

Дифракция света

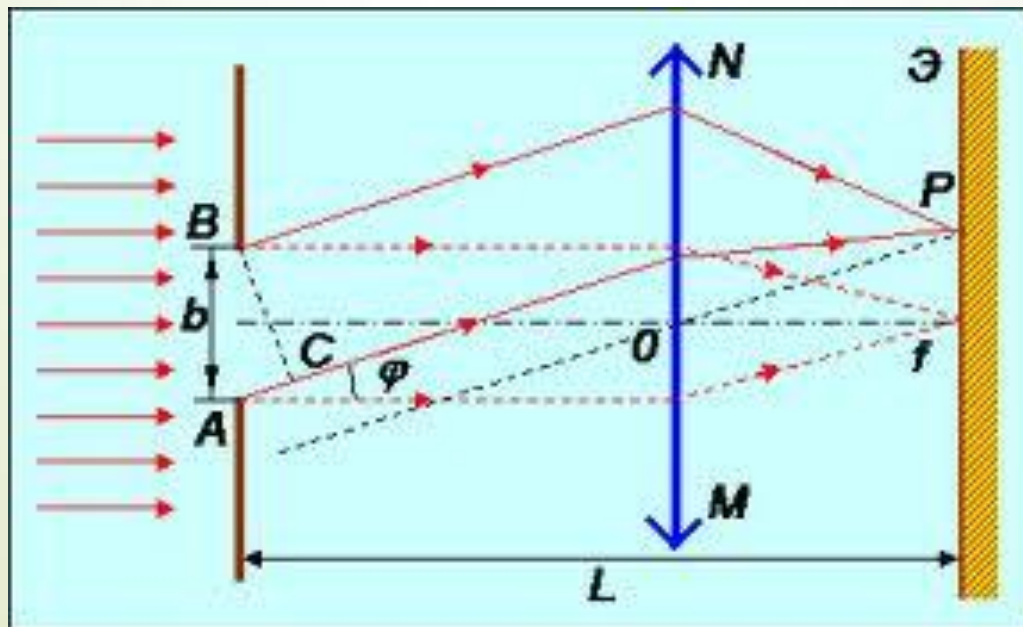
Тема 6 лекция 11

Дифракция Фраунгофера. Дифракция Фраунгофера на одной щели.
Дифракционная решетка. Фазовые и амплитудно-фазовые решетки.
Наклонное падение лучей на дифракционную решетку.

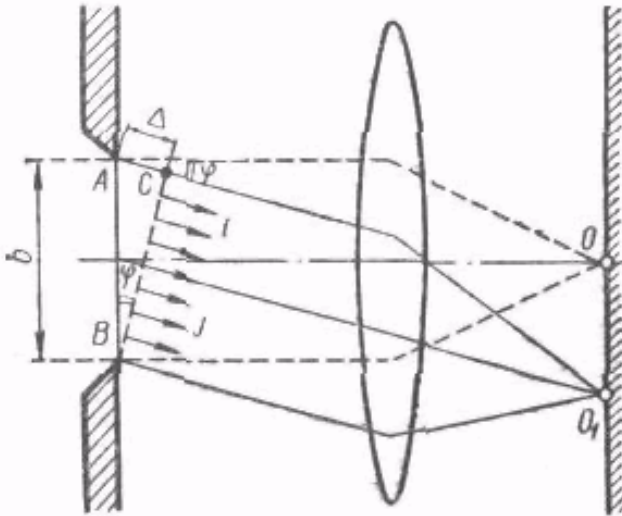
Дифракция света на пространственных структурах. Формулы Лауэ.
Дифракция рентгеновского излучения. Условие Вульфа-Брэггов. Опыт Боте.
Дифракция света на непрерывных периодических и непериодических структурах. Дифракция на ультразвуковых волнах. Акустооптические модуляторы

Дифракция Фраунгофера

(дифракция в параллельных лучах)



Дифракция Фраунгофера от бесконечно длинной щели

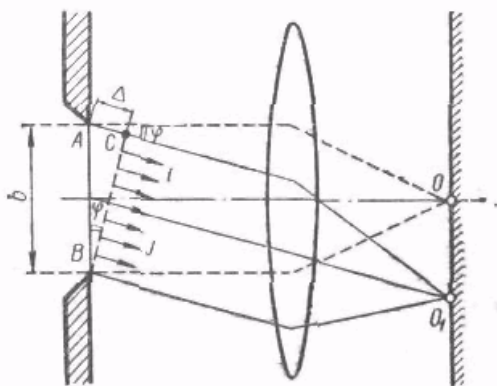


При перпендикулярном падении света на плоскость щели все точки фронта волны АВ колеблются в одной фазе. Разность хода Δ между крайними лучами пучка равна нулю. Лучи, собранные линзой в точке О, интерферируя друг с другом, взаимно усиливаются, и в этой точке получится максимум освещенности. В другой точке O_1 , где соберутся лучи, идущие из разных точек щели под углом φ_1 к основному направлению, результат интерференции будет иной.

Очевидно, $\Delta = b \sin \varphi$, где b — ширина щели. Допустим, $\Delta = 2\lambda/2$. Тогда рассматриваемый под углом φ_1 , пучок лучей можно разделить на две части, или, как говорят, зоны, причем каждый луч i верхней зоны будет на $\lambda/2$ отставать от соответствующего луча j нижней зоны, следовательно, в точке O_1 они «погасят» друг друга. Таким образом, под углом φ_1 , удовлетворяющим условию $\Delta_1 = b \sin \varphi_1 = \lambda$, происходит взаимное гашение лучей, прошедших через щель и собранных в точке O_1 .

Такое разделение пучка лучей или световой волны на части, которые при интерференции взаимно гасят друг друга, как уже говорилось ранее, называется разделением на **зоны Френеля**.

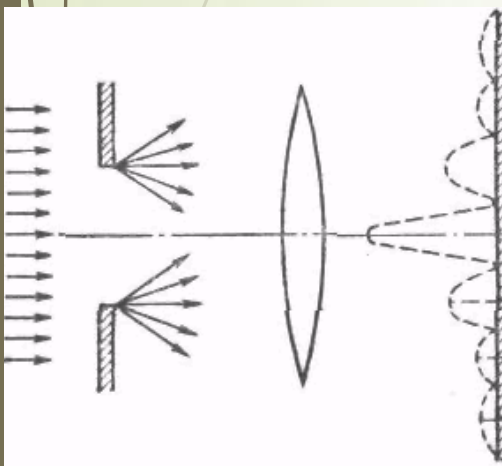
Дифракция Фраунгофера от бесконечно длинной щели



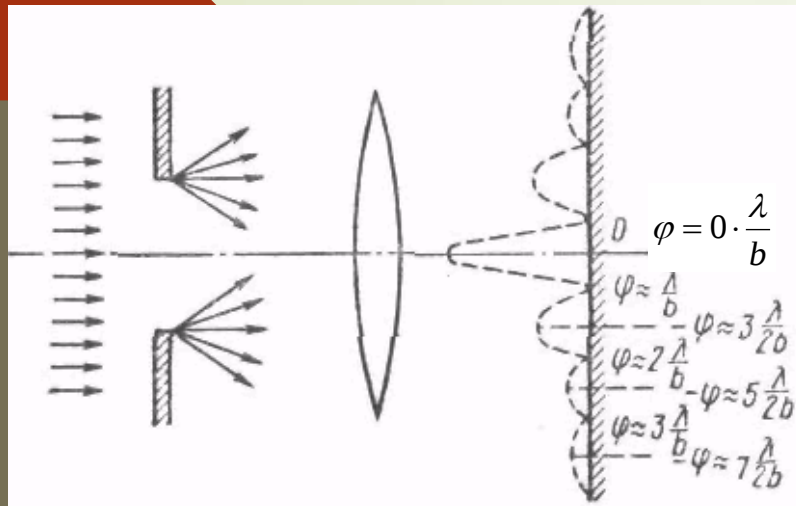
Рассмотрим другое направление — под углом φ_2 , для которого $\Delta_2 = b \sin \varphi_2 = 3\lambda/2$. В этом направлении пучок света можно разделить на три зоны из которых две зоны (первая и вторая или вторая и третья) друг друга погасят, а третья останется непогашенной и даст в соответствующей точке экрана O_2 некоторую освещенность, которая будет значительно меньше, чем освещенность в точке O .

Рассуждая таким образом, можно показать, что в направлениях, в которых $b \sin \varphi$ равно нулю или нечетному числу $\lambda/2$ и, следовательно, пучок света состоит из нечетного числа зон Френеля (1, 3, 5 и т. д.), на экране получаются светлые точки (вернее, линии, параллельные щели), а в направлениях, для которых $b \sin \varphi$ равно четному числу $\lambda/2$ и, следовательно, пучок света делится на четное число взаимно гасящих друг друга зон, на экране получаются темные линии. В промежуточных направлениях освещенность экрана постепенно уменьшается от нуля до соответствующих максимумов.

Распределение освещенности на экране (расположенном в фокальной плоскости линзы), полученное вследствие дифракции световой волны, называется **дифракционным спектром**.



Дифракция Фраунгофера от бесконечно длинной щели



Так как углы φ очень малы, то $\sin \varphi \approx \varphi$ и условия **максимума** выполняются под углами: $\Delta = b \sin \varphi = (2k+1) \lambda/2$,

$\varphi \approx (2k+1) \lambda/2b$, (так как φ мал, иначе интенсивность максимума убывает, то $\lambda \approx 2b$, т.е. b должно быть сравнимо с длиной волны),

а условия **минимума** — под углами:

$\varphi \approx 2k \cdot \lambda/2b = k \cdot \lambda/b$ ($k = 1, 2, 3, \dots$).

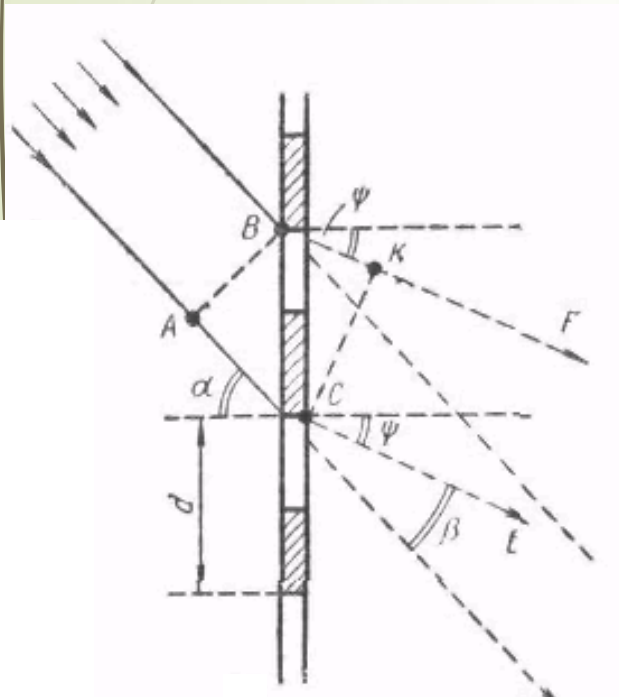
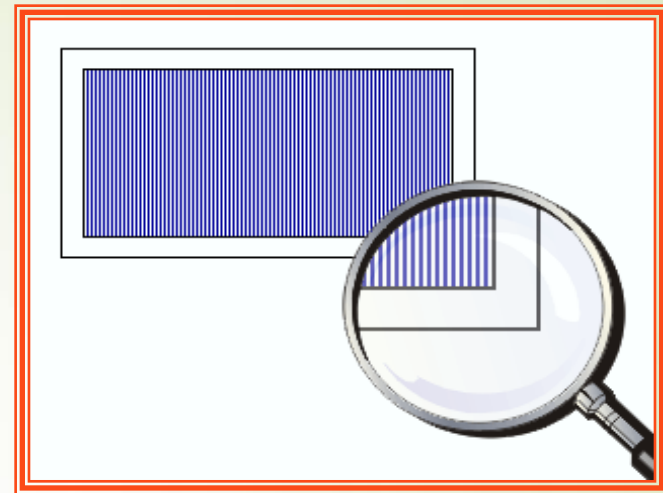
Чем уже щель, тем дальше друг от друга располагаются максимумы. Расположение максимумов и минимумов зависит от длины

Расположение максимумов и минимумов зависит от длины волны света. Если падающий свет — сложный, например, белый то на экране максимумы и минимумы для различных цветов располагаются в различных местах.



Дифракция от нескольких щелей: дифракционная решетка

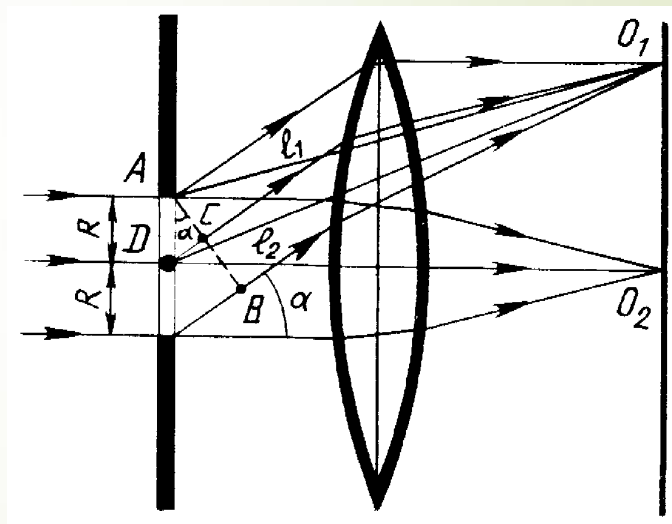
дифракционная решетка – оптический прибор, представляющий собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесенных на некоторую поверхность (от 0,25 до 6000 штрихов на 1 мм).



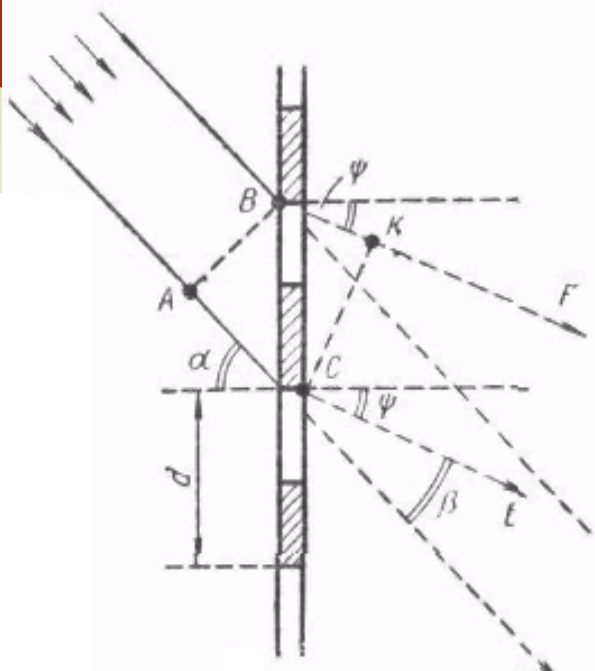
Для нахождения дифракционного спектра от двух и более параллельных щелей необходимо учесть не только взаимную интерференцию лучей, вышедших из одной щели, но и интерференцию лучей, пришедших в данную точку экрана из различных щелей.

Дифракционная решетка

Величина $d = a + b$ называется постоянной (периодом) дифракционной решетки, где a — ширина щели; b — ширина непрозрачной части



Дифракция от нескольких щелей: дифракционная решетка



Каждая щель дает на экране ту или иную освещенность по всем направлениям, кроме тех, которые удовлетворяют условиям гашения:

$$b \sin \varphi = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots;$$

$$\varphi \approx k \cdot \lambda / b$$

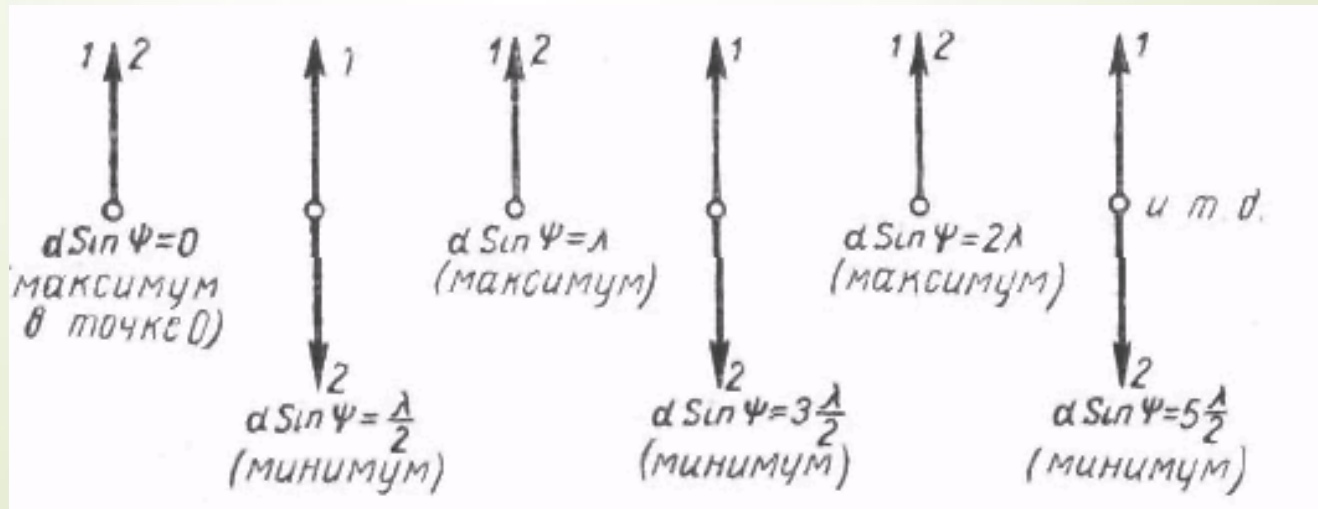
В этих направлениях условия гашения (четное число зон Френеля) выполняются для каждой щели в отдельности.

Рассмотрим некоторое направление под углом φ и допустим, что первая щель посылает свет, интенсивность которого в соответствующей точке экрана определяется вектором E_1 , вторая щель дает E_2 , третья — E_3 и т. д. В точке M, где собираются лучи от всех щелей, освещенность определяется значением суммарного вектора $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$. Рассмотрим два наиболее простых случая:

Дифракция от нескольких щелей: побочные максимумы и минимумы

N=2

б) теперь предположим, что в данной точке экрана суммарная напряженность $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = 0$, т.е. волны, пришедшие в эту точку экрана от различных щелей, в результате интерференции гасят друг друга. Это условие может выполняться различным образом в зависимости от числа щелей. Для наглядности используем векторную диаграмму сложения колебаний. Допустим, что имеются всего **две щели**, создающие равные E_1 и E_2 . Очевидно, условие $E = E_1 + E_2 = 0$ выполняется, если E_1 и E_2 противоположны по направлению, т.е. отличаются по фазе на π , 3π , 5π и т.д. Разность хода лучей, исходящих от этих щелей, должна быть равна $d \sin \psi = \lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ и т.д. В случае **двух щелей** между двумя соседними максимумами имеется один минимум.



N=2

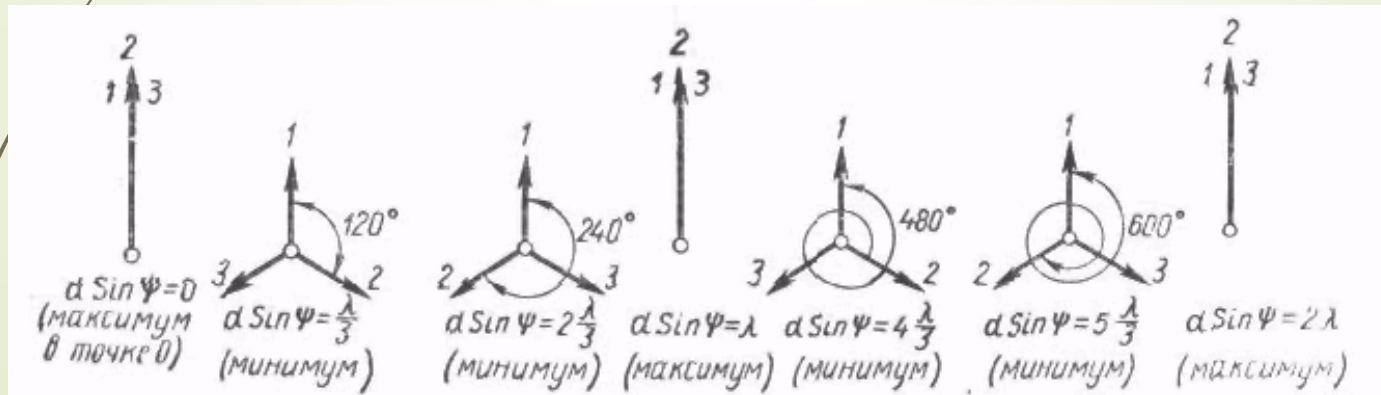
Векторная диаграмма сложения колебаний для решетки из **двух щелей**

Дифракция от нескольких щелей: побочные максимумы и минимумы

N=3

В случае **трех щелей** для получения максимумов по-прежнему считаем, что все векторы E_1 , E_2 , E_3 имеют одинаковое направление и складываются; для получения же минимума, в частности для равенства $E_1 + E_2 + E_3 = 0$, необходимо, чтобы фазы этих векторов отличались либо на $2\pi/3$ (120° или $\lambda/3$), либо на $2 \cdot 2\pi/3$ (240° или $2\lambda/3$). При наличии **трех щелей** между двумя соседними максимумами появляются два минимума.

N=2



Векторная диаграмма сложения колебаний для решетки из **трех щелей**

Дифракция от нескольких щелей: побочные максимумы и минимумы

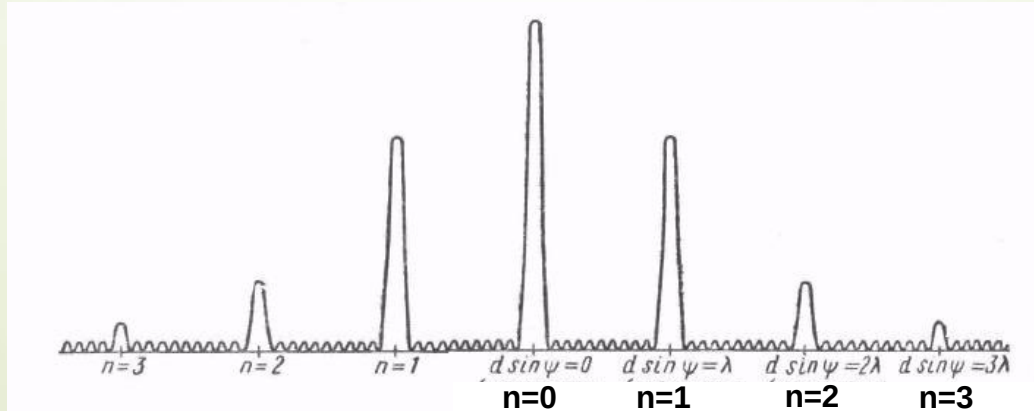
Для четырех щелей условия минимума имеют место, если разность фаз между векторами напряженностей от соседних щелей равна $\pi/2$, $2\pi/2$, $3\pi/2$, а разность хода — $\lambda/4$, $2\lambda/4$, $3\lambda/4$ и т. д.

При наличии четырех щелей между двумя соседними максимумами образуются три минимума.

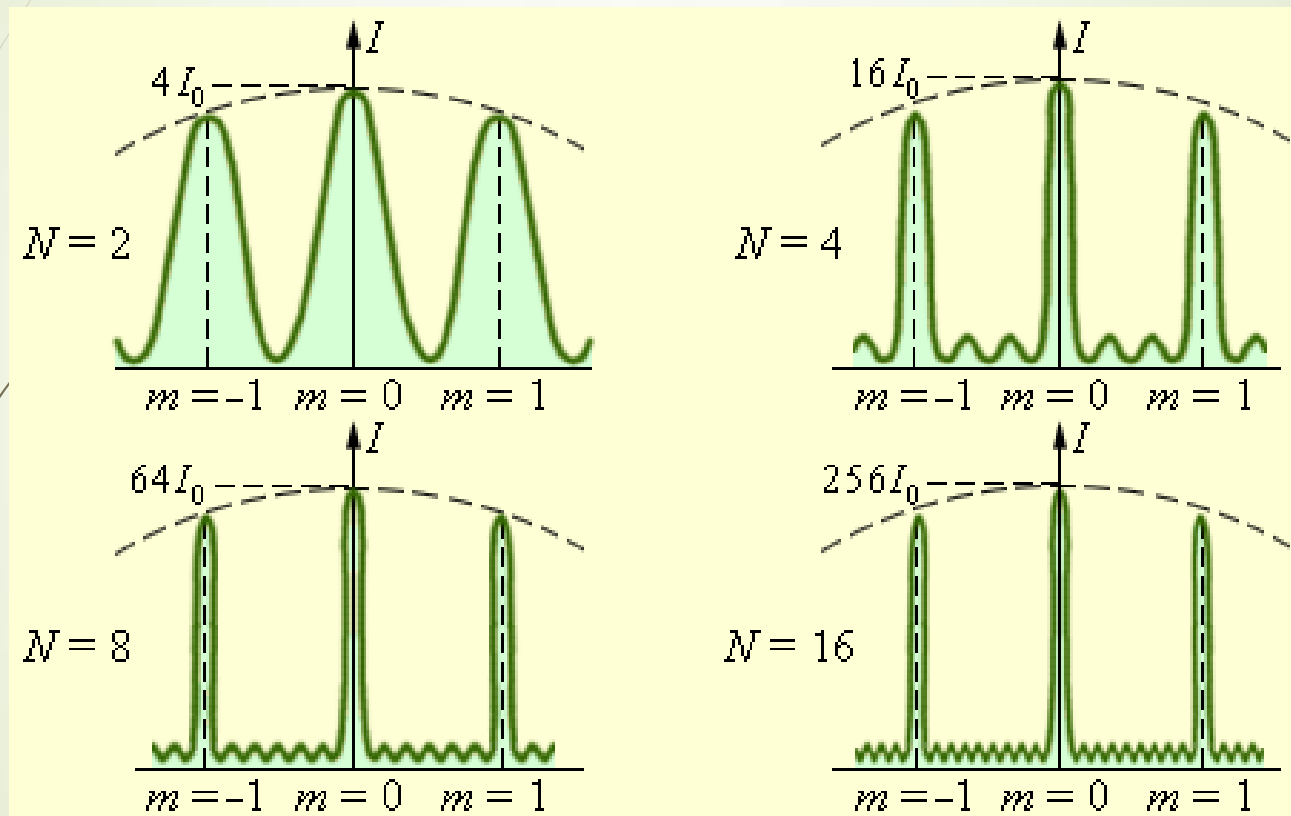
N=4

Продолжая рассуждения, можно установить следующее правило:

при наличии N щелей между двумя соседними максимумами образуются N — 1 минимумов; разность хода лучей $d \sin \psi$ от двух соседних щелей для максимумов должна равняться целому числу λ , а для минимумов; λ/N , $2\lambda/N$, $3\lambda/N$ и т. д. Дополнительные (побочные) максимумы, расположенные между двумя соседними минимумами, создают на экране весьма слабую освещенность (фон).



Изменение главных максимумов при увеличении числа щелей решетки.



Распределение интенсивности при дифракции монохроматического света на решетках с различным числом щелей. I_0 – интенсивность колебаний при дифракции света на одной щели