

Урок №19 (27.11.2019) Дифракция Фраунгофера.

1. Дифракционная решётка (повторение)

Пусть d – расстояние между щелями, N – количество щелей.

Если луч распространяется под углом θ к нормали, то положение главных максимумов описывается формулой $\theta_{\max} = \frac{\lambda}{d} n$.

Разность фаз: $\varphi = k(r_2 - r_1) = kd \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$.

Интенсивность: $I = I_0 \frac{\sin^2(N\varphi/2)}{\sin^2(\varphi/2)}$.

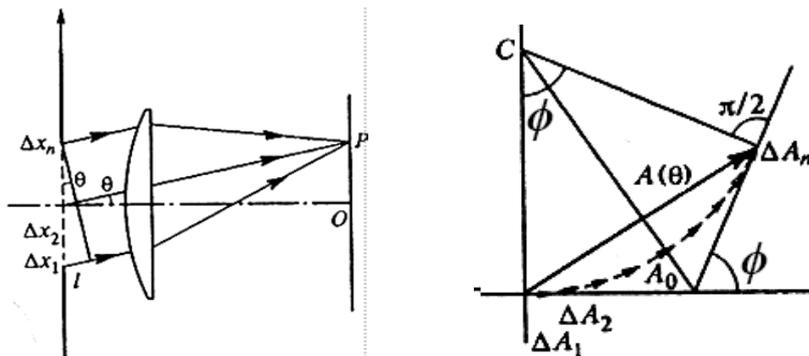
Тут можно посмотреть демонстрацию:

<https://www.desmos.com/calculator/wihiulguwg>

2. Дифракция на щели в параллельных лучах

Основные идеи Фраунгофера:

- Возьмём тонкую щель – больше освещённость и легче наблюдать по сравнению с опытами Френеля с маленькими отверстиями. В качестве источника света берём светящуюся нить.
- Соберём параллельные лучи линзой – теперь оптическая разность хода разных лучей зависит только от угла, под которым щель видна от данной точки экрана (нет дополнительной разности хода от разных частей щели – основного эффекта в дифракции Френеля, которую мы будем изучать позже).



Сложение колебаний от разных областей щели можно проводить с помощью фазовой диаграммы.

Заметим, во-первых, что угол ϕ , определяющий разность фаз от лучей с противоположных сторон щели, легко считается из пропорции: $\phi = 2\pi$ при $l = \lambda$. Поэтому

$\phi = 2\pi \frac{l}{\lambda} = 2\pi \frac{D \sin \theta}{\lambda}$, где D – размер щели.

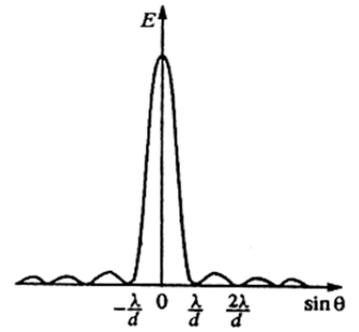
Во-вторых, длина дуги равна амплитуде колебаний A_0 в центре экрана (алгебраическая сумма длин всех векторов).

В итоге, для амплитуды в точке экрана P , из которой щель видна под углом θ , имеем:

$$A(\theta) = 2R \sin \frac{\phi}{2} = 2 \frac{A_0}{\phi} \sin \frac{\phi}{2}, \text{ или } A(\theta) = A_0 \frac{\sin(\phi/2)}{\phi/2}. \text{ Ин-}$$

тенсивность на экране $I(\theta)$ в точке P пропорциональна квадрату амплитуды:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2(\phi/2)}{(\phi/2)^2}.$$



3. Дифракционный предел разрешения дифракционной решётки

Расчёт идеальной дифракционной решётки проводится для случая, когда ширина щели равна нулю. Для реальной дифракционной решётки с расстоянием между щелями d и шириной каждой щели D , формулы для интенсивности световой волны на экране для идеальной дифракционной решётки «наложатся» на формулу дифракции Фраунгофера на щели, то есть вместо амплитудного значения интенсивности I_0 в формуле для решётки надо поставить интенсивность из формулы дифракции. В итоге получим:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2(\phi/2)}{(\phi/2)^2} \cdot \frac{\sin^2(N\phi/2)}{\sin^2(\phi/2)},$$

где

$$\varphi = 2\pi \frac{d \cdot \sin \theta}{\lambda} \text{ и } \phi = 2\pi \frac{D \cdot \sin \theta}{\lambda}.$$

Моделирование данной формулы для разных значений d , D и λ проведено тут:

<https://www.desmos.com/calculator/zog5mdphlf>