



# Волновая оптика

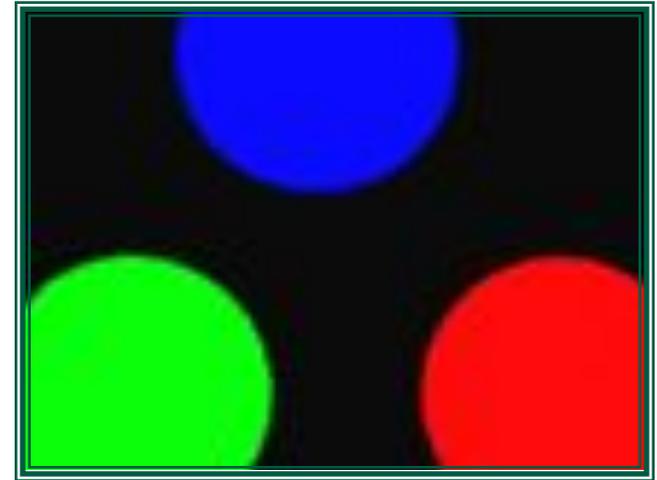
# ***Волновая оптика***

- Дисперсия света
- Интерференция света
- Дифракция света
- Дифракционная решетка
- Поляризация света

# Дисперсия света

- Белый свет представляет собой набор волн различной длины.

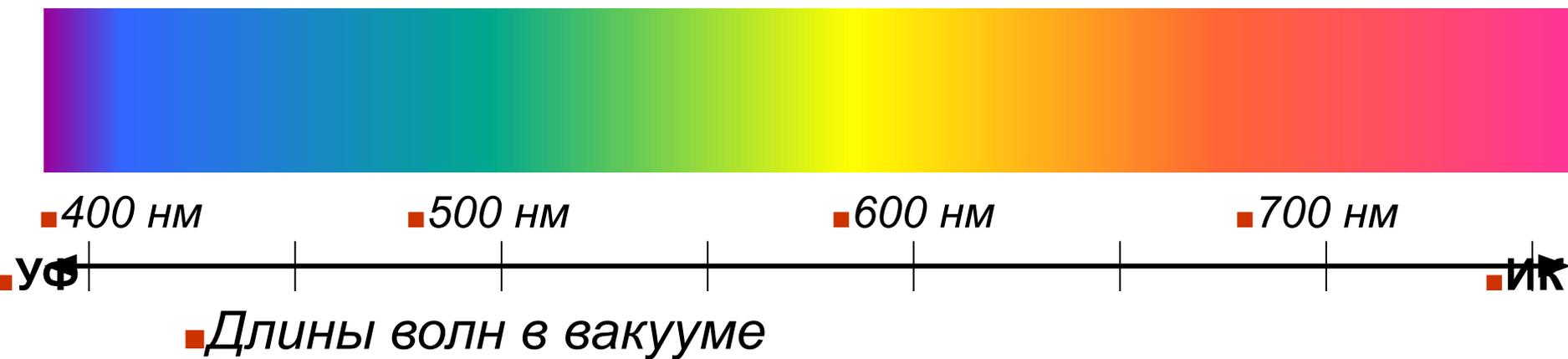
$$400 \text{ нм} \leq \lambda_{\text{света}} \leq 760 \text{ нм}$$



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

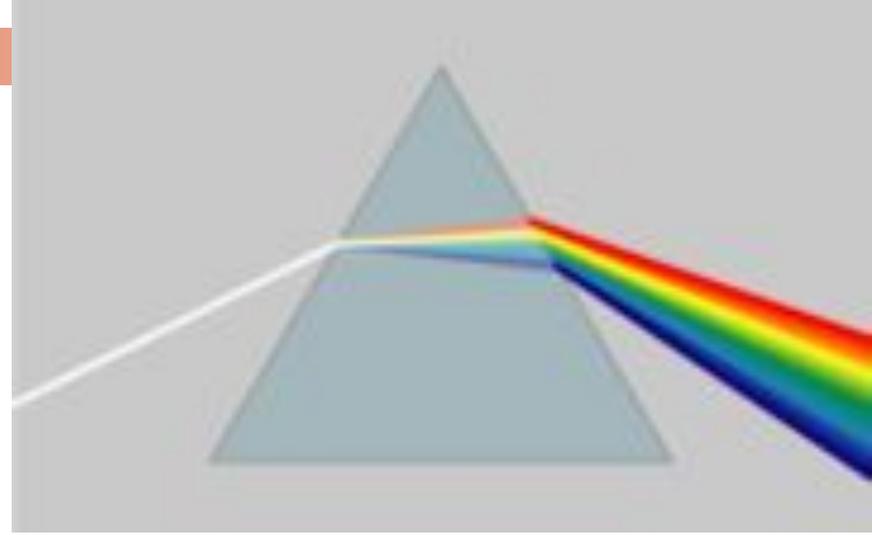
# Дисперсия света

- Дисперсия – разложение света в спектр.
- От латинского слова *dispersio* – рассеяние.



# Дисперсия света

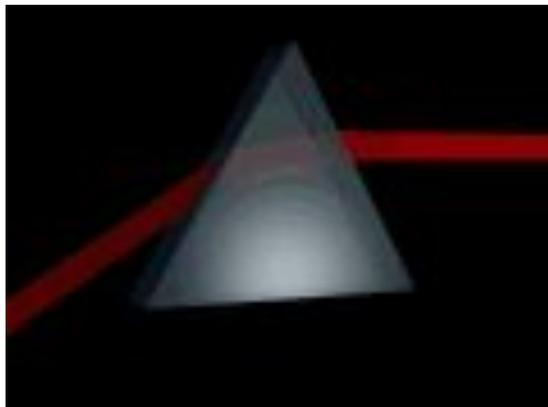
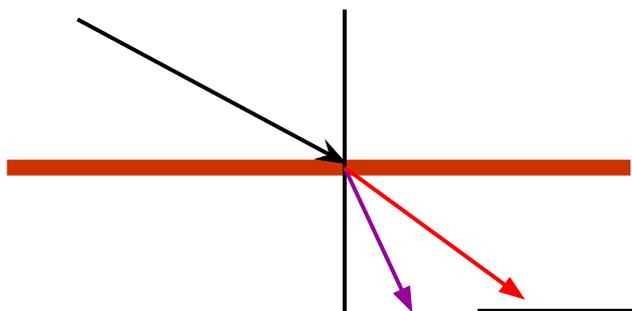
- **Дисперсия света** (разложение света) — это явление **зависимости абсолютного показателя преломления вещества от длины волны** (или частоты) света (частотная дисперсия), или **зависимость скорости света в веществе от длины волны** (или частоты).



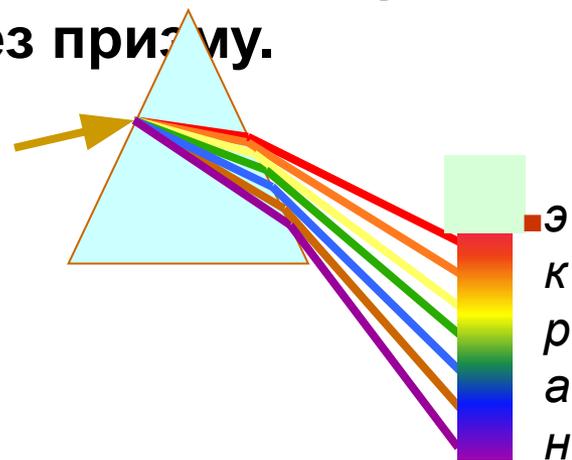
- **Разложение света в спектр** вследствие **дисперсии** при **прохождении через призму** (опыт Ньютона)

# Дисперсия света

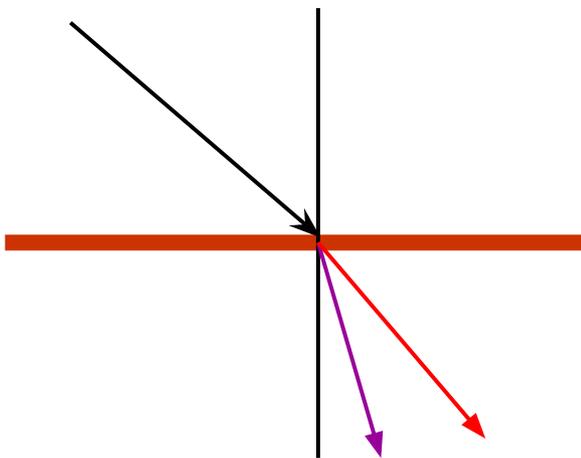
- Причиной дисперсии является **различие показателей преломления для волн разной длины**. (сильнее всего преломляется фиолетовый свет, слабее всего преломляется красный свет).



- Исаак Ньютон наблюдал дисперсию, пропуская свет через призму.



# Дисперсия света



$$\left. \begin{aligned} n_{\phi} &> n_{\kappa\rho} \\ n_{\text{ср}} &= \frac{c}{v_{\text{ср}}} \end{aligned} \right\} v_{\phi} < v_{\kappa\rho}$$

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

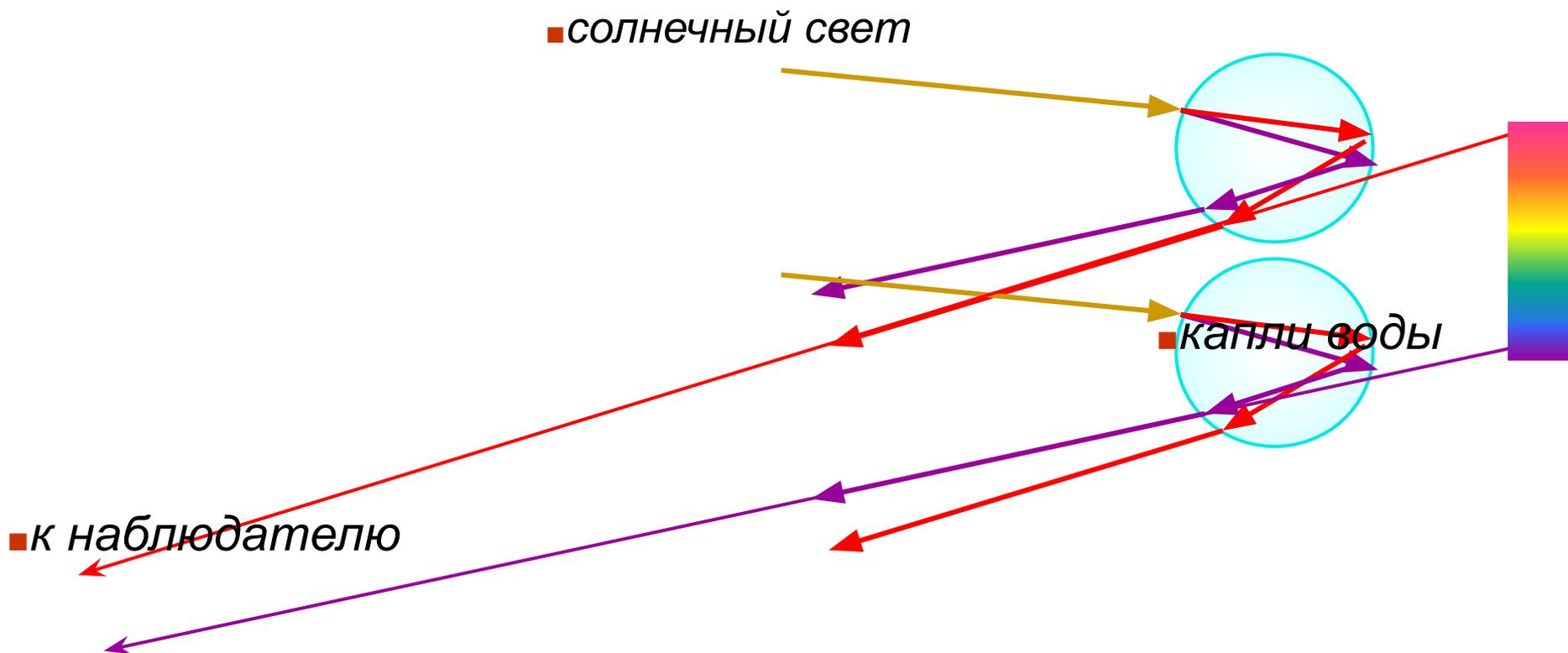
$$c = v \cdot \lambda_0$$

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

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

# Дисперсия света

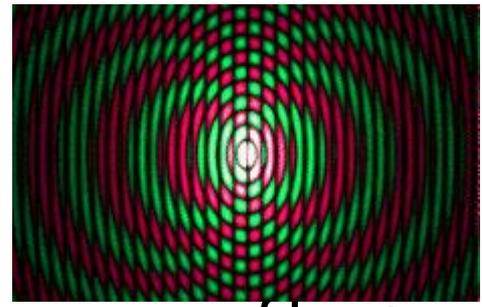
- Пример дисперсии света – **радуга**. (Разложение света в спектр происходит из-за преломления лучей сферическими капельками воды и отражения от их внутренней поверхности.)



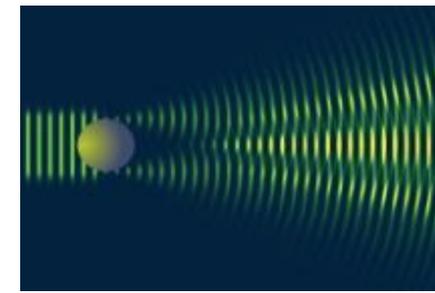
# ■ Явления **интерференции и дифракции**

можно было объяснить, если **свет** считать **волной**.

■ **Интерференция света**  
сложение световых волн.



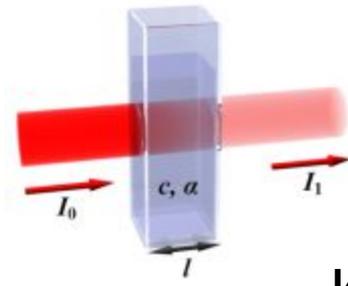
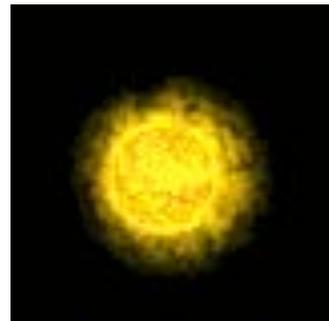
■ **Дифракция света**  
огибание малых препятствий.



# ■ Явления **излучения и поглощения**

можно было объяснить, если **свет** считать **поток**ом **частиц**.

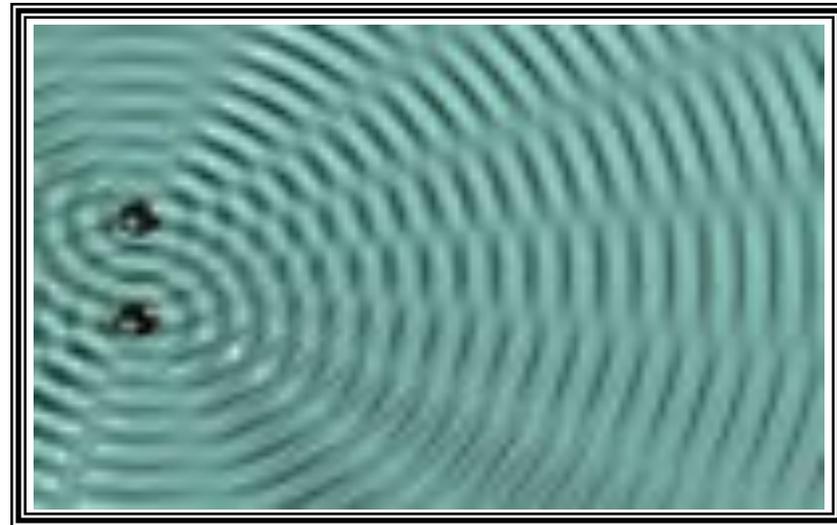
■ **Излучение света** -  
процесс испускания и  
распространения  
энергии в виде волн  
и частиц.



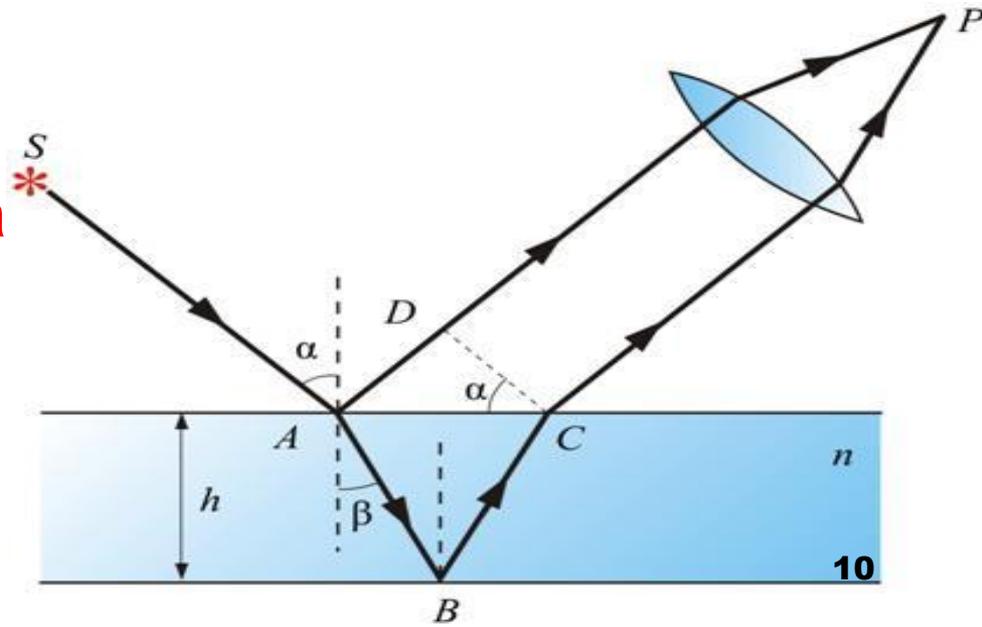
■ **Поглощение  
света** -  
уменьшение  
интенсивности  
излучения света.

# Интерференция света

■ **Интерференция** – явление наложения волн, вследствие которого наблюдается устойчивое во времени усиление или ослабление результирующих колебаний в различных точках пространства.



■ **Устойчивая во времени интерференционная картина** может наблюдаться только при сложении когерентных волн.



# Интерференция света

- **Когерентные волны** - волны с одинаковой частотой, поляризацией и постоянной разностью фаз.
- Устойчивой интерференционной картины от двух независимых источников света не наблюдается, т.к. волны не являются когерентными из-за непостоянства разности фаз.
- Атомы источников излучают свет прерывисто в виде "цуга" гармонических колебаний - импульса длительностью порядка  $10^{-8}$  с (время когерентности).
- За это время свет распространяется на расстояние  $l_k = 1$  м, называемое **длиной когерентности** (расстояние, на котором происходит устойчивое гармоническое колебание световой волны). Спустя время когерентности разность фаз хаотически изменяется.

# Интерференция света

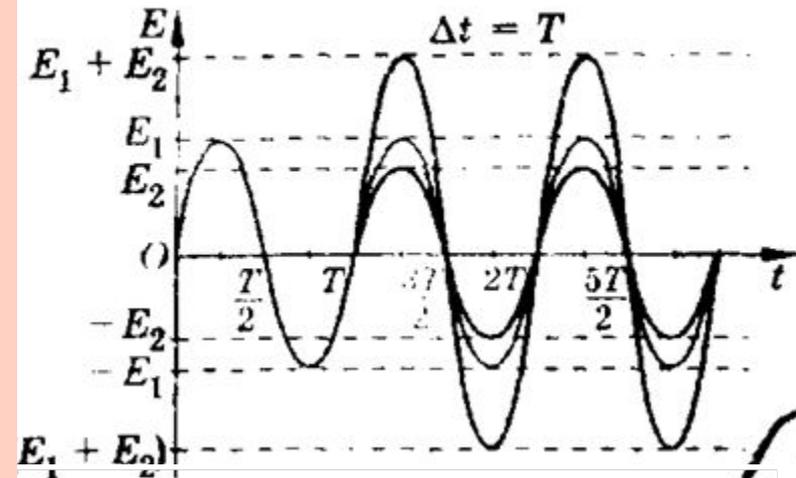
■ При одинаковом законе колебаний двух источников

**интерференционные максимумы** наблюдаются в точках пространства, для которых **геометрическая разность хода интерферирующих волн равна целому числу длин волн:**

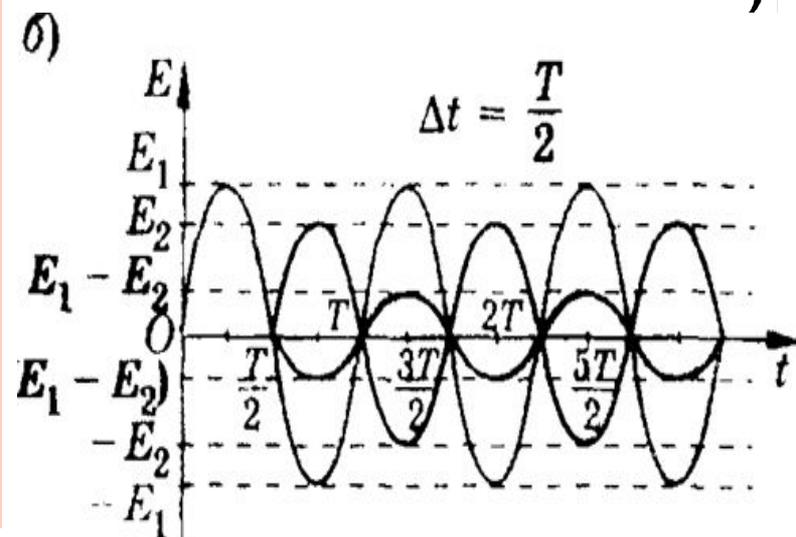
■ При одинаковом законе колебаний двух источников

**интерференционные минимумы** наблюдаются в тех точках пространства, для которых **геометрическая разность хода интерферирующих волн равна нечетному числу полуволн.**

$$\Delta = m\lambda, \text{ где } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



$$\Delta = (2m + 1)\lambda/2, \text{ где } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

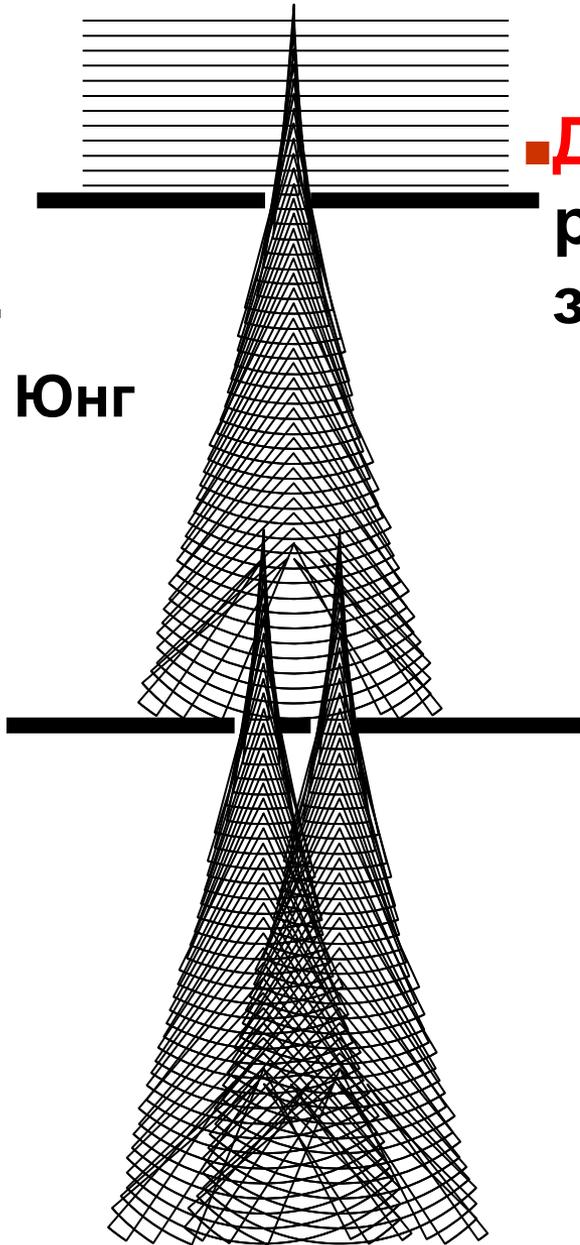


# Дифракция света

■ **Дифракция** – отклонение при распространении волн от законов геометрической оптики.

■ 1800 г.

■ Томас Юнг



# Дифракция света

- Дифракция сопровождается нарушением целостности фронта световой волны, вызванным резкими неоднородностями среды (например, поверхность диска). Светлое пятно может возникнуть в области геометрической тени за освещенным непрозрачным диском (в 1818г. предсказал французский математик Симон-Дени Пуассон на основе волновой теории света и было подтверждено опытом).
- Дифракция проявляется в **нарушении прямолинейности распространения световых лучей, огибании волнами препятствий**, например в проникновении света в область геометрической тени.

# Дифракция света

■ Теория **дифракции света** была разработана в 1816 году французским ученым **Огюстеном Френелем**, развившем идеи Гюйгенса.

■ Согласно **принципу Гюйгенса**:

▪ каждая точка фронта волны является источником вторичных волн, распространяющихся во все стороны со скоростью распространения волны в среде;

▪ огибающая этих волн определяет положение фронта волны в следующий момент времени.

Френель дополнил принцип Гюйгенса идеей об интерференции вторичных волн.

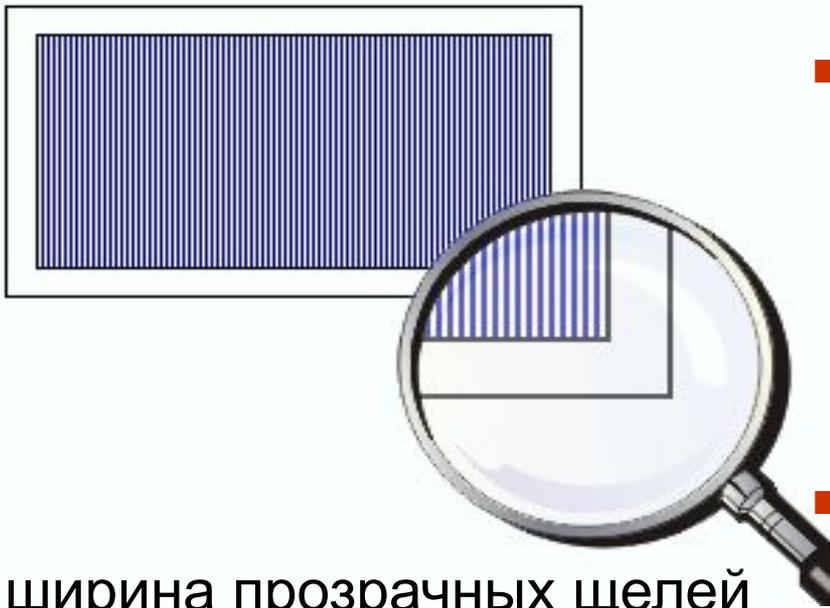
■ Принцип **Гюйгенса - Френеля**:

Возмущение в любой точке пространства является результатом интерференции когерентных вторичных волн, излучаемых каждой точкой фронта волны.

# Дифракция света

- **Зона Френеля** - множество когерентных источников вторичных волн, максимальная разность хода между которыми (для определенного направления распространения) равна  $\lambda/2$ .
- Условие **дифракционного минимума на щели**:  
 $a \sin \alpha = m \lambda$ , где  $a$  - ширина щели,  $\alpha$  - угол наблюдения,  $m=0, 1, 2, \dots$
- **Дифракция света на отверстиях** (или препятствии) размером  $a$  проявляется на расстоянии  $l > a^2/\lambda$ .
- **Приближение геометрической оптики** справедливо при условии  $\lambda \ll a^2/l$ , где  $a$  - размер препятствия на пути волны,  $l$  - расстояние до препятствия.

# Дифракционная решетка



- $a$  – ширина прозрачных щелей
- $b$  – ширина непрозрачных промежутков
- $d = a + b$ ; где  $d$  – период решетки

■  $d \sin \alpha = k \lambda$ , где  $k = 0, 1, 2, \dots$

- **Дифракционная решетка** – это совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками.
- С помощью дифракционной решетки можно проводить очень точные измерения длины волны.

(Условие главных максимумов дифракционной решетки )

# Дифракционная решетка

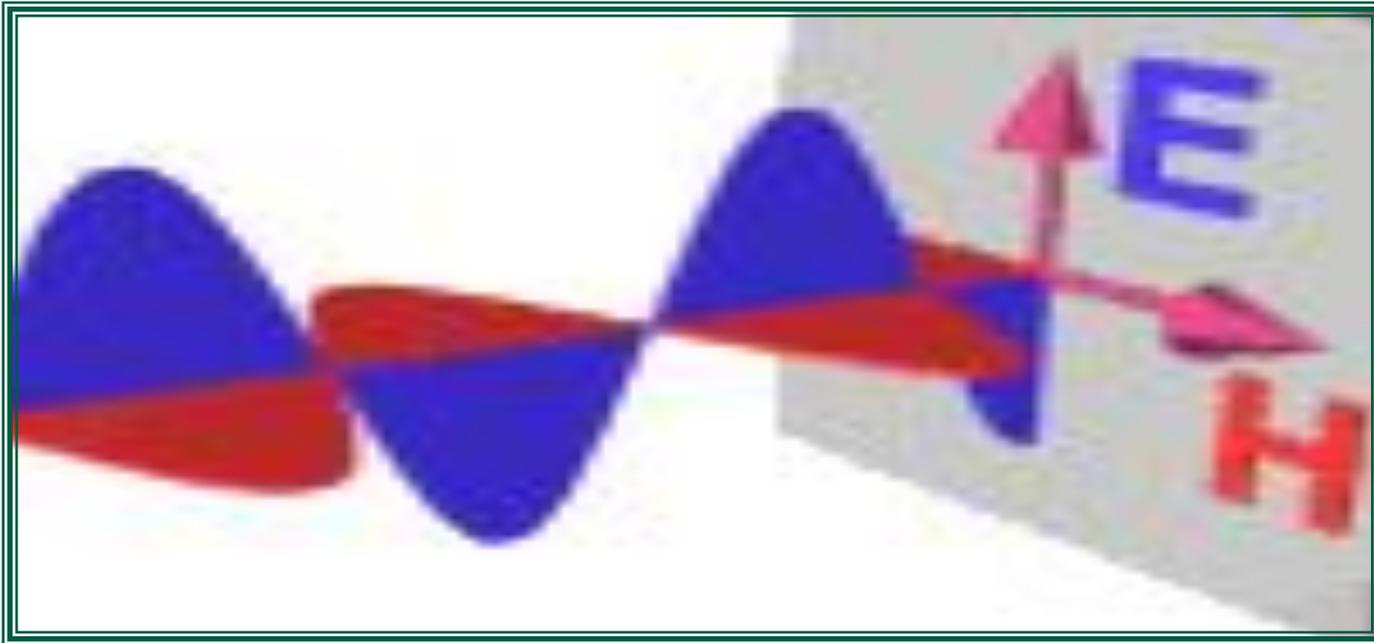
- Увеличение числа щелей приводит к увеличению интенсивности и уменьшению ширины главных максимумов.
- Возможность раздельного наблюдения главных максимумов  $m$ -го порядка близких длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  характеризуется **разрешающей способностью  $A$  дифракционной решетки**:

$$A = \lambda_1 / |\lambda_2 - \lambda_1| = Nm$$

- Чем больше число щелей  $N$  и выше порядок спектра  $m$ , тем выше разрешающая способность дифракционной решетки.

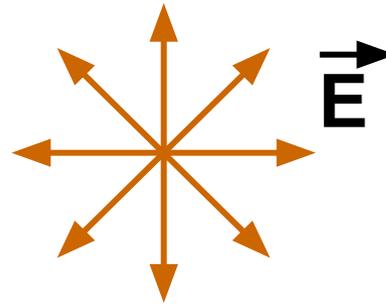
# Поляризация света

- Свет – электромагнитная волна – поперечная волна.

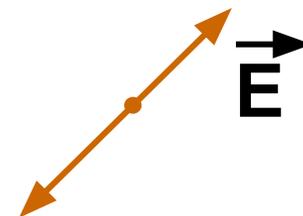
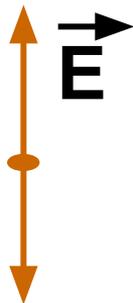


# Поляризация света

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

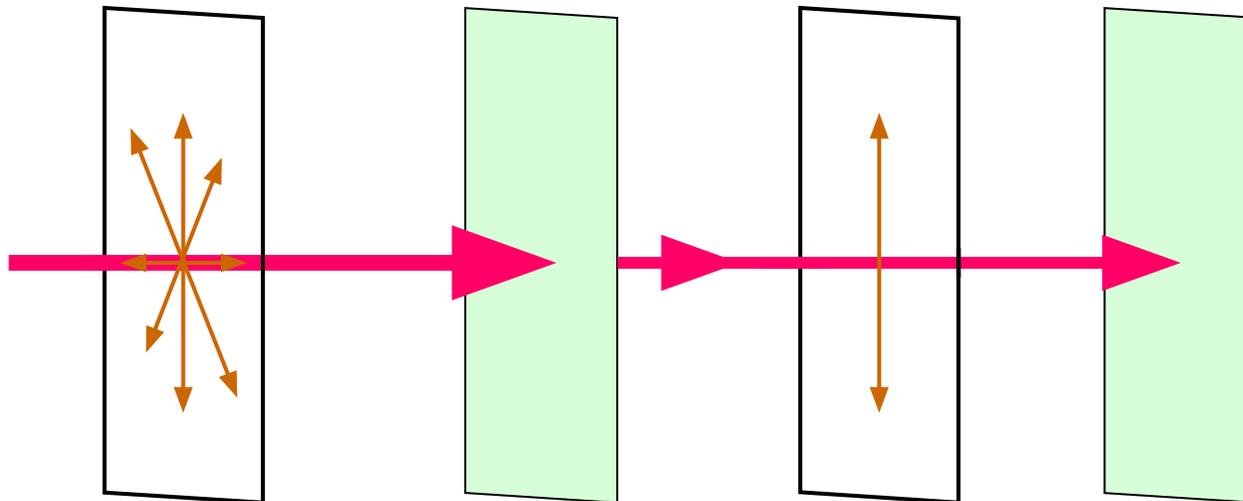


■ **Поляризованный** свет – свет, в котором присутствует только одно направление вектора напряженности, перпендикулярное направлению распространения волны.



# Поляризация света

- Свет поляризуется при прохождении через поляроид.



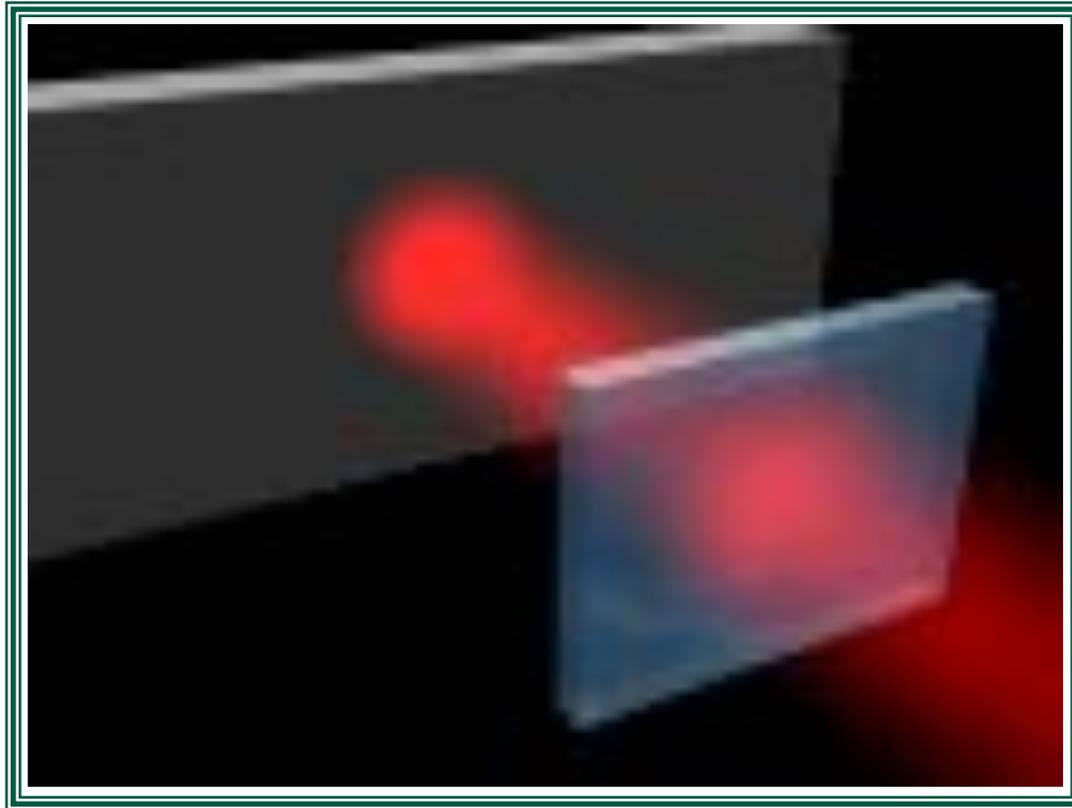
■ *Неполяризованный свет*

■ *Поляризованный свет*

■ *Свет не проходит*

# ***Поляризация света***

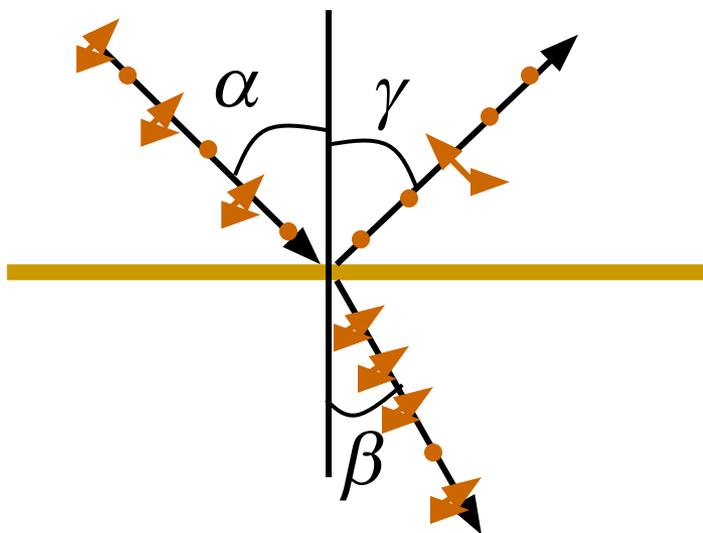
- **Поляроид – вещество, вызывающее поляризацию света.**



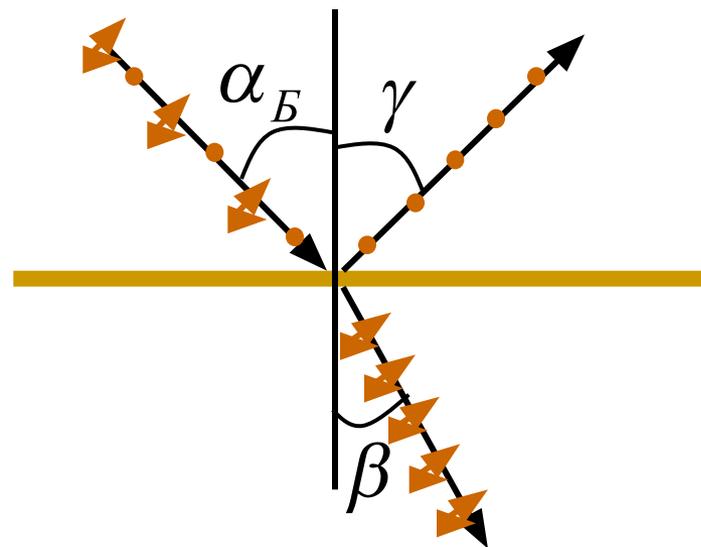
# Поляризация света

■ При отражении и преломлении свет поляризуется.

■ Частичная поляризация



■ Полная поляризация



$$\alpha = \alpha_B$$

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

$$\alpha + \beta = 90^0$$

- **угол Брюстера** (угол падения, при котором происходит полная поляризация).



**Задача №1.** Узкий пучок света в результате прохождения через стеклянную призму расширяется, и на экране наблюдается разноцветный спектр. Это явление объясняется тем, что призма:

1. поглощает свет с некоторыми длинами волн;
2. окрашивает белый свет в разные цвета;
3. преломляет свет с разной длиной волн по-разному, разлагая его на составляющие;
4. изменяет частоту волн.



**Задача №2.** При дисперсии света

А. сильно отклоняются красные лучи, слабо - фиолетовые.

Б. сильно отклоняются фиолетовые лучи, слабо - красные.

В. Все лучи отклоняются одинаково.

**Задача №3.** Определите, что будет наблюдаться в точке А при интерференции света, если разность хода равна 8,723 мкм, а длина волны 671 нм. Чему равна  $k$ ?

А.  $k = 13, \text{min}$     Б.  $k = 13, \text{max}$     В.  $k = 20, \text{min}$     Г.  $k = 20, \text{max}$

Решение:

$$\Delta d = k\lambda$$

$$k = \frac{\Delta d}{\lambda} = \frac{8,723 * 10^{-6}}{671 * 10^{-9}} = 13$$

*Ответ Б*

**Задача №4.** Дифракционная решетка имеет период 1/100мм. Определить длину волны, если угол отклонения для первого максимума составляет  $4^{\circ}$ .

А. 598нм    Б. 367нм    В. 698нм    Г. 867нм

*Решение:*  $d \sin \alpha = k\lambda$

$$\lambda = \frac{d \sin \alpha}{k} = \frac{10^{-5} * 0,0698}{1} = 698 * 10^{-9} \text{ м} = 698 \text{ нм}$$

## **Задача №5.** Плоскополяризованный свет:

- А. испускается всеми монохроматическими источниками света;
- Б. получается в результате дифракции;
- В. получается в результате интерференции;
- Г. испускается при отражении от диэлектрика при падении на него лучей под углом Брюстера.



Спасибо за внимание!