

ЕГЭ. ФИЗИКА  
РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ  
*Владимир Петрович Сафронов*  
г. Ростов-на-Дону, 2015  
Звоните: т. 8 928 111 7884  
Пишите: safron-47@mail.ru

# ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

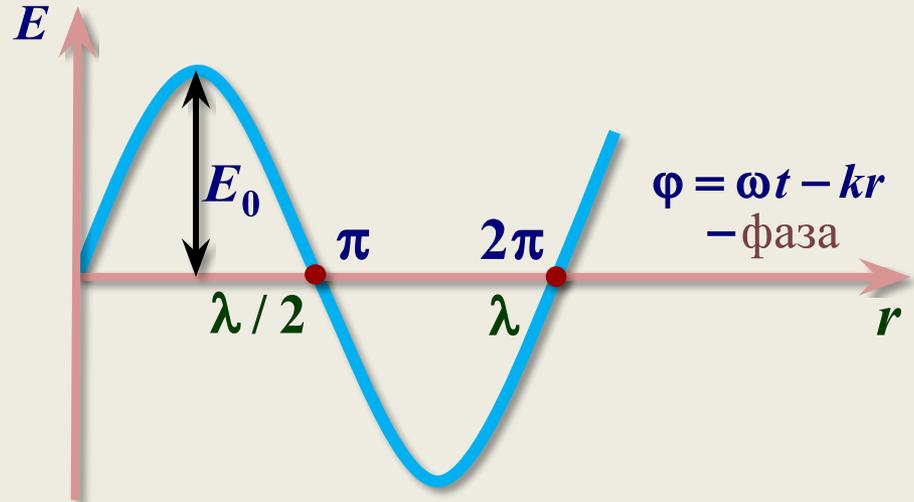
---

# Свет — это электромагнитная волна.

В качестве световой волны будем рассматривать плоскую электромагнитную волну, в которой напряженность электрического поля меняется во времени и пространстве по гармоническому закону:

$$E(r, t) = E_0 \sin(\omega t - kx) \quad \text{или} \quad E(x, t) = E_0 \sin 2\pi(\nu t - r / \lambda), \quad \text{где}$$

- $E_0$  — амплитуда напряженности электрического поля волны;  
 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$  — циклическая частота;  
 $T, \nu$  — период и частота;  
 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  — волновое число;  
 $\lambda$  — длина волны.



Скорость распространения волны  $v$  связана с частотой  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$ :

$$\lambda \cdot \nu = v.$$

Световые волны занимают диапазон

(фиолетовый)  $0,4 (400) < \lambda < 0,76 (760)$  (красный) мкм (нм).

Скорость света в вакууме

для всех частот одинакова и равна максимальной скорости передачи сигнала:

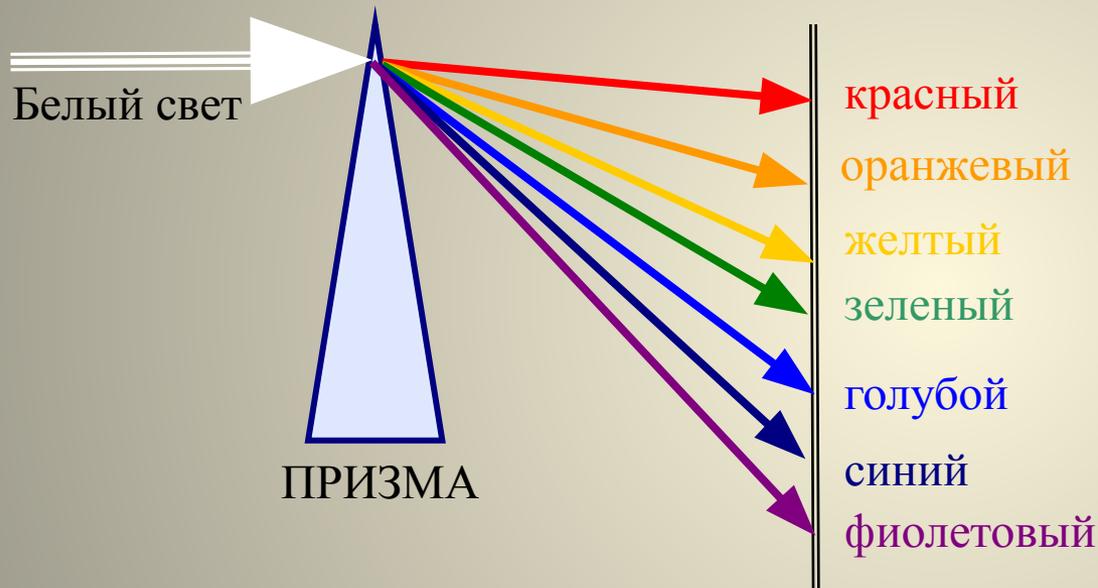
$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

В любой среде скорость света и длина его волны уменьшается, при этом, частота света не меняется.

# Соотношение частот и длин волн.

В любой среде **скорость света и длина его волны уменьшаются**,  
при этом, **частота света не меняется**.

Обозначим  $\lambda, c$  — длина волны и скорость света в вакууме,  
 $\lambda_1, v_1$  — длина волны и скорость света в оптической среде  $\Rightarrow \frac{\lambda v = c}{\lambda_1 v = v_1} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{c}{v} = n$   
 $\Rightarrow \underline{\lambda = n\lambda_1, \lambda_1 = \lambda / n}$  — в оптической среде длина световой волны уменьшается.



## Дисперсия света

это зависимость скорости  $v$   
распространения световой волны  
в среде *от частоты света  $\nu$* .  
Опыт показывает, что с увеличением  
частоты скорость света в среде  
уменьшается и, следовательно,  
показатель преломления возрастает  
(нормальная дисперсия).

Поэтому световые волны различных частот  
преломляются стеклянной призмой под разными углами.

Белый свет, содержащий волны с частотами от красного  
до фиолетового цвета, проходя сквозь призму, разлагается в спектр.

Дисперсия света используется в *спектральном анализе*  
для получения спектров атомов и молекул.

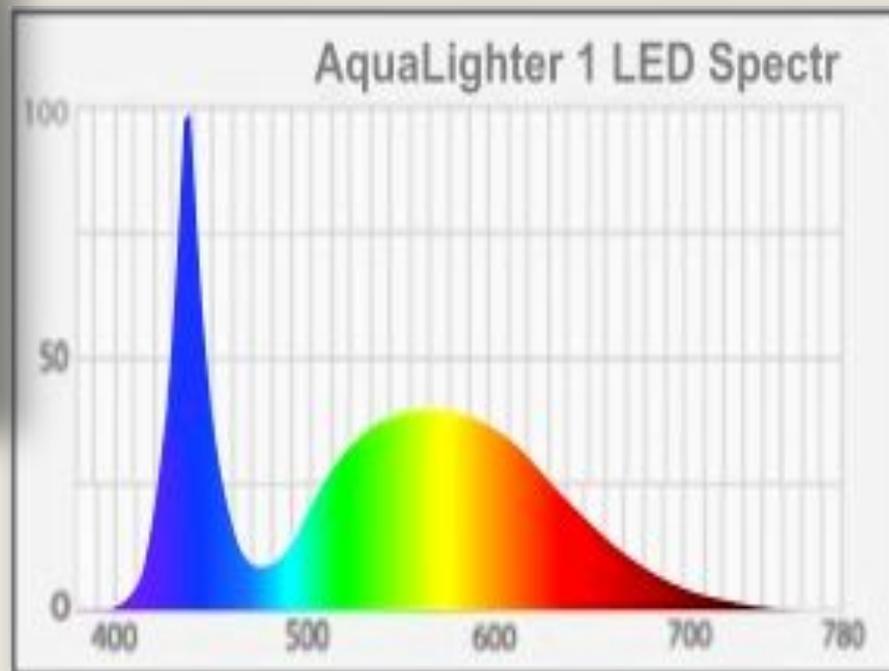
# СПЕКТРЫ



Спектр угольной дуги (полосы молекул CN и C<sub>2</sub>)

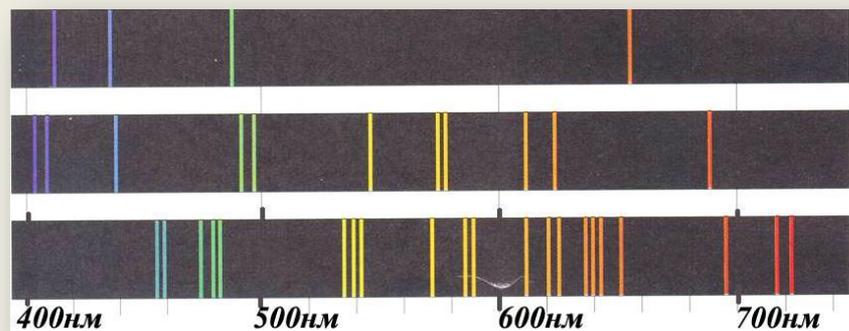
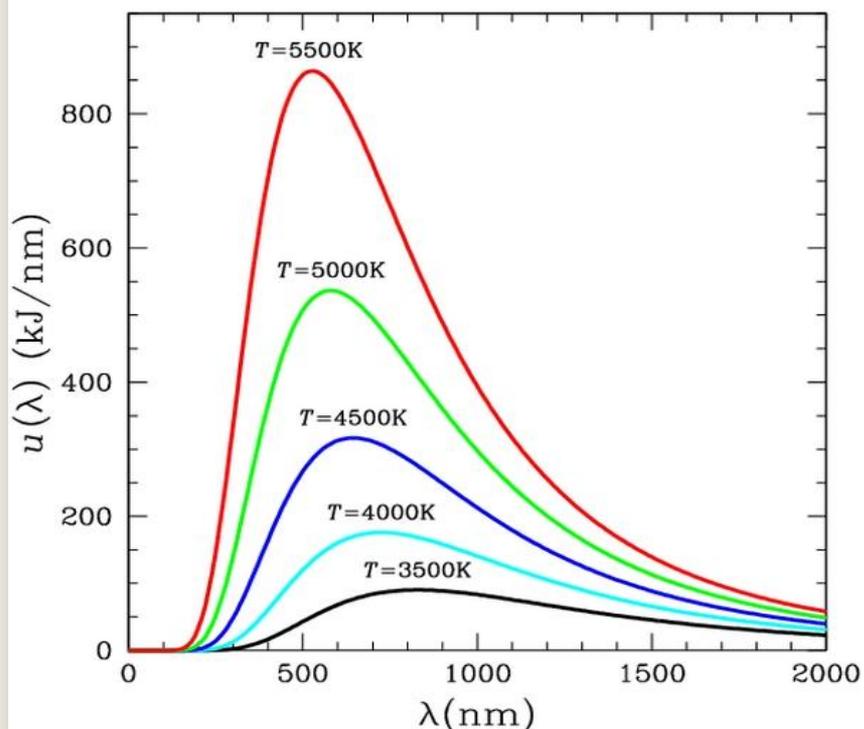


## Светодиод



Водород, ртуть, неон

## Тепловое излучение



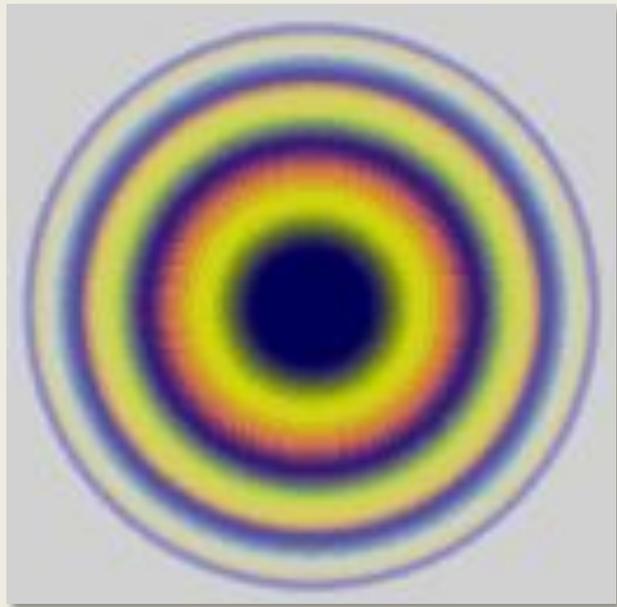
# Интерференция света

## Когерентные волны

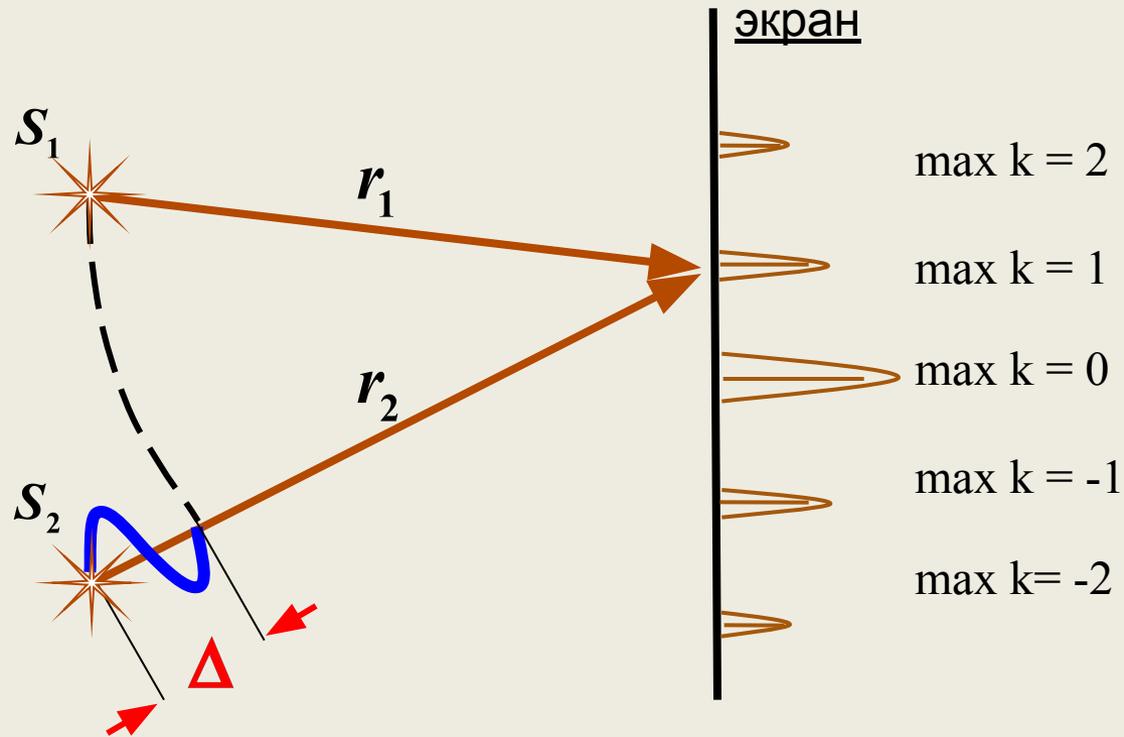
Когерентными называются волны (источники), имеющие равные частоты и постоянную разность фаз.

## Интерференция света

— сложение двух и более когерентных волн, при котором происходит их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других (на экране появляются максимумы и минимумы освещенности).



# Геометрическая разность хода волн

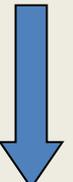


$S_1, S_2$  — когерентные источники волн;

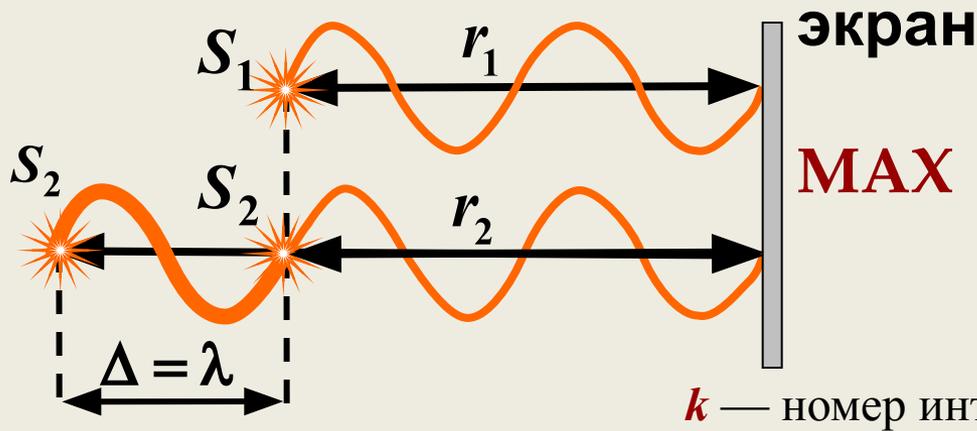
$r_1, r_2$  — геометрическая длина пути (ход) первой и второй волны;

*Основной параметр интерференции*

$\Delta = |r_1 - r_2|$  — геометрическая разность хода волн



## Условие максимума интерференции

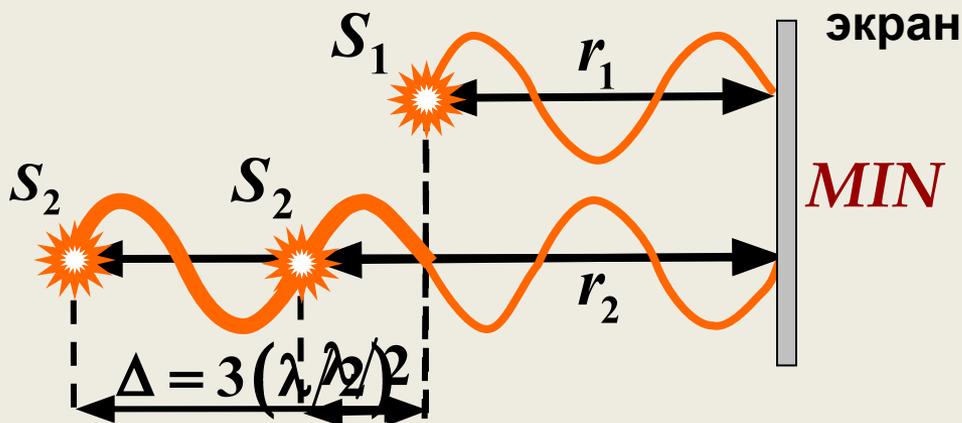


*Если в разности хода помещается целое число длин волн, наблюдается **max** интерференции*

$$\Delta_{\max} = k\lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$k$  — номер интерференционного максимума.

## Условие минимума интерференции



*Если в разности хода помещается нечетное число полудлин волн, наблюдается **min** интерференции*

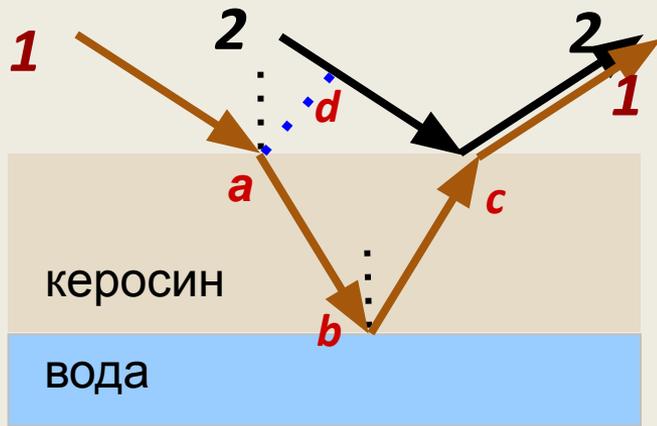
$$\delta_{\min} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$
$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$k$  — номер интерференционного минимума.

# Когерентные источники волн можно получить



## Тонкие пленки. Оптический ход волны.



Рассмотрим случай распространения волны в двух средах, например, воздух и тонкий слой ( $\sim \lambda$ ) керосина на поверхности воды.

Длина световой волны в керосине  $\lambda$  меньше, чем в воздухе  $\lambda_0$ :

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 v}{\lambda v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n}.$$

Чтобы всегда измерять ход волны в  $\lambda_0$  вводят *оптический ход волны  $l$*  это произведение геометрической длины  $r$  пути световой волны в данной среде на абсолютный показатель преломления  $n$  этой среды (для воздуха  $n = 1$ ):

$$l = n \cdot r.$$

### Оптическая разность хода

двух лучей, отразившихся от верхней (2 луч) и нижней (1 луч) поверхности керосина:

$$\delta = (ab + bc)n - dc.$$

Если  $\delta = \pm k\lambda_0$ , то наблюдается максимум для этой длины волны  $\lambda_0$ .

**Замечание:** при отражении от более плотной среды ход волны уменьшается на  $\lambda_0/2$ .



## Применение интерференции.

Так как условие максимума зависит от длины волны,  
то в белом свете тонкие пленки  
(керосин, бензин на поверхности воды, мыльные шары)  
будут выглядеть цветными.



Инт

й,

# Дифракция света

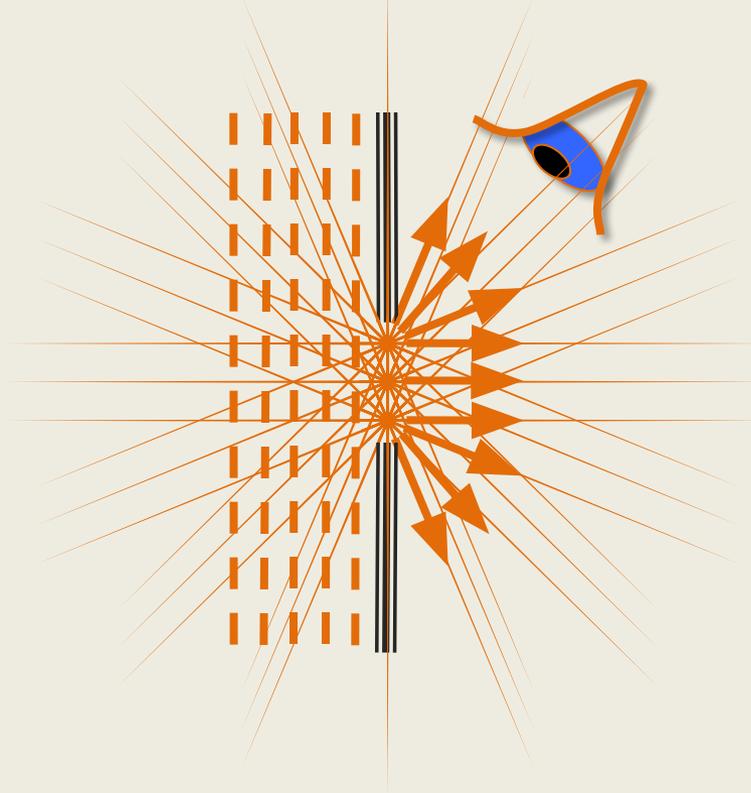
## Дифракцией

называется огибание волнами препятствий.

### Принцип Гюйгенса - Френеля.

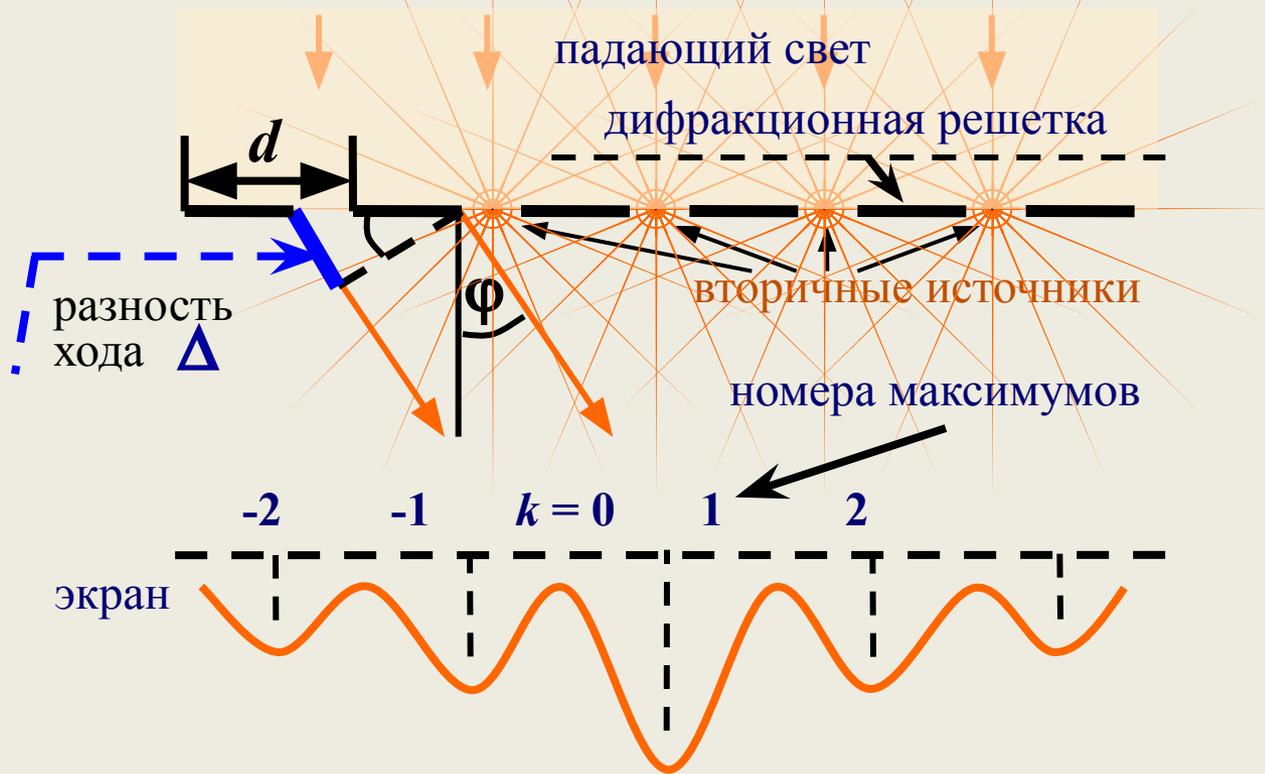
Каждая точка фронта волны становится источником вторичных когерентных волн.

Следующее положение и форма фронта волны — результат интерференции вторичных волн.



# Дифракционная решетка

Устройство для создания системы когерентных источников света.



Состоит из одинаковых параллельных щелей на пластине, разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками.

$d \sim 10^{-2}, 10^{-3}$  мм — постоянная (период) решетки;

$\phi$  — угол, определяющий направление наблюдения;

$\Delta = d \sin \phi$  — разность хода соседних лучей.



## Вывод условия максимума для дифракционной решетки.

1. Из геометрии рисунка разность хода соседних лучей  $\Delta = d \sin \varphi$ .
2. По условию тах  $\Delta_{\max} = \pm k\lambda$ .
3. Сравнивая, получаем  $d \sin \varphi = \pm k\lambda$ ;  $k = 0, 1, 2, \dots$  — порядок максимума.

Для малых углов  $\varphi$  ( $L \gg l_k$ )  $\sin \varphi = \tan \varphi$ , поэтому (см. рис)

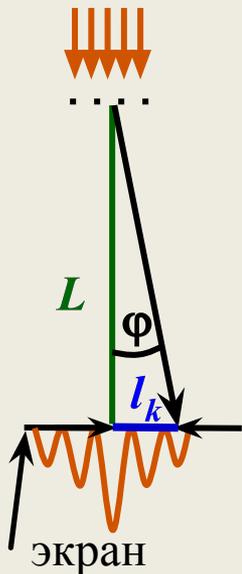
$$d \sin \varphi = \pm k\lambda \Rightarrow d \tan \varphi = \pm k\lambda \Rightarrow \frac{d \cdot l_k}{L} = \pm k\lambda.$$

**Условия максимума для дифракционной решетки.**

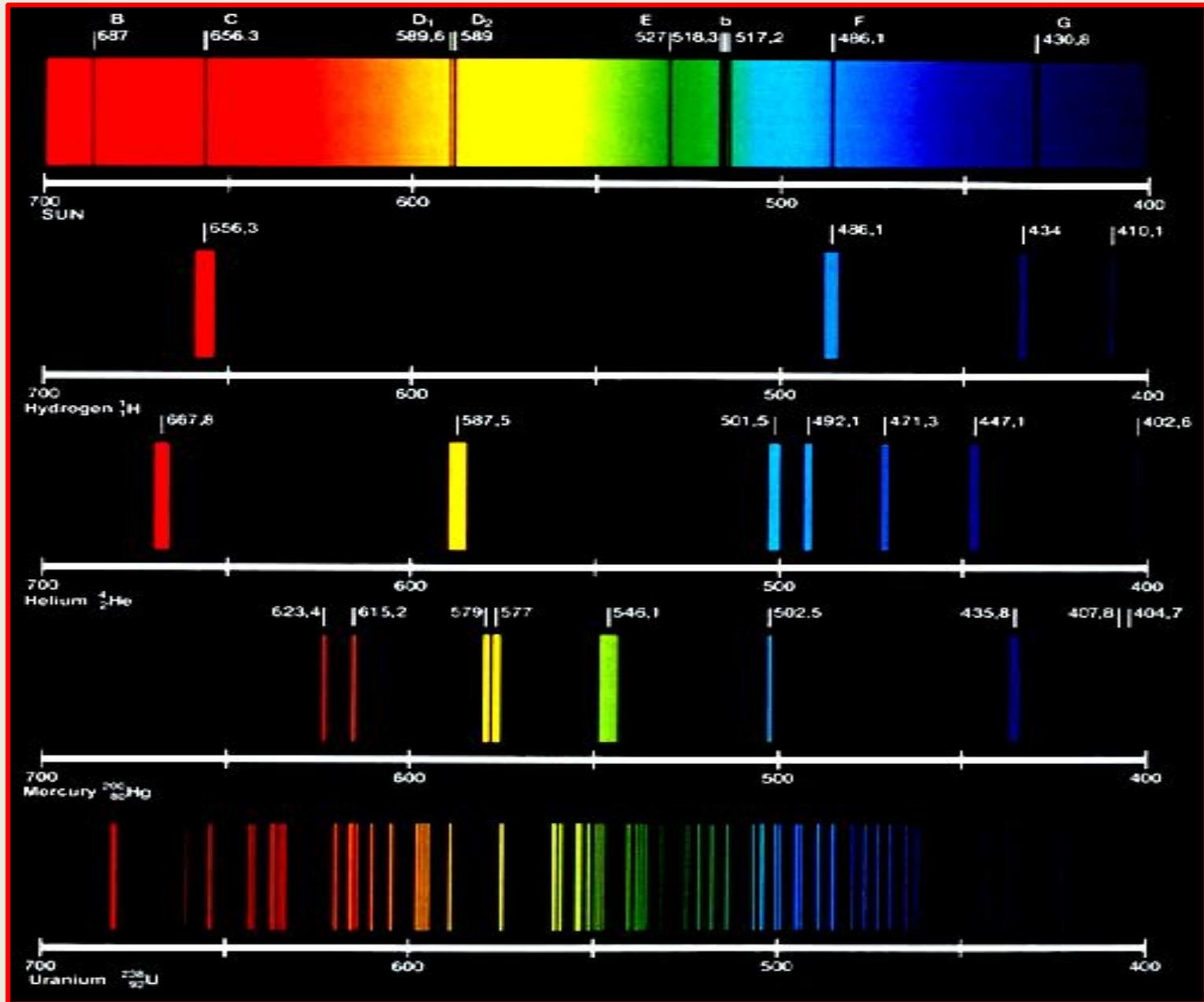
$$\underline{d \sin \varphi = \pm k\lambda}; \quad \underline{\frac{d \cdot l_k}{L} = \pm k\lambda}$$

Зная  $\varphi$  и  $d$  с помощью дифракционной решетки можно определять длину  $\lambda$  световой волны.

**Дифракционные решетки используются для спектрального анализа света.**



# СПЕКТРЫ

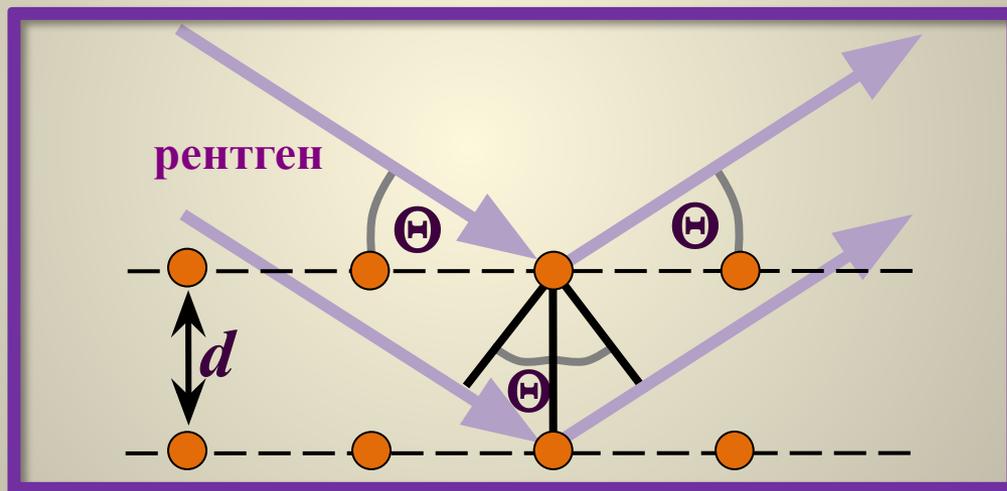


# Дифракция рентгеновских лучей на кристалле

В качестве дифракционной решетки можно использовать любые периодически расположенные элементы, лишь бы их периодичность  $d$  была соизмерима с длиной волны  $\lambda$ .

Так рентгеновское излучение имеет длину волны  $\lambda \sim 1 \div 2 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$  — ангстрем), а размер атомов  $d \sim 1 \text{ \AA}$ .

Поэтому на кристаллической решетке наблюдается дифракция рентгеновских лучей.



Условие максимума интерференции

$$2d \sin \Theta = k\lambda \quad \text{— условие Вульфа – Брэгга.}$$

Формула позволяет определять  $d$  — межатомные расстояния в кристаллах.

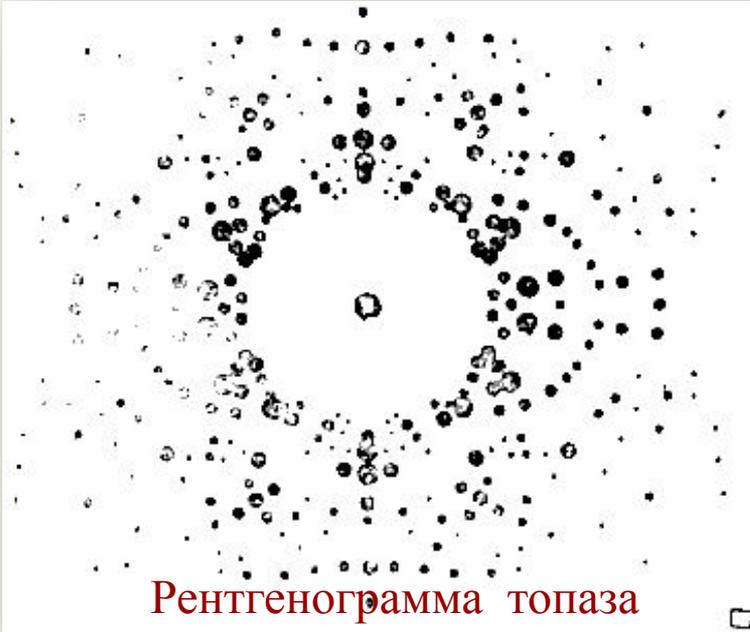
Здесь  $\Theta$  — угол наблюдения максимума,  $\lambda$  — длина рентгеновской волны,

$k = 1, 2, 3, \dots$  номер дифракционного максимума.

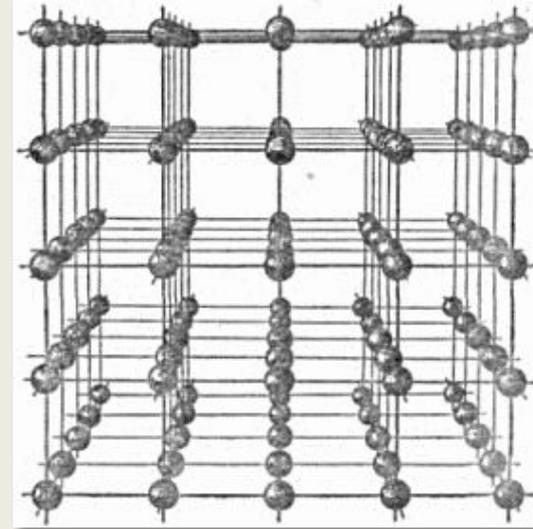


# Формула Вульфа – Брэгга

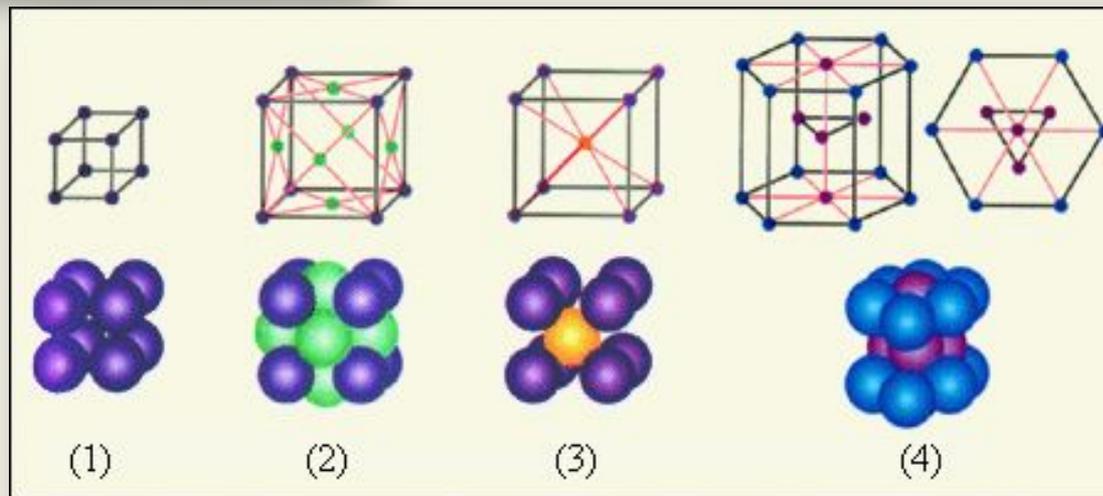
используется в рентгеноструктурном анализе для определения межатомных расстояний и типа кристаллической решетки кристаллов.



Рентгенограмма топаза



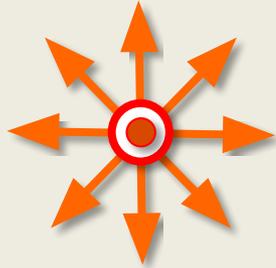
Кристаллическая решетка топаза



# Поляризация света

Естественным называется свет,

в котором колебания вектора напряженности  $E$  осуществляются вдоль всевозможных направлений, перпендикулярных скорости распространения луча.

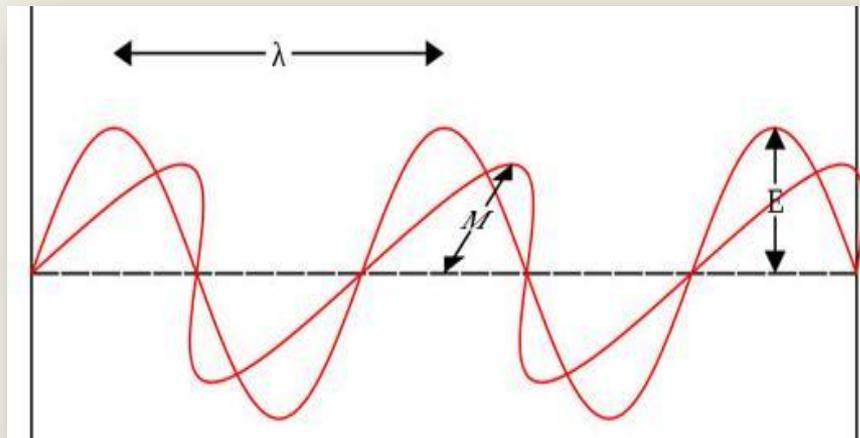


*Плоскость поляризации.*

Луч света *перпендикулярен* плоскости рисунка.

Плоско поляризованным называется свет,

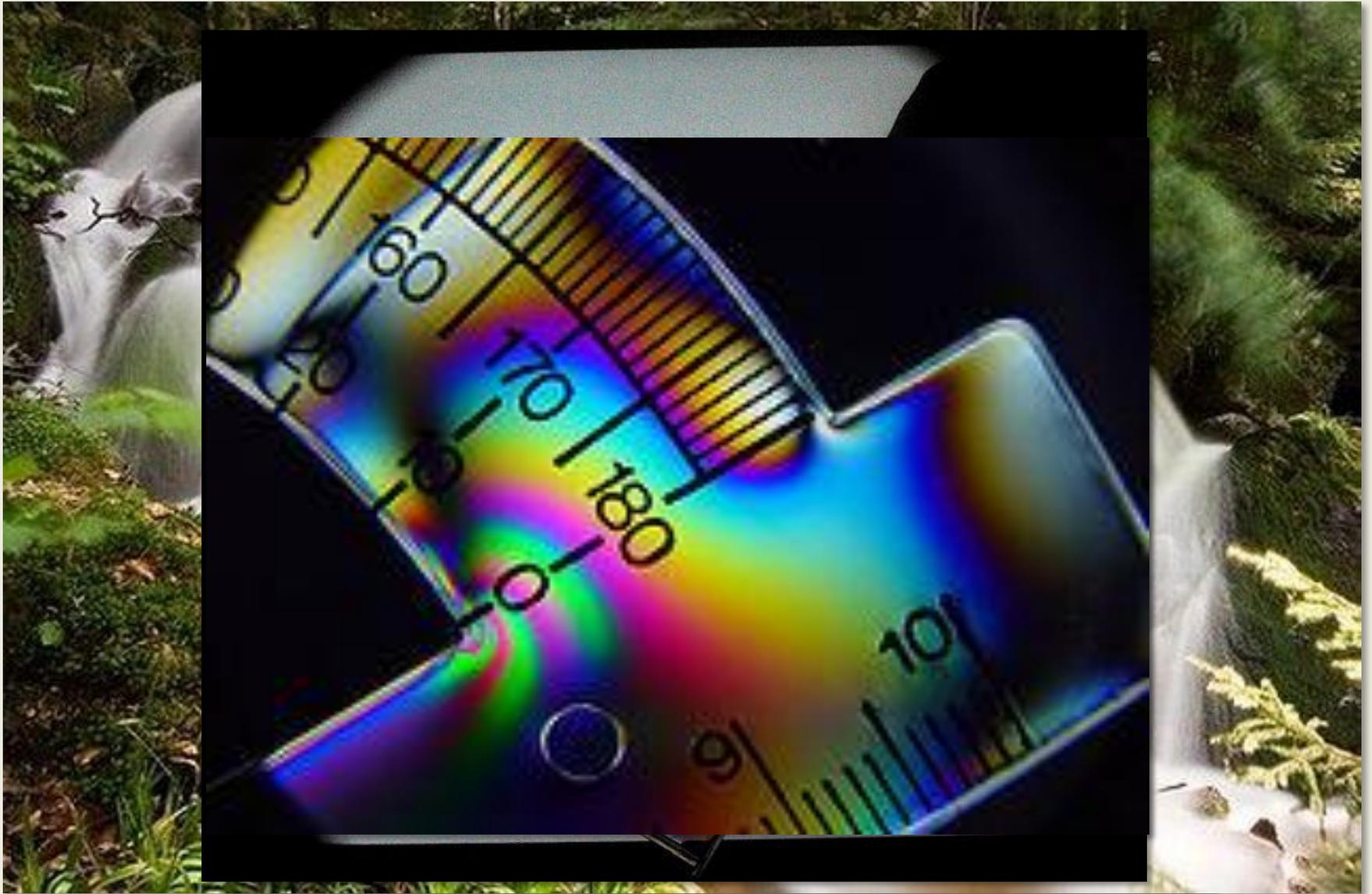
вектор напряженности которого совершает колебания в одной плоскости (*плоскость поляризации*).



Поляризаторы — устройства, преобразующие естественный свет в поляризованный.

Идеальный поляризатор пропускает половину интенсивности естественного света.

# Поляризация



# КОНЕЦ ВОЛНОВАЯ ОПТИКА