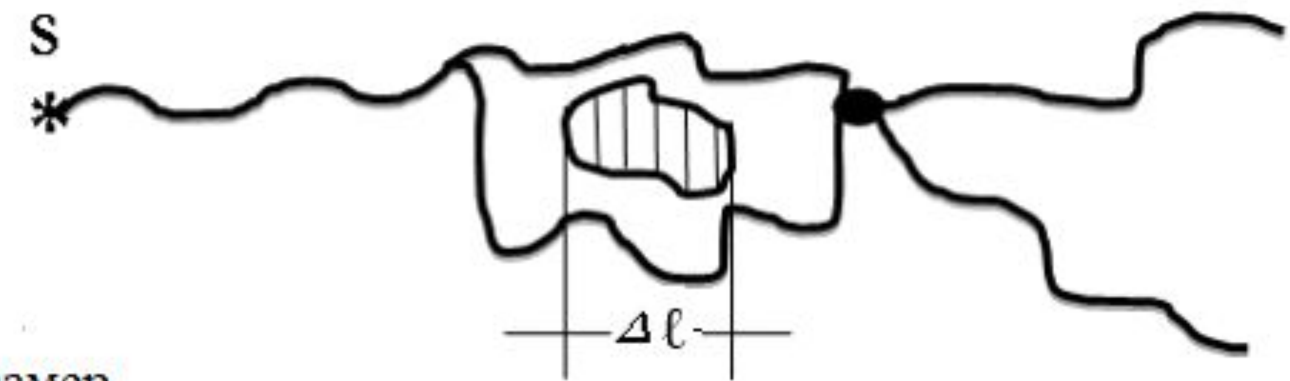
Тема: Дифракция света

Дифракция – явление, проявляющееся в нарушении законов геометрической оптики, при распространении света в среде с явно выраженными неоднородностями.

Дифракция – огибание световых волн препятствий.

Дифракция – может наблюдаться при условии –

$$\boxed{\Delta \ell \lesssim \lambda}$$



ℓ - размер неоднородности

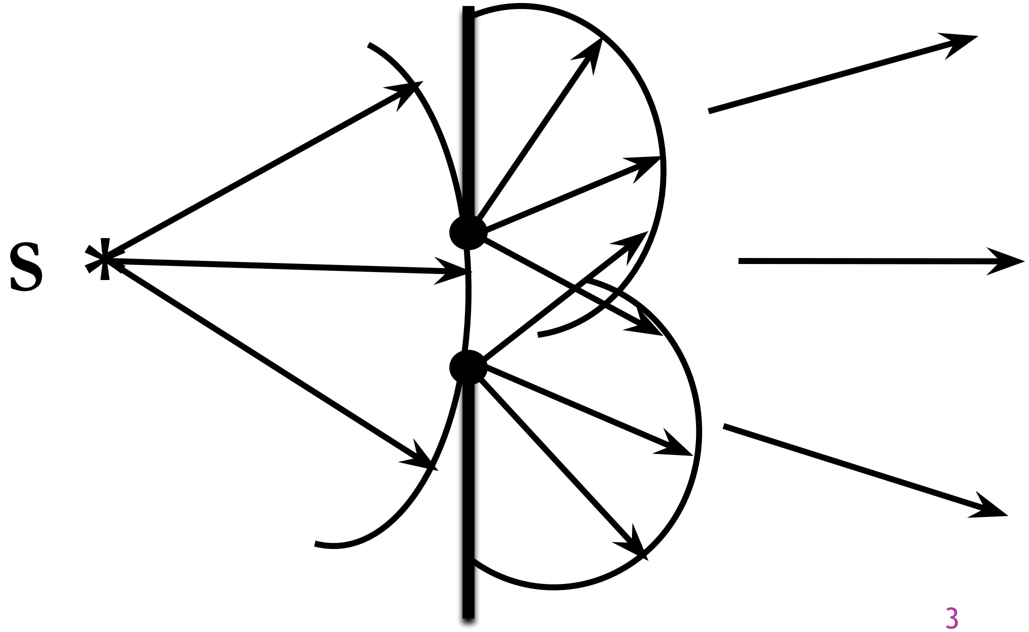
$\lambda_{света} = 0{,}35 \div 0{,}78$ мкм

Размер неоднородности должен быть меньше или сравним с λ – длиной волны света.

§ 1. Принцип Гюйгенса-Френеля

Этот принцип положен в основу теории о дифракции.

Принцип Гюйгенса (XVII в.) состоял в том, что каждая точка фронта является источником вторичных волн, распространяющихся с характерной для данной среды скоростью – $\vec{v}$. Принцип Гюйгенса решал задачу о направлении распространения светового фронта (рис.).

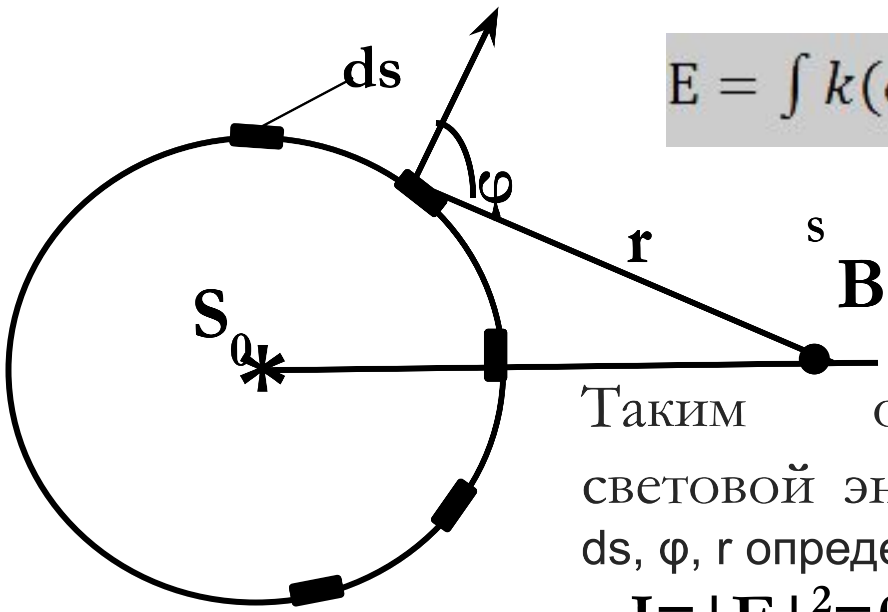


Френель (XIX в.) дополнил принцип Гюйгенса важной идеей – «идея об интерференции вторичных волн». Френель исходил из трех положений:

- любой источник света - S_0 можно заменить системой фиктивных вторичных источников - ds

$$S_0=\int_s ds;$$

- вторичные источники - ds - когерентны между собой и волны от них могут интерферироваться.
- мощности этих вторичных излучателей одинаковы.



$$E = \int k(\varphi)\frac{a_0 ds}{r}\cdot\cos\left(\omega\cdot t+\varphi_0\right) \quad (1)$$

Таким образом, интенсивность световой энергии - I ,как функция от ds, φ, r определяется :

$$I=|E|^2=f\ (ds,\varphi,r) \qquad (2)$$

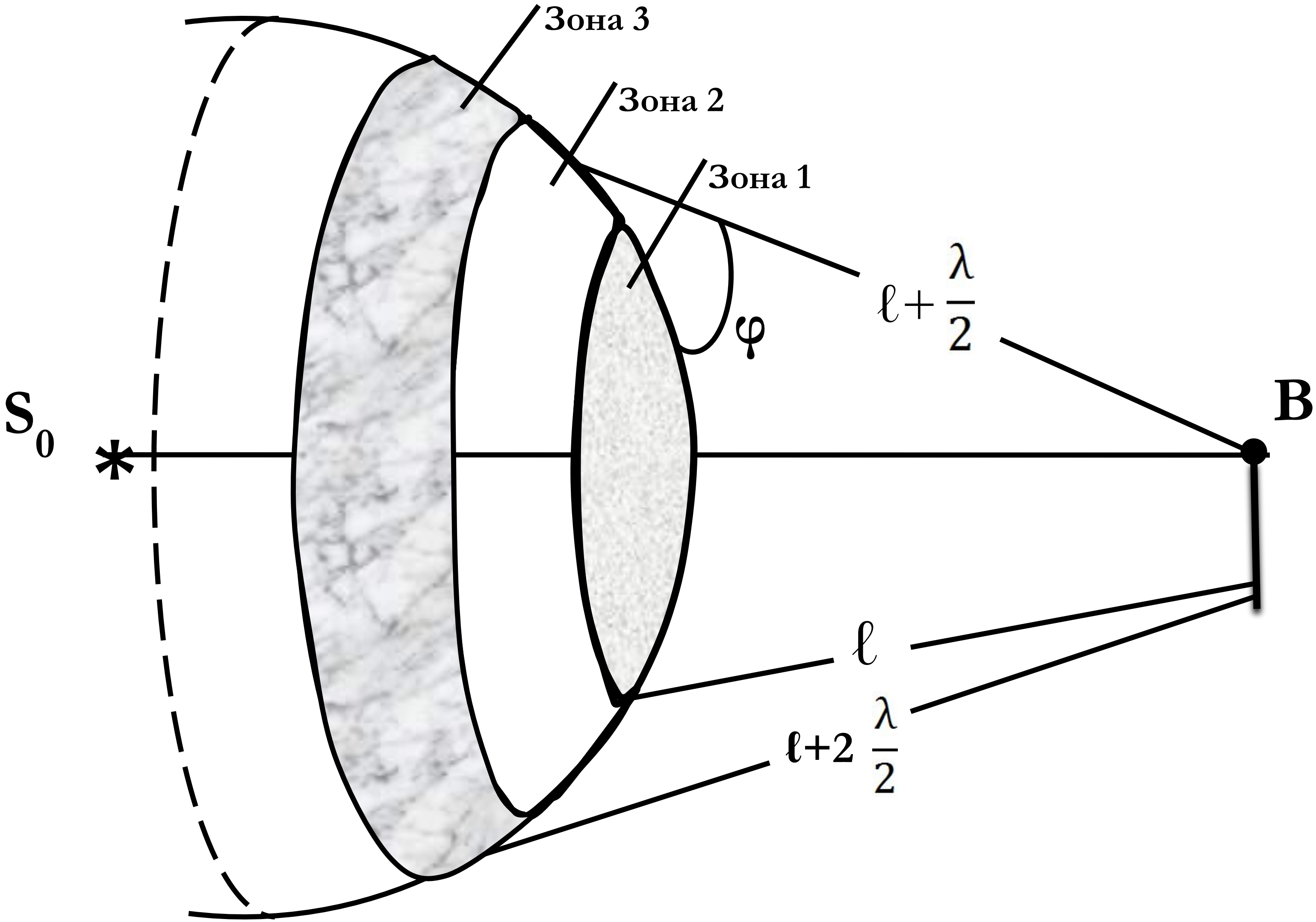
Первая задача, которая была решена с позиции волновой теории и принципа Гюйгенса-Френеля – это доказательство прямолинейности распространения света. Рассмотрим эту задачу с помощью «метода зон Френеля».

§2. Метод зон Френеля

Расчет суммарного действия всех точек (вторичных источников) фронта по выражению **(1)** весьма сложен. Френель предложил изящный метод разделения фронта волны на «зоны», при этом волны от соседних зон должны приходить в точку наблюдения (В) в противофазах и ослаблять друг друга. В этом суть этого метода.

Изобразим метод «зон Френеля» схематично рисунком; разобьем фронт сферической волны на зоны 1, 2, 3 и т.д., при этом расстояния от точки В до двух соседних зон различаются на $\lambda/2$. Такое различие (разность хода двух лучей от соседних зон) соответствует условию *min* интерференции при наложении двух когерентных волн.

Определим результирующую амплитуду излучения в точке В с помощью метода зон Френеля, исходя из следующих рассуждений.


Зона 3
Зона 2
Зона 1
$\ell + \frac{\lambda}{2}$
φ
B
S_0
ℓ
$\ell + 2\,\frac{\lambda}{2}$

Расстояние от точки **B** до любой зоны будет определяться по выражению (3)

$$\ell_k = \ell + k\frac{\lambda}{2}$$, где k=1,2,3,…; (номер зоны) **(3)**

Амплитуда излучения (А) зависит от расстояния – ℓ_k, угла – φ. Тогда, исходя из **(1)**, можно записать такой ряд по изменению амплитуды:

$$A_1 > A_2 > A_3 > \ldots > A_k \qquad (4)$$

для разных зон

С учетом условия деления на зоны (соседние зоны в противоположных фазах) результирующую амплитуду можно выразить в таком виде:

$$A_{рез} = A_1 - A_2 + A_3 - \ldots \pm A_k \qquad (5)$$

с учетом монотонного убывания - $\mathbf{A_k}$ можно записать:

$\left(A_k = \dfrac{A_{k-1} + A_{k+1}}{2}\right)$ и выражение **(5)** запишем в виде:

$$A_{рез} = \frac{A_1}{2} + \underbrace{\left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right)}_{=0} + \underbrace{\left(\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2}\right)}_{=0} \ldots \pm \frac{A_k}{2} \qquad (6)$$

Выражения в скобках дают ноль, а $\dfrac{A_k}{2} \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$. Таким образом, выражение **(6)** будет иметь вид:

$$\boxed{A_{рез} = \frac{A_1}{2}} \qquad (7)$$

Плетнев П. М.

Это означает, что действие всей волновой поверхности эквивалентно половине центральной зоне – **это луч!** Т.е. свет распространяется **прямолинейно.** Что и требовалось доказать с позиции волновой теории.
Можно определять радиус любой зоны по выражению:

$$r_k = \sqrt{\frac{R \cdot l}{(R + l)} k \cdot \lambda}, \qquad (8)$$

где R - расстояние от источника до зоны,
l – расстояние от фронта волны до точки наблюдения.

Пример:
Чему равен радиус центральной зоны при условии: R = 1 м,
$\lambda = 5{,}5 \cdot 10^{-7}$ м ?

k=1, $$r_k = \sqrt{\frac{R \cdot l}{(R + l)} k \cdot \lambda} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-7}} \cong 0{,}5 \cdot 10^{-3} м$$

$\mathbf{r_k} \approx 0{,}5$ мм – **это точка!**

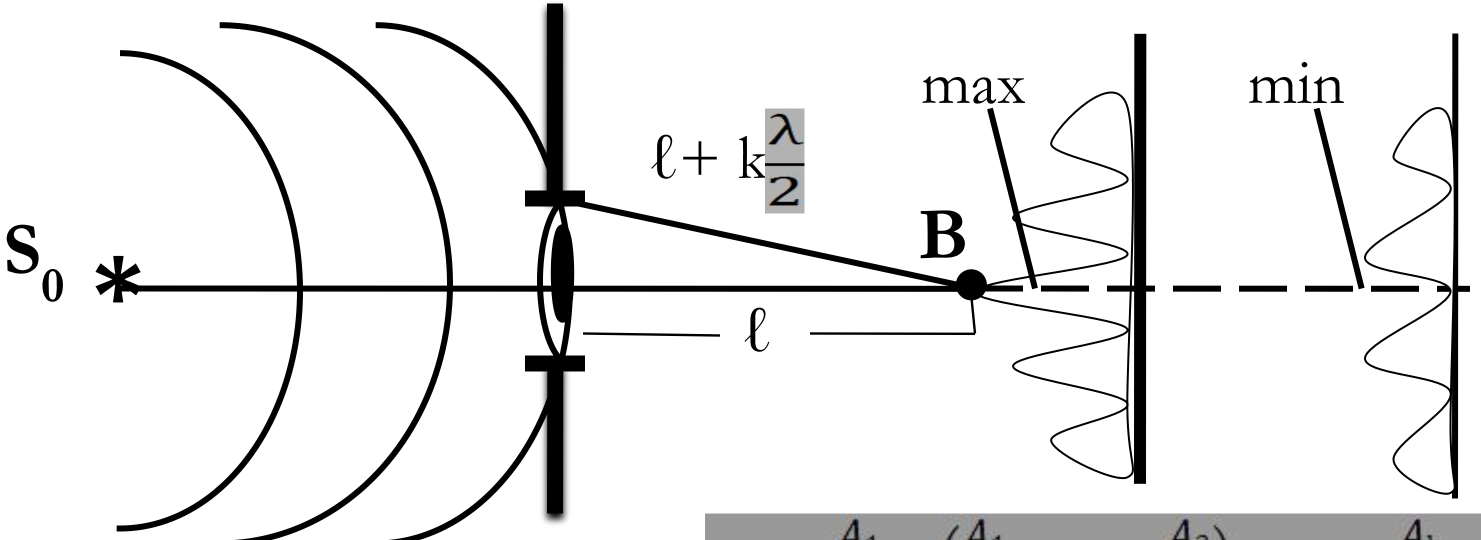
§3. Методы получения дифракции

Различают:

1. Дифракцию сферических волн (близко от источника) по Френелю.
2. Дифракцию плоских волн (далеко от источника) по Фраунгоферу.

1. Дифракция по Френелю от простейших преград

а) от круглого малого отверстия

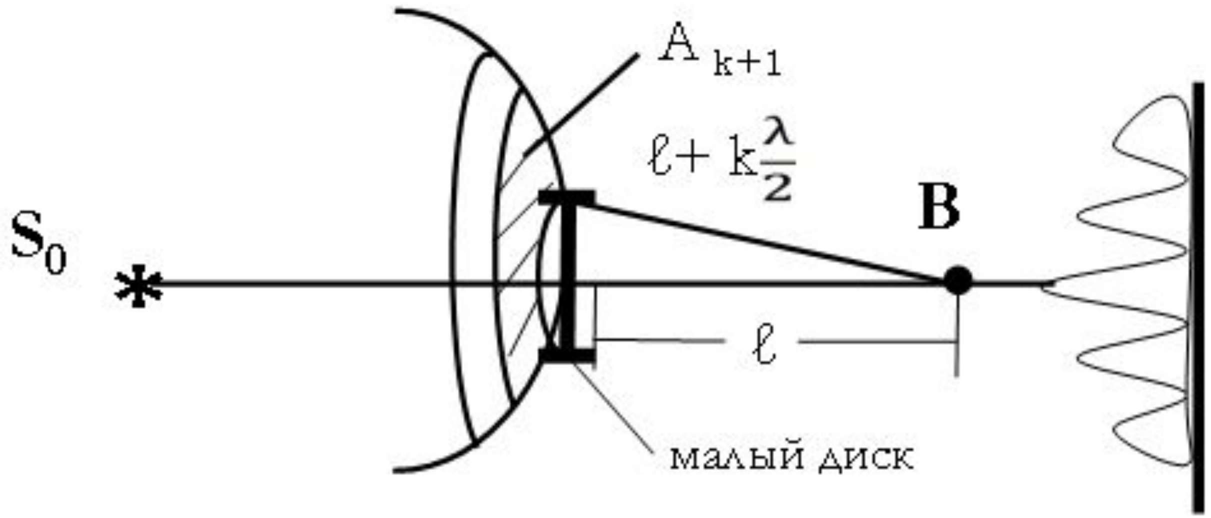


Расчет: $$A_{рез} = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right) + \dots \pm \frac{A_k}{2} \quad (9)$$

Если: $A_{рез} = \frac{A_1}{2} + \dots + \frac{A_k}{2}$, при нечетном числе зон будет **max** (светло).

Если: $A_{рез} = \frac{A_1}{2} + \dots - \frac{A_k}{2}$, при четном числе зон будет **min** (темно).

б) от круглого непрозрачного малого диска



Часть зон Френеля закрыта диском, тогда

$$A_{рез} = A_{k+1} - A_{k+2} + A_{k+3} \ldots \pm \frac{A_{k+n}}{2}, \qquad (10)$$

но $\frac{A_{k+n}}{2} \to 0$, тогда $A_{рез} = \frac{A_{k+1}}{2} + \underbrace{\left(\frac{A_{k+1}}{2} - A_{k+2} + \frac{A_{k+3}}{2}\right)}_{=0} + \cdots \underbrace{\pm \frac{A_{k+n}}{2}}_{=0};$

Имеем:

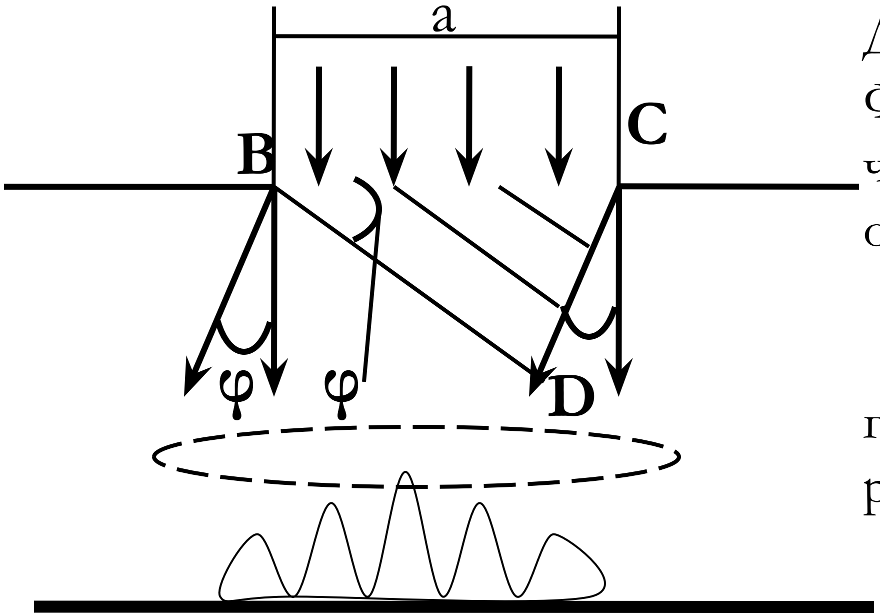
$$A_{рез} = \frac{A_{k+1}}{2} \qquad (11)$$

Это означает, что в точке В должен наблюдаться *max*

В центре, напротив диска будет светлое пятно (*max.*).
Ученый Пуассон этот эффект заметил из волновой теории Френеля, а Арго опытом доказал этот эффект. **Волновая природа света была признана учеными !!!!!!!**

2. Дифракция по Фраунгоферу (в 1825 г.)

а) дифракция от одной щели



Ширина щели:

a ≈(3 ÷ 5) ·λ – малая щель

Делим щель на зоны Френеля через λ/2, тогда число зон в щели можно определить как:

$$N = \frac{a \cdot \sin\varphi}{\lambda/2} \quad (12)$$

где a·sinφ = DC (по рисунку)

Если число зон в щели будет четным, т.е. N=2·k , (k=1,2,3…), то они погасят друг друга и будет **<u>min</u>** (темно).

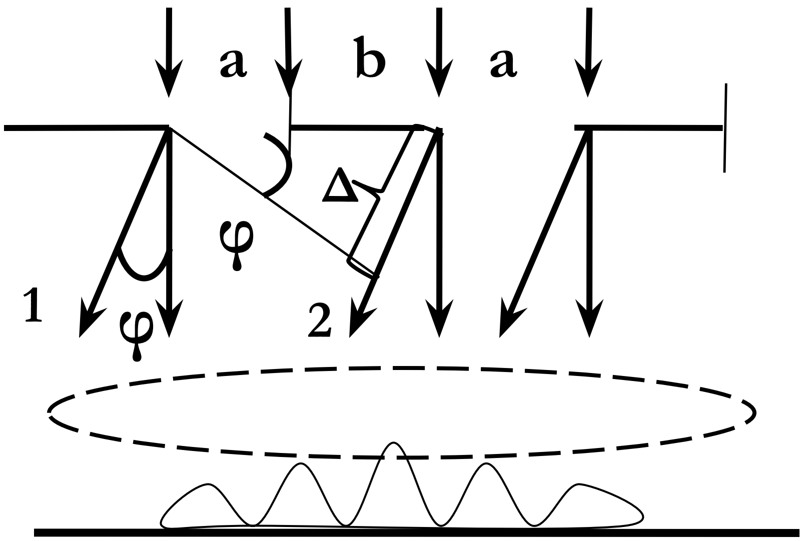
$$\frac{a \cdot \sin\varphi}{\lambda/2} = 2k \text{ или } \boxed{a \cdot \sin\varphi = \pm 2k\,\lambda/2}$$ **условие min.** **(13)**

При нечетном числе зон, т.е. N=2·k+1, (k=1,2,3…)одна зона будет светить – **<u>max.</u>**

$$\frac{a \cdot \sin\varphi}{\lambda/2} = 2k+1 \text{ или } \boxed{a \cdot \sin\varphi = \pm(2k+1)\,\lambda/2}$$ **условие max.** **(14)**

б)дифракция на дифракционной решетке

Дифракционная решетка – это система, состоящая из большого числа одинаковых по ширине и параллельных друг другу щелей, лежащих в одной плоскости и разделенных непрозрачными промежутками равными по ширине.



Характеристики дифракционной решетки:

1.Период (постоянная) решетки – это размер штриха $\boxed{d=a+b}$ **(15)**

2.Число штрихов на единицы длины – **N.** Зная величину единицы длины – l и **N** можно оценить **d=** l **/N** **(16)**

Дифракция от каждой щели здесь присутствует, как и в случае **(а),** но она дополняется интерференцией дифракционных пучков от всех щелей (происходит взаимодействие световых пучков от всех щелей). Это дает сильный эффект на дифракционной картине. **Максимумы** четко выражены и разделены большими темными промежутками.

Условия **max.** и **min.** будут определятся известными общими выражениями:

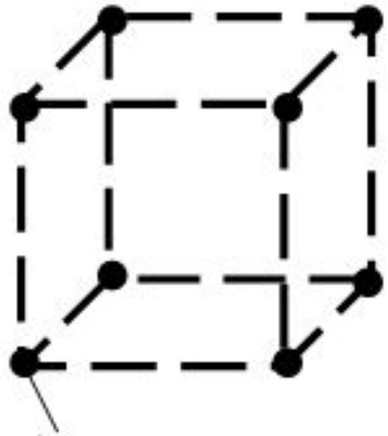
max.: $$\boxed{\Delta = d \cdot \sin\varphi = \pm k \cdot \lambda}$$ k=0,1,2,3…

min.: $$\boxed{\Delta = d \cdot \sin\varphi = \pm(2k+1)\,\lambda/2}\,, \qquad (17)$$

где Δ это оптическая разность хода лучей от щелей, для двух соседних щелей из рисунка следует : $\Delta = d \cdot \sin\varphi$

в)дифракция на пространственной решетке

Пространственная решетка

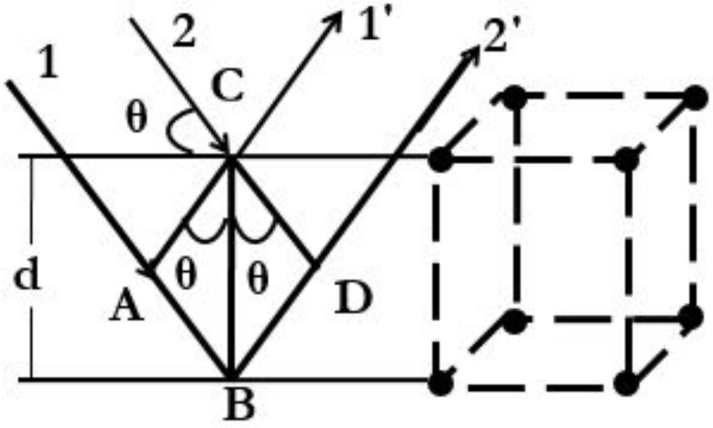


Пространственная (объемная) решетка – это тело, в которой источники вторичных волн (узлы) располагаются в правильном порядке по всем трём координатам. Природа сама создала такие решетки в виде кристаллов. Особенность таких решеток :

d≈ 10^{-10} м – очень мала.

Учитывая условие дифракции $\boxed{\Delta l \lesssim \lambda}$, можно предположить, что дифракционная картина будет наблюдаться для длин волн не менее **10^{-10} м**. Такой **λ** обладает рентгеновское излучение.

Русский ученый Вульф и английские физики У.Г. и У.Л. Брэгги независимо друг от друга предложили простой метод расчета дифракционных рентгеновских лучей в кристаллах, предполагая, что дифракция рентгеновских лучей – это результат их отражения от системы параллельных кристаллографических плоскостей.



Разность хода лучей 1 и 2 при отражении от кристаллографических плоскостей может быть выражена:

$\Delta = AB + BD = 2d * \sin\theta$

Тогда для условия *max* интерференции рентгеновских лучей на кристаллической решетке должно удовлетворять выражение: $\boxed{2d * \sin\theta = k * \lambda}$ (18)

Это выражение является формулой **Вульфа-Брегга** (1913г)

Дифракция на пространственной решетке широко используется в рентгенофазовом анализе веществ для определения качественного и количественного фазового состава.