеивается. Разный по длине волны свет рассеивается по - разному. По закону Рэлея, интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна



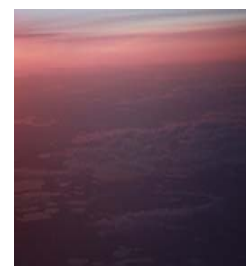
четвертой степени длины световой волны, поэтому желтоватый свет солнца при рассеянии на молекулах воздуха превращается в голубой цвет неба. Белые - лунные, камни переливающиеся синим цветом - это рассеяние света различных длин волн мельчайшими включениями в структуру камня. В городе цвет неба белесоватый, так как в воздухе присутствуют крупные частички пыли.

Опыт с молоком.

Пропустим луч белого света через молоко. Свет на выходе будет красный, а внутри среды молоко будет выглядеть синеватым.

Так же на пути от Солнца к Земле, пройдя через толщу воздуха, сильнее рассеиваются синие лучи. При восходе и закате Солнца свет проходит значительно большую толщу воздуха, поэтому и на восходе и при закате Солнце имеет медно-желтый или красноватый оттенок.

Луна тоже красная по этой причине.



Фото

Море выглядит тоже разным, то голубым, то зеленым, в зависимости от того, какие частички взвешены в воде - крупные или мелкие и в зависимости от толщи воды.



Фото. Чопорова А.Г.

Рассеивающая способность - способность пигмента к отражению света видимой части спектра определенных длин волн.

Если рассмотреть наночастицы, то в наном мире цвет зависит от размера частицы. Этот показатель у диоксида титана напрямую зависит от диаметра частиц TiO_2 . При размере частиц 0,2 мкм сумма рассеянного света для всех длин волн максимальна. При увеличении размера частицы от 0,25 до 0,3 мкм рассеивание голубого света быстро понижается. Но рассеивание зеленого и красного практически не меняется. Тем не менее, при диаметре частиц 0,15 мкм наблюдается максимальное рассеивание синего, в то время, как рассеивание красного и зеленого значительно ниже.

Применяя мелкодисперсные частицы диоксида титана, можно достигнуть высоких оптических отражательных свойств. Что и используется для придания зданиям высокой белизны.

3. Интерференция и дифракция – свойства света.

Интерференция света - это явление сложения согласованных световых волн, при котором происходит перераспределение энергии .

Наблюдать интерференцию можно на мыльной пленке. «Мыльный пузырь, витая в воздухе... загорается всеми оттенками цветов, присущими окружающим предметам. Мыльный пузырь, пожалуй, самое изысканное чудо природы», - описывает это явление Марк Твен.



*В нём столько блеску было,
была такая спесь,
А он - воды и мыла
раздувшаяся смесь."
(Самуил Маршак)*

Фото. Киволя П.

Радужная картина возникает из-за того, что световые волны, отражаясь от внешней и внутренней поверхности мыльной пленки, складываются - интерферируют. Интерференция зависит, как известно, от угла падения света на плёнку, её толщины и длины волны.

При наблюдении за мыльной пленкой в отраженном свете сквозь красный светофильтр можно обнаружить чередование черных и красных полос. Черные полосы - это места в пространстве, где нет световой энергии, а красные - там, где максимум света. Области максимума и минимума в пространстве возникают, так как встречаются волны с различной разностью хода. Там, где встречаются волны, разность хода которых равна целому числу длин волн, наблюдается максимум. А где встречаются волны, разность хода которых равна нечетному числу длин полуволн, наблюдается минимум.

Дифракция света - явление, наблюдающееся при распространении света мимо резких краёв непрозрачных или прозрачных тел, сквозь узкие отверстия.

Получаем дифракционный спектр, пропуская свет от лампы через дифракционную решетку. Простейшая дифракционная решетка – это чередование прозрачных и непрозрачных полосок, параллельных между собой. Это может быть полированная металлическая пластина, на которой нарезаны параллельные канавки с одинаковыми расстояниями между ними.

Опыт по дифракции света.

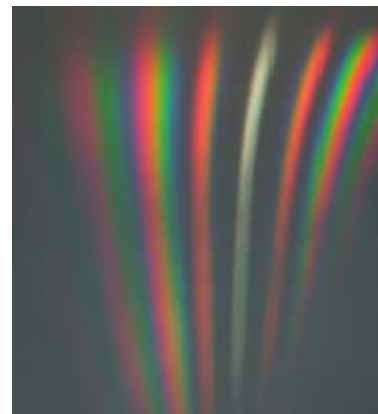


Фото Киволя П.

Если исходный пучок света брать монохроматичным, или на пути ставить светофильтр, то на экране будет чередование светлых и темных полос.

Явление дифракции можно объяснить принципом Гюйгенса-Френеля. На краях непрозрачных и прозрачных полос световая волна формирует вторичные волны, эти волны когерентны и, распространяясь далее, интерферируют.

Простейшей **дифракционной решеткой** являются наши реснички- чередование темного и светлых промежутков. Если сквозь реснички посмотреть на свет фонаря, то вокруг лампы фонаря можно увидеть радужные кольца- это дифракционная картина. Причем, дифракционный спектр в отличие от радуги, начинается фиолетовым цветом.

Также скрещенной дифракционной решеткой являются черные капроновые колготки. Если посмотреть сквозь нити колготок на свет лампы, то можно увидеть дифракционный спектр, расходящийся в двух скрещивающихся взаимно перпендикулярных направлениях.

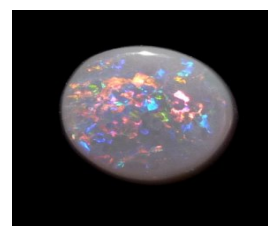
Дифракционной решеткой является и лазерный диск. На диске нанесены бороздки мельчайших размеров, сравнимых с длиной волны. Световые волны, отражаясь от них, накладываются и дают радужный спектр. Если бы дифракция наблюдалась на всех неровностях и шероховатостях, которые нас окружают, то весь мир был бы радужным. Действительно, природа позаботилась о нас.

4. В природе дифракцию и интерференцию можно связать с красочными явлениями иризации - оптического эффекта появления спектрально чистых, «радужных» цветов, изменчивых оттенков, бликов при прохождении света через вещество. Природа смогла создать цвет без специальных окрашенных веществ, а только благодаря оптическим явлениям.

Фиолетовые пятна на черном граните - это ориентированные в одном направлении небольшие кристаллиты, которые работают, как дифракционная решетка.

Что общего между пером павлина, крылом экзотической бабочки или жука и драгоценным камнем опалом или лунным камнем? Они переливаются на свету, образуя необычные цветовые переходы, блики, чудесные краски. Однако, сходство здесь более глубокое, чем покажется на первый взгляд. Посмотрев на них при большом увеличении, можно увидеть, что их поверхности имеют строго упорядоченную структуру. И оказывается, что чудесная игра света в них имеет дифракционную природу, а их структура – не что иное, как дифракционные решётки.

Как красивы и переливаются разными красками драгоценные камни-опалы! На самом деле – это просто черные камни. Но в них присутствуют кристаллиты кремнезёма диаметром 150-450 нанометров, которые, в свою очередь, сложены мелкими глобулами диаметром 50-100 нанометров, расположенными концентрическими слоями или беспорядочно. Эти кристаллиты образуют трехмерную дифракционную решетку. Световые волны, отражаясь на кристалликах, интерферируют и создают красивую картину, называемую опалесценцией. Выяснилось, что опал состоит из сфер (шариков) кремнезёма размером в среднем 0,2мкм. Эти сферы одинакового размера располагаются в строгом геометрическом порядке и создают структуру наподобие дифракционной решетки. Промежутки между сферами заполнены водой или воздухом. Сами же сферы образованы концентрическими оболочками, сложенными из еще более мелких частичек кремнезёма. В благородных опалах, то есть в опалах, способных давать дифракционный эффект, диаметр сфер составляет от 0,15 до 0,3мкм и меньше. Только такого размера сферы могут давать цвета в широком интервале спектра (переливаться всеми цветами радуги). При диаметре 0,3мкм



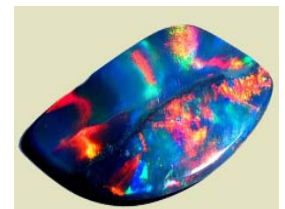
проявляются все цвета спектра, при 0,2мкм – преобладают зеленые и голубовато-фиолетовые тона, при 0,15мкм – голубые и фиолетовые, при меньшем – только фиолетовые. Образование благородного опала представляет собой процесс, при котором сферы кремнезёма одинакового размера располагаются в правильной последовательности (зачастую соответствуют гексагональной симметрии), а сферы другого размера отторгаются.



Однако, природные опалы долго не сохраняются, высыхают, портятся. Опал - природный кристалл, но ученые смогли синтезировать искусственные опалы.

Мы тоже попытаемся в следующем проекте вырастить опал.

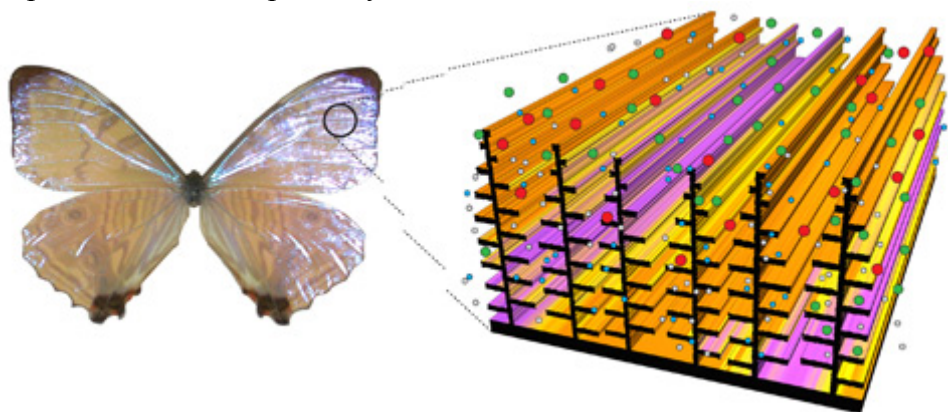
Опал интересен тем, что швейцарские ученые смогли создать оптический переключающий транзистор на основе построения кристаллической матрицы. Принцип действия таков: когда на молекулу в матрице попадает оранжевый луч лазера, то выходящий луч ослабевает. При попадании на молекулу зеленого луча лазера молекула интенсивно начинает излучать оранжевый свет, интерферирующий с входящим, и выходящий луч более интенсивен. **А эти технологии - реальный путь к эпохе квантовых компьютеров.**



Вот он путь от искрящего камушка до чудес техники!

5. Окраска некоторых бабочек обусловлена не пигментацией. Чешуйки тропических бабочек (например, мы взяли Morpho) представляют собой сеть хитиновых пластинок, разделенных воздушными промежутками (а это соответствует характеристиками дифракционной решетки). Свет отражается от мельчайших пластинок, структурированных в слои под разными углами, и разделяется на цветовые компоненты. Затем цвета складываются, интерферируют и остается один - интенсивный.

На выходе мы видим тот или иной цвет в зависимости от расположения слоев, диаметра мельчайших образований, сравнимых с длиной волны света. В случае с Morpho мы видим голубой цвет. А в случае с другой бабочкой структурной окраски фиолетовый. переливающейся окраске чудо-бабочек.



Следует заметить, что изменчивым металлическим блеском обладает только верхняя сторона крыльев морфо, покрытая мельчайшими чешуйками, преломляющими падающий

на них луч. Чешуйки на крыльях морфо чрезвычайно малы (50 на 100 микрометров) и по сути являются природной разновидностью фотонных кристаллов (иллюстрация General Electric).

Компания General Electric получила необычный заказ от исследовательского агентства Пентагона DARPA. Задача – воссоздать на синтетических пластинах крошечные структуры с крыльев бабочки Morpho. Ранее исследователи заметили, что затейливые лабиринты на поверхности крыльев работают как ловушки для лучей. Дальше оказалось, что молекулы летучих веществ они тоже неплохо удерживают, а те в свою очередь меняют характер преломления электромагнитных волн. Благодаря этому по характеру отражения света в крыльях Morpho можно точно определить, через какие вещества и в каких концентрациях пролетало насекомое. Заказчик надеется, выделив на проект \$6,3млн. что специалисты создадут новое поколение фотосенсоров, которые могут стать детекторами химической атаки и не только...

Чешуйки этих бабочек (как дерево с сеточками) показаны на фото.

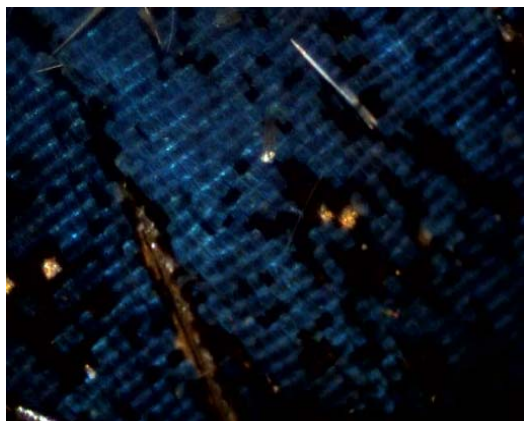
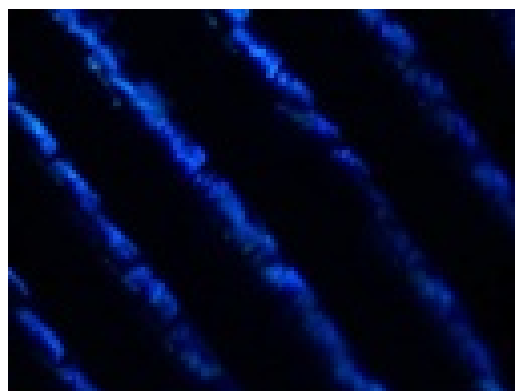
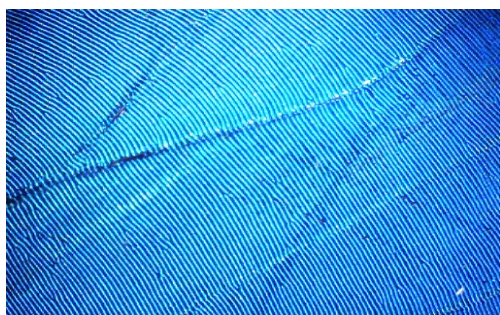
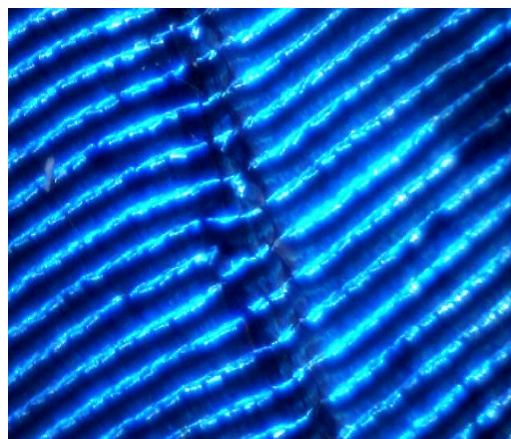


Фото
Киволя П.





По материалам сайта nanometer.ru эти чешуйки получили название «субмикрометровые фотонные структуры», т. к. они могут воздействовать на световые волны.

Упорядоченные структуры, период которых сопоставим с длинами волн света, названы фотонными кристаллами, которые могут быть одно-, двух- и трехмерными. В качестве одномерного фотонного кристалла можно представить дифракционную решетку, коей и являются крылья нашей бабочки. Такая одномерная периодичность позволяет дифракционной решетке отражать свет волны, падающей под определенным углом, то есть проявлять свои свойства в одном пространственном направлении, перпендикулярном слоям. В двухмерном фотонном кристалле – под двумя углами, а значит, форма не ограничивается прямоугольниками, а может быть любой – окружности, эллипсы и проч.. А в трехмерном же – при любом угле падения, в трех пространственных направлениях и можно их представить как массив объемных областей (сфер, кубов и проч.)

Так, при определенной толщине пленки мы видим один цвет, а на крыльях, чешуе, перламутре раковин, когда есть несколько слоев, то мы видим переливчатую радужную окраску.

Переливчатая окраска отличается от структурной, так как ее оттенок зависит от угла зрения наблюдателя.

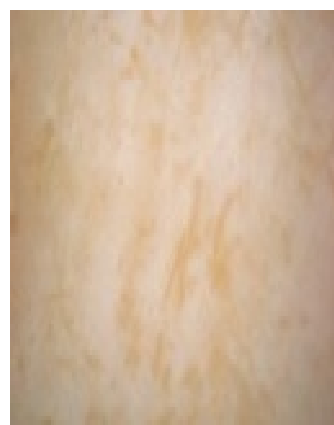
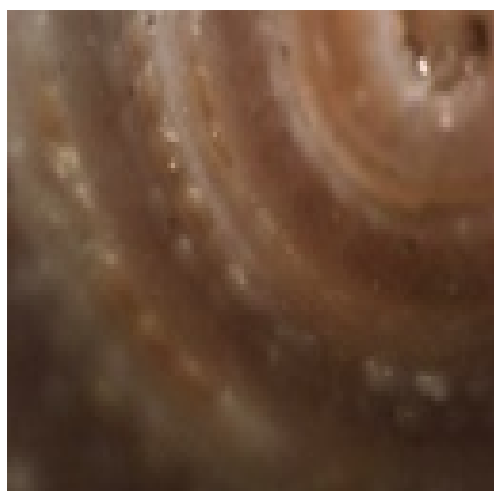
Ракушки с перламутром

Перламутр - тонкие пластинки известняка, свет преломляется и рассыпается в них на разноцветные лучи - поэтому нам кажется, что перламутр имеет цвет.

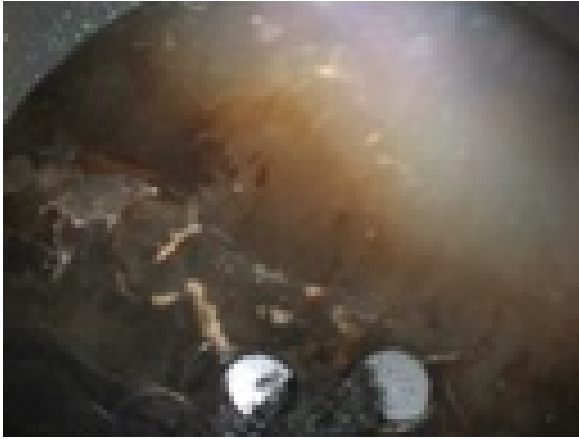
Цветовые переливы эти обуславливаются не каким-либо красящим веществом, а лишь строением самой раковины, состоящей из мельчайших пластинок, разделённых преломляющими световые лучи тончайшими воздушными прослойками. Хотя масса эта состоит из тонких, покрывающих друг друга, слоев, постепенно выделяемых телом живущего в раковине животного, все же она настолько крепка, что может отделяться и обрезаться только посредством очень маленьких стальных пил.

Материал, которым изнутри покрыты раковины моллюсков, считается одним из самых прочных на Земле, и именно он может стать прототипом брони будущего.

Украшения королей и генералов(Лувр)



Перламутровая пуговица

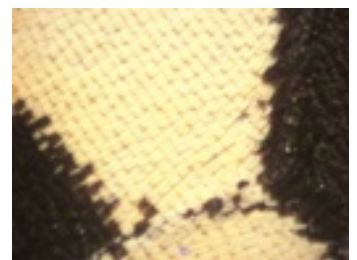
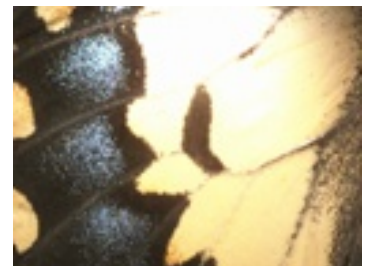
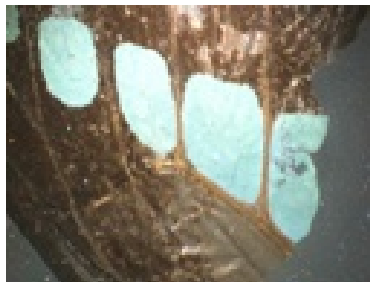
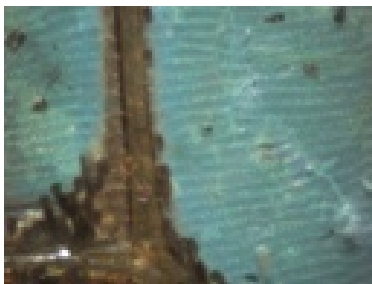
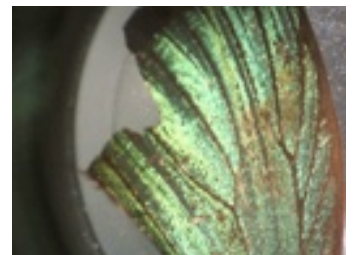
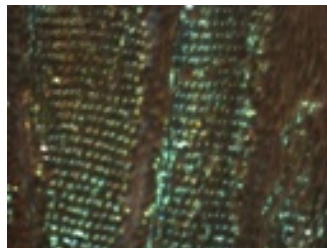
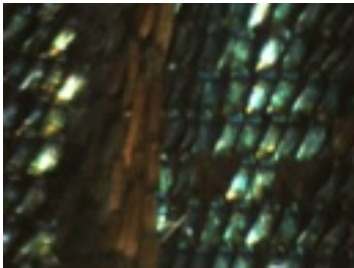
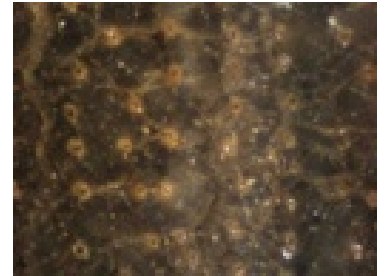
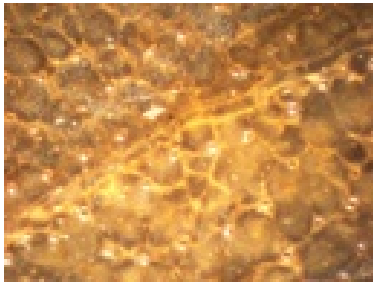


Есть, к примеру, такие перламутровые пуговицы, которые напоминают половинку жемчужины, а есть такие, которые напоминают цветом и текстурой внутреннюю часть раковины. Также эти пуговицы различаются оттенками, как и настоящий перламутр. Он же бывает очень светлым, почти кипельно белым, а бывает практически чёрным. Трудно себе даже представить то количество оттенков перламутра, которые возможно увидеть в природе.

Сильное впечатление раковины моллюсков халиотисов произвели на М. А. Врубеля, который позднее на картине "Жемчужина" изобразил девушек, символизирующих жемчужины, на фоне раковины халиотиса.



Крылышки насекомых



В оптических чешуйках возникает тонкослойная интерференция. Нижняя часть оптических чешуек пигментирована; пигмент не пропускает свет и тем самым придает большую яркость интерференционной окраске. Лучи света, проходя через прозрачные чешуйки на крыле, отражаются как от их внешних, так и от внутренних поверхностей. В результате два отражения как бы налагаются и усиливают друг друга (правда, возможен и обратный эффект, когда два отражения гасят друг друга). В зависимости от толщины чешуек и коэффициента преломления происходит отражение света с определенной длиной волны (все остальные лучи поглощаются пигментом).

6. По мнению китайцев, жемчуг - это застывший в воде лунный свет . Это благородный камень как слезинка. В России натуральный жемчуг используется в украшении икон.

Природный жемчуг представляет собой прозрачные чешуйки карбоната кальция и образуется в результате случайного попадания внутрь раковины постороннего предмета. Это может быть крошечная песчинка или червячок-паразит, который, проникнув в тело моллюска, вызывает раздражение. Жемчужница, не в силах избавиться от непрошенного гостя, обволакивает его своим жемчужным веществом. Жемчужина растет от центра к периферии концентрическими кольцами, последовательно отлагающимися вокруг центрального ядра. Таким образом, жемчужина построена из нескольких тысяч тончайших концентрических слоев арагонита и конхиолина. Своеобразный иризирующий блеск, нежные мерцающие переливы радужных цветов на поверхности жемчужины, придающие ей неповторимую прелесть, составляют особое свойство зрелого жемчуга, за которое он, в основном, и ценится. Это свойство обусловлено его многослойным строением, явлениями отражения, преломления, дифракции (знакомая уже дифракционная решетка) и интерференции света на просвечивающей поверхности жемчужины.

За счет интерференции лучей, отраженных верхними и нижними поверхностями чешуек, они оказываются интенсивно окрашенными.

При толщине чешуек 70-80 нм преобладающим цветом является желтый, при толщине 90-100 нм - красный, а при 110-130 нм – синий.



На призматические слои нарастают пластинчатые слои арагонита, обуславливающие перламутровый блеск жемчуга. Ими иногда сложена не только оболочка, но и целая жемчужина. Получаются структурированные кристаллы внутри. Эти кристаллы обуславливают скорлуповатое строение жемчужины.

Такие жемчужины слегка просвечивают. Пластинки – кристаллики чаще имеют гексагональный облик, реже встречаются четырех- и пятиугольные, неправильные.

Величина их от 3 до 30 мкм в поперечнике, толщина до 2,2 мкм. Толщина перламутровой оболочки 0,5 мм.

Строение жемчуга позволяет отличить натуральный жемчуг от искусственного.

Искусственный жемчуг - гладкий, без чешуек, что можно выяснить, потерев камушек о зуб.

Дикий натуральный жемчуг бывает разных цветов. В Индии добывают бледно-розовый, в Японском море - светло-зеленый, в прибрежных водах Цейлона - серебряный и

желтоватый, в Австралии - белый, в Мексиканском заливе и у берегов острова Таити - оригинальный черный жемчуг.



Фото Чопорова А.Г.

7. Такие структурированные среды, то есть упорядоченно расположенные микрошарики внутри среды, называются фотонными кристаллами. Активная работа по синтезу фотонных кристаллов ведется во всем мире.

Разнообразные методы используются для изготовления фотонных кристаллов. Один из возможных подходов к созданию фотонных кристаллов ученые «подсмотрели» у природы. Так, уже упомянутые природные минералы опалы образуются в недрах Земли из субмикронных (диаметр менее 1000нм), близких по размеру сферических частиц оксида кремния. Именно упорядоченное расположение таких микрошариков приводит к существованию в структуре опала периодичности во всех направлениях, и как следствие – необычной игре света вследствие дифракции. В последнее время химики научились синтезировать фотонные кристаллы, аналогичные природным опалам, в лабораторных условиях. Синтетические опалы характеризуются даже более высоким качеством структуры по сравнению с природными аналогами.

Методами самопроизвольного формирования фотонных кристаллов являются выпаривание коллоидальных частиц с образованием трехмерного фотонного кристалла (довольно медленный), метод фильтрования жидкости, в которой находятся частицы, через маленькие поры (но при высыхании такого кристалла образуются дефекты). Более совершенным представляется метод формирования инверсного опала, описанный в литературе.

Если пустоты, существующие в самоорганизованном массиве сферических коллоидных частиц, заполнить металлом, оксидом или другим материалом, а сами сферы потом удалить, то получится так называемый обращенный фотонный кристалл, представляющий собой пористый материал с высокоупорядоченной системой микропор (наносферная литография).

Методы травления, голографические, литография при помощи пучка ионов и другие позволят создавать все новые и новые фотонные кристаллы, границ применения которым нет.

Это и совершенные лазеры, и компактные волноводы. Создание суперлинз, суперпризм, новых дисплеев, запоминающих и логических устройств, фотонных фильтров, изоляторов и полупроводников.

Природа дала нам в ощущения только 5 органов чувств с определенной разрешающей способностью. Однако человеческий разум проникает все глубже и глубже в секреты мироздания, позволяет «разглядеть» невидимые для человеческого глаза структуры, изменяющие привычные для нас свойства различных явлений и материалов. Это создает необходимые условия для совершенствования наших представлений о сущности вещей и выйти на иной, более высокий уровень понимания места человека в этом невероятно интересном мире.

Список использованной литературы:

1. Нанотехнологии. Азбука для всех. М., Физматлит, 2010.
2. “Физика в природе”,. Тарасов В.,М, Вербум, 2002.