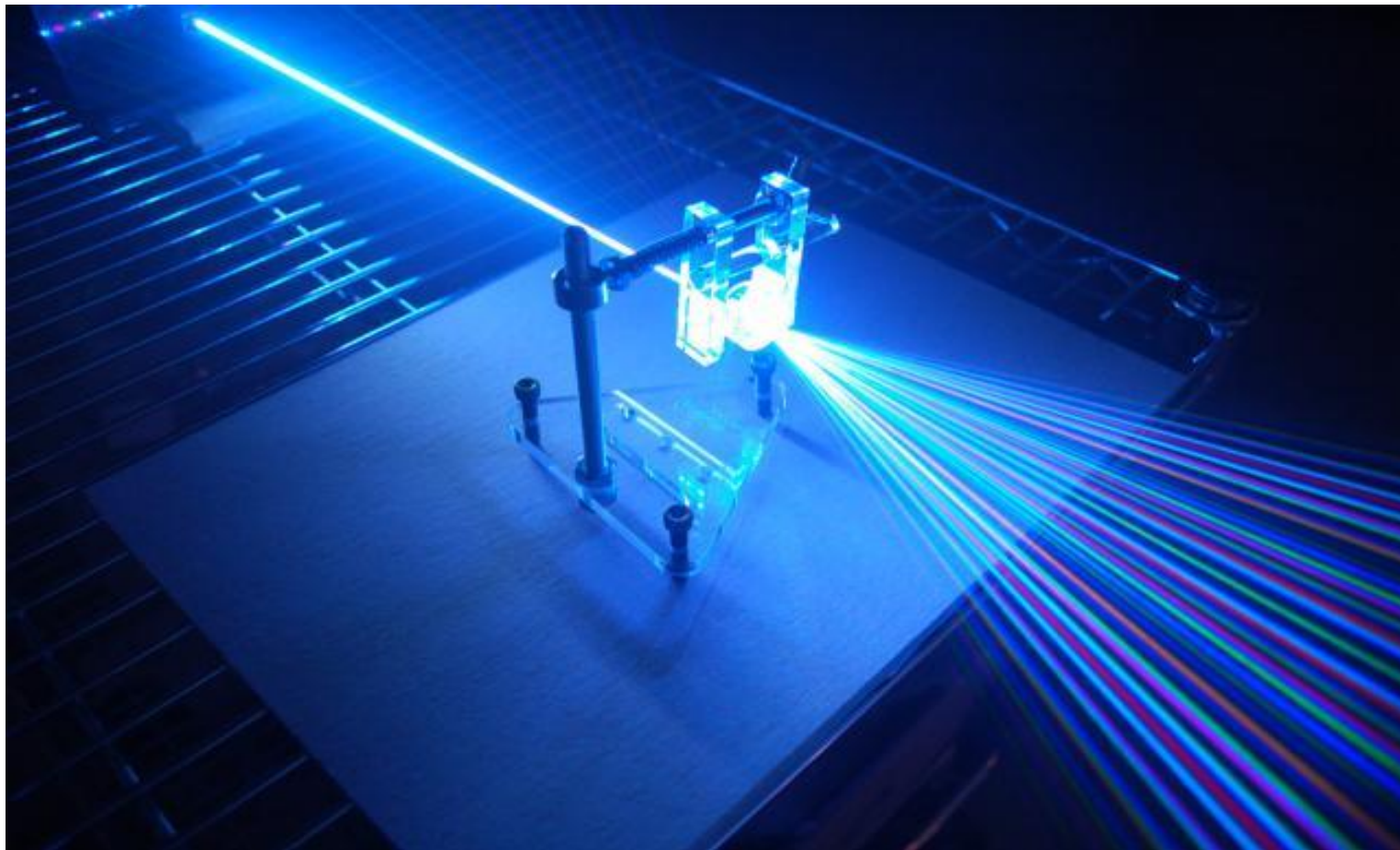




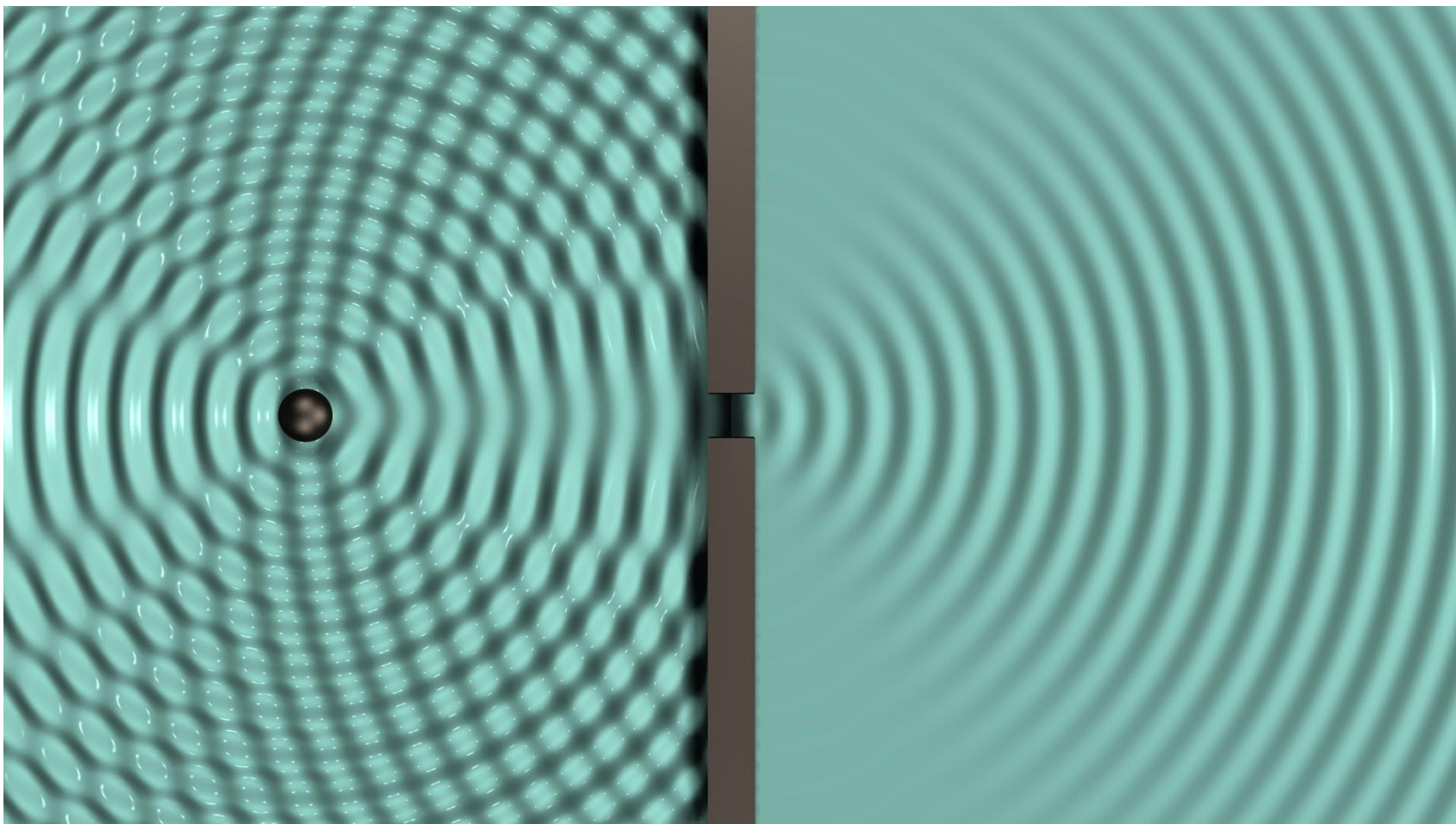
Дифракция света



Вопросы

1. Дифракция волн.
2. Дифракция света.
3. Принцип Гюйгенса-Френеля
4. Дифракция Френеля.
5. Дифракция Фраунгофера.
6. Дифракция света на щели.
7. Дифракция света на решетке.
8. Дифракция света в Природе.

1. Дифракция волн



1. Дифракция волн



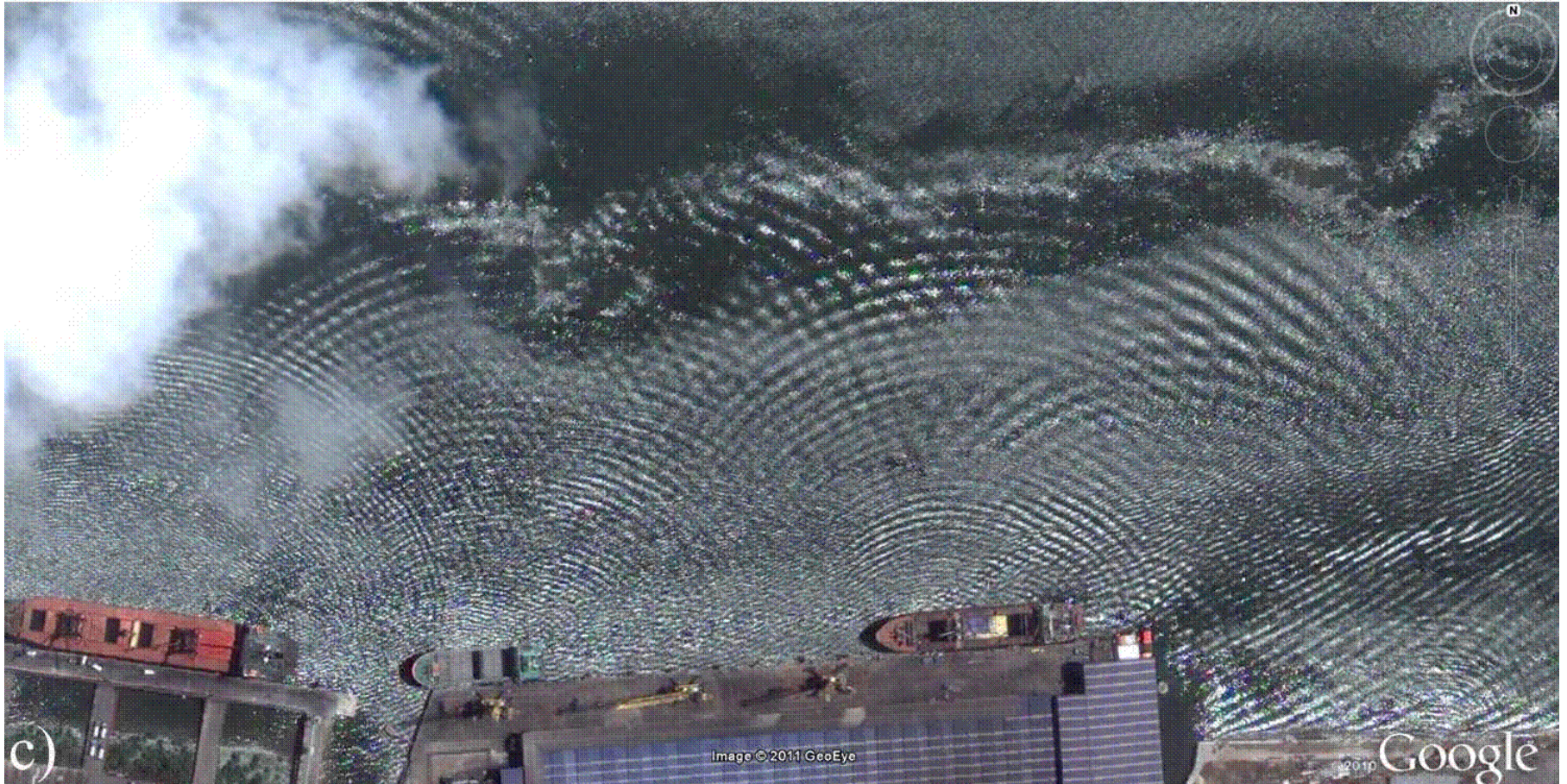
1. Дифракция волн



1. Дифракция волн



1. Дифракция волн



1. Дифракция волн

Дифракция – явление огибания волнами препятствий, сопровождаемое интерференцией.

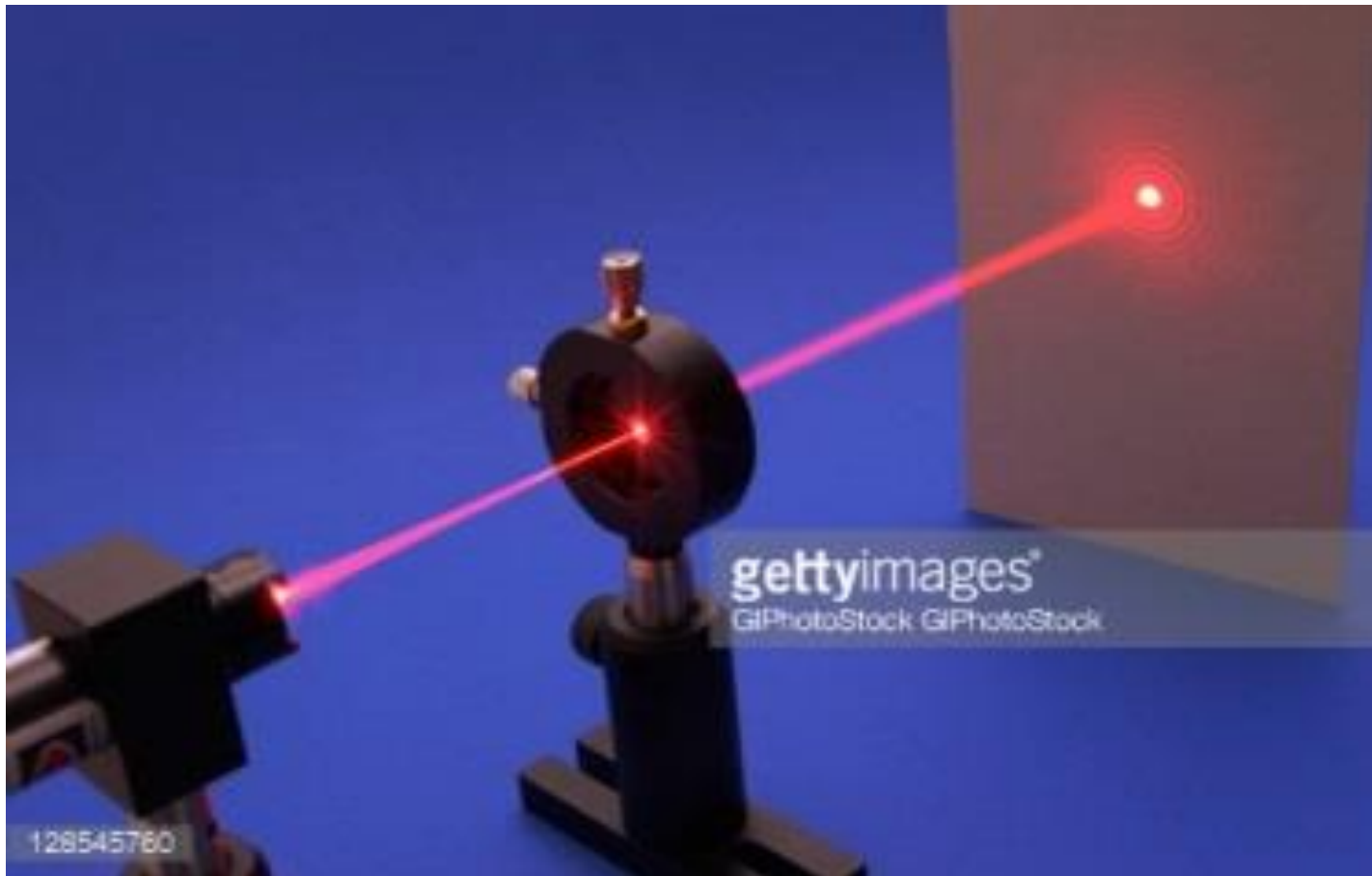
Характерна для волн любой природы и проявляется в пространственном перераспределении энергии волнового потока в том числе и за препятствием.

Между дифракцией и интерференцией нет существенного различия. Оба явления результат перераспределения энергии волнового процесса вследствие суперпозиции волн.

2. Дифракция света

Дифракция лазерного излучения на круглом отверстии

На экране дифракционная картина в форме чередующихся светлых и темных колец.



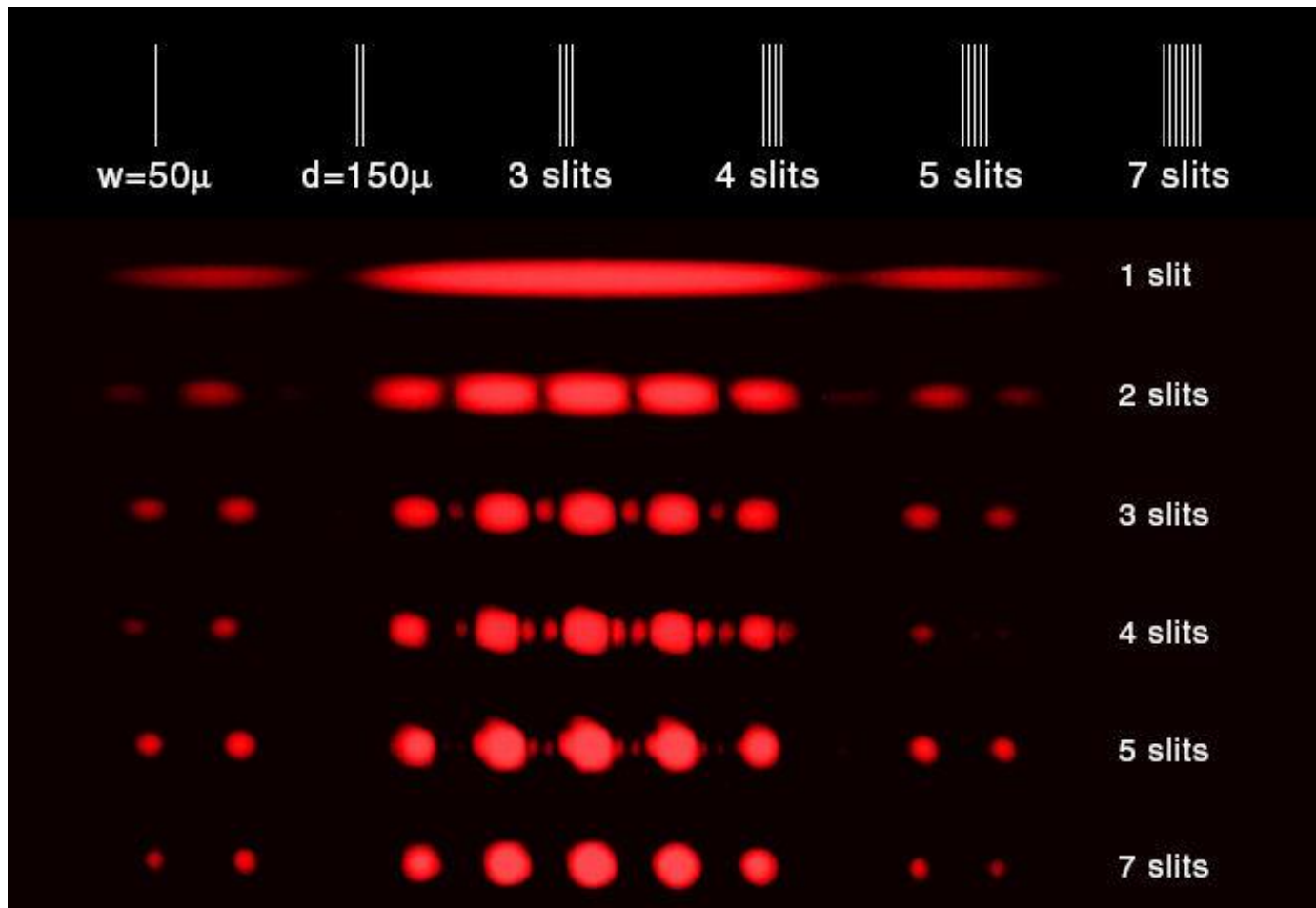
2. Дифракция света

Дифракция лазерного излучения на щели

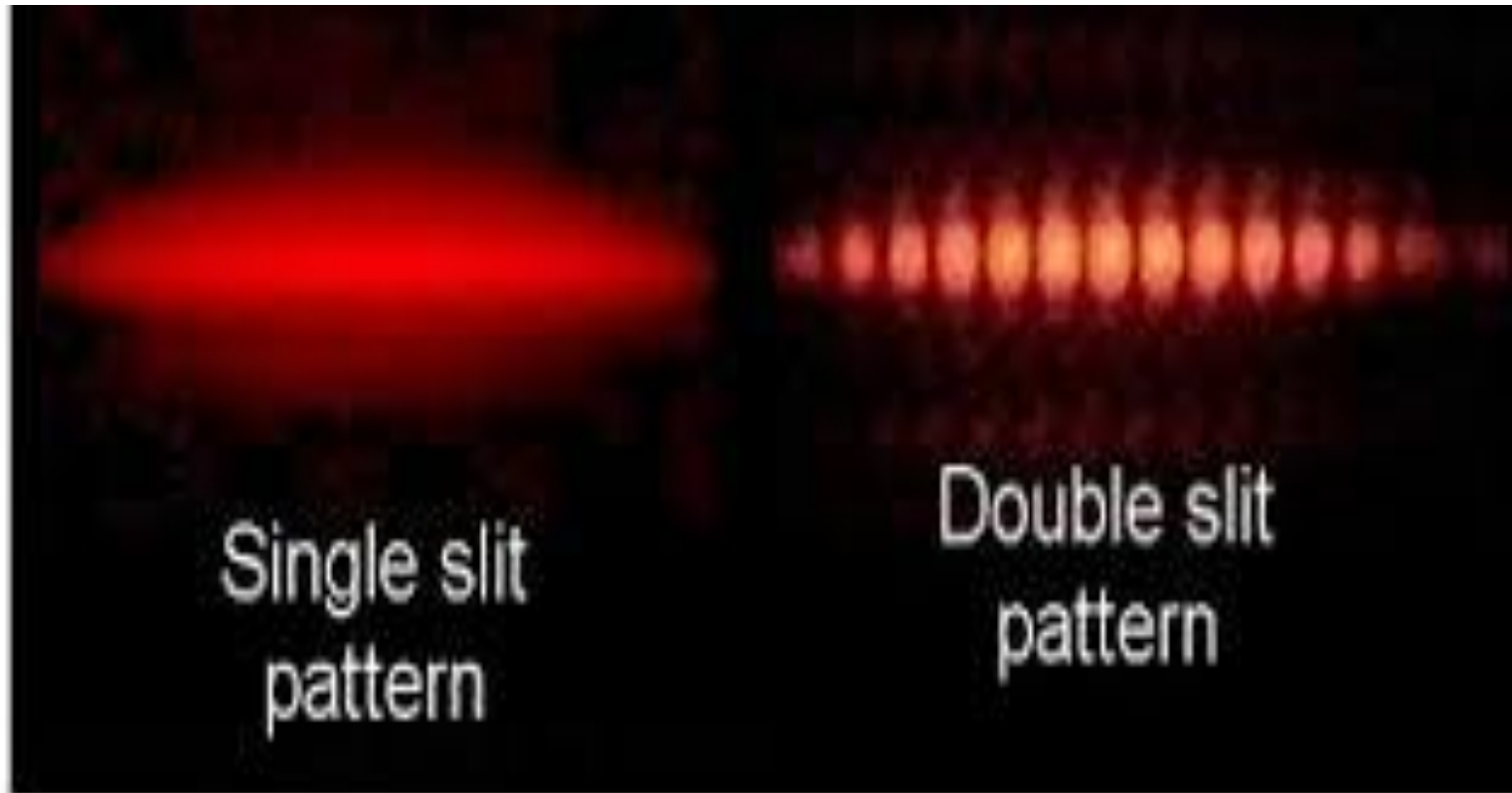


2. Дифракция света

Дифракционные картины распределения интенсивности лазерного излучения для разного количества щелей



2. Дифракция света

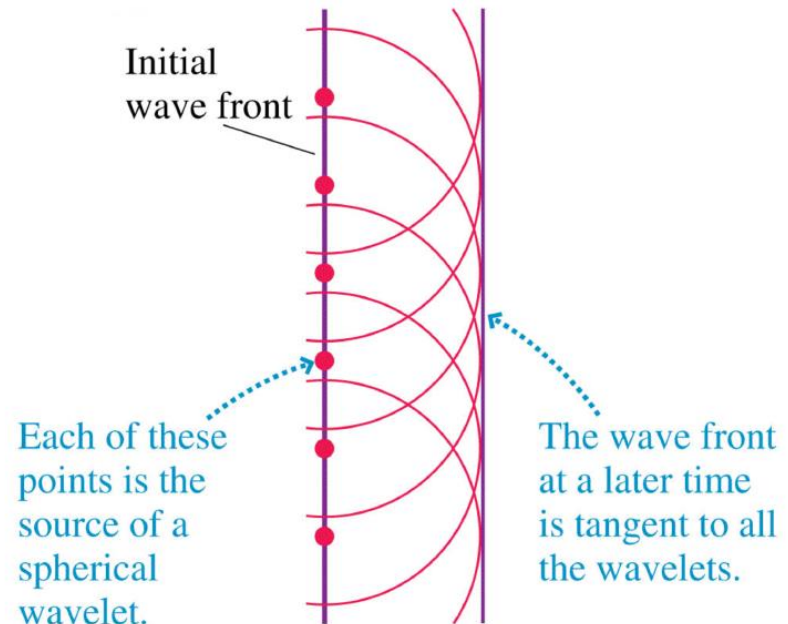


3. Принцип Гюйгенса-Френеля



Христиан Гюйгенс (Нидерланды, 1629-1695)

Один из основоположников теоретической механики и теории вероятностей. Внёс значительный вклад в оптику, молекулярную физику, астрономию, геометрию, часовое дело.



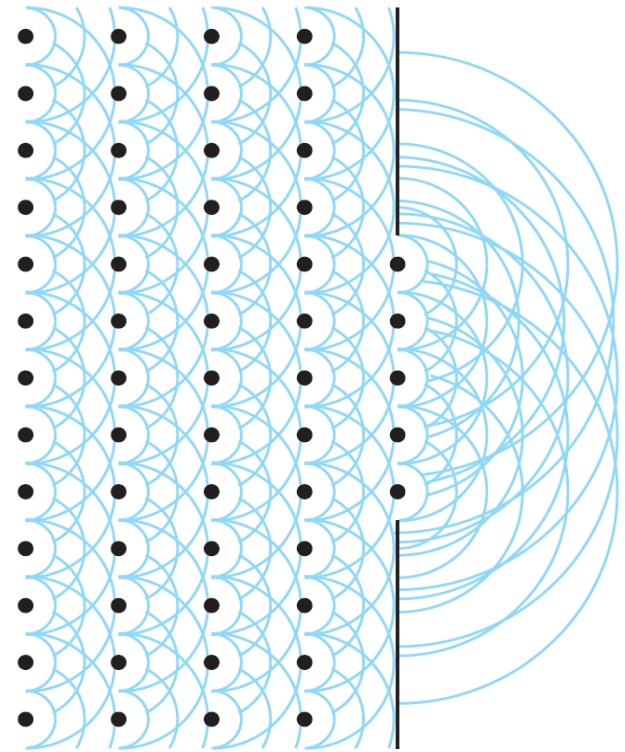
Каждая точка пространства, до которой дошел волновой процесс, является источником вторичных волн.

Принцип Гюйгенса позволяет построить новый волновой фронт в следующий момент времени, если он известен в предыдущий.

3. Принцип Гюйгенса-Френеля

Дифракция на щели.

Принцип Гюйгенса позволяет объяснить огибание волнами препятствий – проникновение света в область геометрической тени.



3. Принцип Гюйгенса-Френеля



Френель дополнил принцип Гюйгенса:

Вторичные волны являются когерентными и интерферируют.

Исходя из этого принципа, разработал теорию дифракции света, на основе которой предложил метод анализа дифракционной картины, основанный на **разбиении фронта волны** на зоны (так называемые **зоны Френеля**).

Волны от соседних зон Френеля приходят в точку наблюдения в противофазе.

Четное число зон – минимум.

Нечетное число зон – максимум.

Оптическая разность хода волн, приходящих в точку наблюдения от двух соседних зон Френеля равна половине длины волны излучения в вакууме $\left(\frac{\lambda_0}{2}\right)$.

Огюстен Жан Френель
(1788-1827)

3. Принцип Гюйгенса-Френеля

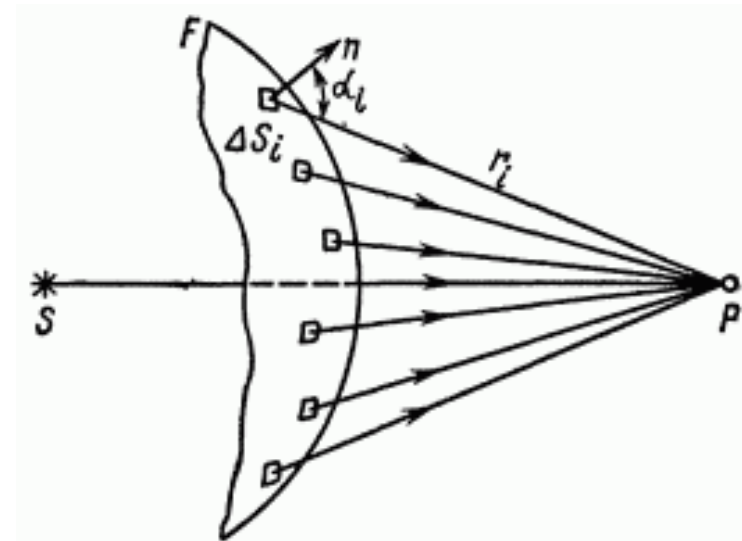
Общий метод расчета

Уравнение сферической волны, приходящей в точку Р от элемента волнового фронта dS :

$$dE = K(\alpha) \frac{a_0 dS}{r} \cos(\omega t - kr + \varphi_0).$$

Суперпозиция всех волн от всех элементов поверхности

$$E = \int_S K(\alpha) \frac{a_0}{r} \cos(\omega t - kr + \varphi_0) dS.$$



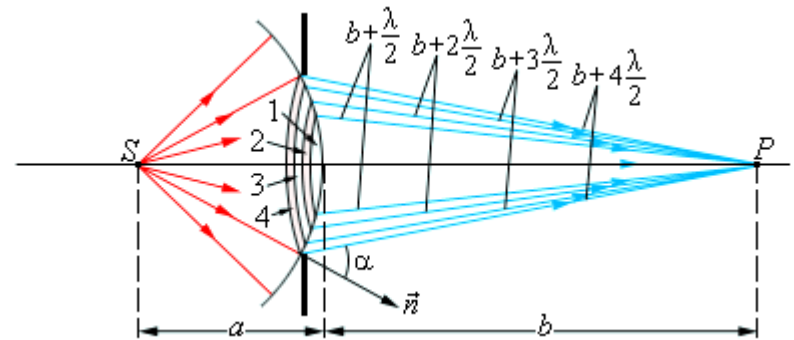
4. Дифракция Френеля

Тип дифракции, при котором дифракционная картина образуется *непараллельными лучами*, называется *дифракцией Френеля*.

Дифракция сферических волн.

Источник и экран находятся на небольшом расстоянии (дифракция в ближней зоне).

На рисунке: на пути сферической волны находится непрозрачный экран с круглым отверстием. В точку P приходят волны только от части волновой поверхности, оказавшейся в отверстии. Результат суперпозиции этих волн в точке P может быть проанализирован путем разбиения волновой поверхности на зоны Фенеля.



5. Дифракция Фраунгофера

Тип дифракции, при котором дифракционная картина образуется *параллельными лучами*, называется *дифракцией Фраунгофера*.

Дифракция плоских волн.

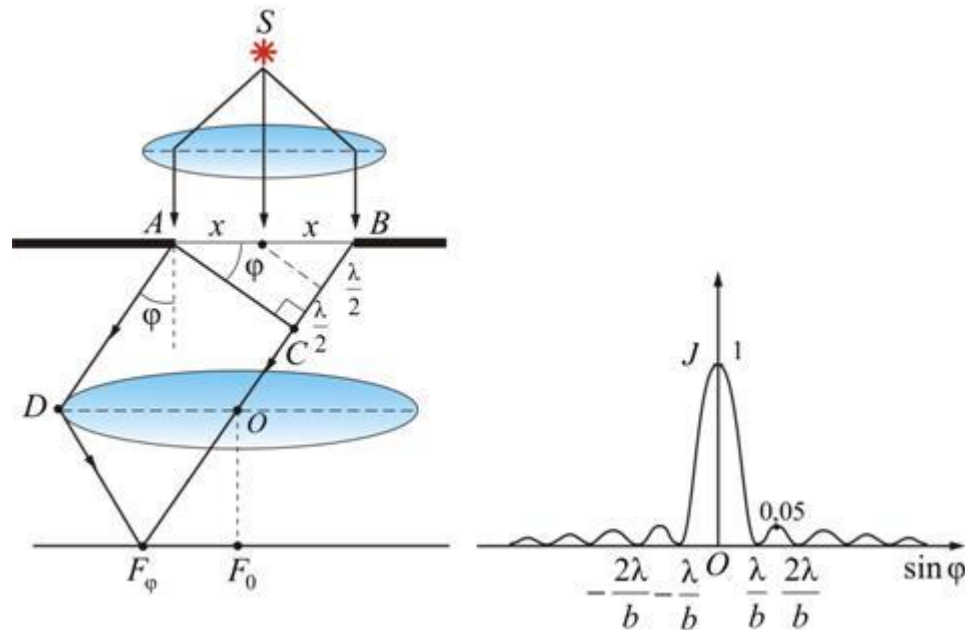
- Источник и экран находятся на очень большом расстоянии (в дальней зоне).
- Для наблюдения можно используются две линзы: в фокусе одной – источник света, а в фокусе другой – экран.



Йозеф Фраунгофер
(1787-1826)

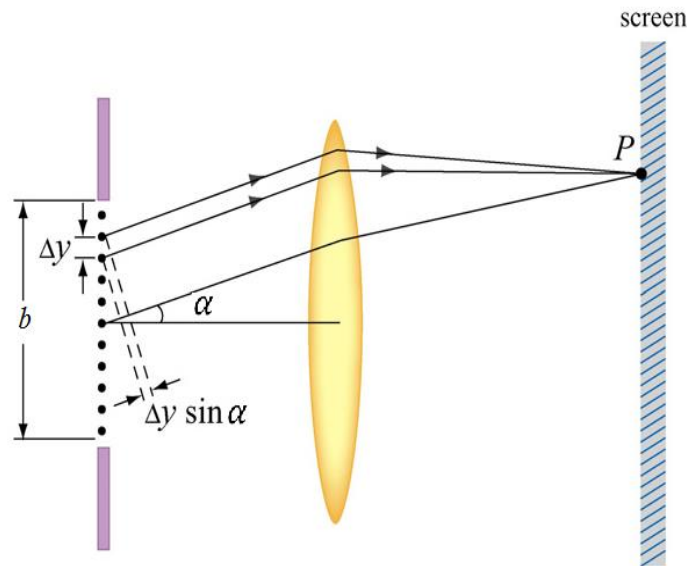
5. Дифракция Фраунгофера

- **Первая линза** формирует систему параллельных лучей (плоская волна).
- **Вторая линза** собирает параллельные лучи (волны) в одной и той же точке экрана, находящегося в фокальной плоскости линзы.



6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

- Участок фронта плоской волны, оказавшийся в щели, разбиваем на N одинаковых источников вторичного излучения.
- Используем результаты анализа интерференционной картины для N когерентных источников (см. тему «Интерференция света»).
- Делаем предельный переход: $N \rightarrow \infty$.



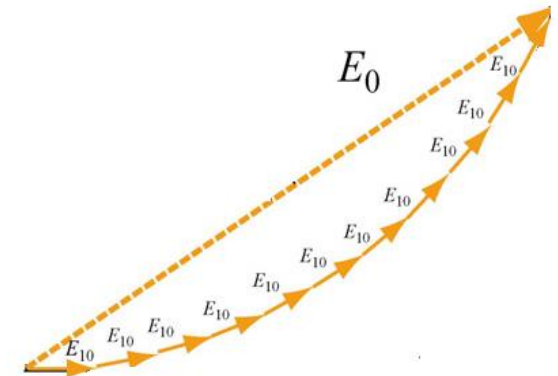
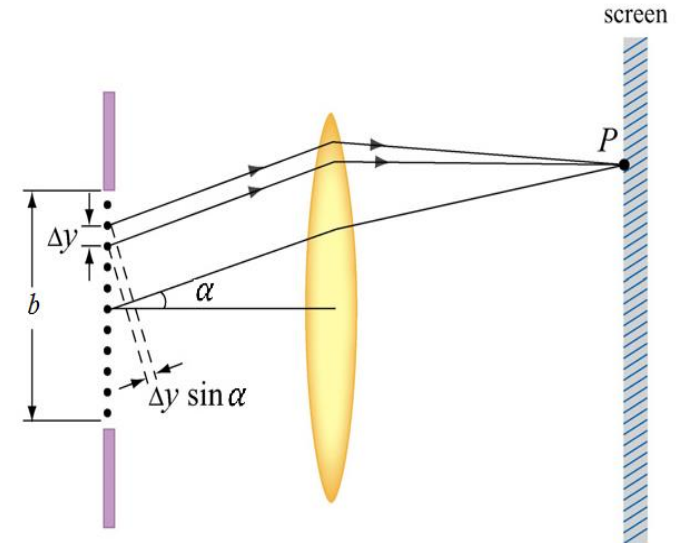
6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

$$E_0 = E_{01} \frac{\sin\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}, \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi b}{\lambda N} \sin(\alpha)$$

$$E_0 = E_{01} \frac{\sin\left(\frac{N}{2} \cdot \frac{2\pi b}{\lambda N} \sin(\alpha)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2} \frac{2\pi b}{\lambda N} \sin(\alpha)\right)} \Rightarrow N \rightarrow \infty$$

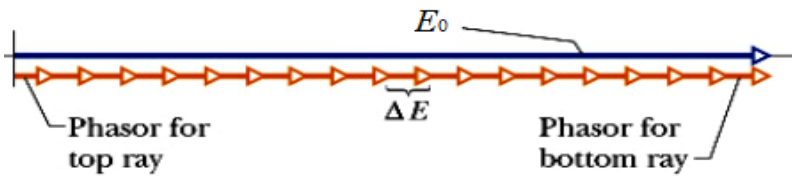
$$E_0 = N \cdot E_{01} \frac{\sin\left(\frac{\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}} \Rightarrow$$

$$I(\alpha) = I(0) \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}\right)^2}$$

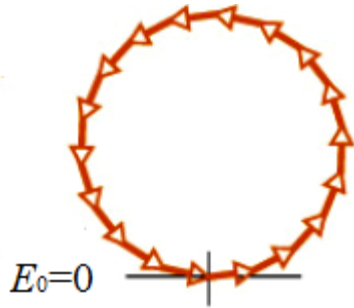


6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

Single slit phasor diagram



Центральный максимум $\alpha = 0$

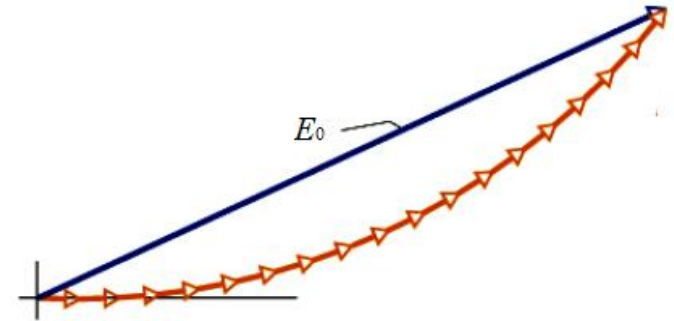


Первый минимум

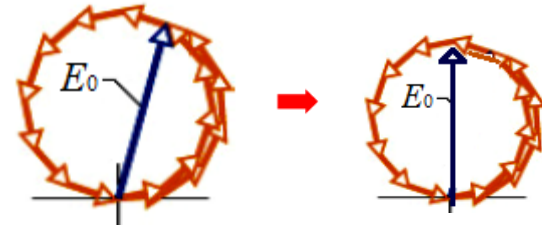
(минимум первого порядка)

$$b \cdot \sin(\alpha) = 2m \cdot \lambda/2, m = 1, 2, 3 \dots$$

Точное условие!



Произвольный угол $b \cdot \sin(\alpha) < \lambda/2$



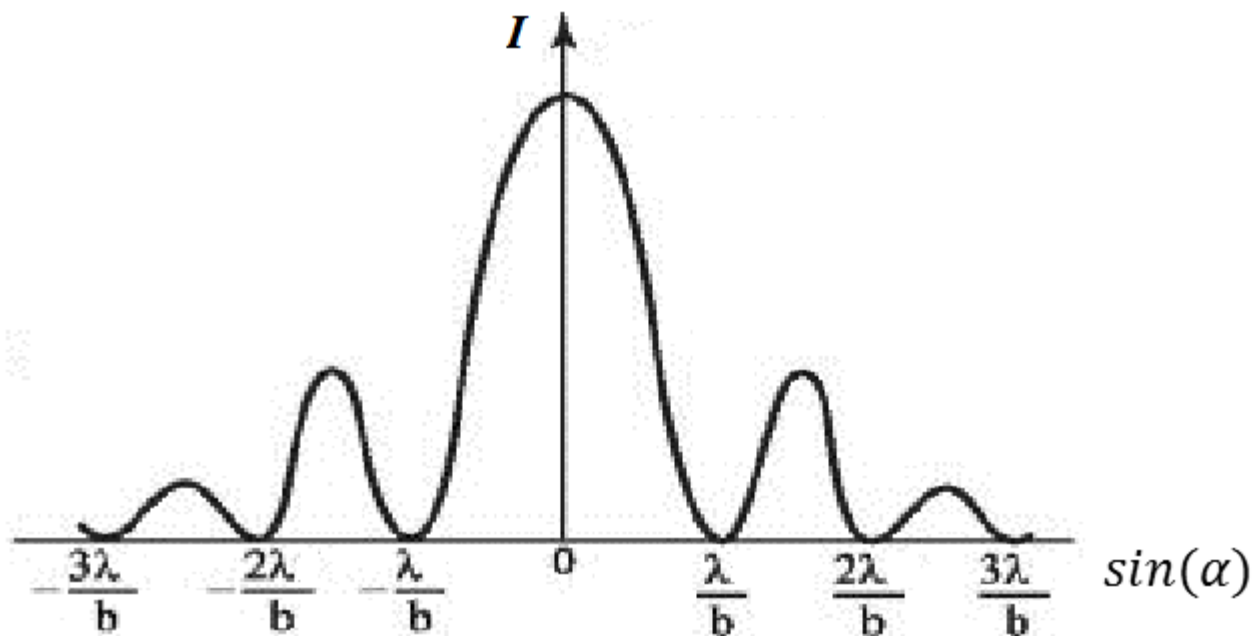
Максимум первого порядка

$$b \cdot \sin(\alpha) = (2m + 1)\lambda/2, m = 1, 2, \dots$$

Приближенное условие!

6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

Распределение интенсивности на экране



6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

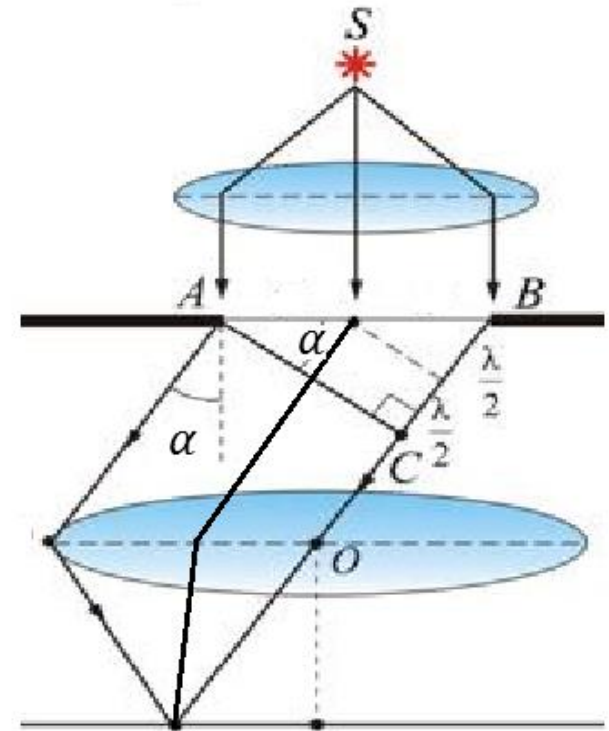
Распределение интенсивности на экране

Условие min: $b \sin(\alpha) = \frac{2m\lambda}{2}$

Четное количество зон Френеля.

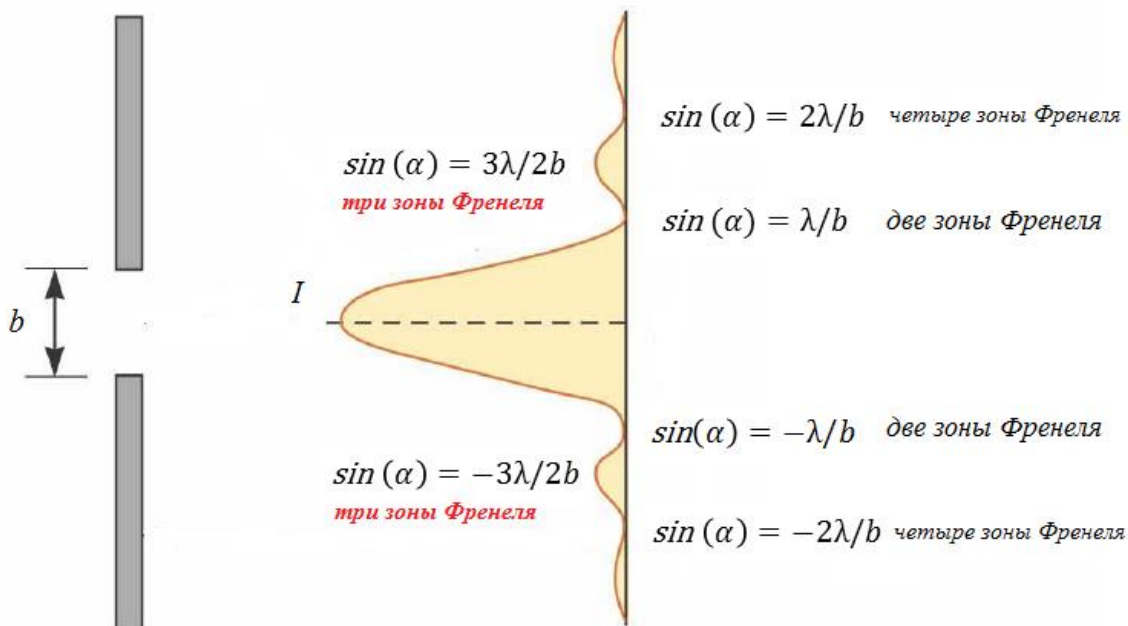
Условие max: $b \sin(\alpha) = \frac{(2m+1)\lambda}{2}$

Нечетное количество зон Френеля.



6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

Распределение интенсивности на экране



6. Дифракция света на щели (дифракция Фраунгофера)

Распределение интенсивности на экране

$b \sin(\alpha) = \frac{(2m+1)\lambda}{2}$ - положение боковых максимумов зависит от длины волны излучения! ➔ Разложение излучения в спектр!

Первый минимум ($m=\pm 1$) ➔ $b \sin(\alpha) = \pm \lambda$

Угловая ширина центрального максимума: $2\alpha = 2 \arcsin\left(\frac{\lambda}{b}\right)$.

При уменьшении ширины щели увеличивается угловая ширина центрального максимума и уменьшается общее количество максимумов.

7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)

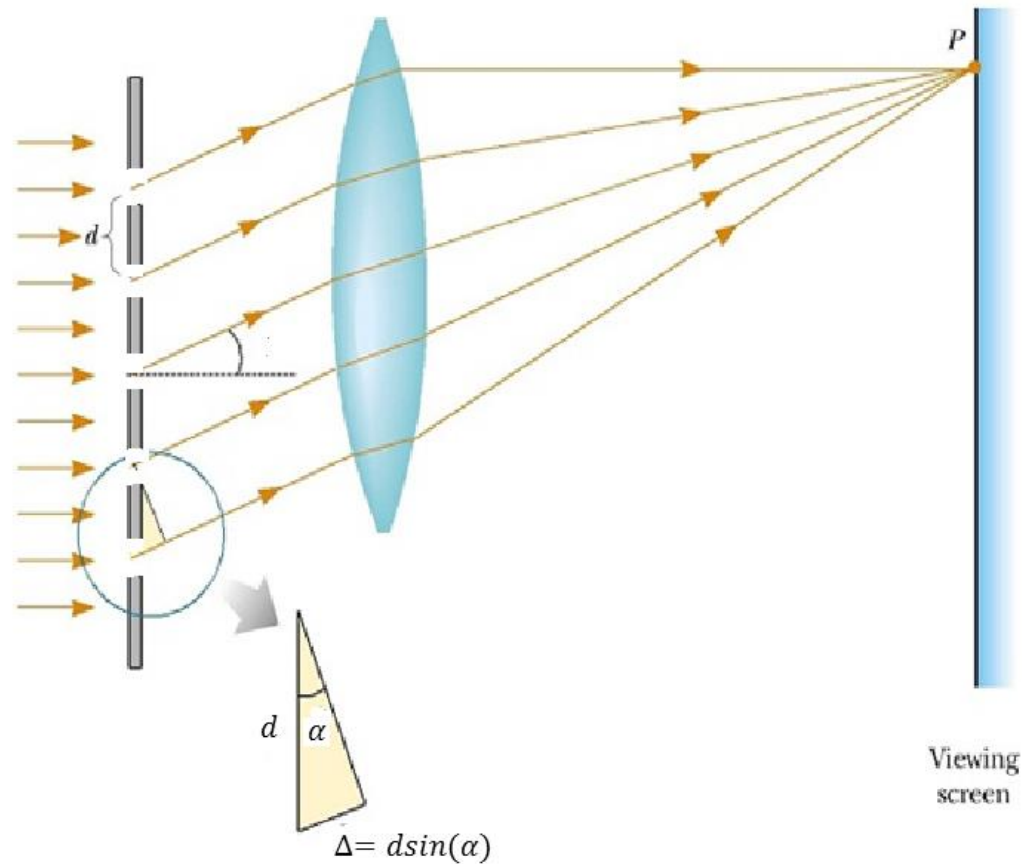
Дифракционная решетка - совокупность большого числа регулярно расположенных на поверхности штрихов (щелей, выступов).

Виды решёток

- Отражательные: Штрихи нанесены на зеркальную поверхность. *Наблюдение ведется в отражённом свете.*
- Прозрачные: Штрихи нанесены на прозрачную поверхность (или вырезаются в виде щелей на непрозрачном экране). *Наблюдение ведется в проходящем свете.*

В 1821 году Густав Фраунгофер впервые применил дифракционную решётку для изучения спектров.

7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)



7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)

Дифракцию на решетке представим как суперпозицию дифракции на каждой щели и интерференции света от N щелей:

$$I(\alpha) = I_1(\alpha) \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin(\alpha)}{\lambda}\right)} \rightarrow$$

$$I(\alpha) = I_1(0) \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin(\alpha)}{\lambda}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin(\alpha)}{\lambda}\right)}$$

7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)

Максимумы и минимумы дифракционной картины:

1.Центральный максимум $\alpha = 0 \Rightarrow I(0) = N^2 I_1(0) \Rightarrow$ все волны в фазе!

2.Главные минимумы $\Rightarrow b \sin(\alpha) = 2m \frac{\lambda}{2}, m = 1, 2, \dots \Rightarrow I_1(\alpha) = 0 \Rightarrow$
четное число зон Френеля в каждой щели $\Rightarrow I_1(\alpha) = 0 \Rightarrow I(\alpha) = 0$

3.Главные максимумы $\Rightarrow d \sin(\alpha) = 2m' \frac{\lambda}{2}, m' = 0, 1, 2, \dots \Rightarrow$
волны от соседних щелей приходят в фазе $\Rightarrow I(\alpha) = N^2 I_1(\alpha)$

Если одновременно выполняются условия 2 и 3, то $I(\alpha) = 0$!!!

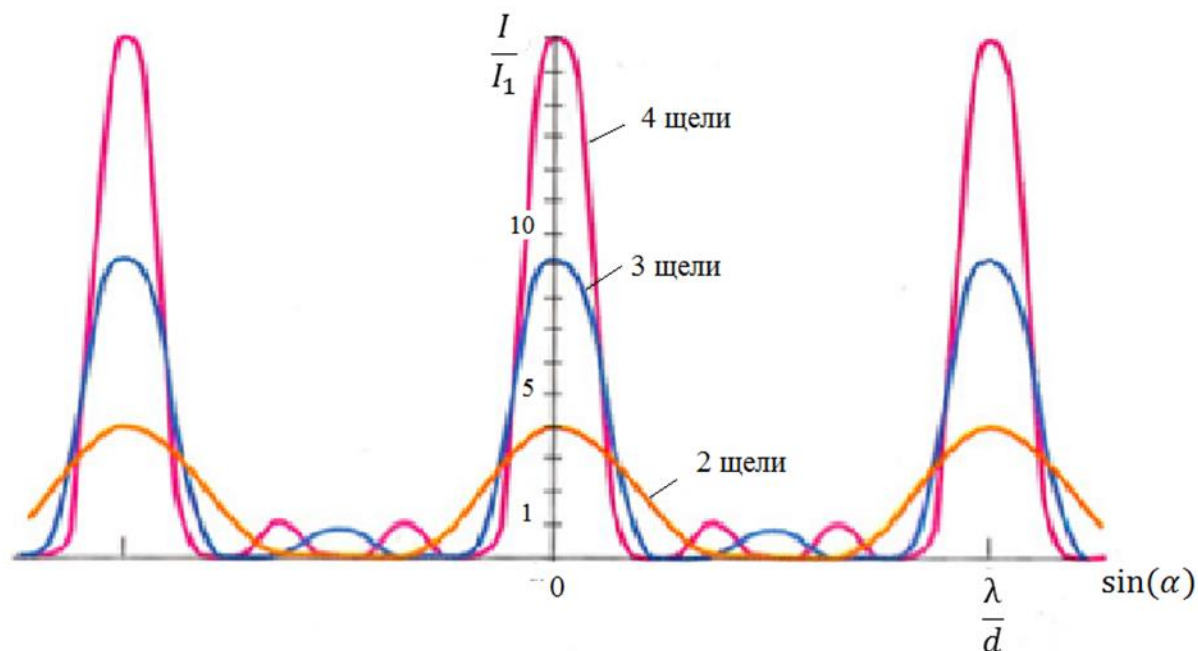
4.Дополнительные минимумы $\Rightarrow N d \sin(\alpha) = m'' \lambda, m'' = 1 \dots N-1$

5.Дополнительные максимумы $\Rightarrow N d \sin(\alpha) = (2m'' + 1) \lambda / 2, m'' = 1 \dots N-2$

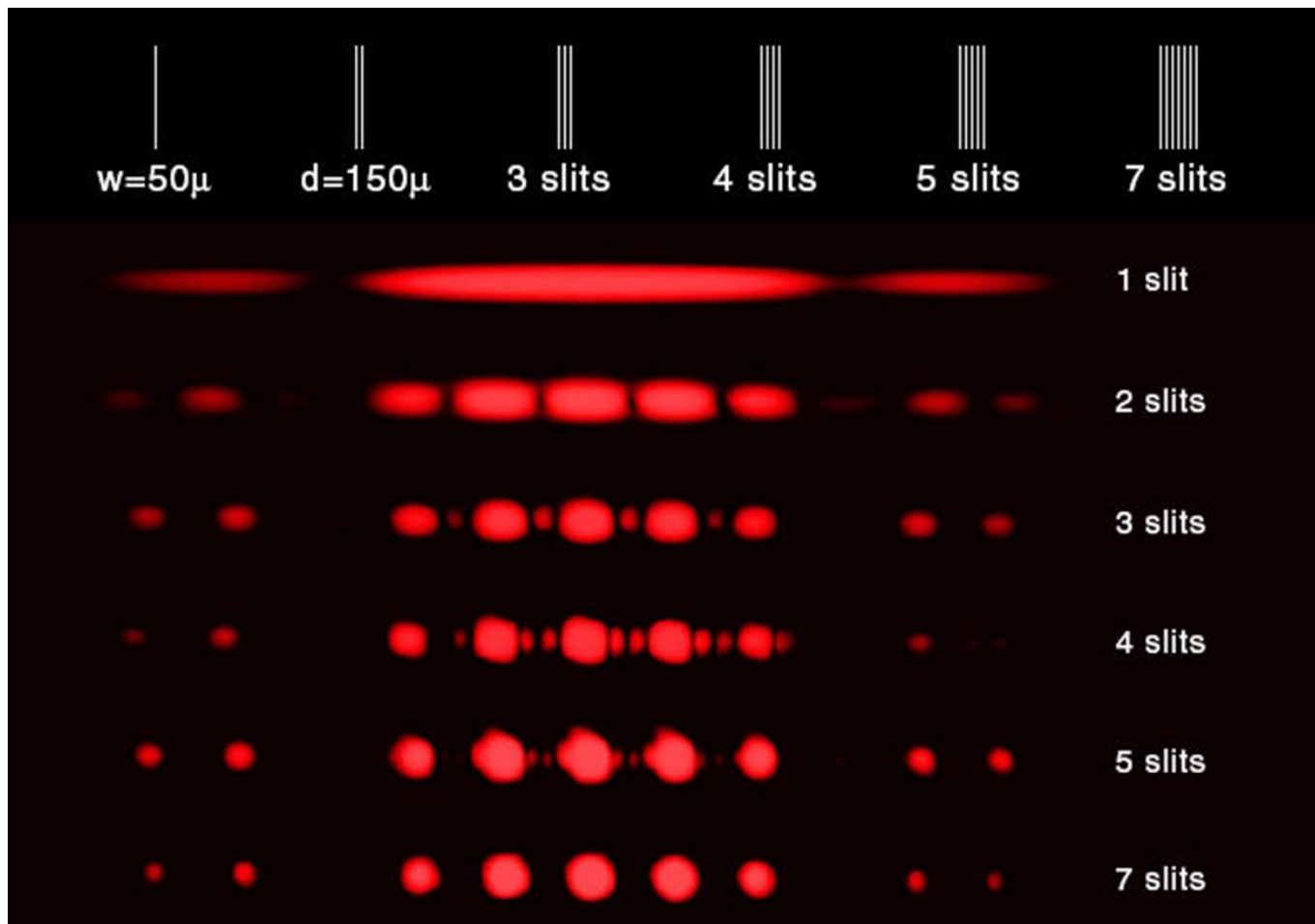
Угловая ширина центрального максимума: $2\alpha = 2 \arcsin \left(\frac{\lambda}{Nd} \right).$

7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)

Изменение распределения интенсивности при изменении количества щелей в решетке

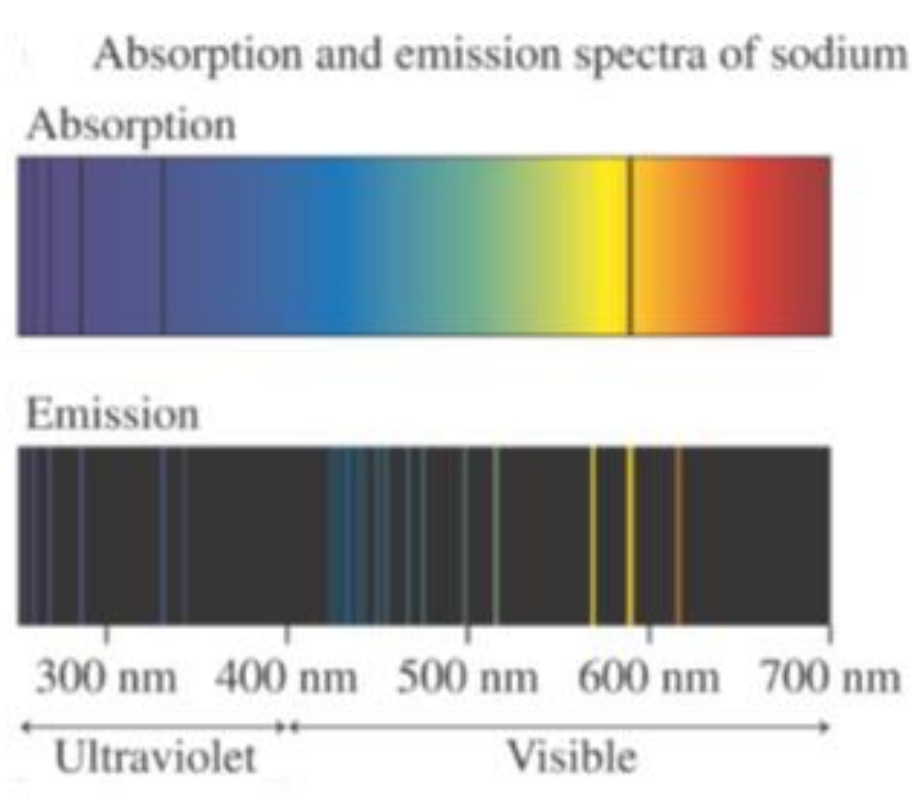


7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)



7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)

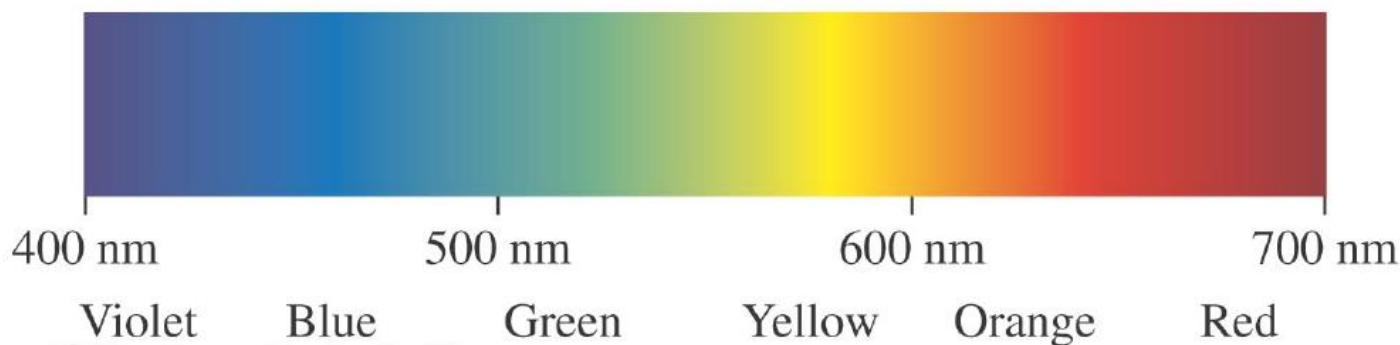
Наблюдение спектров излучения и поглощения газов с помощью дифракционной решетки



7. Дифракция света на решетке (дифракция Фраунгофера)

Discrete spectra of atoms - pass light through a diffraction grating

(a) Incandescent lightbulb



(b) Helium



8. Дифракция света в Природе



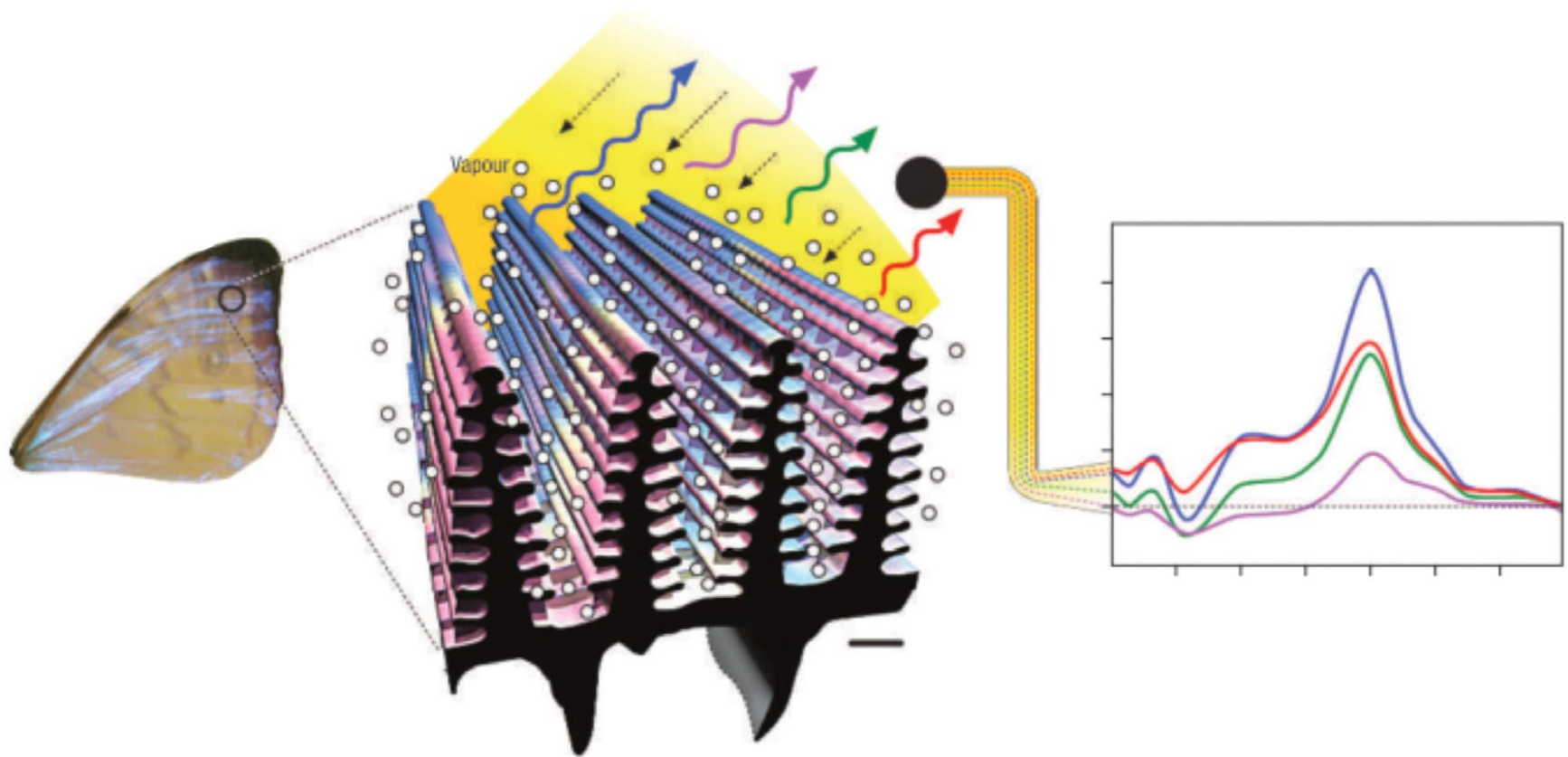
8. Дифракция света в Природе



8. Дифракция света в Природе



8. Дифракция света в Природе



Спасибо за внимание!