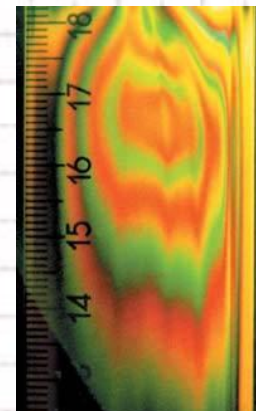
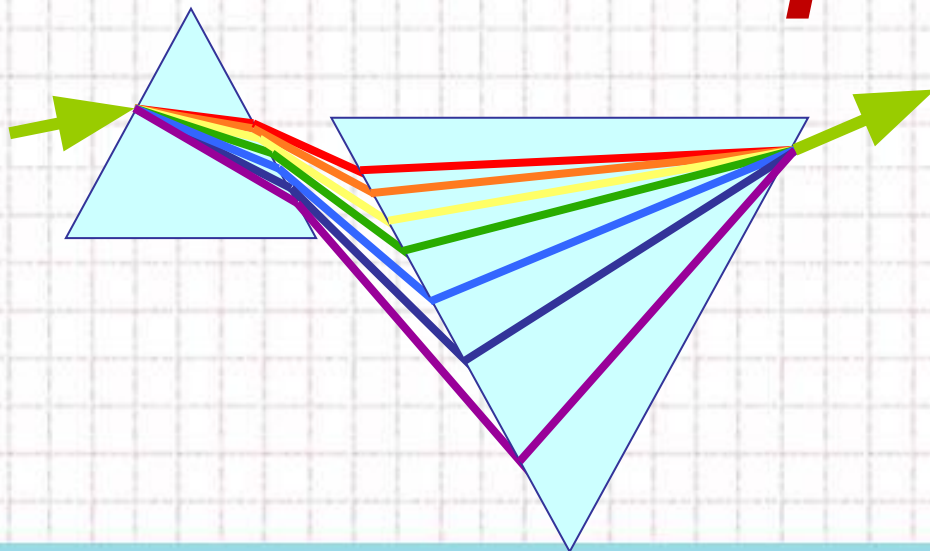


# **Дисперсия**

# **Интерференция**

# **Дифракция**

# **Поляризация**

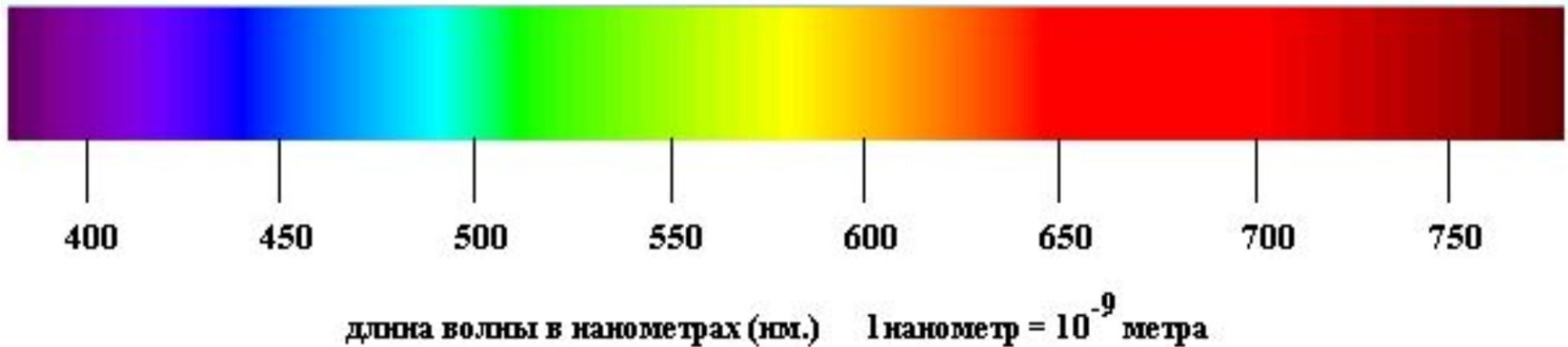


## ***Основные понятия и определения***

### **Свет – электромагнитная волна.**

Классическая электродинамика рассматривает свет как электромагнитные волны.

Примерное соответствие цвета и длины волны показано на рисунке.



*Фотометрия*

*Квантовая  
оптика*

*Оптика*

*Геометрическая  
оптика*

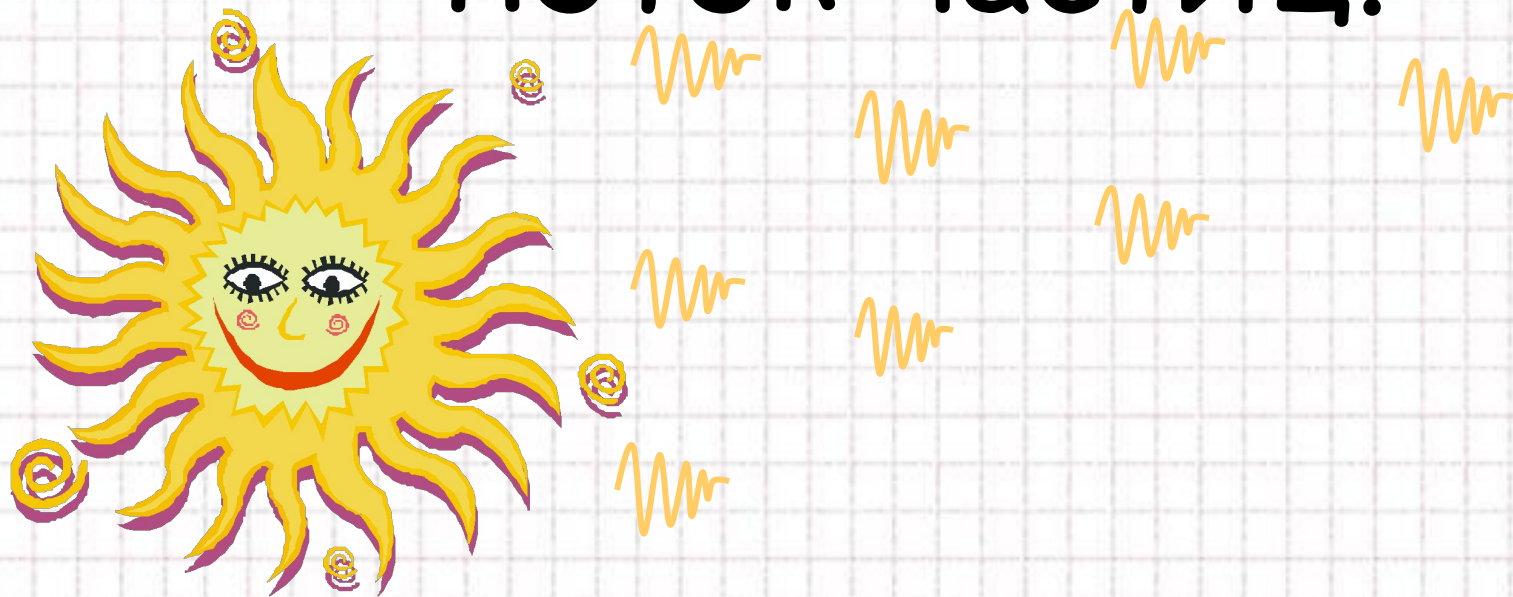
*Волновая  
оптика*

# Фотометрия

изучает свет с точки  
зрения переноса  
энергии и ее  
восприятия  
человеком.

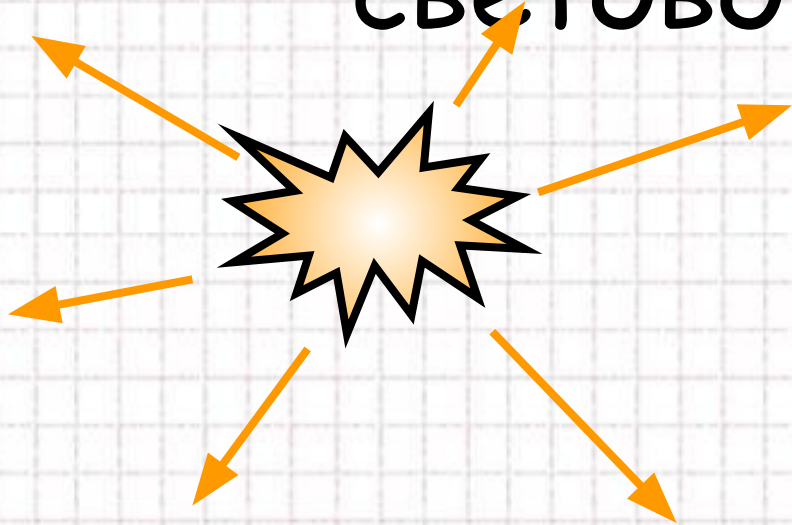
# Квантовая оптика

рассматривает свет как  
ПОТОК ЧАСТИЦ.



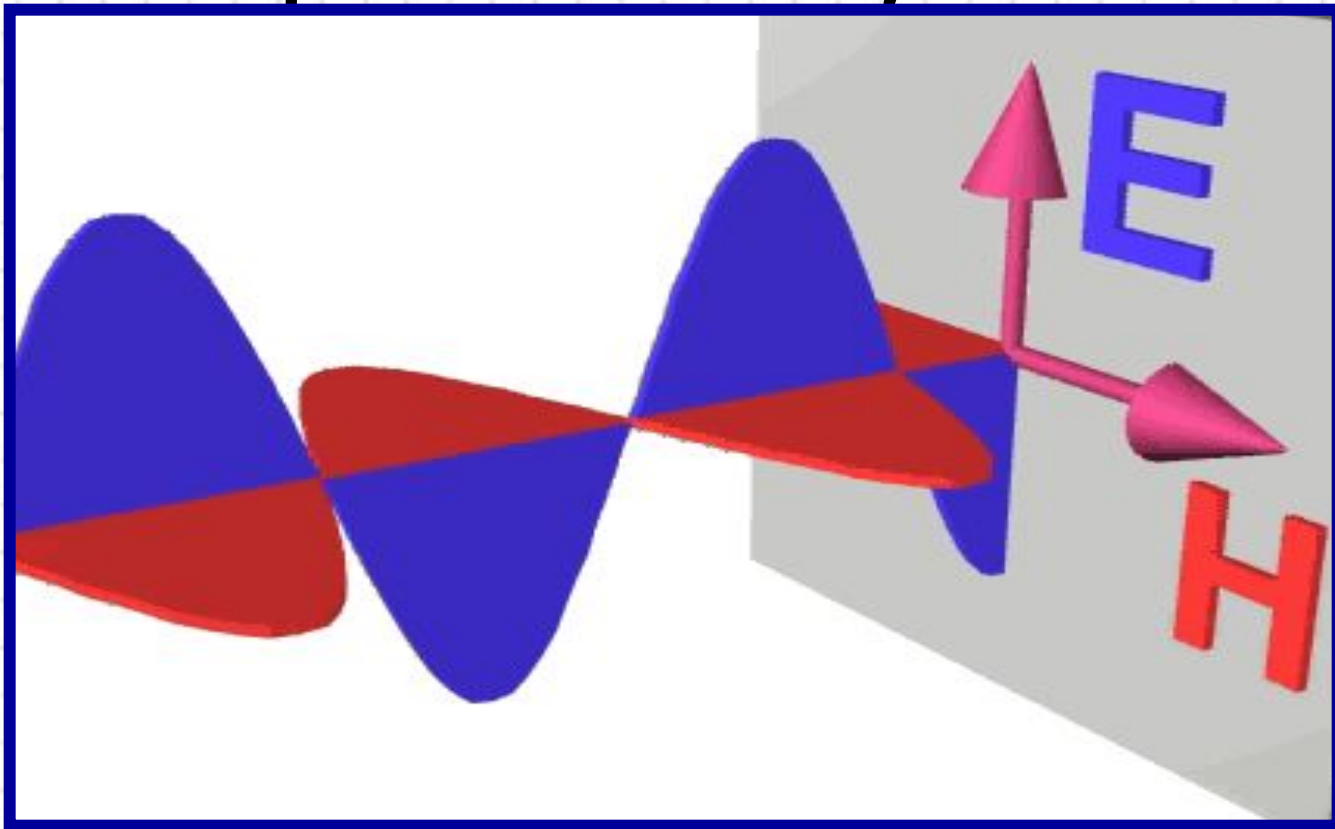
# Геометрическая оптика

рассматривает свет и  
объясняет некоторые  
СВЕТОВЫЕ явления на языке  
СВЕТОВОГО луча.



# Волновая оптика

рассматривает свет как электромагнитную волну.



# Геометрическая

## оптика

←  
*прямолинейное  
распространение*



- *Световой луч*
- *Тень*
- *Полутень*

$$\alpha = \gamma$$

$$D = \frac{1}{F}$$

↙  
*отражение*

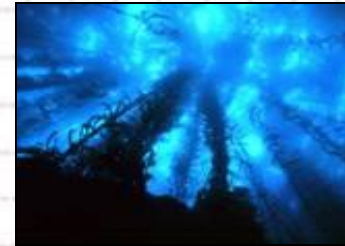


*Законы  
отражения*

$$n = \frac{c}{v}$$

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

↘  
*преломление*



- *Законы преломления*
- *Предельный угол*
- *Полное отражение*

• *Линза*

• *Основные элементы линзы*

• *Построение изображений*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

$$\alpha_{np} = \arcsin \frac{1}{n}$$
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$



# Волновая оптика



## дисперсия

- показатель преломления
- частота э/м колебаний
- длина волны
- скорость света в веществе

$$n = \frac{c}{v}$$



## интерференция

- когерентные волны
- разность хода
- условие максимума
- условие минимума

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$$

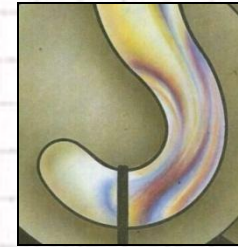
$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$



## дифракция

- дифракционная решетка
- дифракционный максимум
- постоянная решетки
- угол отклонения

$$d \sin \varphi = k\lambda$$



## поляризация

- плоскость поляризации
- поляризатор
- поляризованный свет
- неполяризованный свет

В 60-х годах XVII столетия  
Исаак Ньютон проводил  
эксперименты со светом

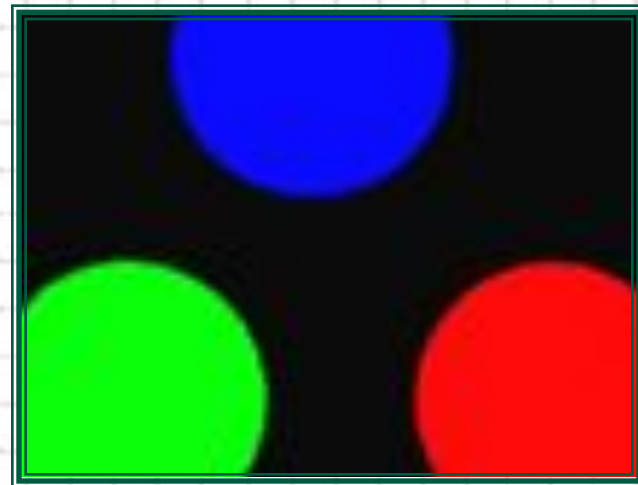


*«Материя -  
объективная  
реальность, данная  
нам в ощущениях.»  
Ньютон И.*

# *Дисперсия света*

*Белый свет представляет собой набор волн различной длины.*

$$400 \text{ нм} \leq \lambda_{\text{света}} \leq 760 \text{ нм}$$



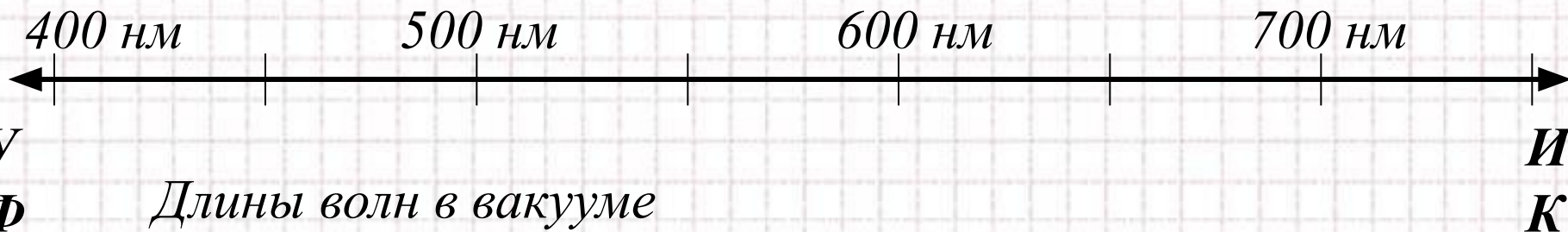
*Свет, представляющий собой набор волн одинаковой длины – монохроматичный.*

*Свет, представляющий собой набор волн различных длин – полихроматичный. (Белый свет является полихроматичным).*

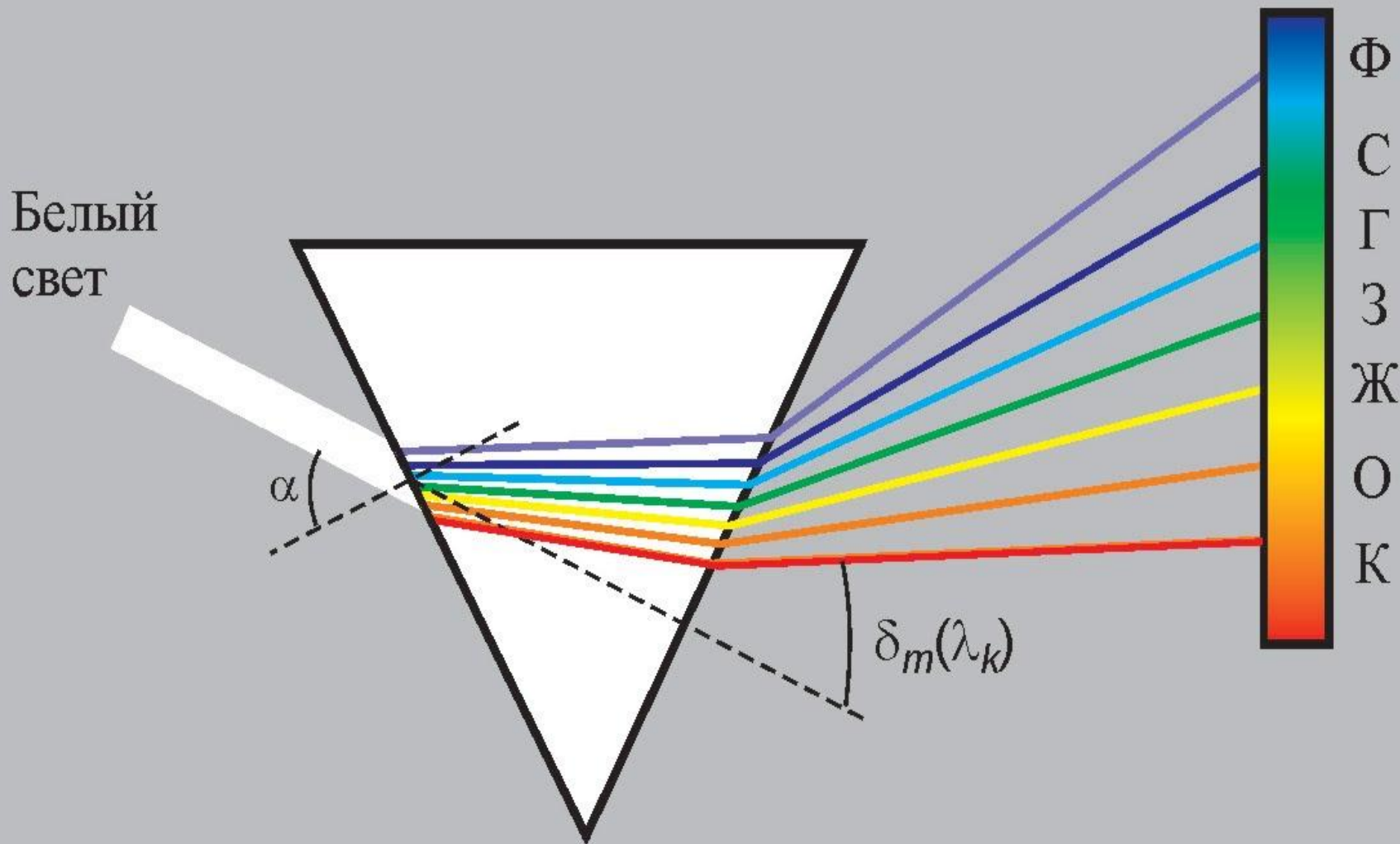
# *Дисперсия света*

*Дисперсия – разложение света в спектр.*

*От латинского слова *dispersio* – рассеяние.*

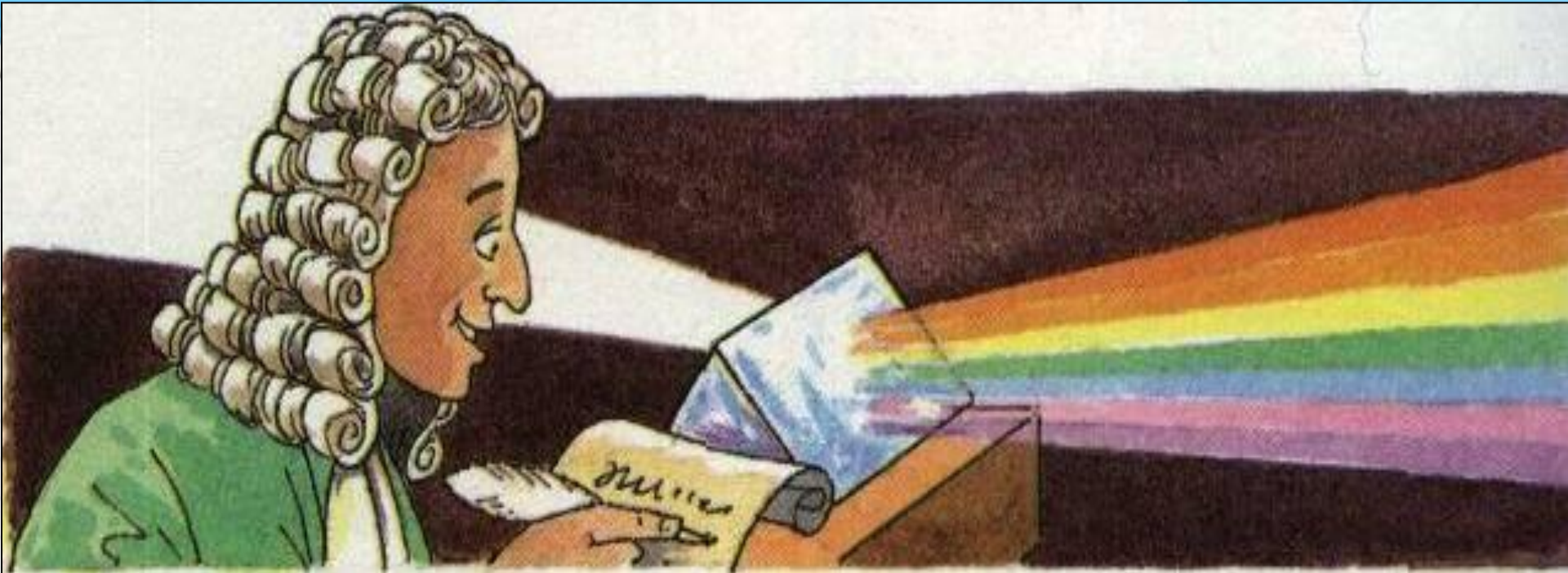


*Исаак Ньютон наблюдал дисперсию, пропуская свет через призму.*



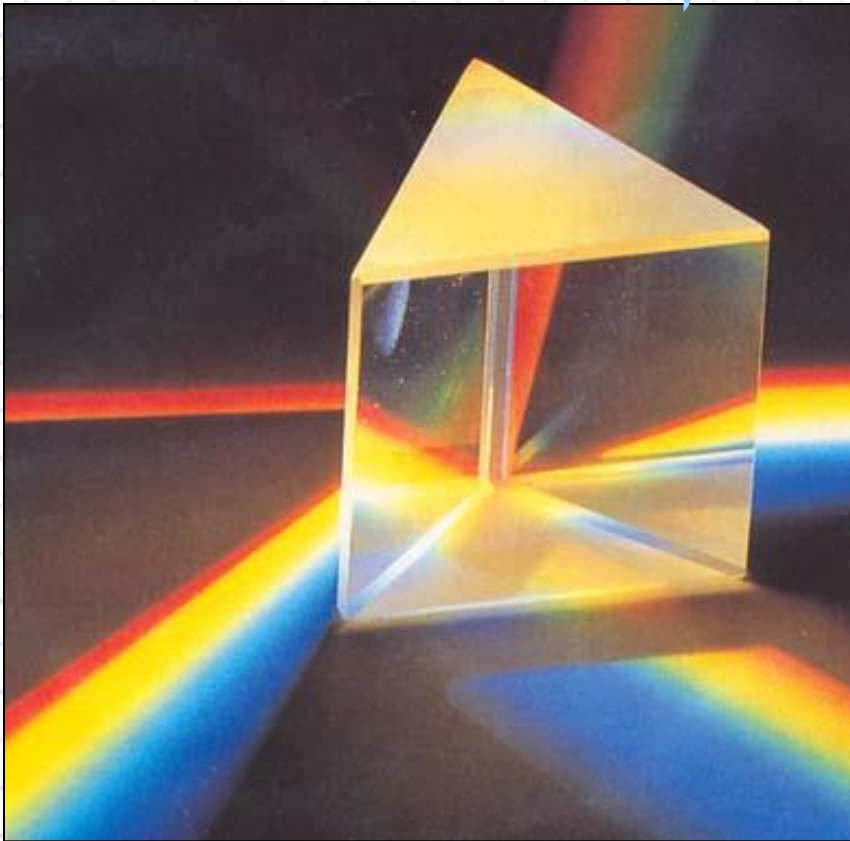


*Эксперимент И. Ньютона*



Свет, который прошел через призму, распался на все цвета радуги. Так Ньютон открыл, что обычный белый цвет состоит из многих цветов, смешанных друг с другом.

# Белый свет - сложный свет, состоящий из семи основных цветов

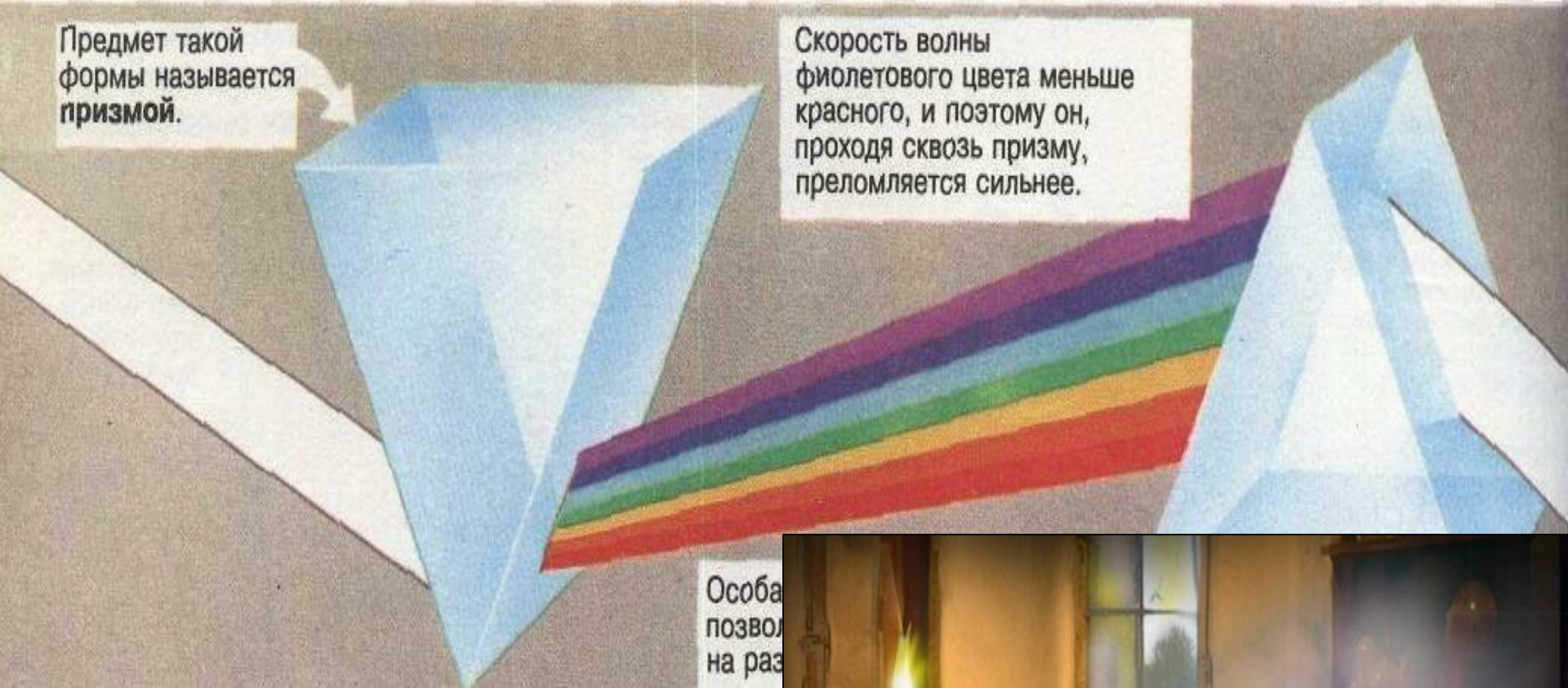


- Красный
- Оранжевый
- Желтый
- Зеленый
- Голубой
- Синий
- Фиолетовый



Предмет такой формы называется призмой.

Скорость волны фиолетового цвета меньше красного, и поэтому он, проходя сквозь призму, преломляется сильнее.



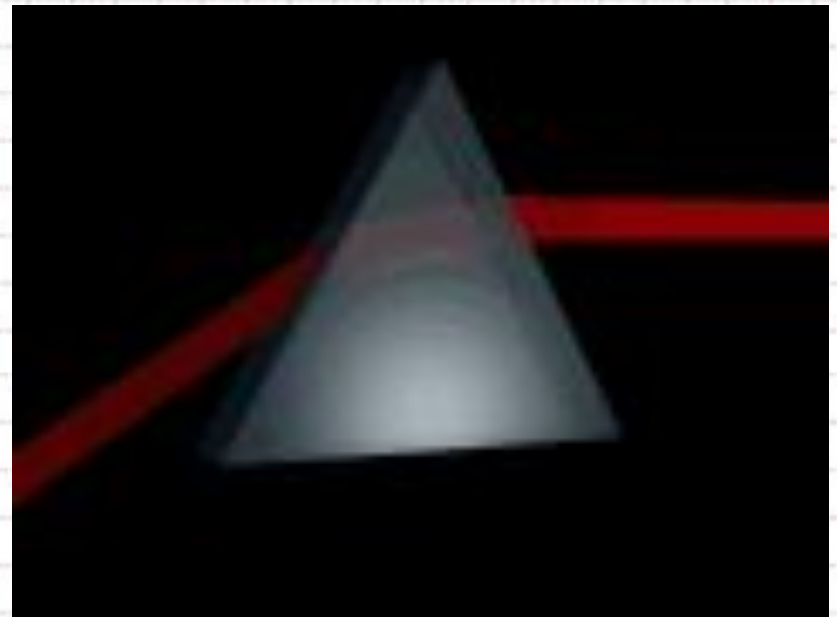
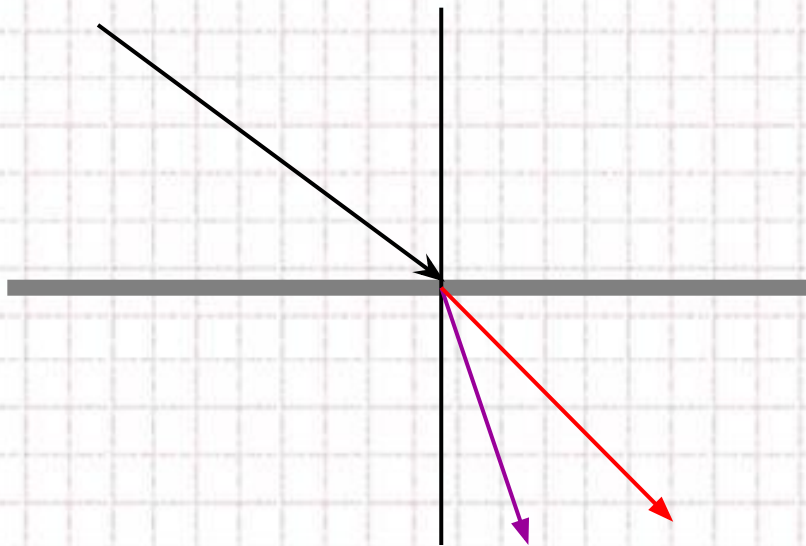
Особа  
позво  
на раз

- Различным цветам соответствуют волны различной длины. Никакой определенной длины волны белому свету не соответствует.

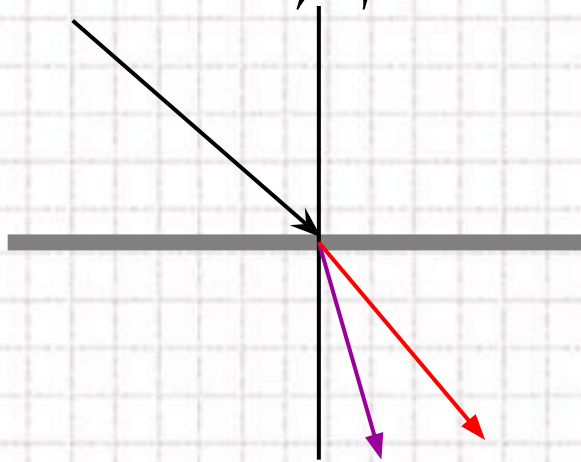


# Дисперсия света

*Причиной дисперсии является различие показателей преломления для волн разной длины. (сильнее всего преломляется фиолетовый свет, слабее всего преломляется красный свет).*



# Дисперсия света



$$n_{\phi} > n_{\kappa\rho}$$

$$n_{\text{cp}} = \frac{c}{v_{\text{cp}}}$$

$$v_{\phi} < v_{\kappa\rho}$$

$$v_{\text{cp}} = v \cdot \lambda_{\text{cp}}$$

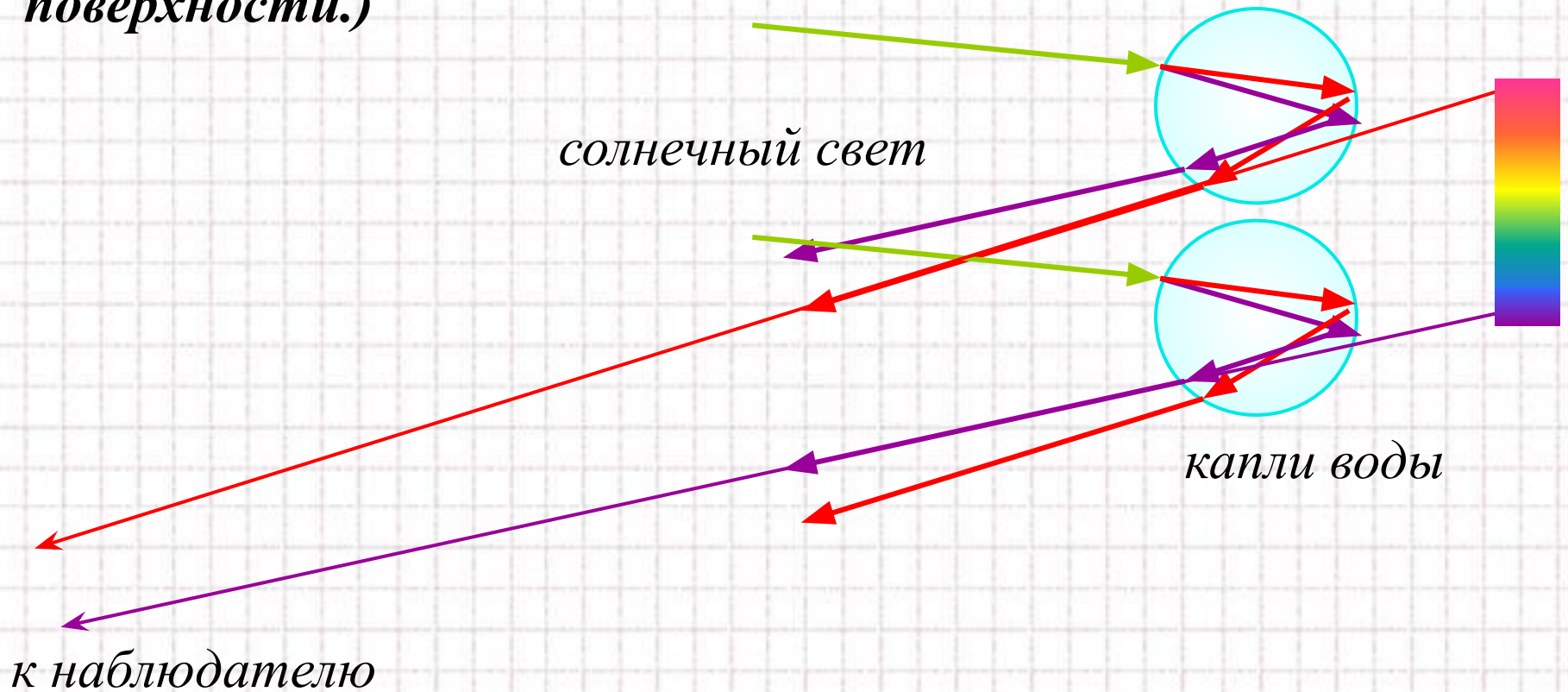
$$c = v \cdot \lambda_0$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{c}{n_{\text{cp}}}$$

$$\lambda_{\text{cp}} = \frac{\lambda_0}{n_{\text{cp}}}$$

# Дисперсия света

*Пример дисперсии света – радуга. (Разложение света в спектр происходит из-за преломления лучей сферическими капельками воды и отражения от их внутренней поверхности.)*





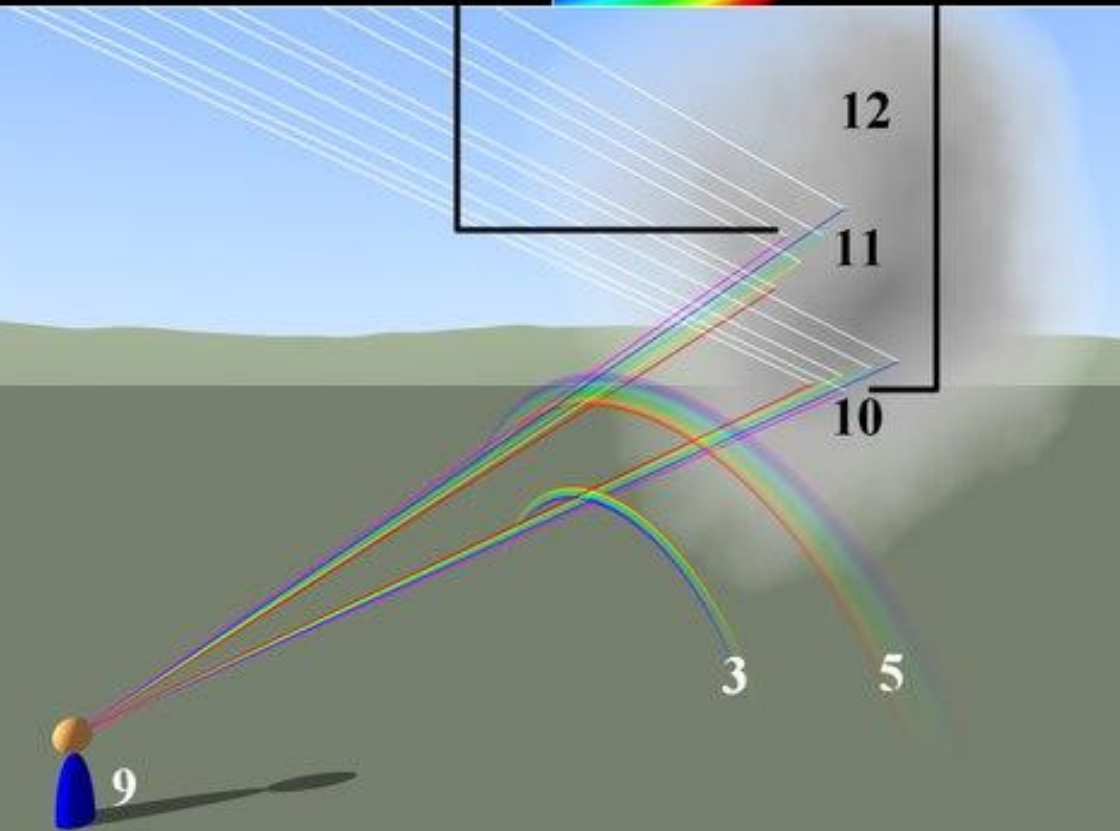
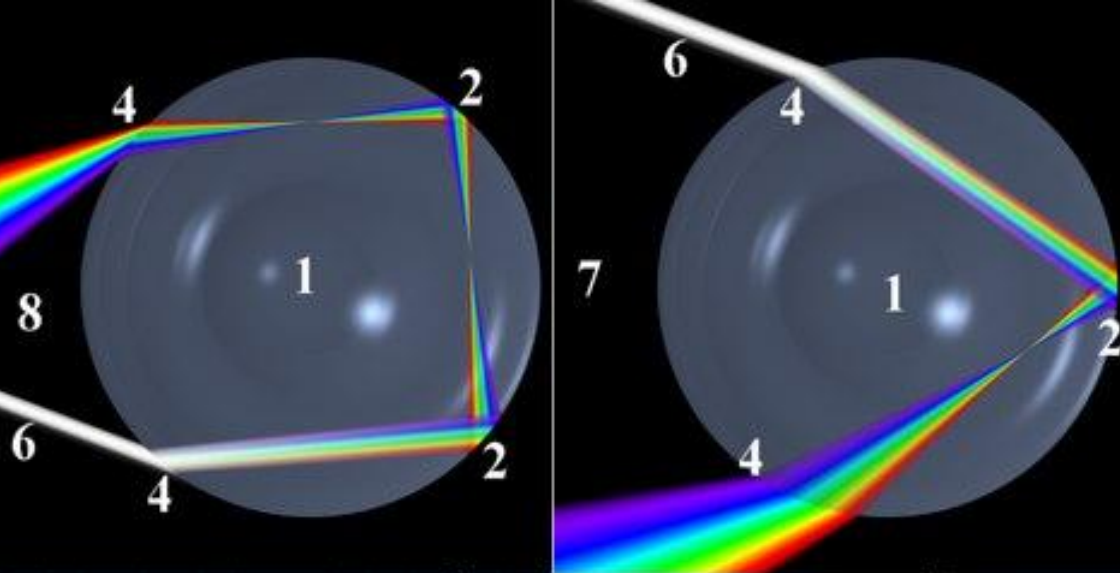
# Радуга

- не что иное, как спектр солнечного света.

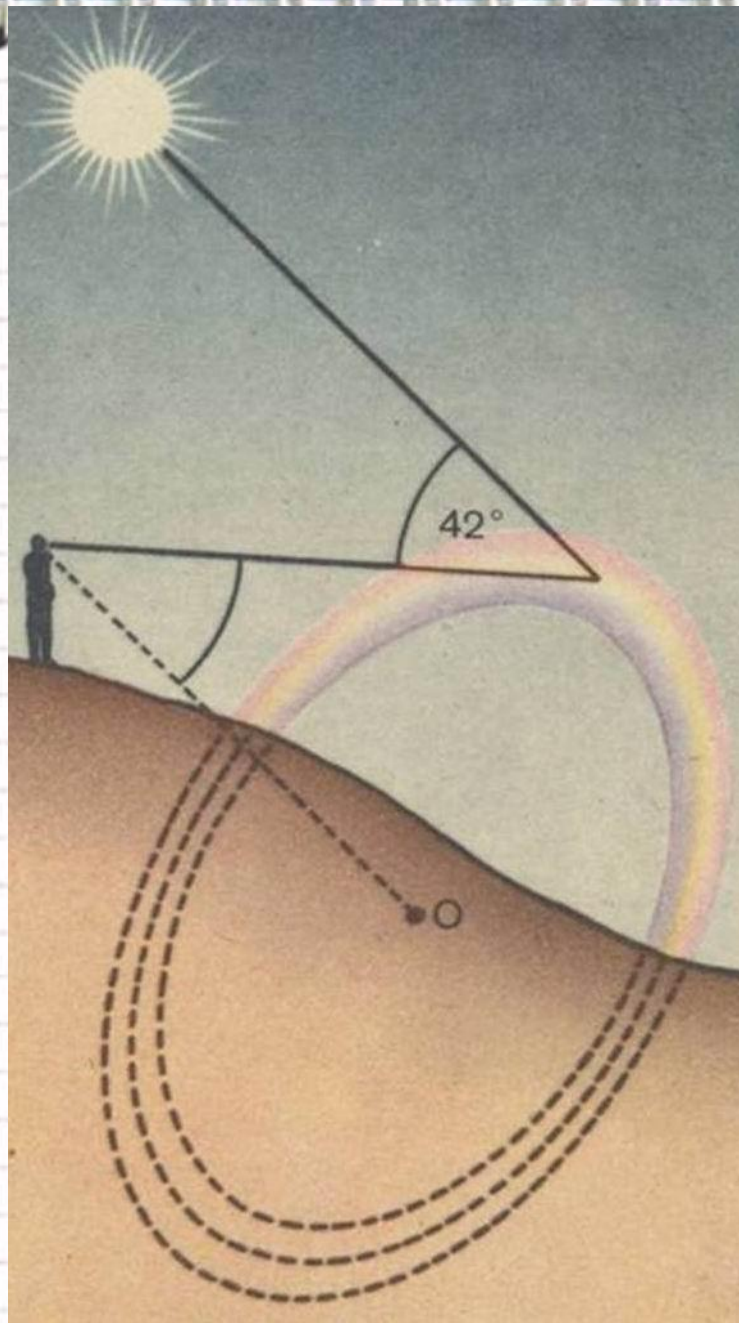
Он образован разложением белого света в каплях дождя как призмах. Из дождевых капель под разными углами преломления выходят широкие разноцветные пучки света.

Наблюдатель, находясь вне зоны дождя, видит радугу на фоне облаков, освещаемых солнцем, на расстоянии 1 - 2 км.

В это время Солнце стоит невысоко над горизонтом за спиной наблюдателя, а центр радуги - над горизонтом.



Как  
формируется  
радуга



Верхняя полоса у радуги - всегда красная и находится не выше  $42^\circ$  над горизонтом. Нижняя полоса - фиолетовая, а между ними находятся все остальные цвета.

Чем выше Солнце над горизонтом, тем меньшую часть радуги мы видим над горизонтом. Когда Солнце находится выше  $43^\circ$ , тогда радуга не видна.

- Наблюдать радугу можно во время дождя при условии, что Солнце или источник света, близкий по спектру к солнечному, находится позади наблюдателя. Размер видимой части радуги зависит от положения Солнца относительно горизонта.
- Вывод: явление радуги связано с явлениями преломления и отражения света. Явление дисперсии сильно увеличивает эффект радуги и позволяет видеть это прекрасное явление природы.





# Радуга







Радуга на склоне



# Радуга с отражением в море



Обратная радуга



Радуга в тумане



Радуга в тумане



©www.fotoles.ru

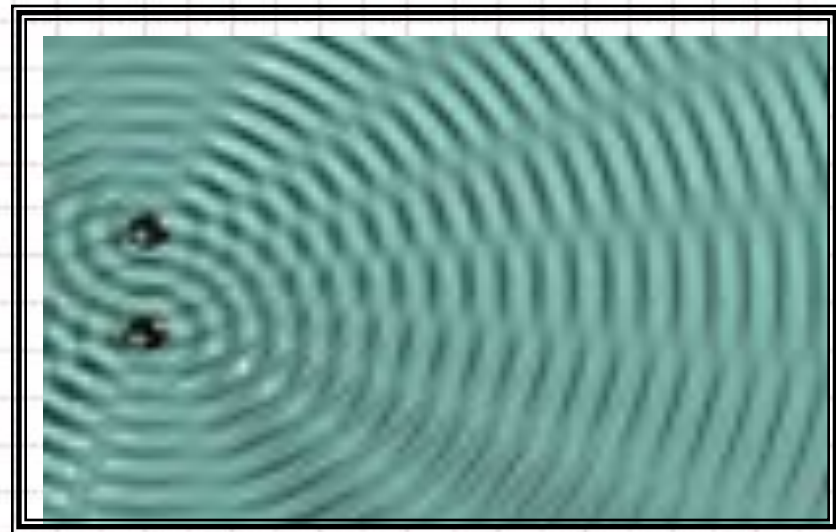
Радуга в тумане



# **Интерференция света**

**Интерференция** – явление сложения волн в пространстве.

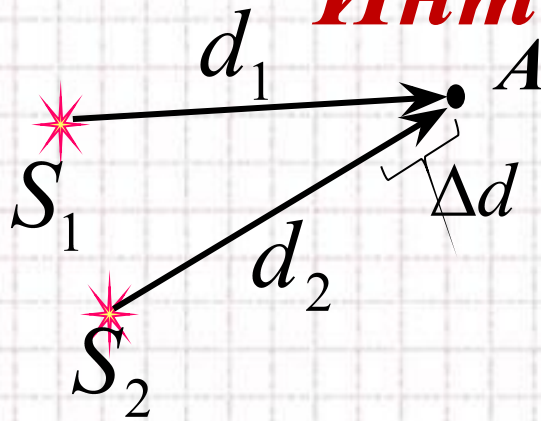
**От латинских слов *inter* – взаимно, между собой и *ferio* – ударяю, поражаю.**



**Для образования устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн имели одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянна.**

**Источники, удовлетворяющие этим условиям, называются когерентными. (От латинского слова *cohaerens* – взаимосвязанный).**

# Интерференция света

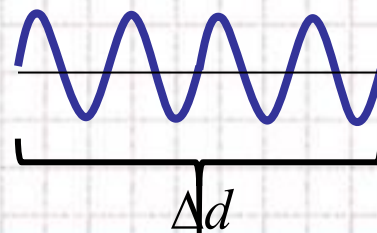
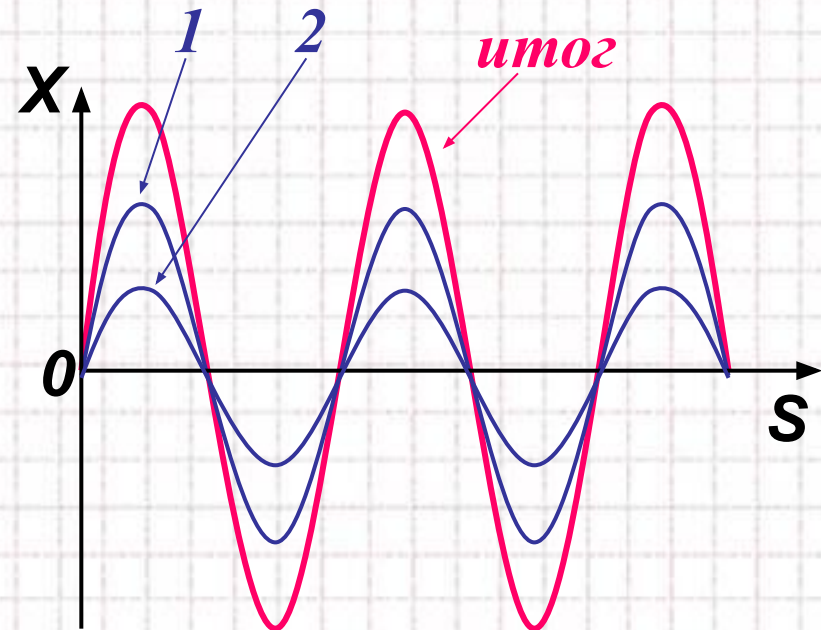


$$\Delta d = d_2 - d_1 - \text{разность хода}$$

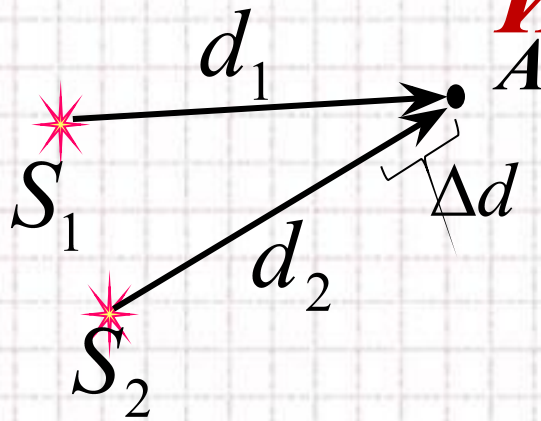
Если волны приходят в точку  $A$  в одинаковой фазе, то в точке  $A$  наблюдается максимум – волны усиливают друг друга.

Условие макс:  $\Delta d = k\lambda$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

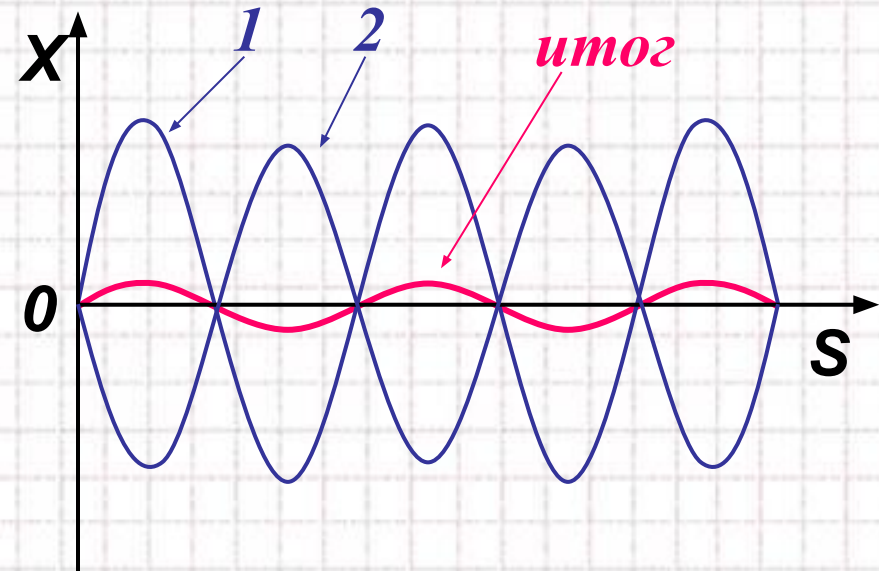


# Интерференция света



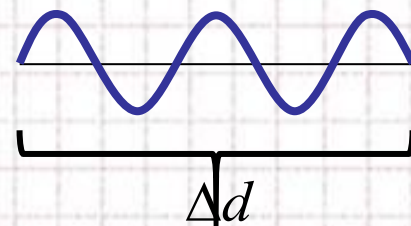
$$\Delta d = d_2 - d_1 - \text{разность хода}$$

*Если волны приходят в точку  $A$  в противоположных фазах, то в точке  $A$  наблюдается минимум – волны ослабляют друг друга.*

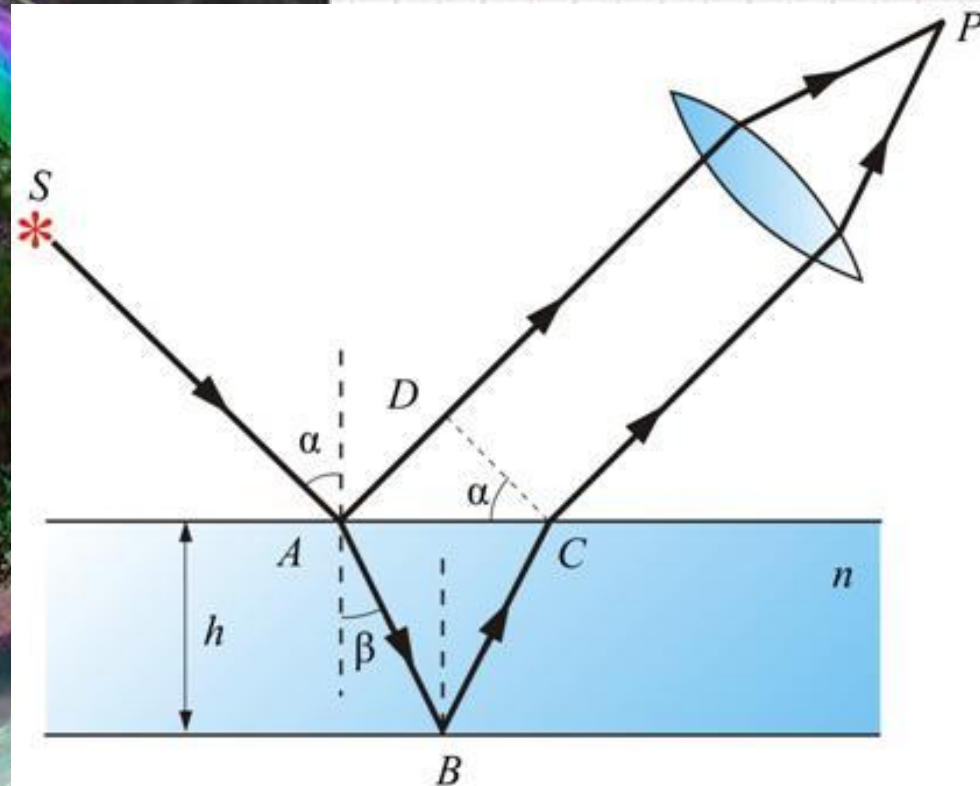
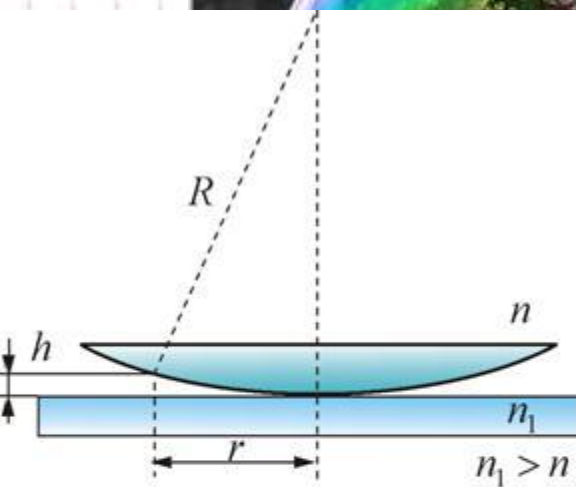
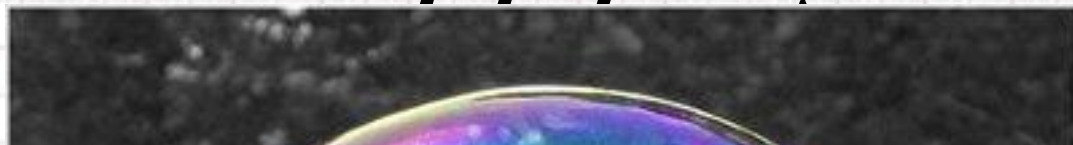


$$\text{Условие min: } \Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

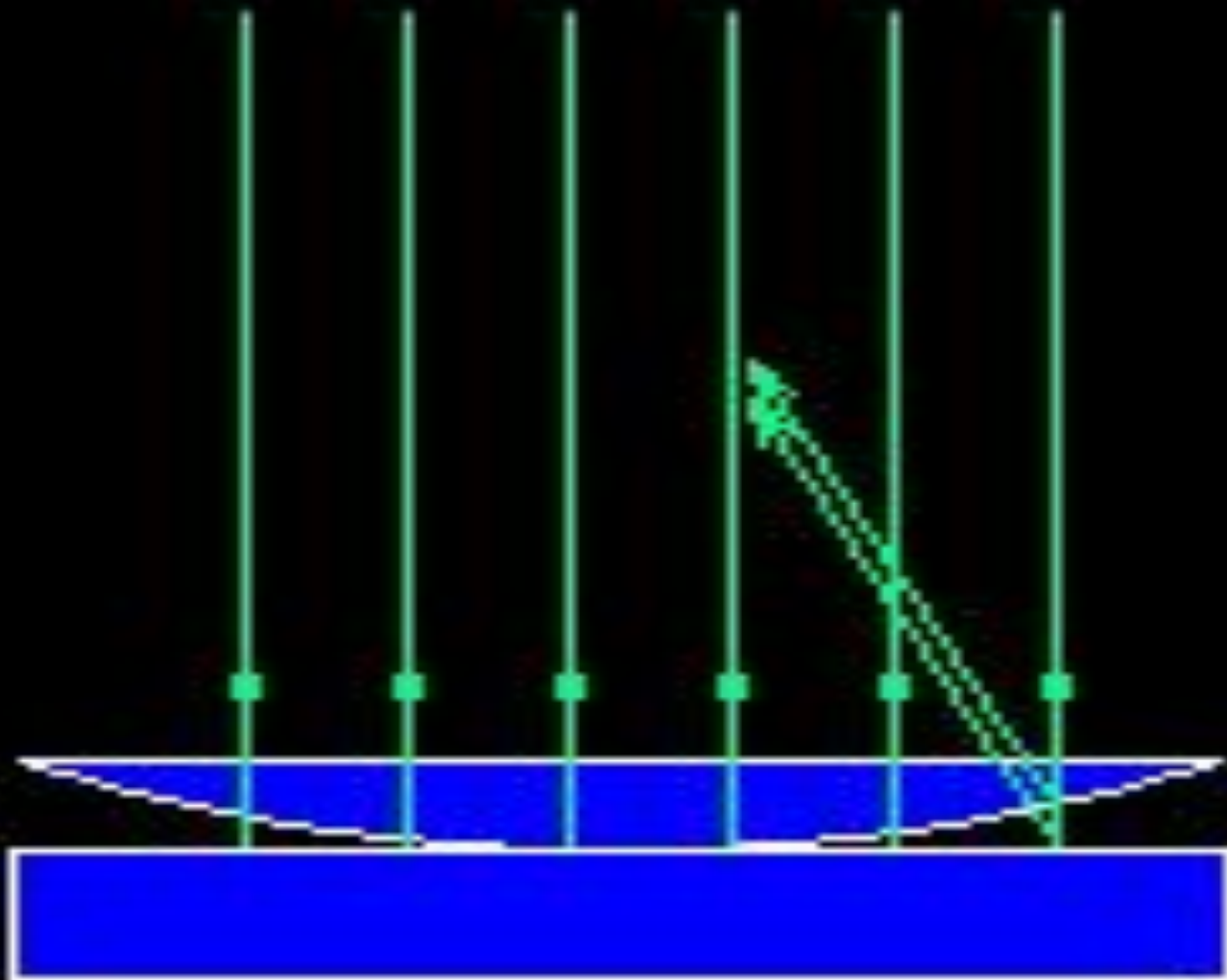


# Интерференция света

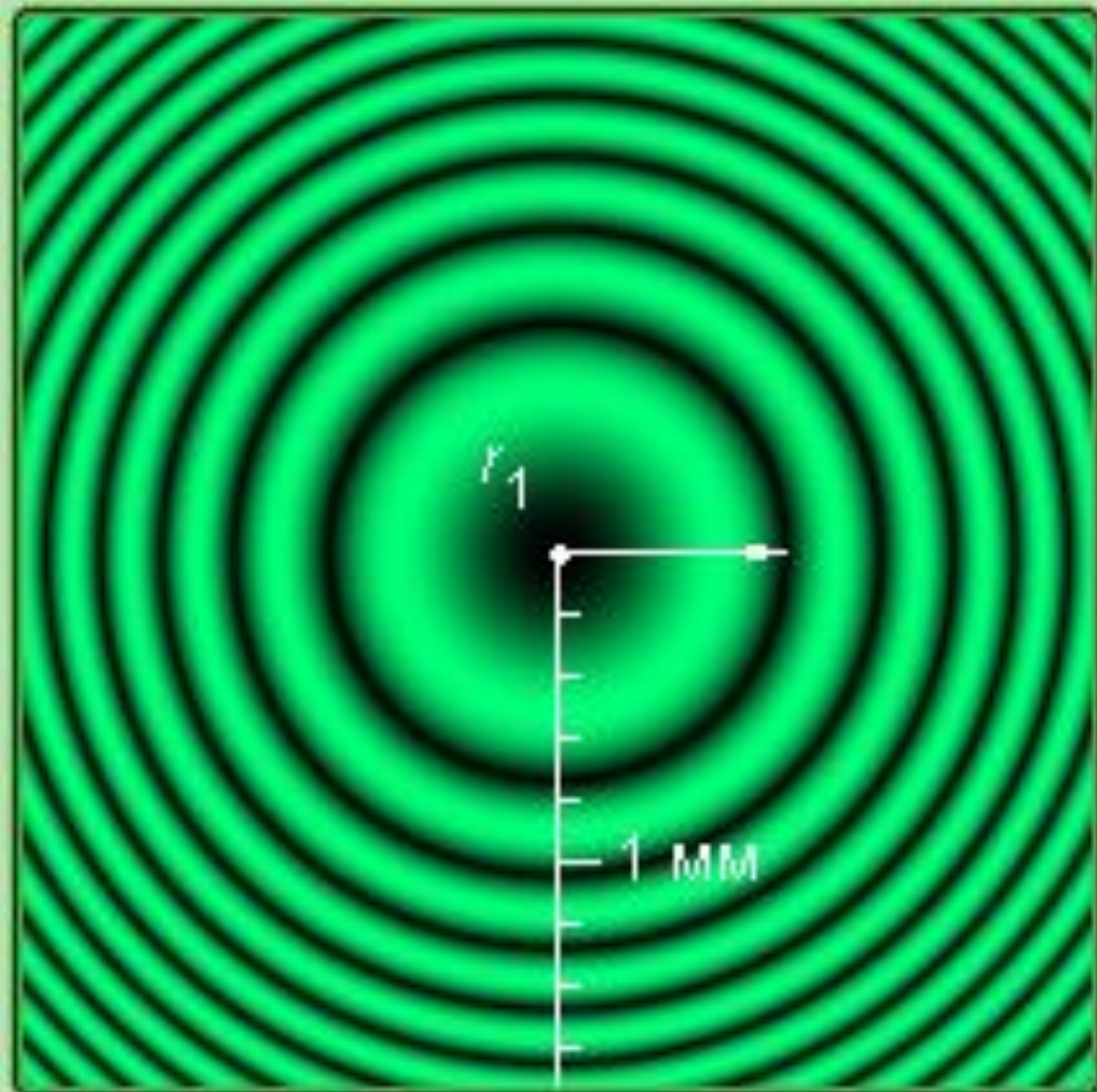


Pavel Kosenko [2003]

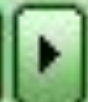
***Наблюдение  
интерференции  
света***



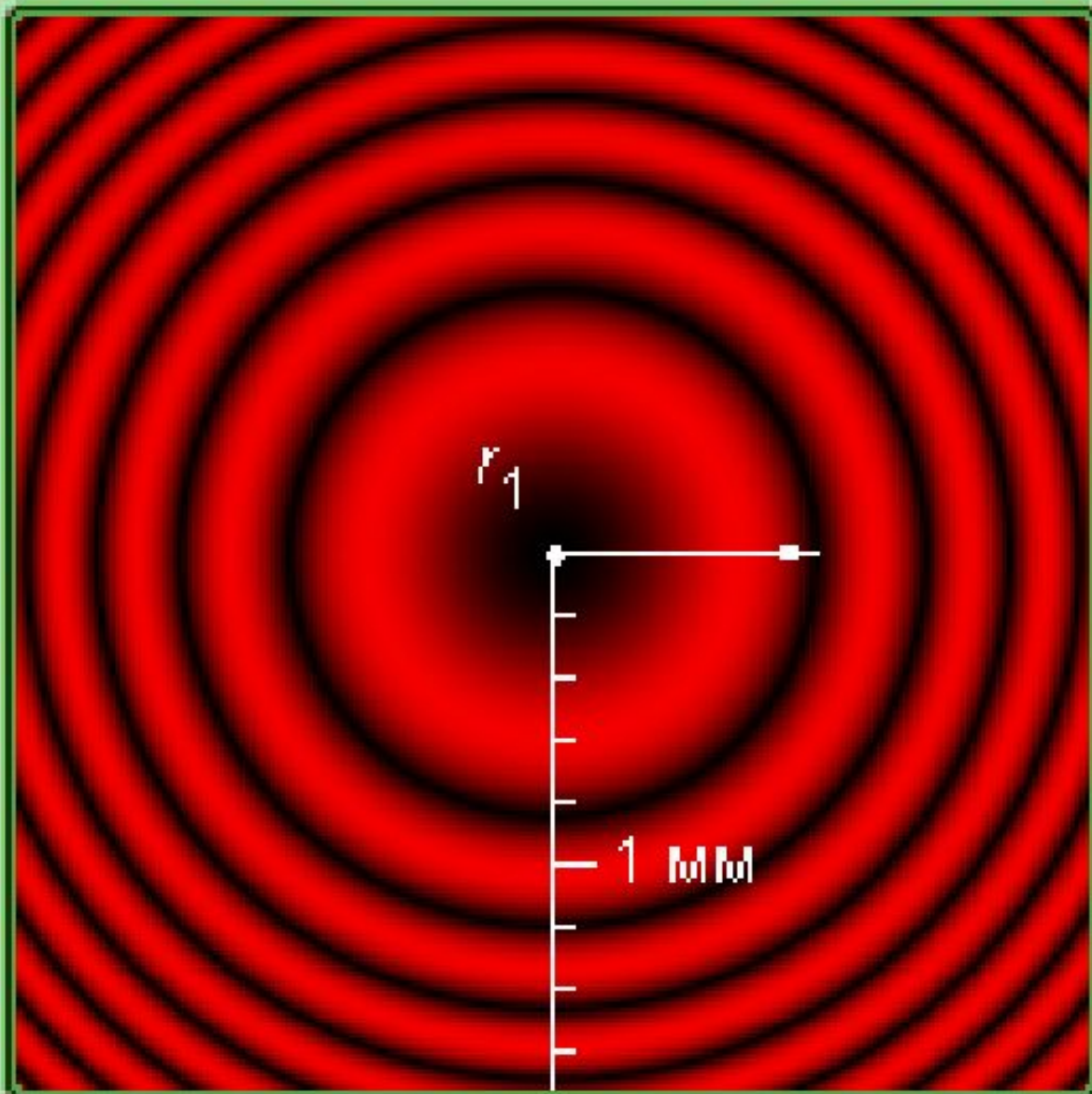
*«Кольца Ньютона»*



$\lambda =$  514



HM

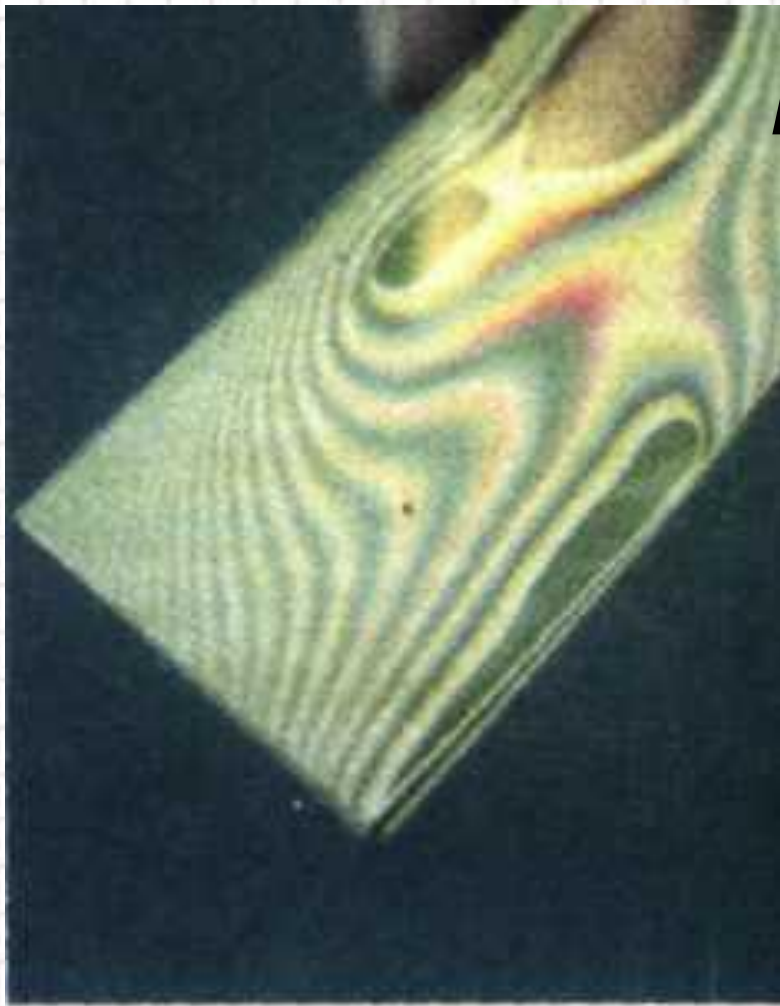


$\lambda =$



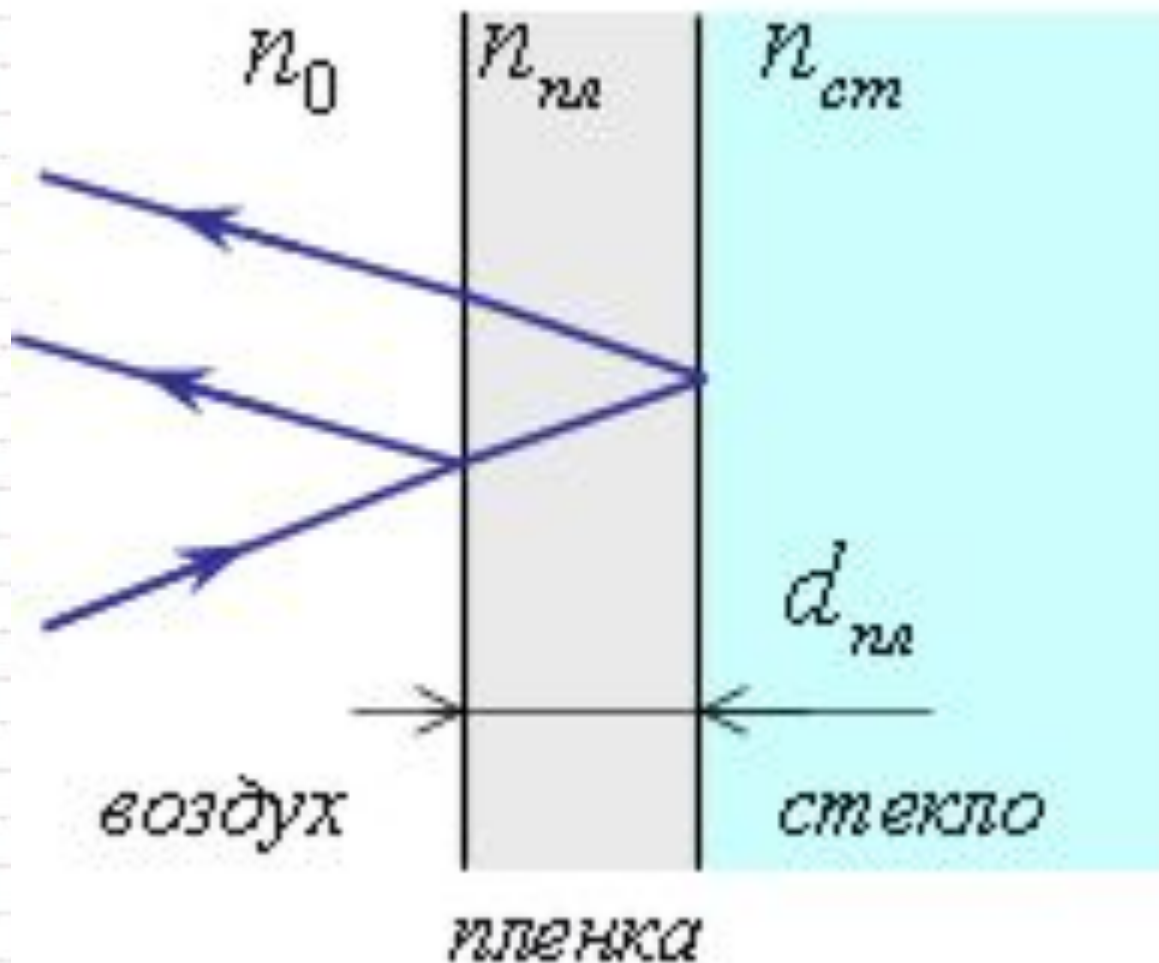
HM





*Интерференционная  
картина,  
созданная тонким  
слоем воздуха  
между двумя  
стеклянными  
пластинками*

# Интерференция в пленках



# *Структурная окраска*





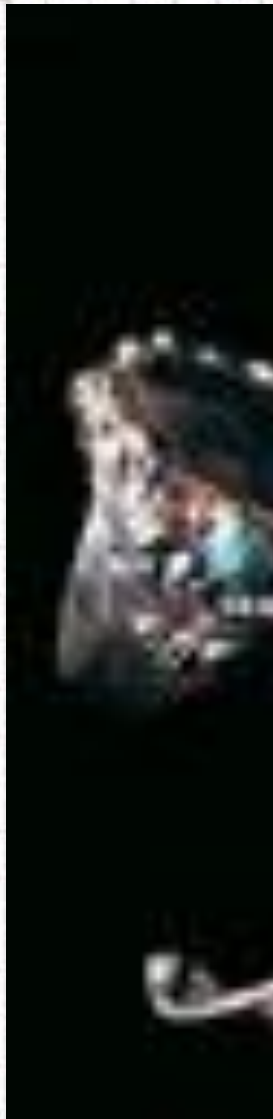






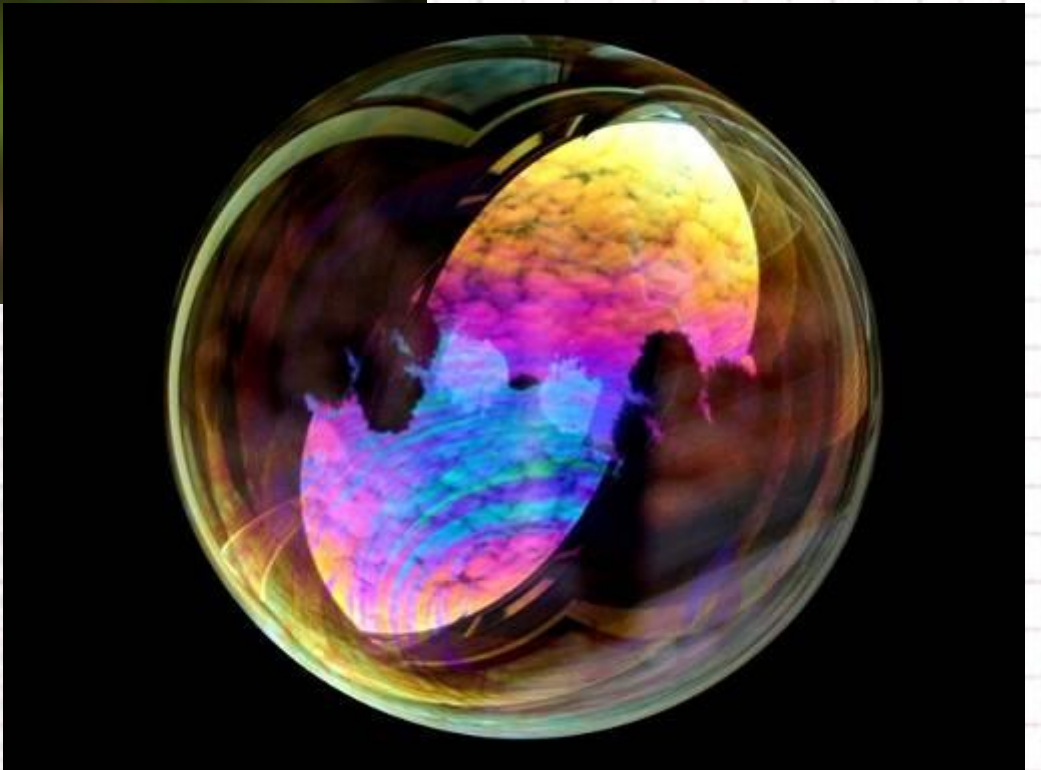






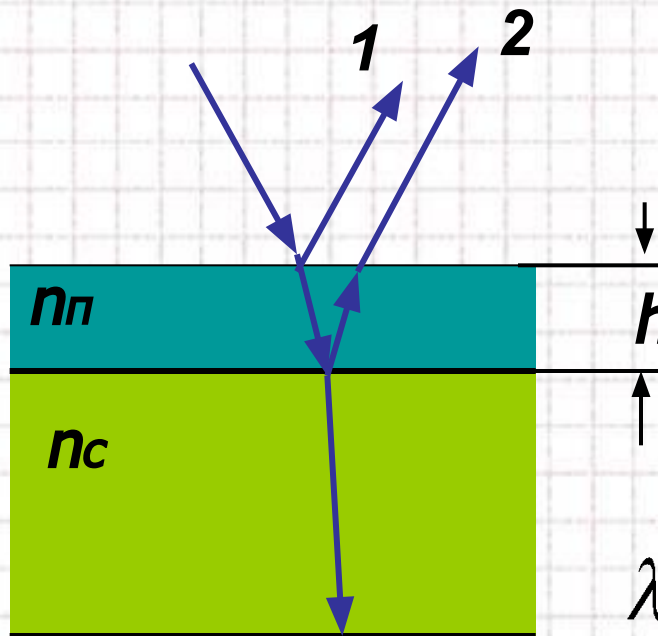


Мыльный пузырь



# Интерференция света

Одно из применений интерференции – просветление оптики.

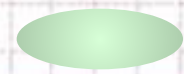


$$n_{\text{пленки}} < n_{\text{стекла}}$$

$$\lambda_{\text{пленки}} = \frac{\lambda}{n_{\text{пленки}}}$$

$$2h = \frac{\lambda_{\text{пленки}}}{2} = \frac{\lambda}{2n_{\text{пленки}}}$$

$$h = \frac{\lambda}{4n_{\text{пленки}}}$$





# Просветление оптики



# *Дифракция*

*Дифракция – явление огибания волной препятствия.*

**От латинского  
слова *difraktus* –  
разломанный.**



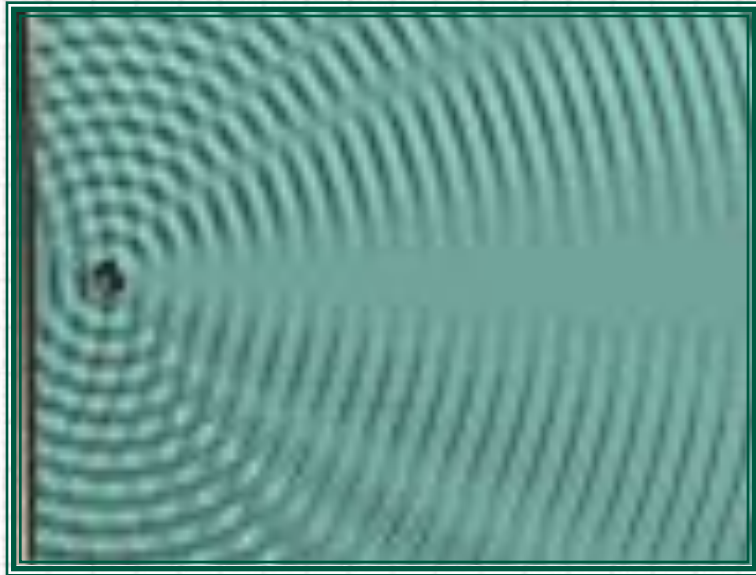
# Дифракция была открыта

**Франческо Гримальди** в конце XVII в.

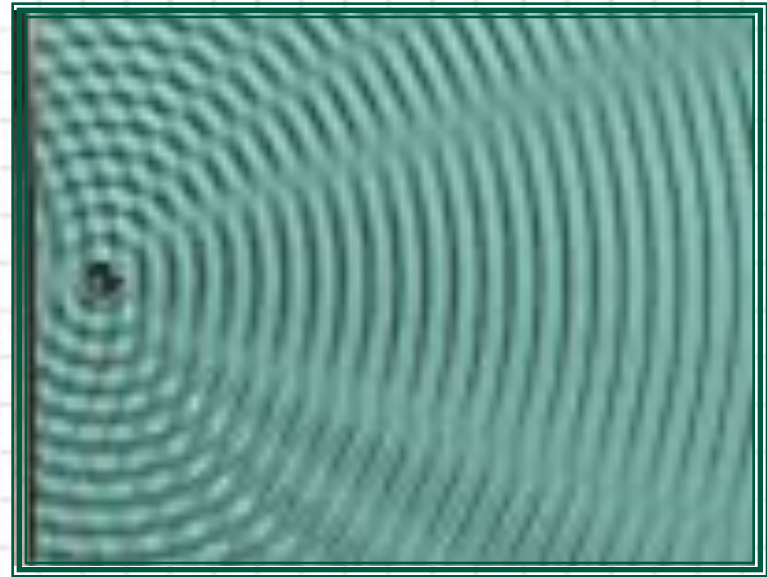
Объяснение явления дифракции света дано **Томасом Юнгом** и **Огюстом Френелем**, которые не только дали описание экспериментов по наблюдению явлений интерференции и дифракции света, но и объяснили свойство прямолинейности распространения света с позиций волновой теории



# *Дифракция*



*min*



*max*

*Дифракция – результат интерференции вторичных волн.*



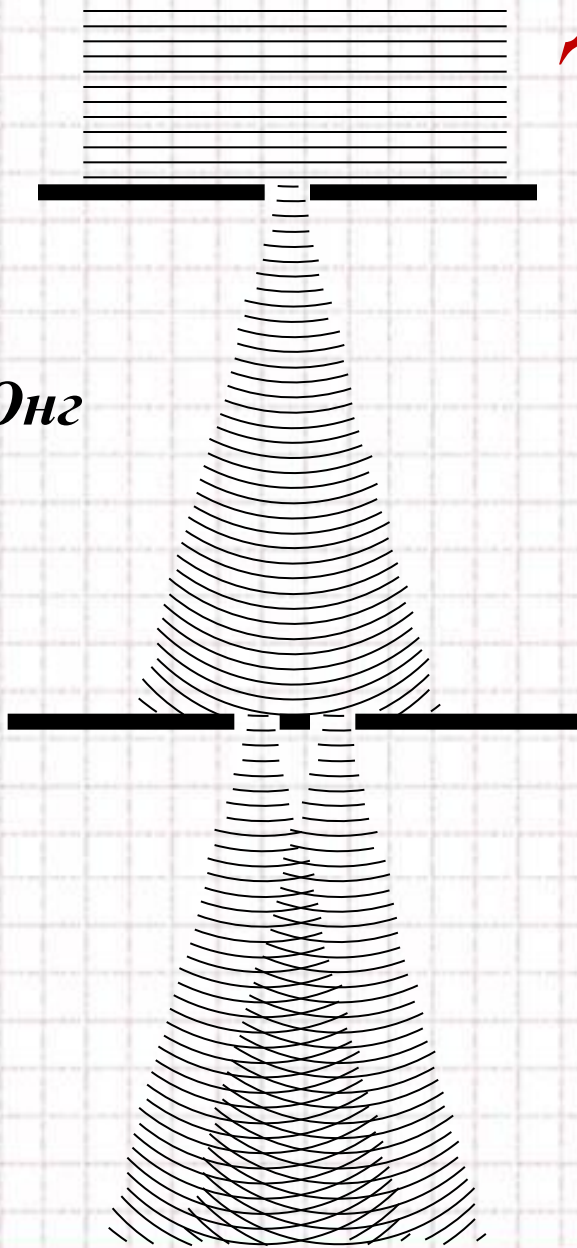


# Дифракция света

*Изменяется ширина щелей*

*1802 г.*

*Томас Юнг*

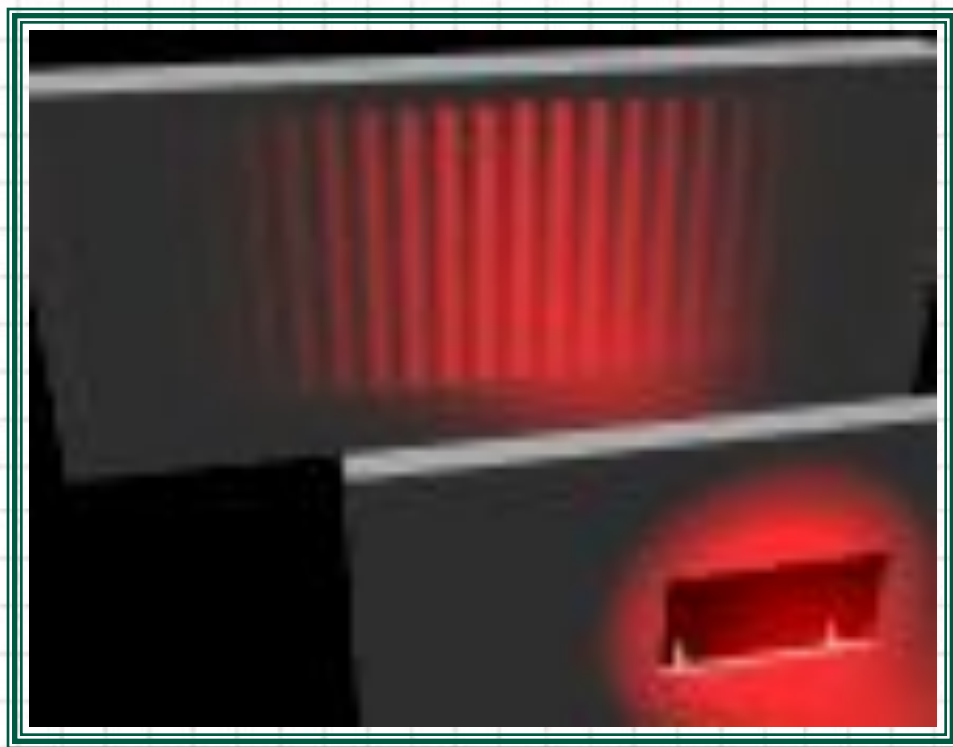
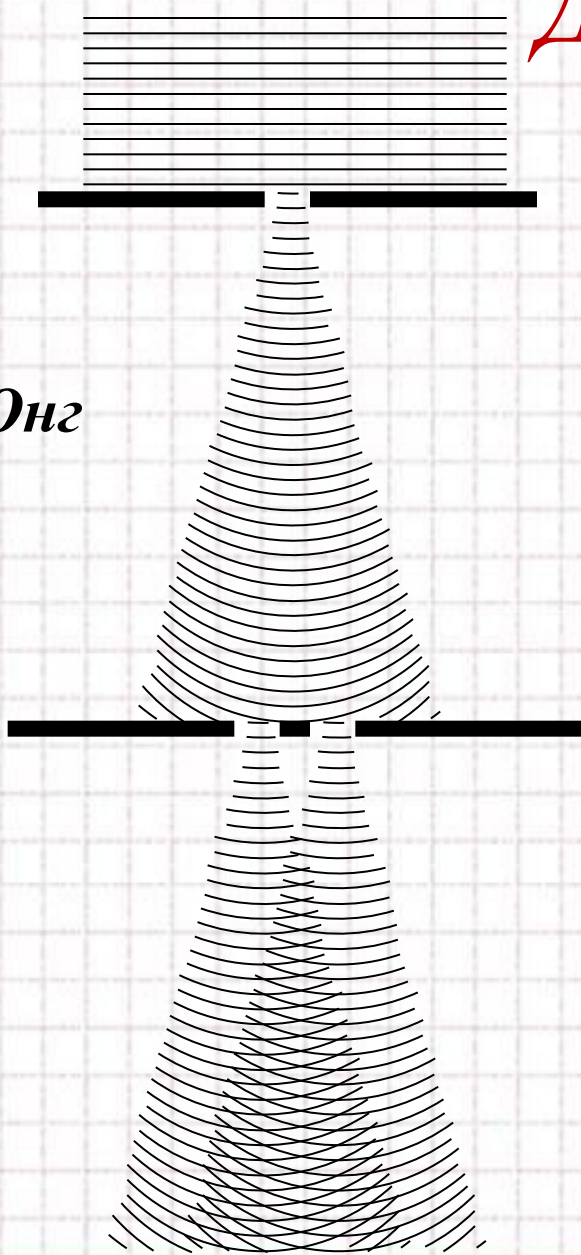


# Дифракция света

Изменяется расстояние  
между щелями

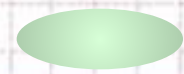
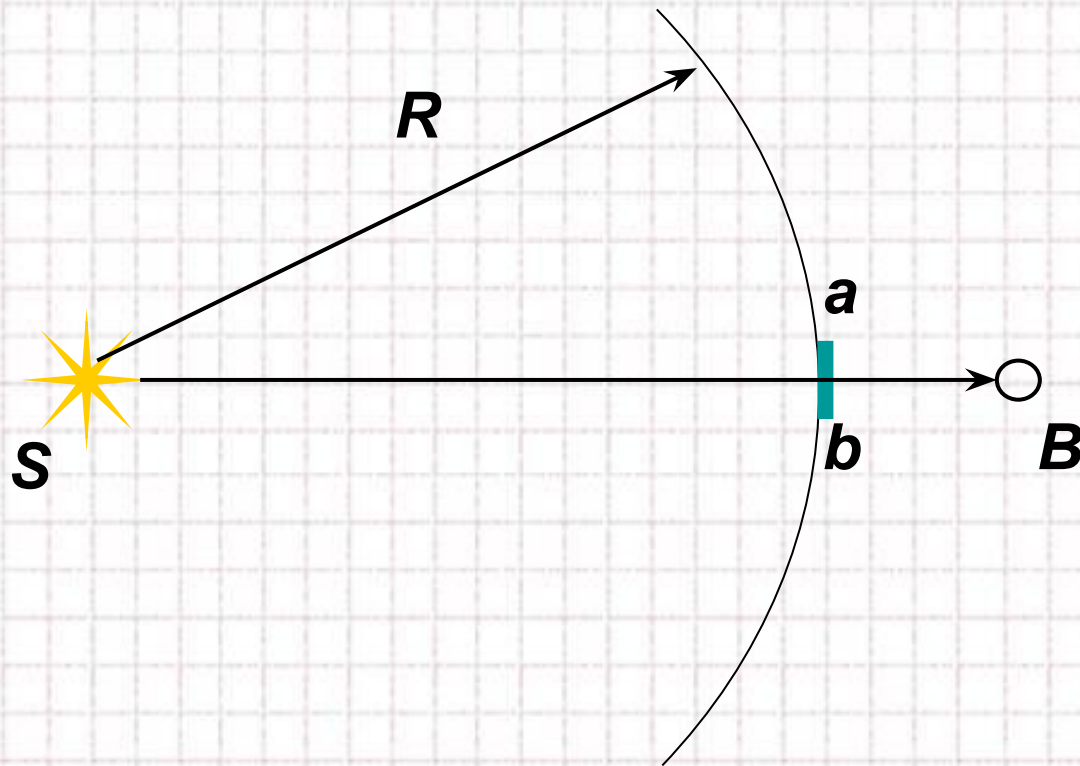
1802 г.

Томас Юнг



# Дифракция света

*Принцип Гюйгенса – Френеля: волновая поверхность в любой момент времени представляет собой не просто огибающую вторичных волн, а результат их интерференции.*



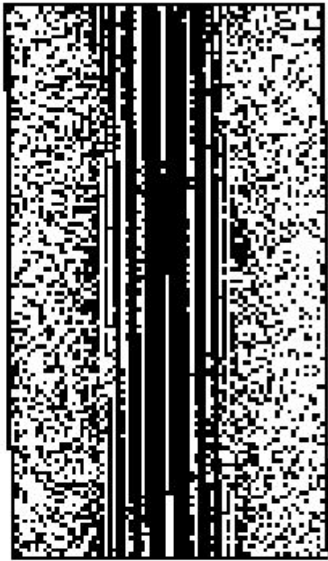
# Принцип Гюйгенса-Френеля:

*каждая точка волновой поверхности  
является источником вторичных  
сферических волн, которые  
интерферируют между собой*

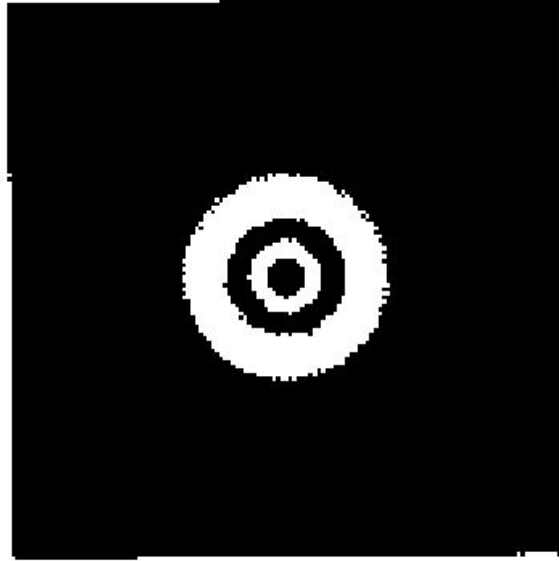


## Дифракция от различных препятствий:

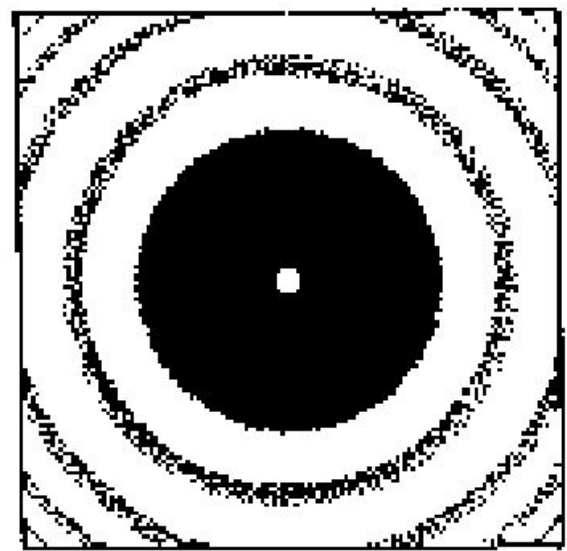
- а) от тонкой проволоочки;
- б) от круглого отверстия;
- в) от круглого непрозрачного экрана.



а)

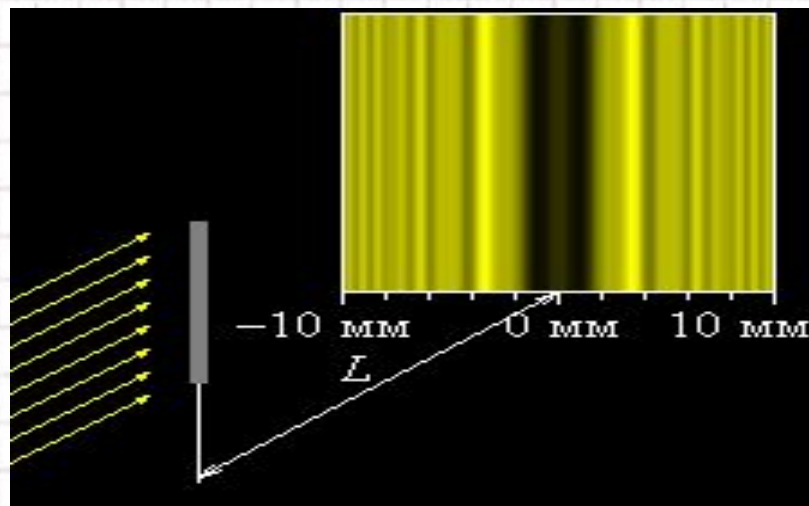


б)

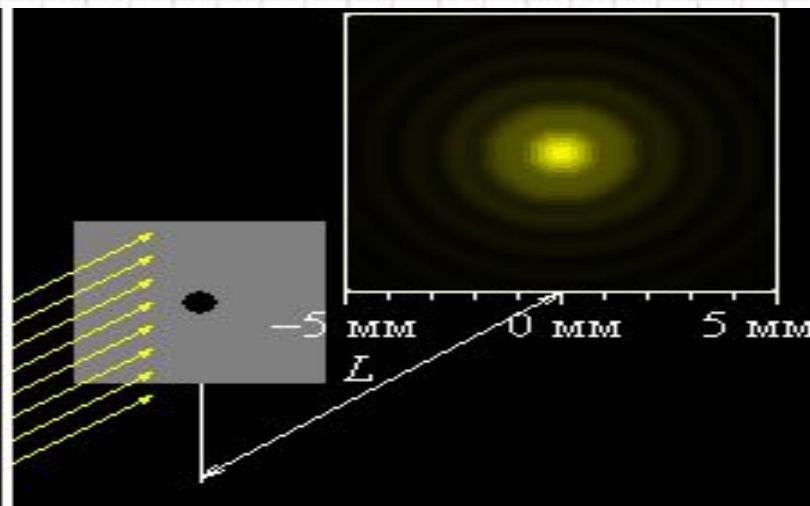


в)

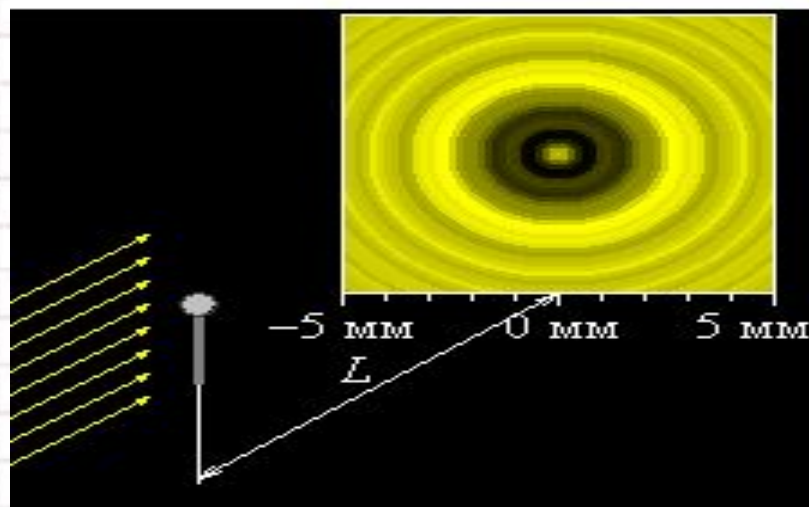
# Препятствия



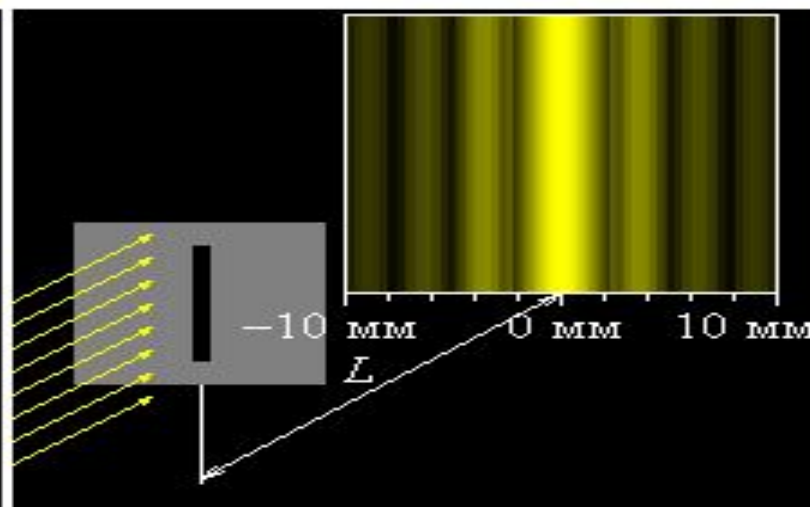
Игла



Круглое отверстие



Шарик



Щель

# **Условия наблюдения дифракции**

***Дифракция происходит  
на предметах любых  
размеров, а не только  
соизмеримых с длиной  
волны  $\lambda$***

# **Условия наблюдения дифракции**

***Трудности наблюдения  
заключаются в том, что  
вследствие малости длины  
световой волны  
интерференционные  
максимумы располагаются  
очень близко друг к другу, а их  
интенсивность быстро  
убывает***



# Дифракционная решетка

Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками.

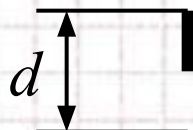


$d_1$



$d_2$

$d_1 > d_2$



$d$  – период (постоянная) дифракционной решетки.

$$d = \frac{1}{N} \quad [d] = m$$

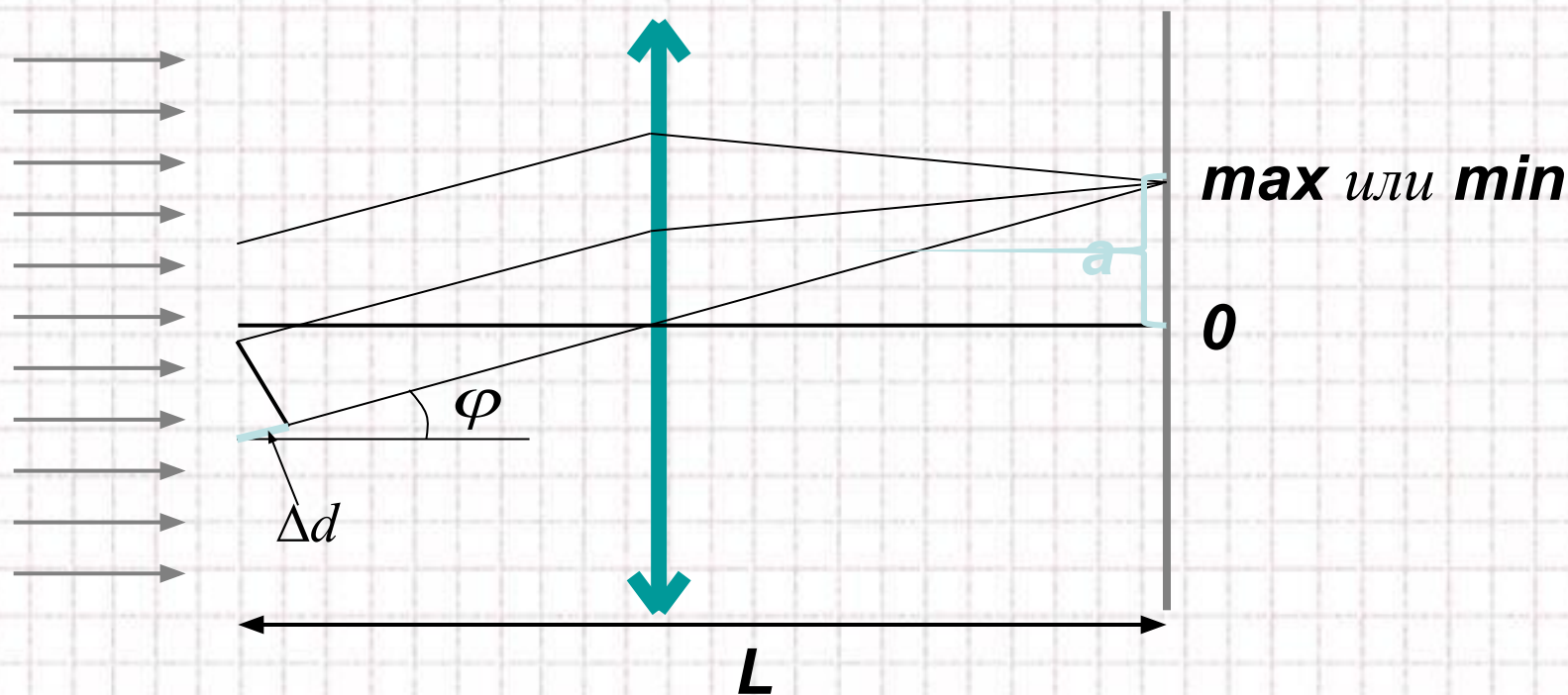
$N$  – число штрихов на 1 м.



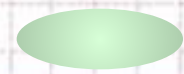
# *Дифракционная решетка*



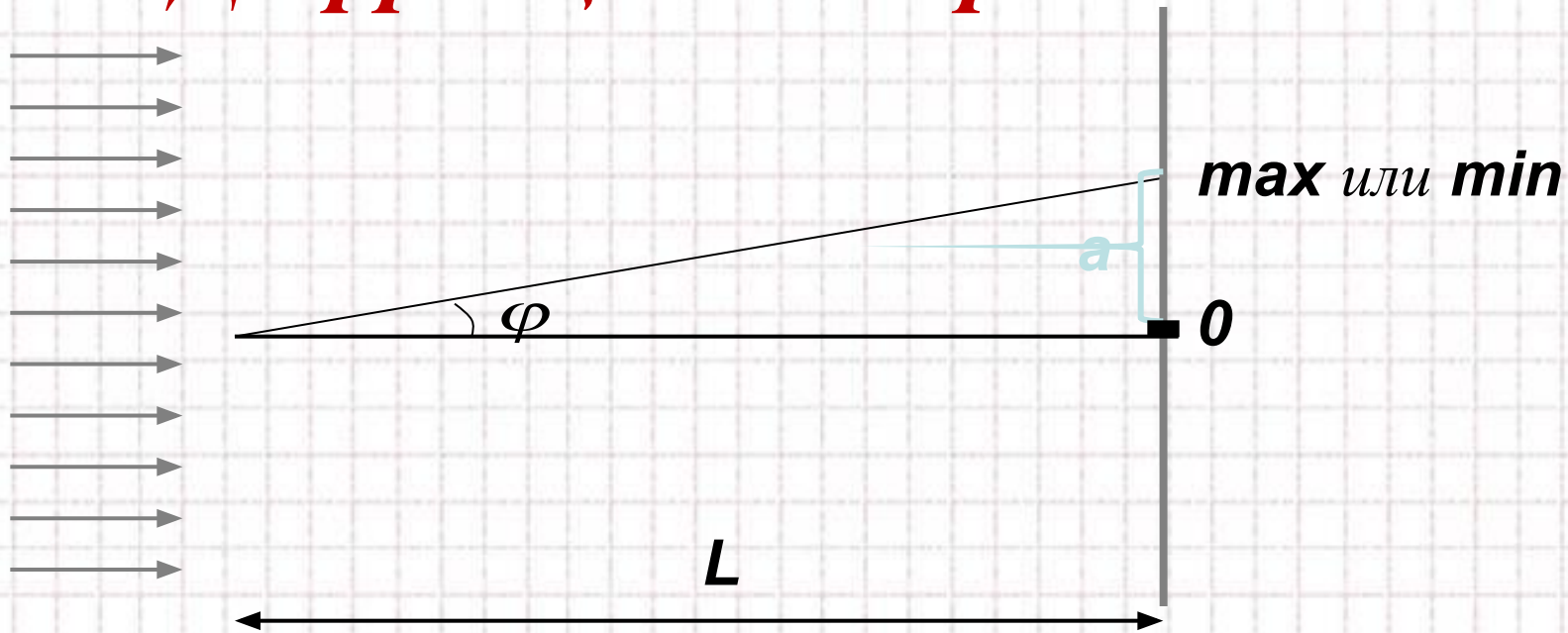
# Дифракционная решетка



$$\left. \begin{aligned} \Delta d &= k\lambda \\ \Delta d &= d \cdot \sin \varphi \end{aligned} \right\} d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$



# Дифракционная решетка



$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\sin \varphi \sim \lambda$$

$$\sin \varphi = \frac{a}{L}$$

$$\sin \varphi = \frac{\Delta d}{d}$$

$$a = \frac{\Delta d L}{d}$$

# Дифракционная решетка

3 min

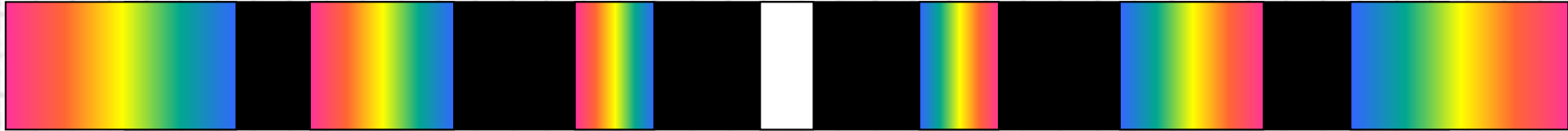
2 min

1 min

1 min

2 min

3 min



3 max

2 max

1 max

главный  
max

1 max

2 max

3 max

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\Delta d = k\lambda$$

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\sin \varphi \sim \lambda$$

$$\text{гл. max} : k = 0$$

$$1 \text{ min} : k = 0$$

$$1 \text{ max} : k = 1$$

$$2 \text{ min} : k = 1$$

$$2 \text{ max} : k = 2$$

$$3 \text{ min} : k = 2$$

.....

.....

$$n \text{ max} : k = n$$

$$n \text{ min} : k = (n - 1)$$

# Дифракционная решетка

3 min

2 min

1 min

1 min

2 min

3 min



3 max

2 max

1 max

главный  
max

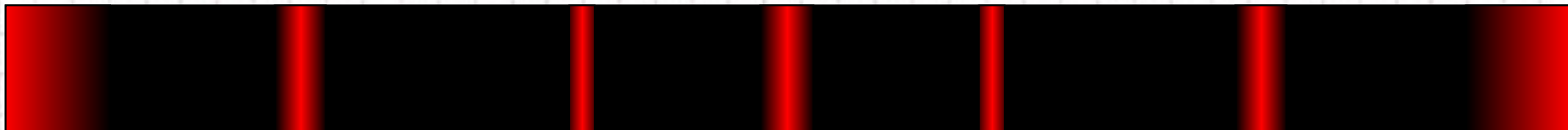
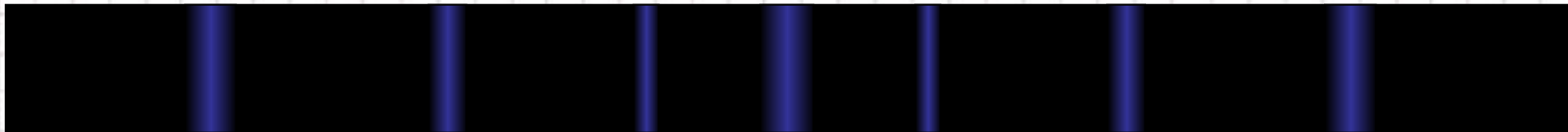
1 max

2 max

3 max

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\sin \varphi \sim \lambda$$



# *Дифракционная решетка*

*Максимальный порядок спектра.*

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\varphi_{\max} = 90^{\circ} \Rightarrow \sin \varphi_{\max} = 1$$

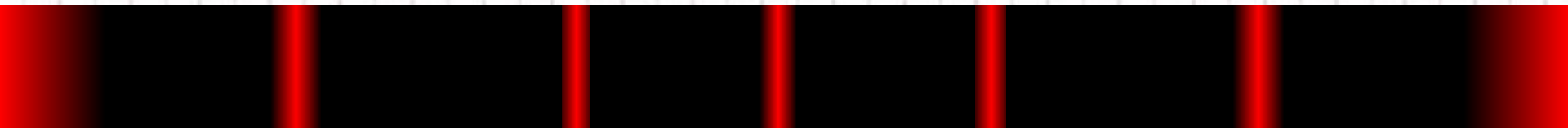
$$d \cdot 1 = k_{\max} \lambda$$

$$k_{\max} = \frac{d}{\lambda}$$



# *Дифракционная решетка*

*Дифракционная картина от дифракционной решетки:*



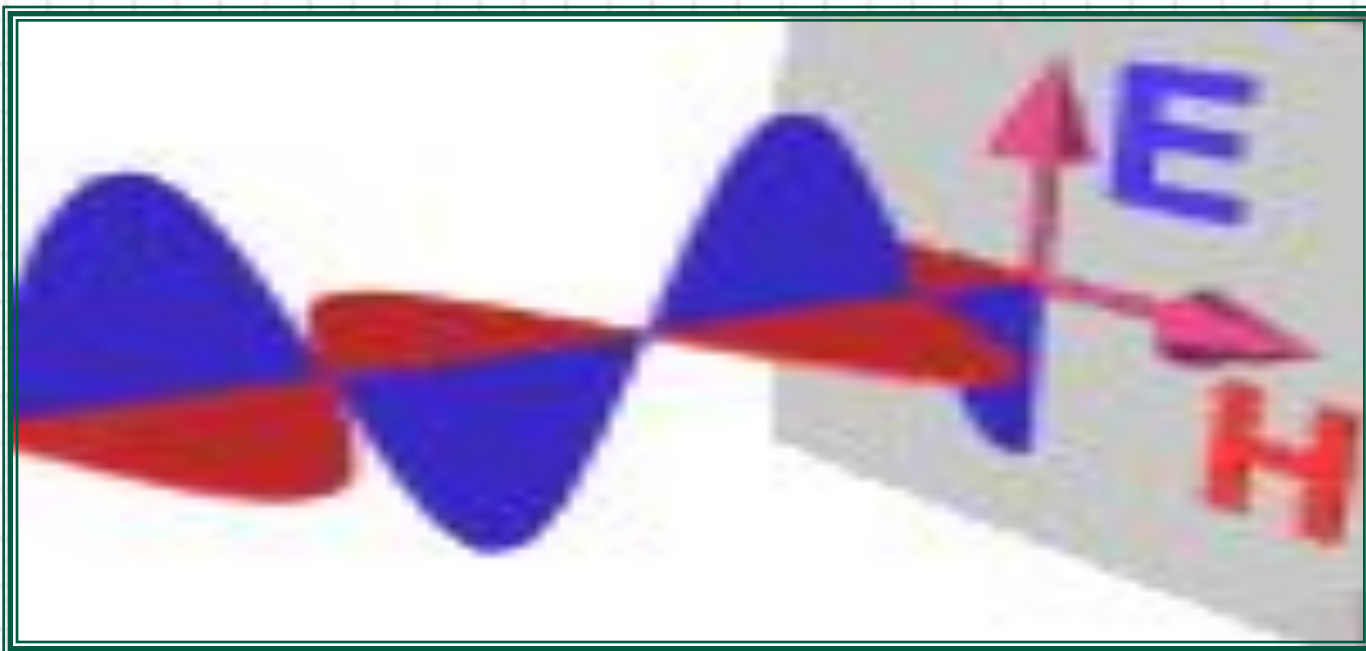
*Дифракционная картина от двух щелей:*





# *Поляризация света*

*Свет – электромагнитная волна – поперечная волна.*

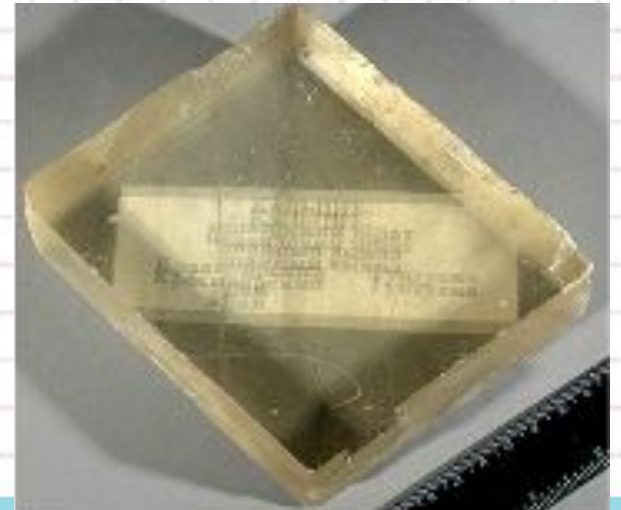
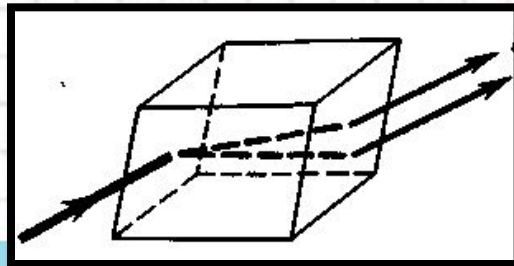




Эразм Бартолин  
(1625 - 1698)

В 1669 г. датский учёный **Эразм Бартолин** сообщил о своих опытах с кристаллами известкового шпата ( $\text{CaCO}_3$ ), чаще всего имеющими форму правильного ромбоэдра, которые привозили возвращающиеся из Исландии моряки. Он с удивлением обнаружил, что луч света при прохождении сквозь кристалл расщепляется на два луча.

Если на толстый кристалл исландского шпата направить узкий пучок света, то из кристалла выйдут два пространственно разделенных луча, параллельных друг другу и падающему лучу.





Этьен Луи Малюс  
(1775 — 1812)

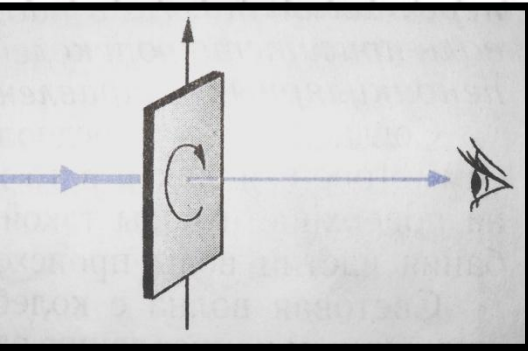
В 1808 г. французский физик  
Этьен Луи Малюс  
сформулировал смысл  
явления поляризации света -  
выделение из  
естественного света лучей,  
имеющих упорядоченную  
структуру.

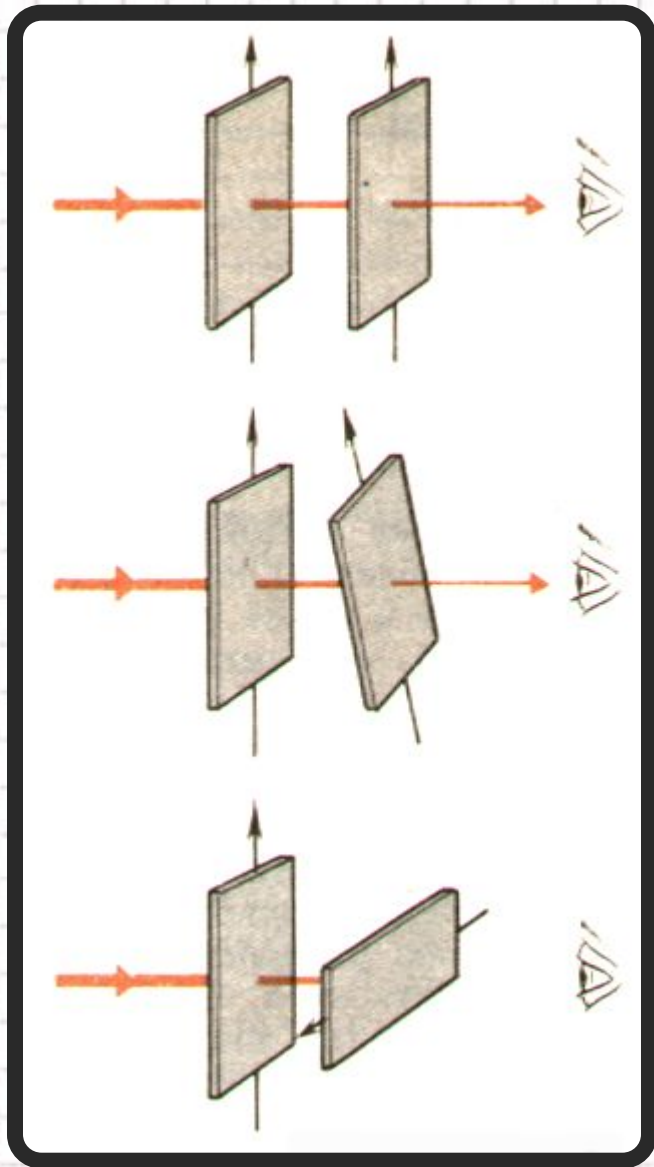
# ОПЫТЫ С ТУРМАЛИНОМ



*Кристалл турмалина имеет ось симметрии и принадлежит к числу одноосных кристаллов. Возьмем прямоугольную пластину турмалина, вырезанную таким образом, чтобы одна из ее граней была параллельна оси кристалла.*

*Если направить нормально на такую пластину пучок света, то вращение пластины вокруг пучка никакого изменения света, прошедшего через него, не вызовет. На первый взгляд может показаться, что свет частично поглотился в кристалле и больше ничего не произошло. Однако световая волна приобрела новые свойства.*





Эти новые свойства обнаруживаются, если пучок заставить пройти через второй точно такой же кристалл турмалина, параллельный первому. При одинаково направленных осях кристалла ничего, кроме ослабления пучка не происходит.

Если второй кристалл вращать, оставляя первый неподвижным, то обнаружится **явление гашения света**.

По мере увеличения угла между осями интенсивность света **уменьшается**.

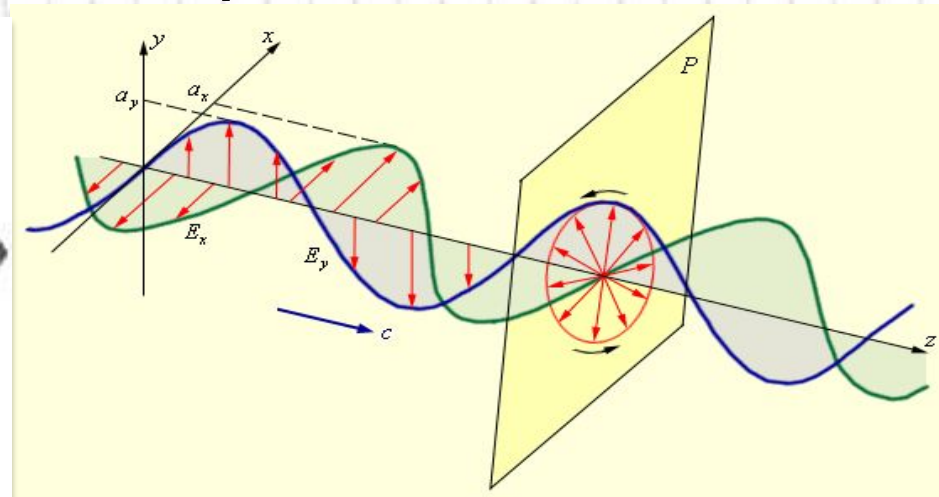
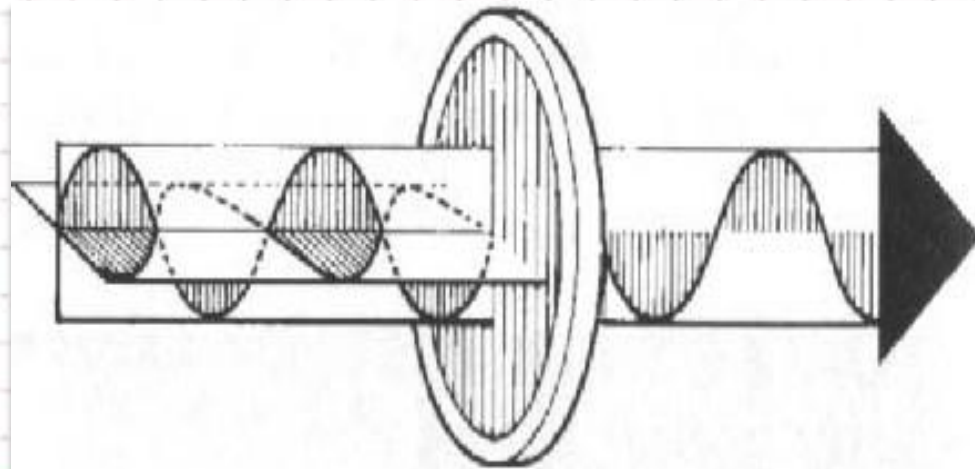
Когда оси перпендикулярны друг другу, **свет не проходит** совсем.

# СЛЕДСТВИЯ

Из описанных выше опытов следует два факта:

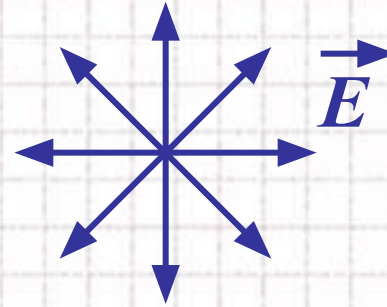
- Световая волна, идущая от источника света, полностью симметрична относительно направления распространения (при вращении кристалла вокруг луча в первом опыте не менялась)

- Волна, вышедшая из первого кристалла, не обладает осевой симметрией.

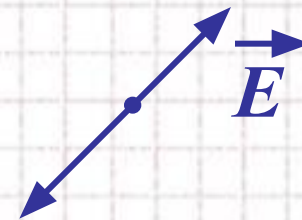
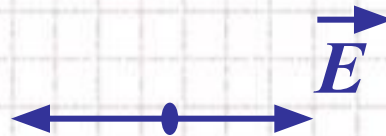
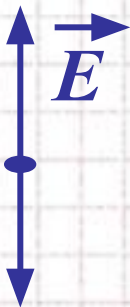


# Поляризация света

*Естественный (неполяризованный) свет – свет, в котором присутствуют все возможные направления вектора напряженности.*

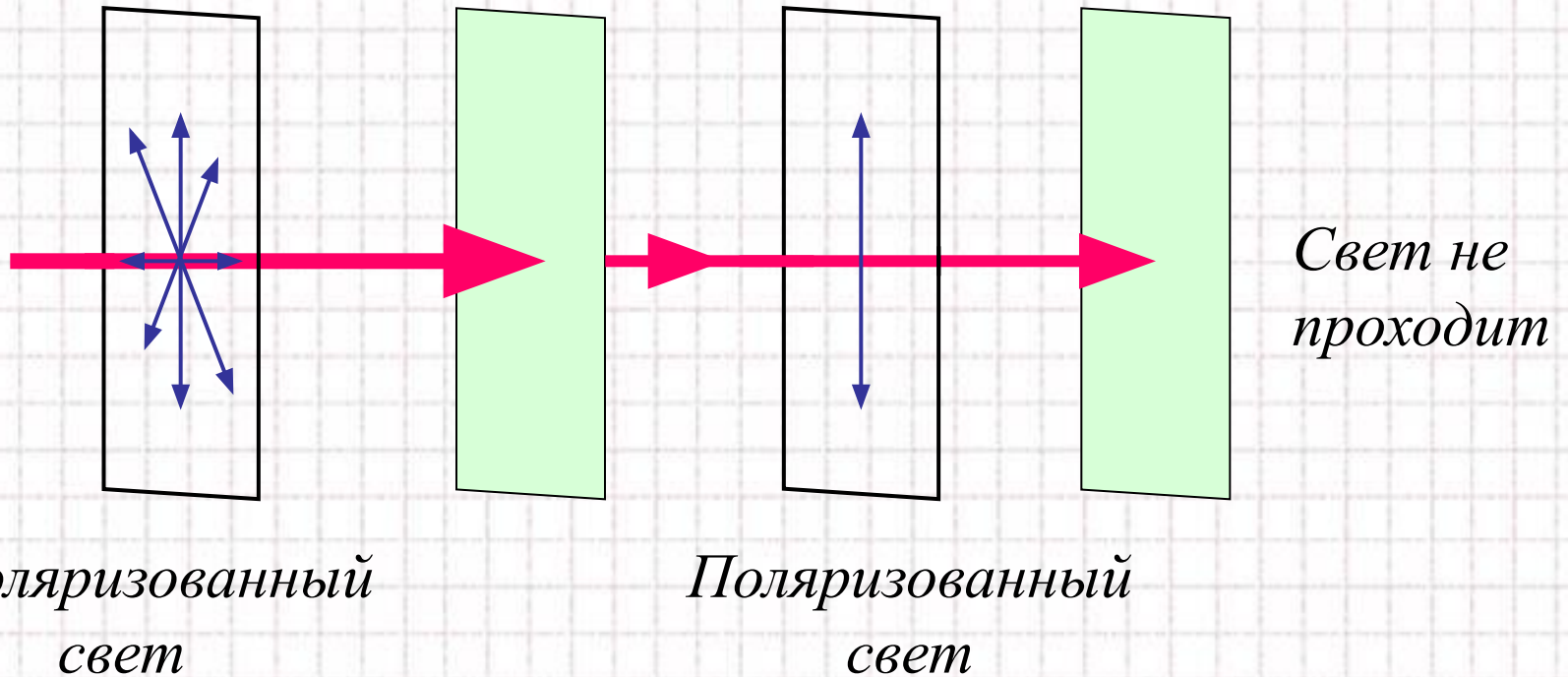


*Поляризованный свет – свет, в котором присутствует только одно направление вектора напряженности.*



# *Поляризация света*

*Свет поляризуется при прохождении через поляроид.*

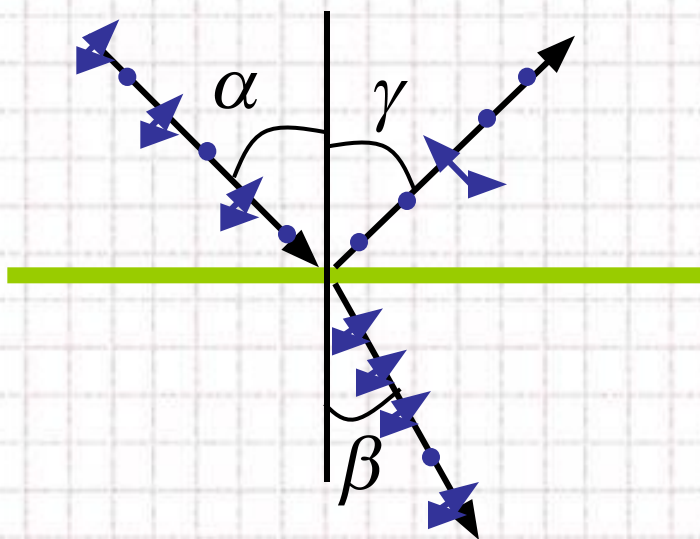




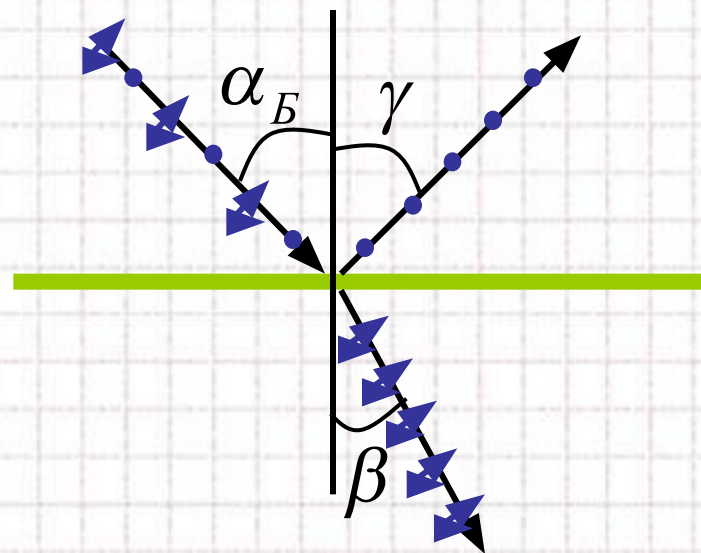
# Поляризация света

При отражении и преломлении свет поляризуется.

Частичная поляризация



Полная поляризация



$\alpha = \alpha_B$  - угол Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = 1$$

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

# *Поляризация света*

*Свет поляризуется*

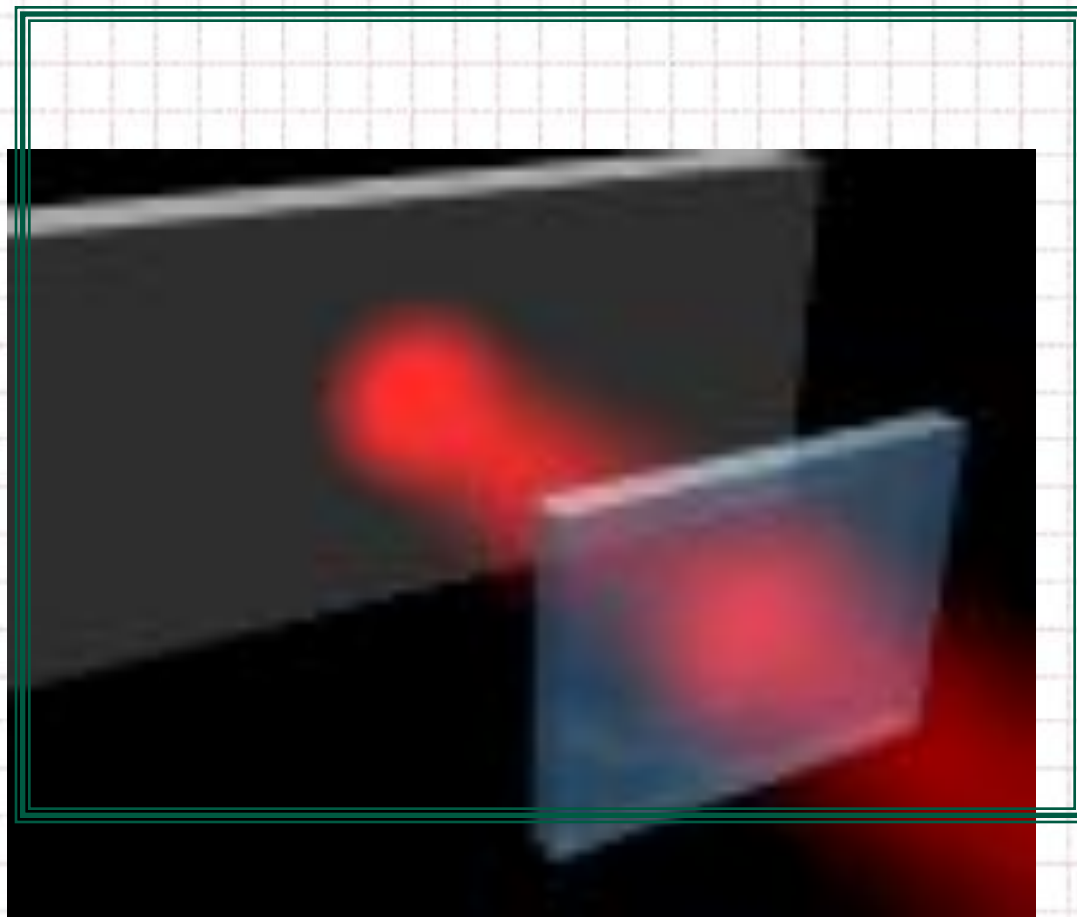
*-при прохождении через поляроид*

*-при отражении и преломлении*



# *Поляризация света*

*Поляроид – вещество, вызывающее поляризацию света.*



# Поляроид

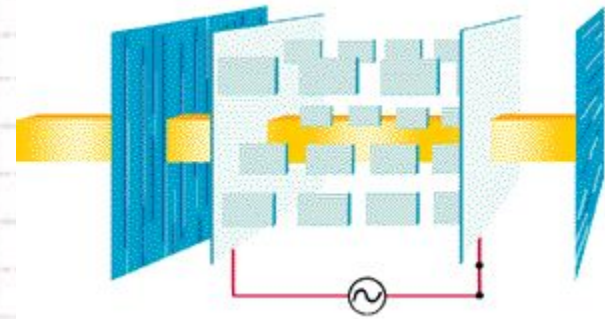
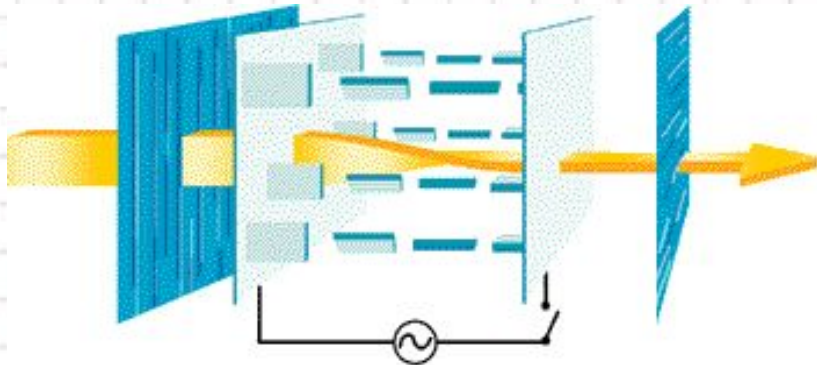
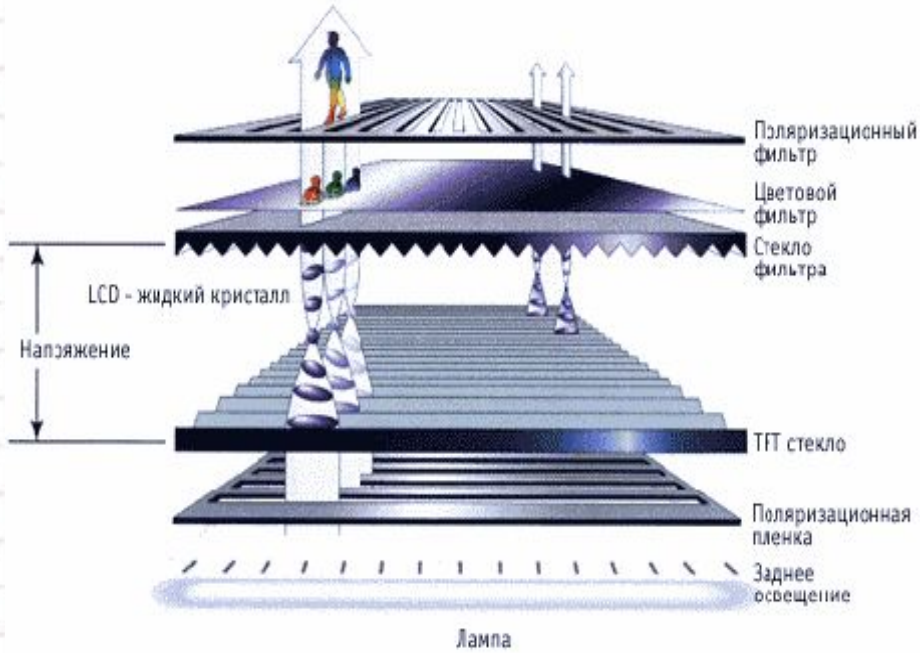
- Представляет собой тонкую (0.1 мм) пленку кристаллов герпатита, нанесенную на целлулоид или стеклянную пластинку.
- Прозрачные пленки (полимерные, монокристаллические и др.), преобразующие неполяризованный свет в линейно поляризованный, т.к. пропускают свет только одного направления поляризации.
- Поляроиды изобретены американским ученым Э. Лэндом в 1932.

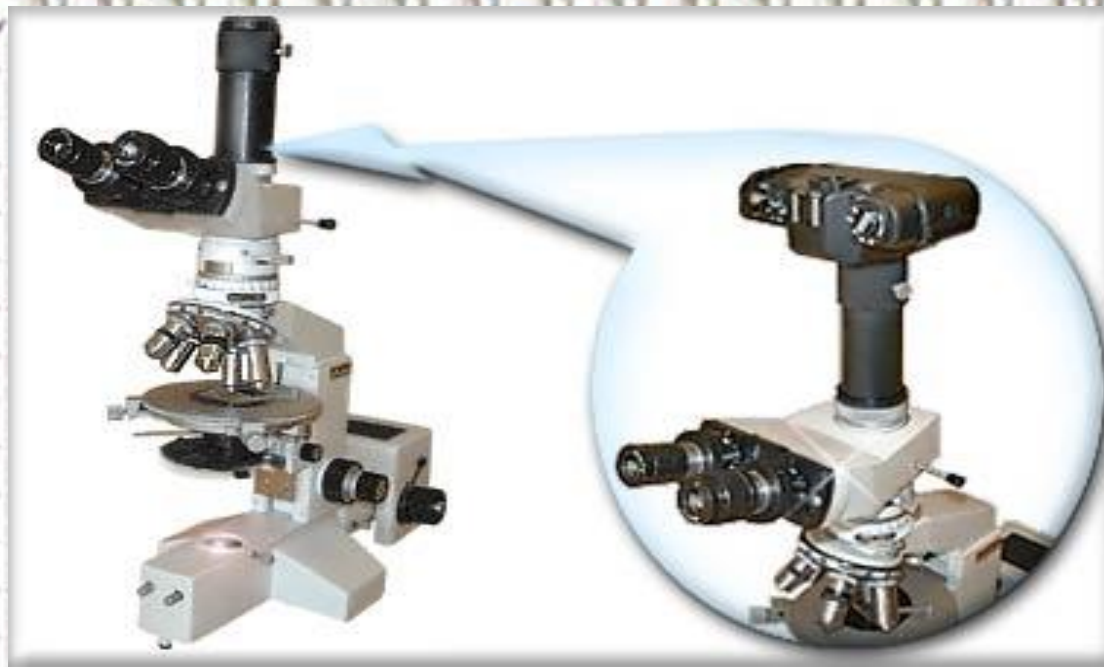
## **Проверка на опытах поляризованности света, испускаемого различными источниками**

- Жидкокристаллический монитор даёт поляризованный свет. При повороте поляризатора он ослабляется, при повороте на  $90^\circ$  полностью гасится.
- Поляризовано также излучение дисплея калькулятора.
- Поляризован свет дисплея мобильного телефона.
- Свет, отражённый от стекла, поляризован. Посмотрите на стекло через поляроид. Вращением поляроида добиваемся исчезновения бликов.

# *Применение поляризации света*

# Жидкокристаллические мониторы и дисплеи





### **Поляризационные микроскопы**

***В основе принципа действия поляризационных микроскопов лежит получение изображения исследуемого объекта при его облучении поляризационными лучами, которые в свою очередь должны быть сгенерированы из обычного света с помощью специального прибора — поляризатора.***



# Поляриметр

Применяется в лабораториях пищевой, химической промышленности и других отраслях науки и производства для определения концентрации растворов оптически активных веществ, таких как **сахар, глюкоза, белок**, по углу вращения плоскости поляризации.



# Поляризационный микроскоп

Разные кристаллы создают различное по значению и направлению двойное лучепреломление, поэтому, пропуская через них поляризованный свет и измеряя изменение его интенсивности после прохождения кристаллов, можно определить их оптические характеристики и производить **минералогический анализ**. Для этой цели используются **поляризационные микроскопы**.



# Некоторые применения поляроидов

- Солнцезащитные и антибликовые очки;
- Поляроидные фильтры в фотоаппаратах;
- Обнаружение дефектов в изделиях из прозрачного материала;
- Жидкокристаллические мониторы;
- Стереомониторы и стереочки.

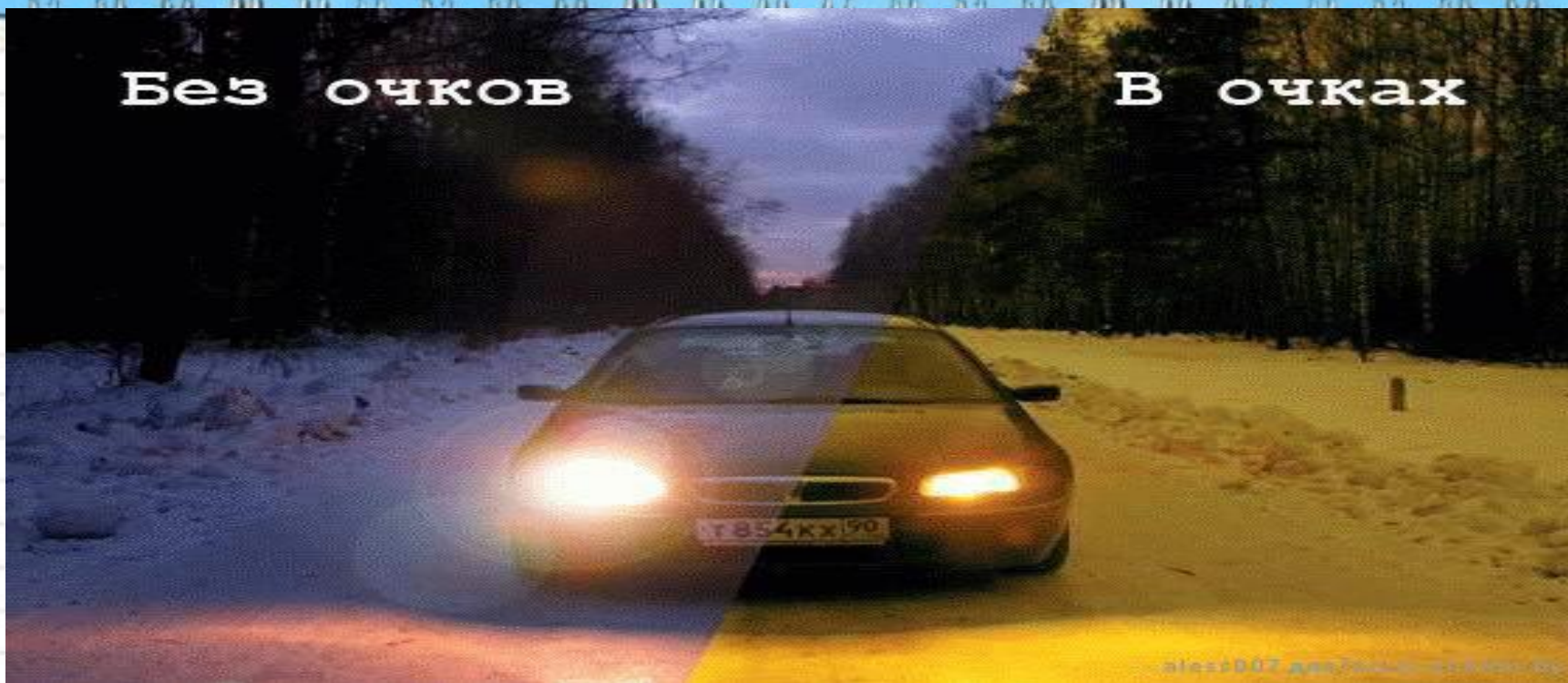
# Солнцезащитные поляризационные и антибликовые очки

- Безопасное вождение ночью, днем, в сумерки, туман и зимой. Поляризованные линзы снимают блики от лобового стекла, от мокрой дороги, от снега, защищают от фар встречных машин, снимают усталость, улучшают видимость в любую погоду. Они незаменимы для полярников, которым постоянно приходится смотреть на ослепительное отражение солнечных лучей от заледеневшего снежного поля.



**Без очков**

**В очках**



**Обычные солнцезащитные очки просто затемняют видимую среду, не защищают от бликов. Очки с поляризационными линзами препятствуют проникновению отраженного от различных предметов света, пропускают только свет, полезный для глаза человека.**

# Поляризаторы в автомобиле

Поляризованный свет предлагали использовать для защиты водителя от слепящего света фар встречного автомобиля. Если на ветровое стекло и фары автомобиля нанести плёночные поляризаторы с углом пропускания  $45^\circ$ , например вправо от вертикали, водитель будет хорошо видеть дорогу и встречные машины, освещённые собственными фарами. Но у встречных автомобилей поляризаторы фар окажутся скрещёнными с поляризатором ветрового стекла данного автомобиля, и свет фар встречных машин погаснет.



# *Поляризационные светофильтры*

*Невозможно представить современную фотографию без поляризационных светофильтров. Он представляет собой пластинку из специального материала, укрепленную между двумя плоскими стеклами и поляризующую свет. Вся эта система монтируется в специальной вращающейся оправе,*

*на которой наносится метка, показывающая положение плоскости поляризации. Поляризационный светофильтр увеличивает на фотографии резкость и чистоту цвета, помогает устранить блики. За счет этого на фотографии лучше проявляется собственный цвет предметов, увеличивается насыщенность цвета.*

*Применяя поляризатор при съёмке, фотограф получает дополнительную возможность изменения яркости и контраста различных частей изображения. Например, результатом съёмки пейзажа в солнечный день с применением такого фильтра может получиться тёмное, густо-синее небо. При съёмке находящихся за стеклом объектов поляризатор позволяет избавиться от отражения фотографа в стекле.*



*Пример использования поляризационного фильтра в фотографии. Максимальный эффект достигается при съёмке в направлении, перпендикулярном направлению на Солнце.*