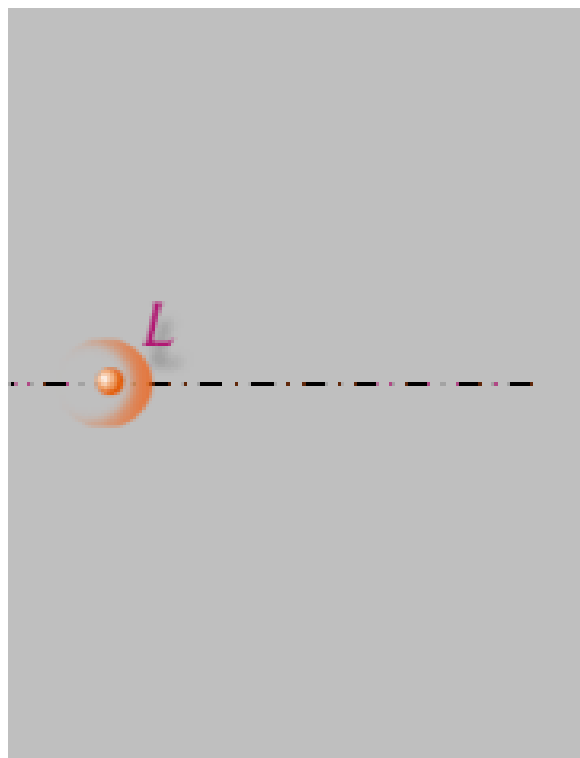


Принцип на Хюйгенс-Френел



При разпространението на вълна в еластична среда, всяка точка, до която достигне вълновият фронт, става източник на вторична сферична вълна.

Вторичните вълни са кохерентни и интерферират помежду си при разпространението си напред.

Обвивката на фронтовете на вторичните вълни представя фронта на вълната във всеки момент.

Светлинна вълна

$$y = A \sin(\omega t - ks)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{- вълново
число}$$

Във вакуум:

В среда:

$$\lambda_0, \nu, c, s_0$$

$$\lambda, \nu, v, s$$

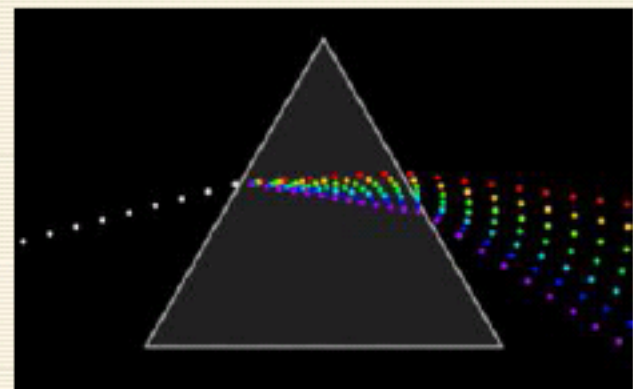
S - геометричен път

$$\frac{s}{s_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c}{v} = n = \text{const}$$

При преминаване от една среда в друга честотата на вълната не се променя

n - абсолютен показател на пречупване

оптичен път: $L = ns$



Оптичен път

Ако в дадена среда, за време t светлина с честота ν измине път S_1 със скорост u , а във вакуум път S със скорост c

$$S = ct = \lambda_0 \nu t; \quad S_1 = ut = \lambda \nu t.$$

то

$$n = \frac{S}{S_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c}{u} = \text{const}$$

е **абсолютният показател на пречупване** (на средата спрямо вакуума).

$l = nS$ - **Оптичен път** (ход) на вълната.

Във вакуум оптичният път е равен на геометричния $l = S$.

Интензитет

Деф.: Модул на средната (по време) стойност на плътността на потока енергия, пренасяна от светлинната вълна:

$$I = \left| \langle \vec{P} \rangle \right| = \left| \langle [\vec{E}, \vec{H}] \rangle \right|$$

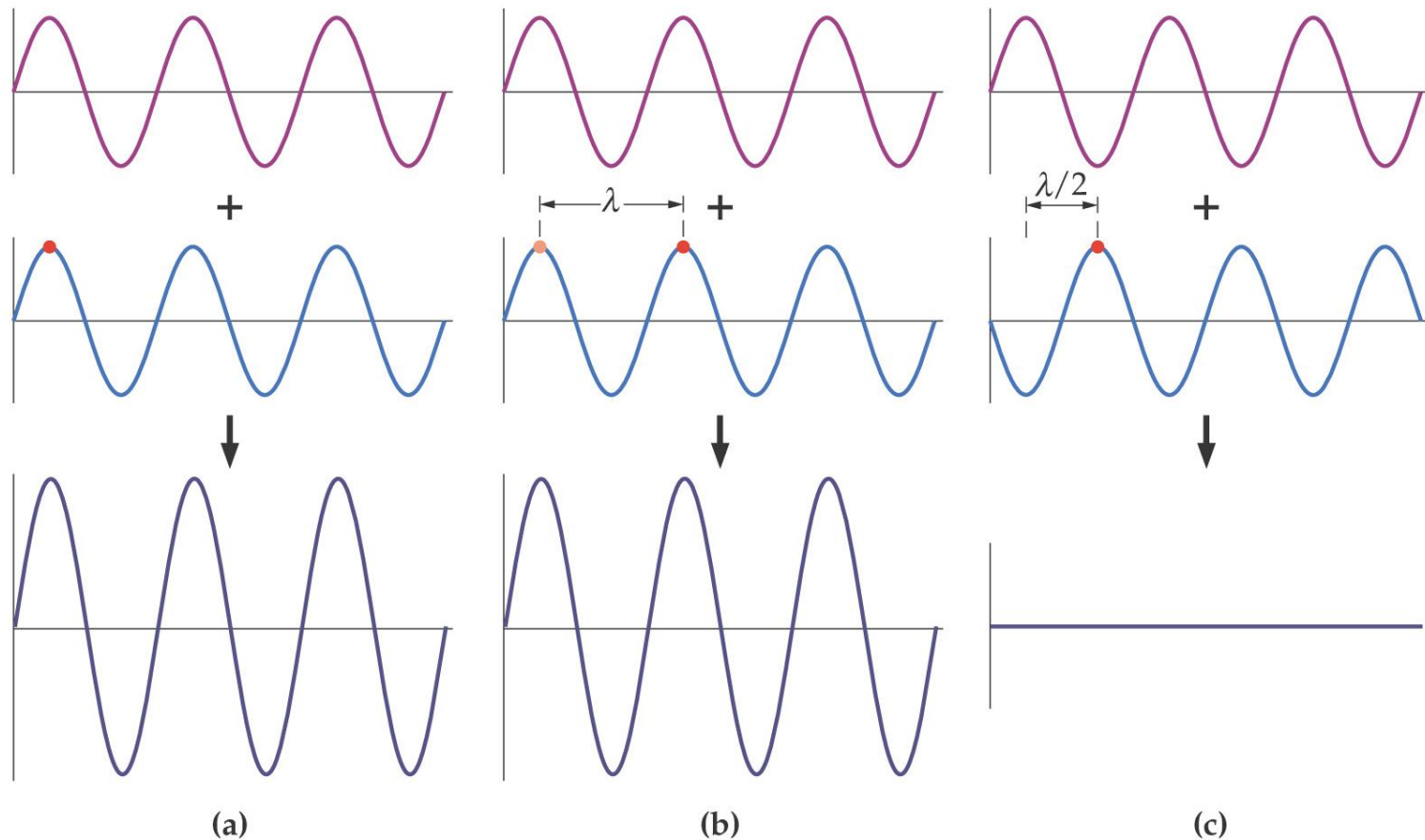
$\vec{P}$ – вектор на
Пойнтинг

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n E_0^2 \sim n E_0^2$$

В еднородна среда ($n = \text{const}$) интензитетът е пропорционален на квадрата на амплитудата на вълната

Суперпозиция и интерференция

Ако две монохроматични кохерентни вълни се срещнат в пространството, техните амплитуди се сумират във всяка точка. Те могат да интерферират конструктивно или деструктивно.

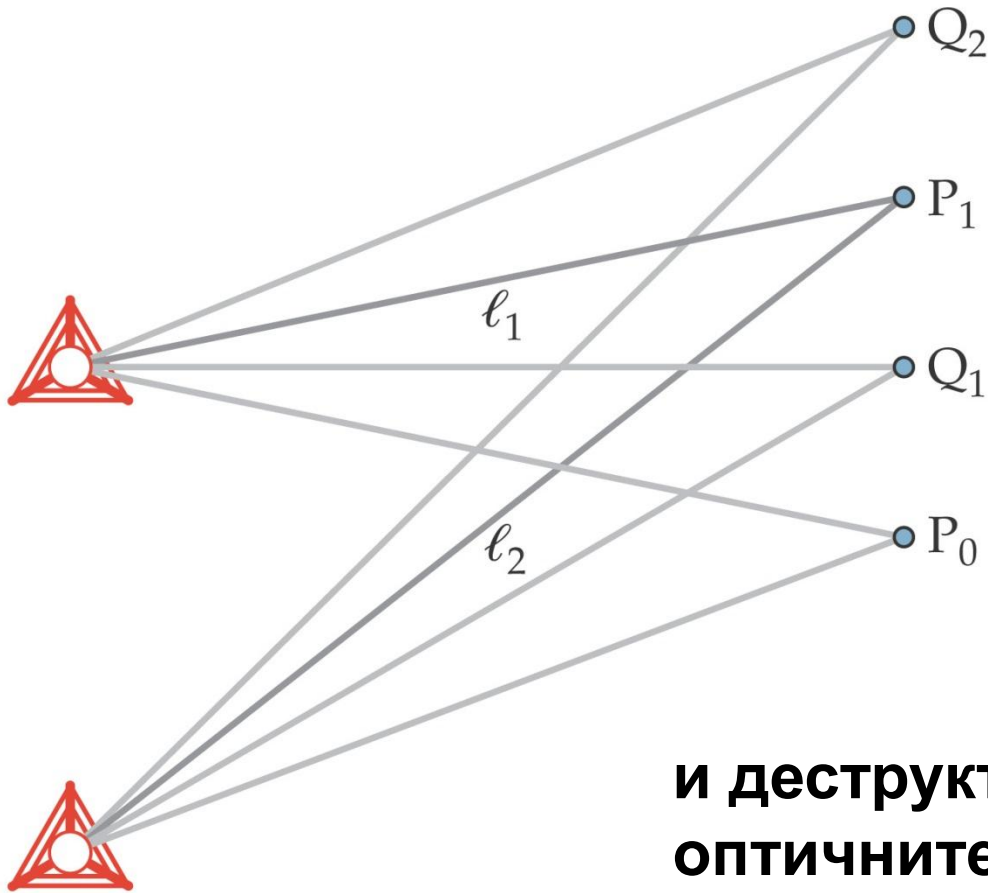


Суперпозиция и интерференция

Интерференция се наблюдава само ако светлинните вълни са монохроматични с еднакви честоти и кохерентни (оптичните вълни запазват постоянна фазова разлика във времето и пространството).

Ако това е изпълнено, интерференцията може да бъде конструктивна, когато двете вълни са във фаза (и деструктивна, когато те са в противофаза.

Суперпозиция и интерференция

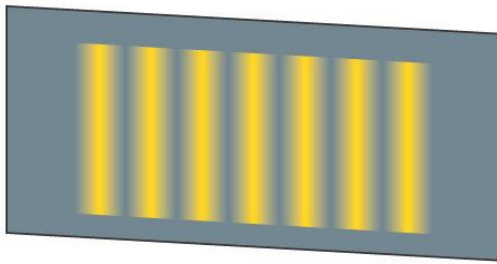


Интерференцията е конструктивна ако разликата в оптичните пътища е цяло число дължини на вълната

$$\Delta l = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda; m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \pm n$$

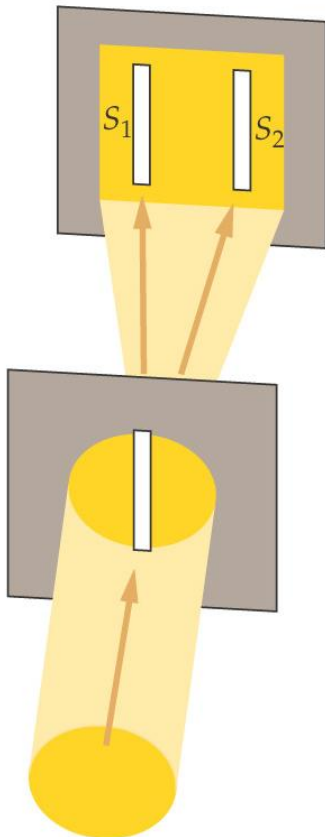
и деструктивна когато разликата в оптичните пътища е нечетно число половинки дължини на вълната.

$$\Delta l = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}; m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \pm n$$



Опит на Юнг

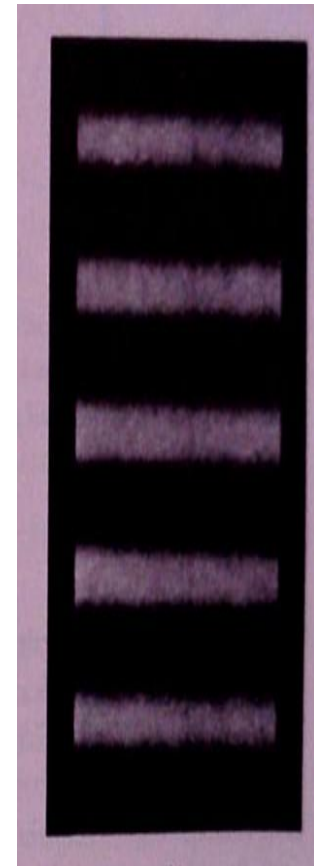
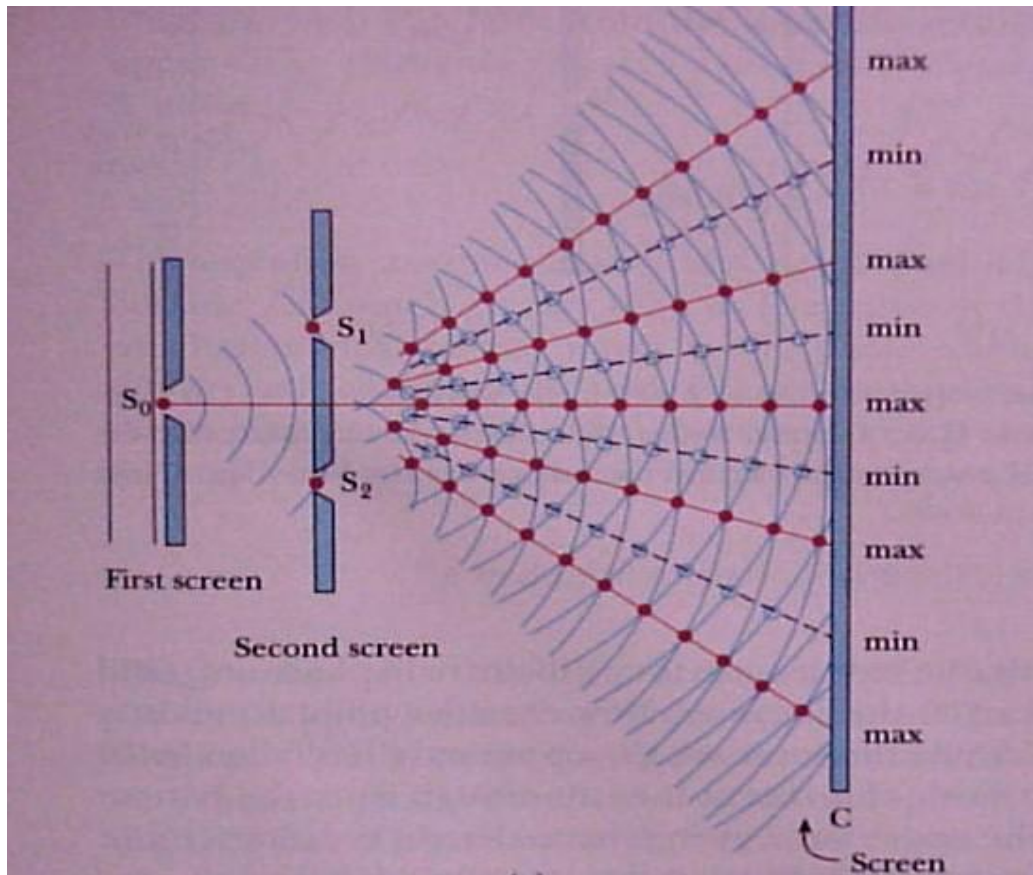
В този опит, източника на светлина не е кохерентен; той става такъв след преминаване през тесен процеп.



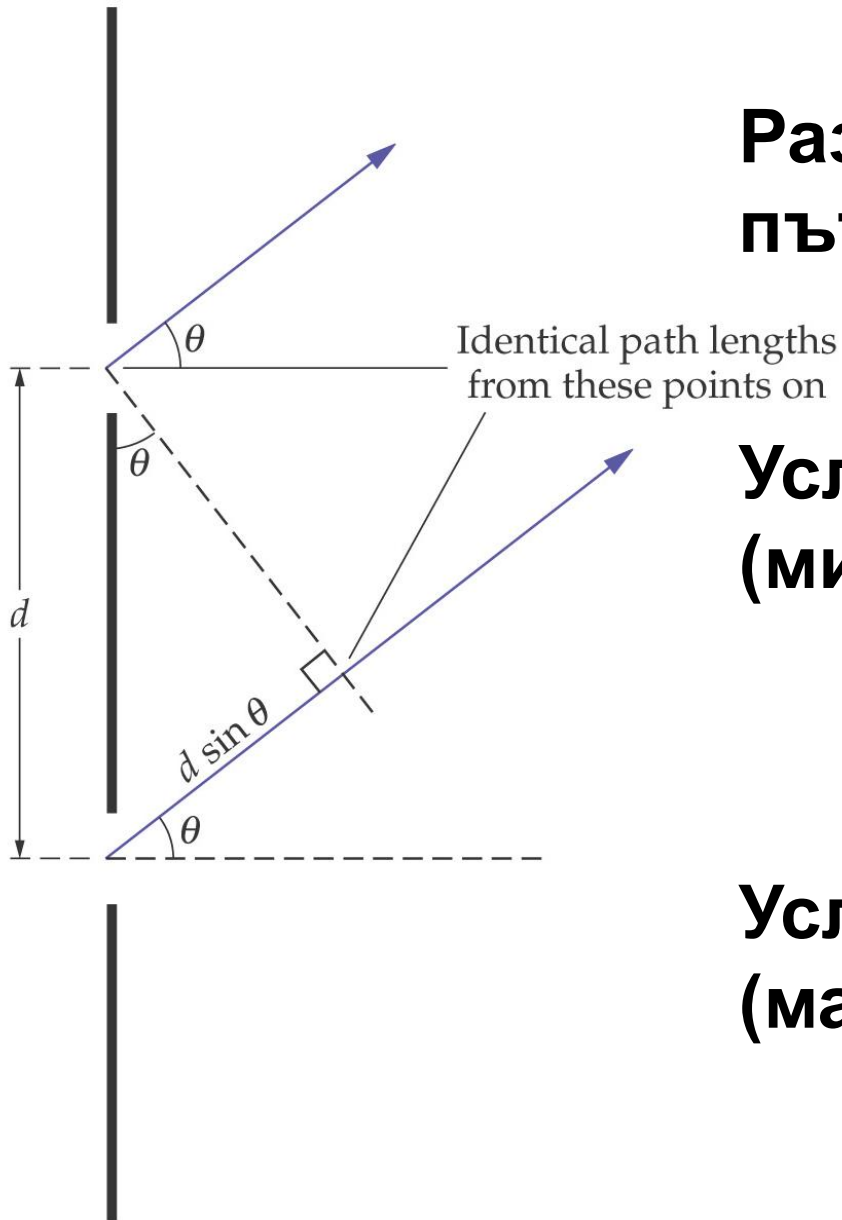
На екрана се наблюдава последователност от светли и тъмни ивици, съответстващи на конструктивна и деструктивна интерференция.

Интерференчна картина

Експеримент на Юнг



Експеримент на Юнг



Разликата в оптичните
пътища е: $\Delta l = d \sin \theta$

Условието за тъмни ивици
(минимуми) е:

$$\Delta l = d \sin \theta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \pm n$$

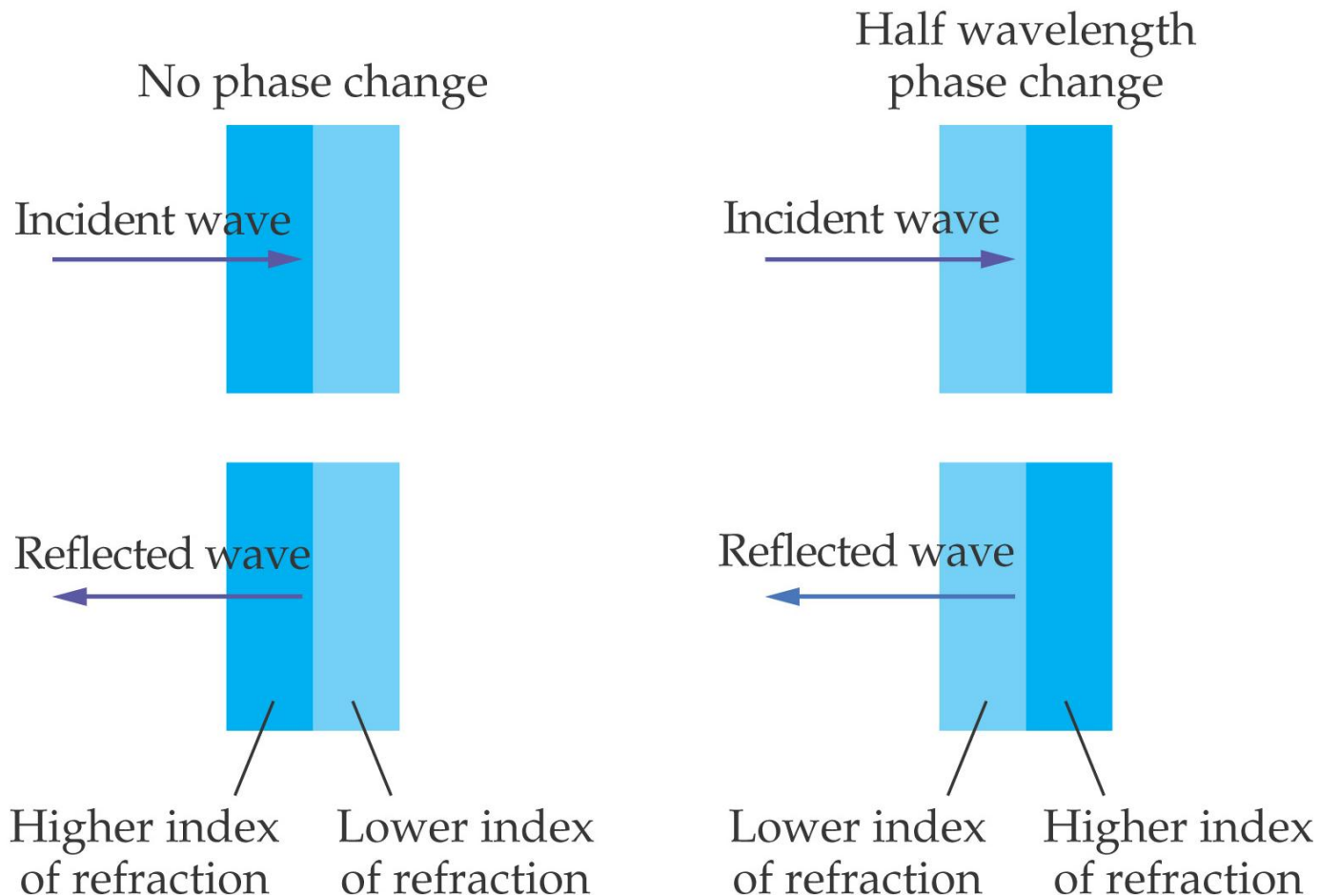
Условието за светли ивици
(максимуми) е:

$$\Delta l = d \sin \theta = 2m \frac{\lambda}{2} = m \lambda$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \pm n$$

Интерференция на отразени вълни

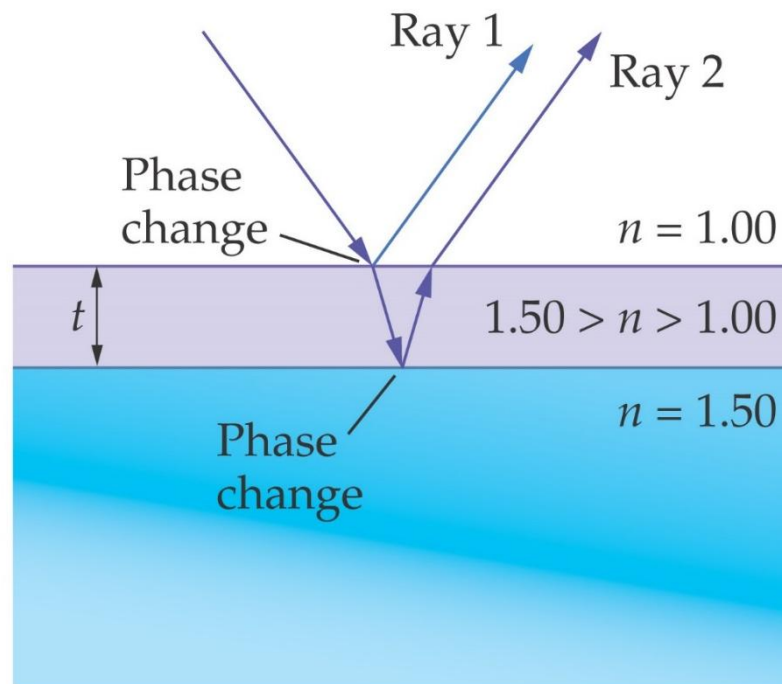
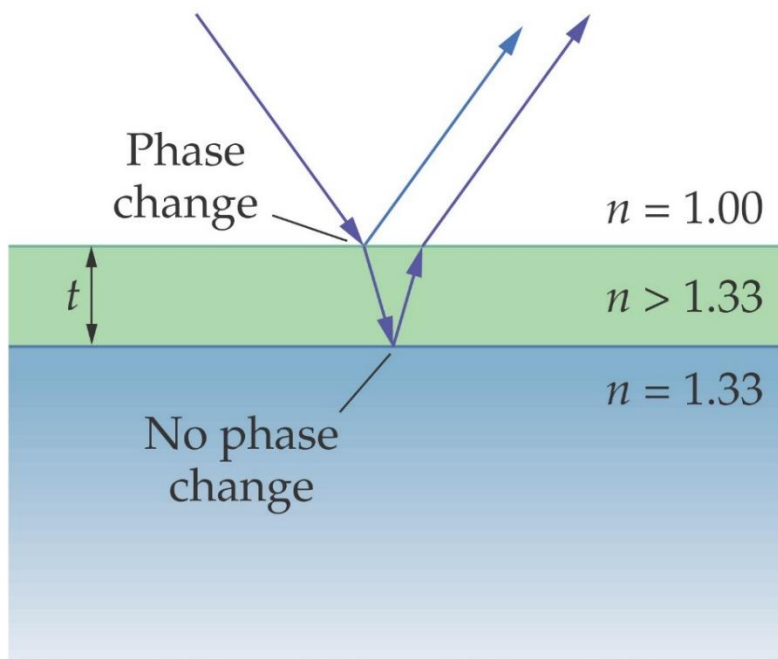
Отразените вълни интерферират поради възникналата разлика в оптичните пътища или поради фазовия скок при отражение.



Интерференция на отразени вълни

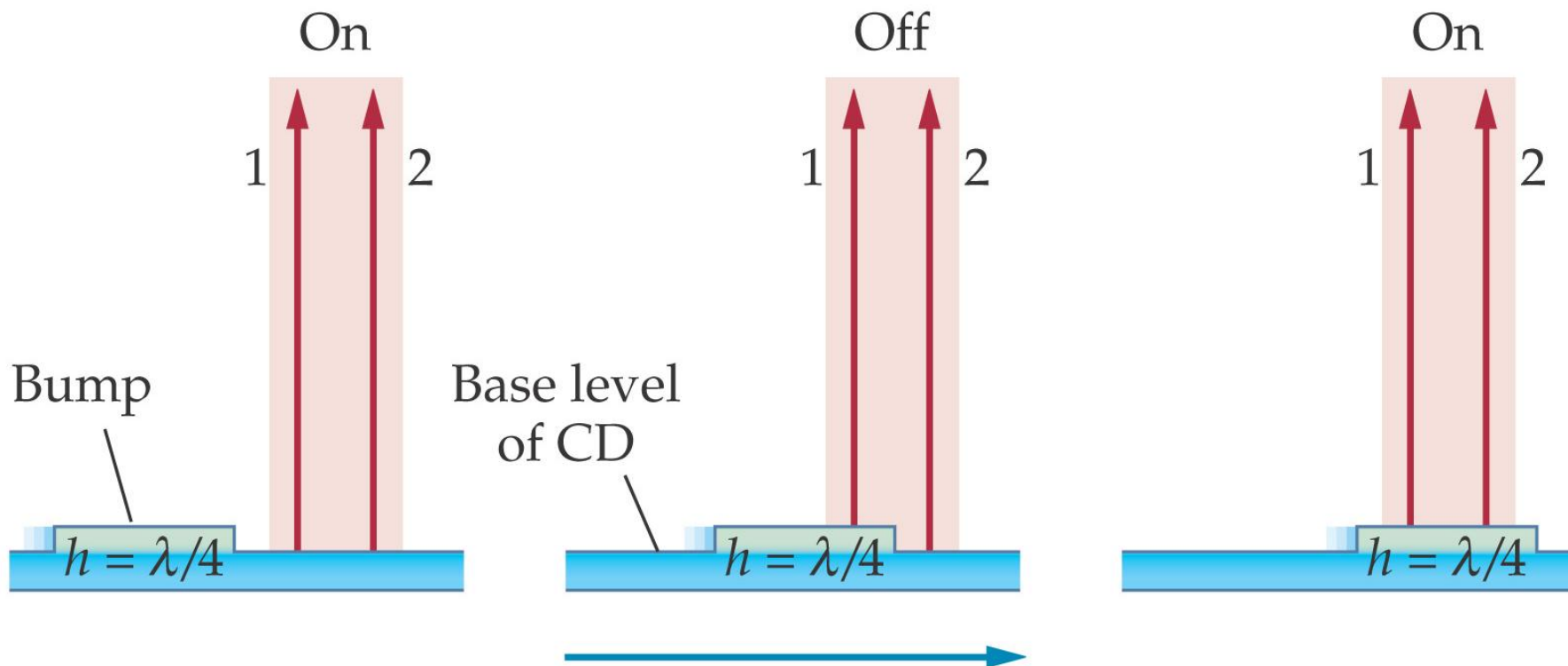
Няма промяна на фазата когато светлината се отразява от област с по-нисък коефициент на пречупване.

Фазата и **оптичният път** се променят (с $\pi[\text{rad}]$, и съответно с $\lambda/2$), когато светлината се отразява от среда с по-висок показател на пречупване, или от твърда повърхност.

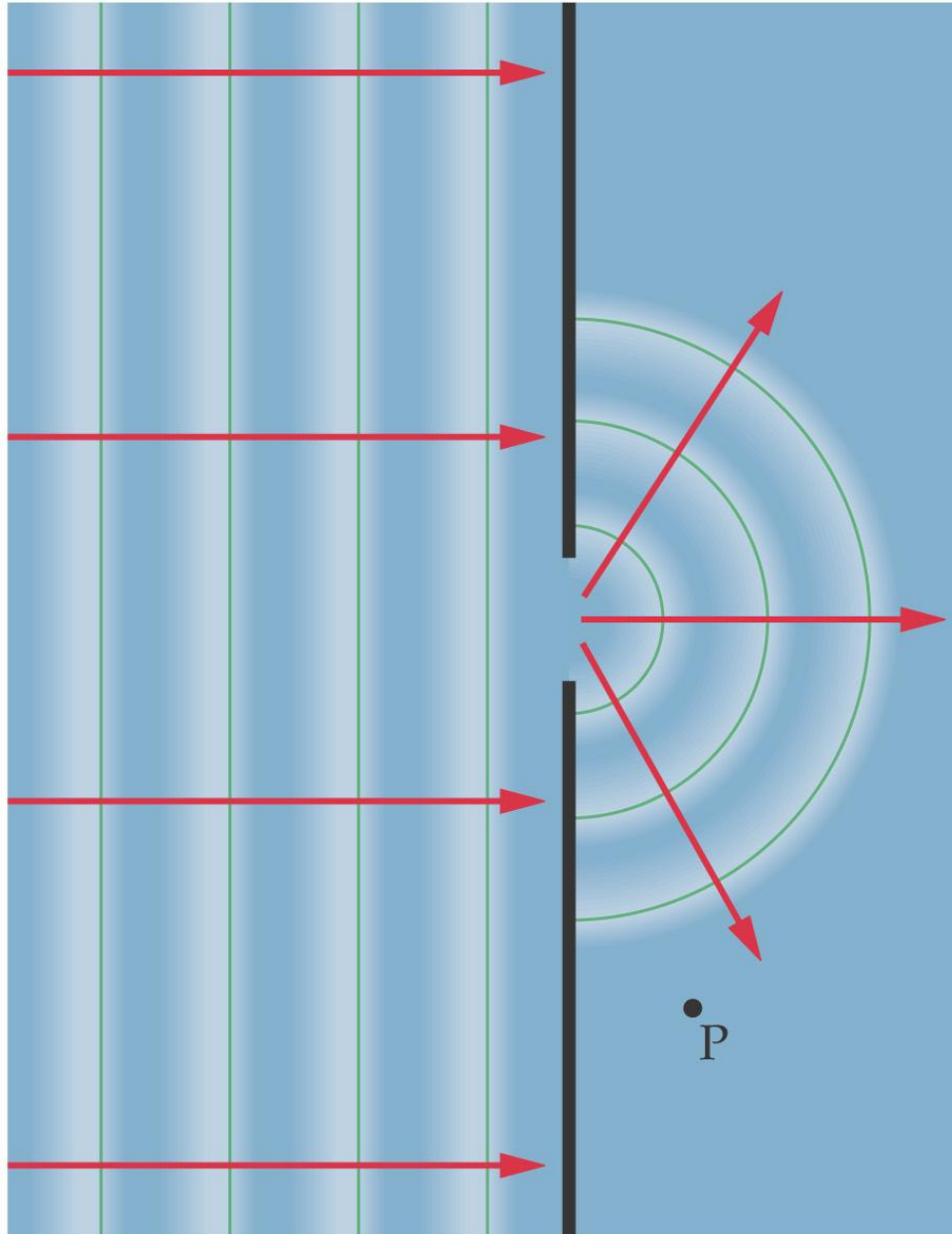


Интерференция на отразени вълни

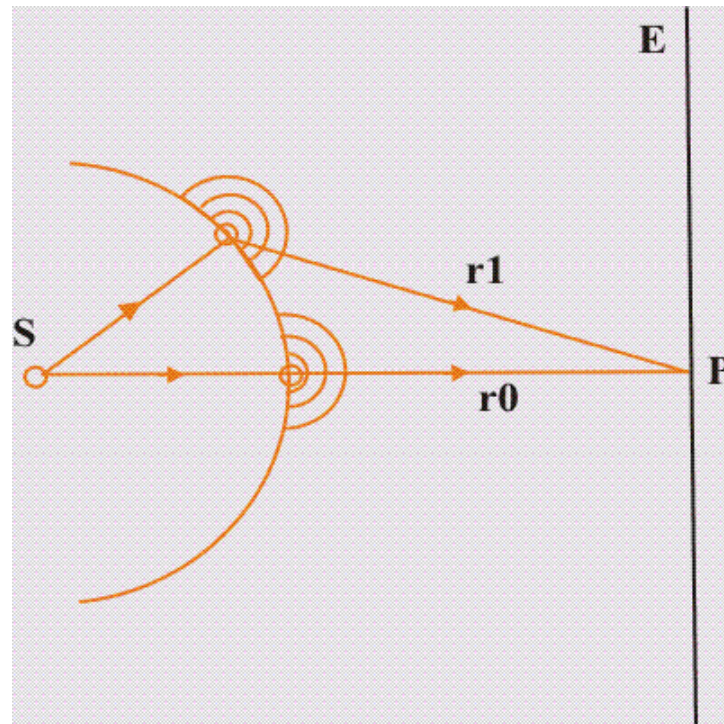
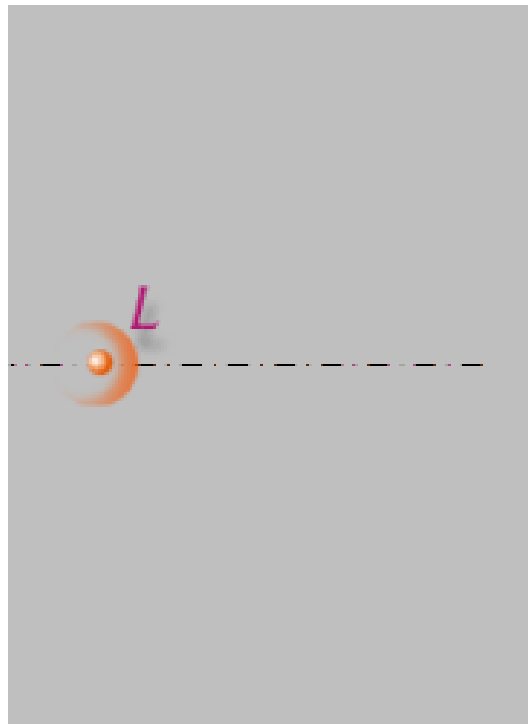
CD функционира на основата на интерференцията. Сигнала е кодиран чрез малки издатини на повърхността. Отражения лазерен сноп променя интензитета си в зависимост дали е отразен от издатина или не.



Дифракция

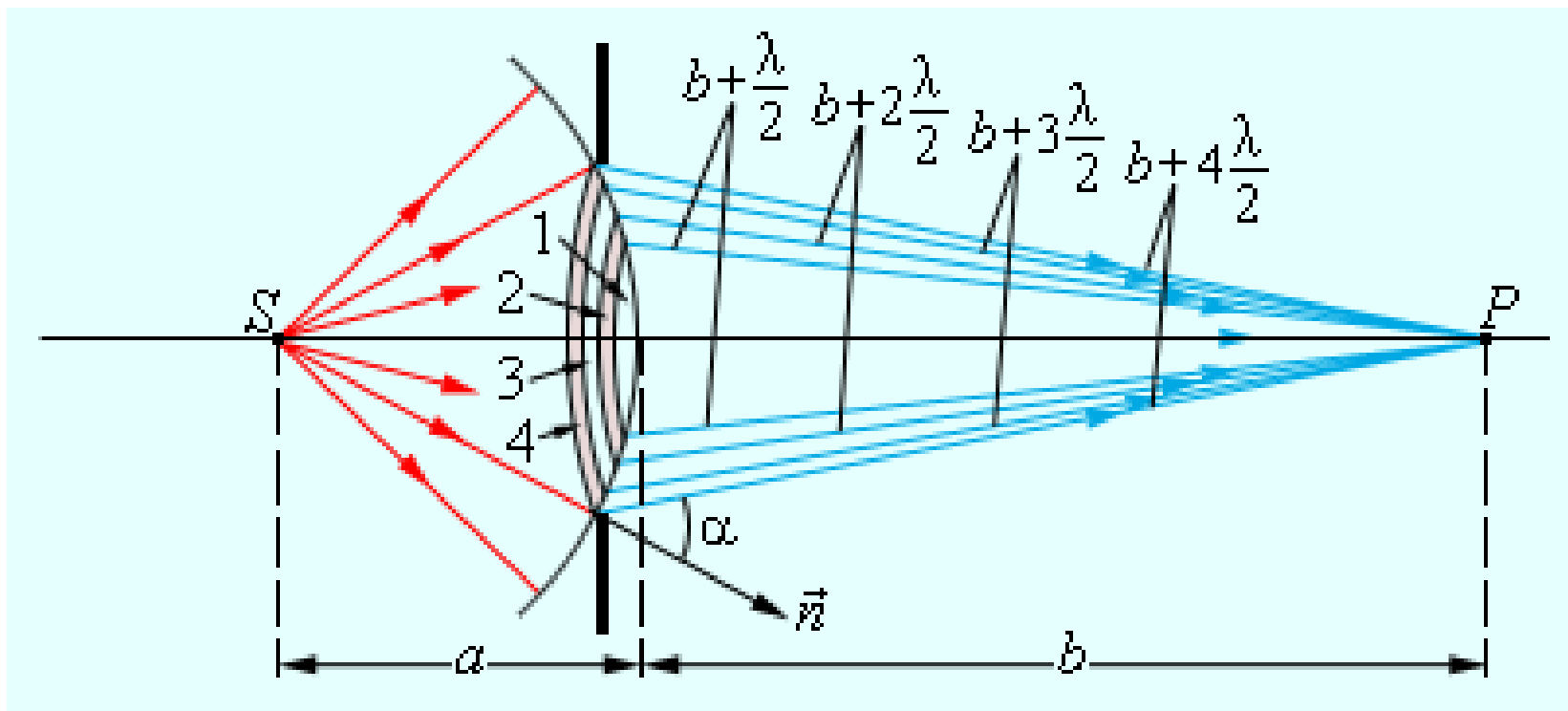


Метод на Френел



Всички точки от фронта трептят в една и съща фаза, но в дадена точка P от екрана те ще пристигат с фазова разлика, поради разлика в ходовете.

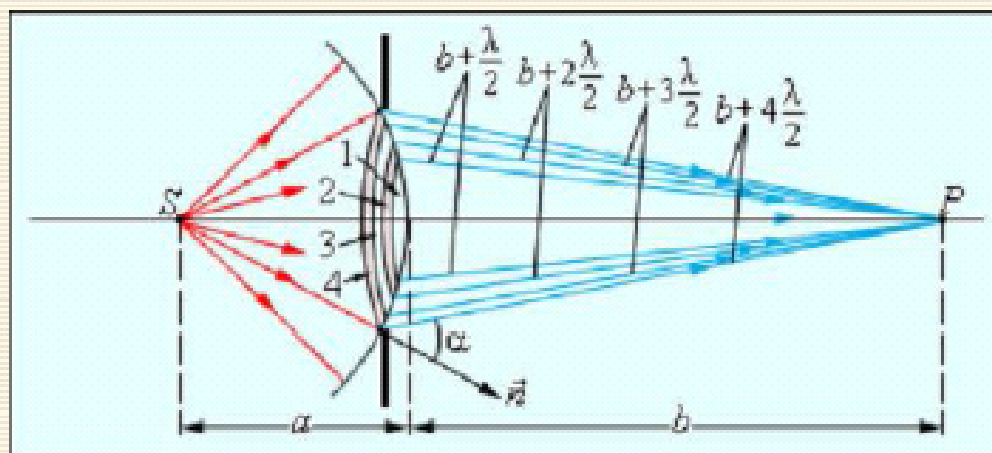
Сумарното им въздействие в точка P ще се определя от разликите във фазите на отделните елементи от фронта.



За изчисляване на ефекта, Френел разделя фронта на вълната на концентрични пръстеновидни зони чрез описване на сфери с център в точката на наблюдение **P** и радиуси, нарастващи с $\lambda / 2$.

Френелова дифракция

Близък източник на светлина - сферичен фронт
Зоните на Френел - сферични повърхности



Радиуси ρ_m на зоните на Френел:

$$\rho_m = \sqrt{m \frac{ab}{a+b}} L.$$

Дифракция - зони на Френел

Резултатът от интерференцията на вторичните вълни в т.Р зависи от броя m на откритите зони на Френел.

Всички зони имат еднаква площ: $S_m = \pi r_m^2 - \pi r_{m-1}^2 = \pi \lambda L = S_1$

Интензитетът на светлината I в т. Р - сума от интензитетите от всяка зона на Френел.

Вълните от две съседни зони - в **противофаза**, сл. за интензитета може да се напише

$$I = \frac{I_1}{2} + \frac{I_1}{2} - I_2 + \frac{I_3}{2} + \frac{I_3}{2} - I_4 + \frac{I_5}{2} + \dots$$

$$I = \frac{I_1}{2} + \underbrace{\left(\frac{I_1}{2} - I_2 + \frac{I_3}{2} \right)}_0 + \underbrace{\left(\frac{I_3}{2} - I_4 + \frac{I_5}{2} \right)}_0 + \frac{I_5}{2} - I_6 + \dots$$

Резултатният интензитет в произволна т. Р **се определя от действието на на 1/2 от централната зона на Френел.**

Амплитудата на сферична вълна намалява като $A = \frac{A_0}{r}$

и следователно $A_0 > A_1 > A_2 > \dots$

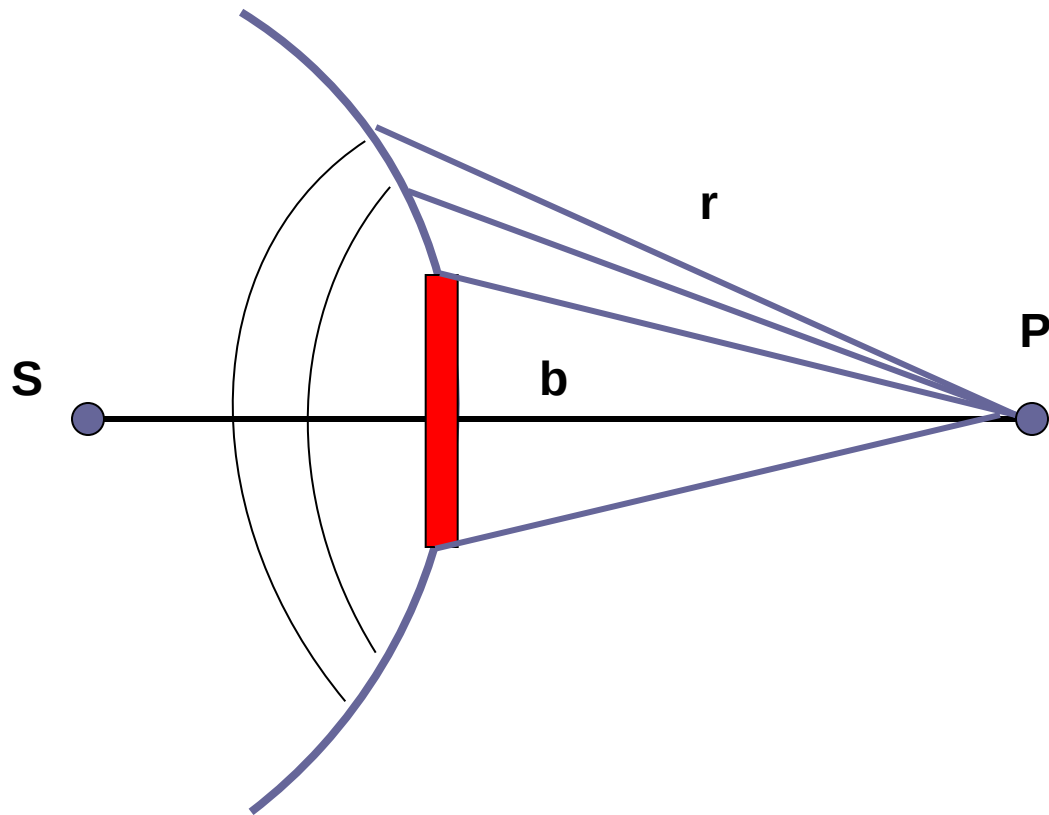
Допустимо е предположението:

$$A = \frac{A_{i+1} + A_{i-1}}{2}$$

Тогава сумарната амплитуда в т. Р от екрана ще бъде:

$$A = A_0 - A_1 + A_2 - A_3 + \dots (-1)^i A_i \approx \frac{A_0}{2}$$

Поради направените предположения, погасяването е частично.



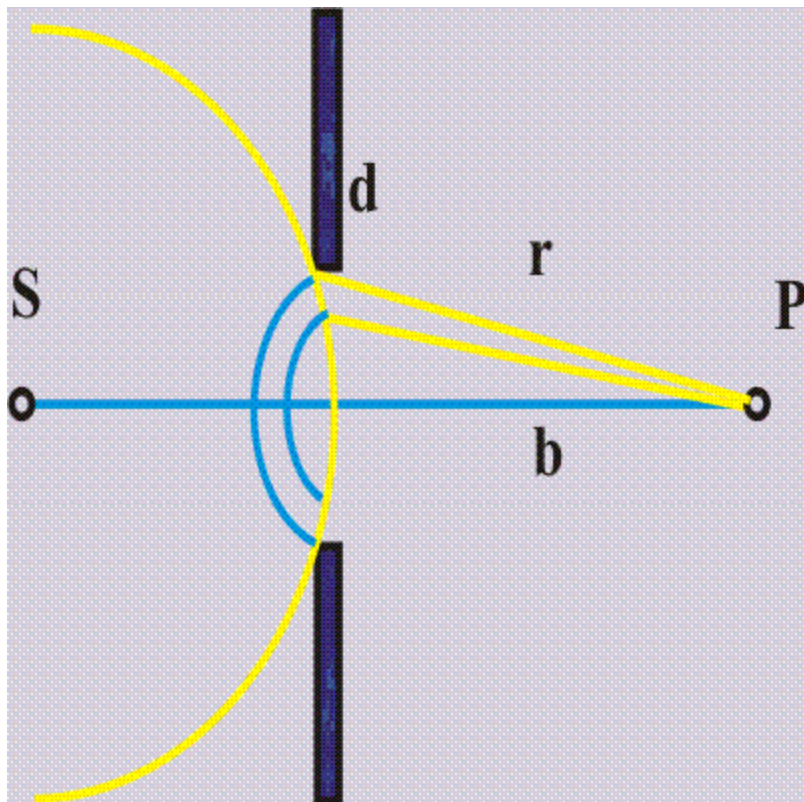
$$A = \sum A_i \approx \frac{A_0}{2}$$

Ако на пътя на
вълната поставим
преграда, останалата
част от фронта
можем да разделим
на зони по метода на
Френел и отново ще
получим, че
осветяването на
произволна точка от
екрана отново ще
бъде равно на
осветяването от
половин централна
зона на Френел.

Дифракция на Френел

Дифракция на сферична вълна от отвор или екран.





Ако на пътя на фронта на
вълната поставим преграда
с отвор с ширина **d** ,
осветяването на екрана ще
зависи от броя на зоните на
Френел, които можем да
построим вътре в отвора.
Тъй като вълните от всеки
две съседни зони пристигат
в противофаза и се погасят
взаимно, то при:

четен брой зони - МИНИМУМ
нечетен брой зони - МАКСИМУМ

Дифракційна картина

четен брой зони

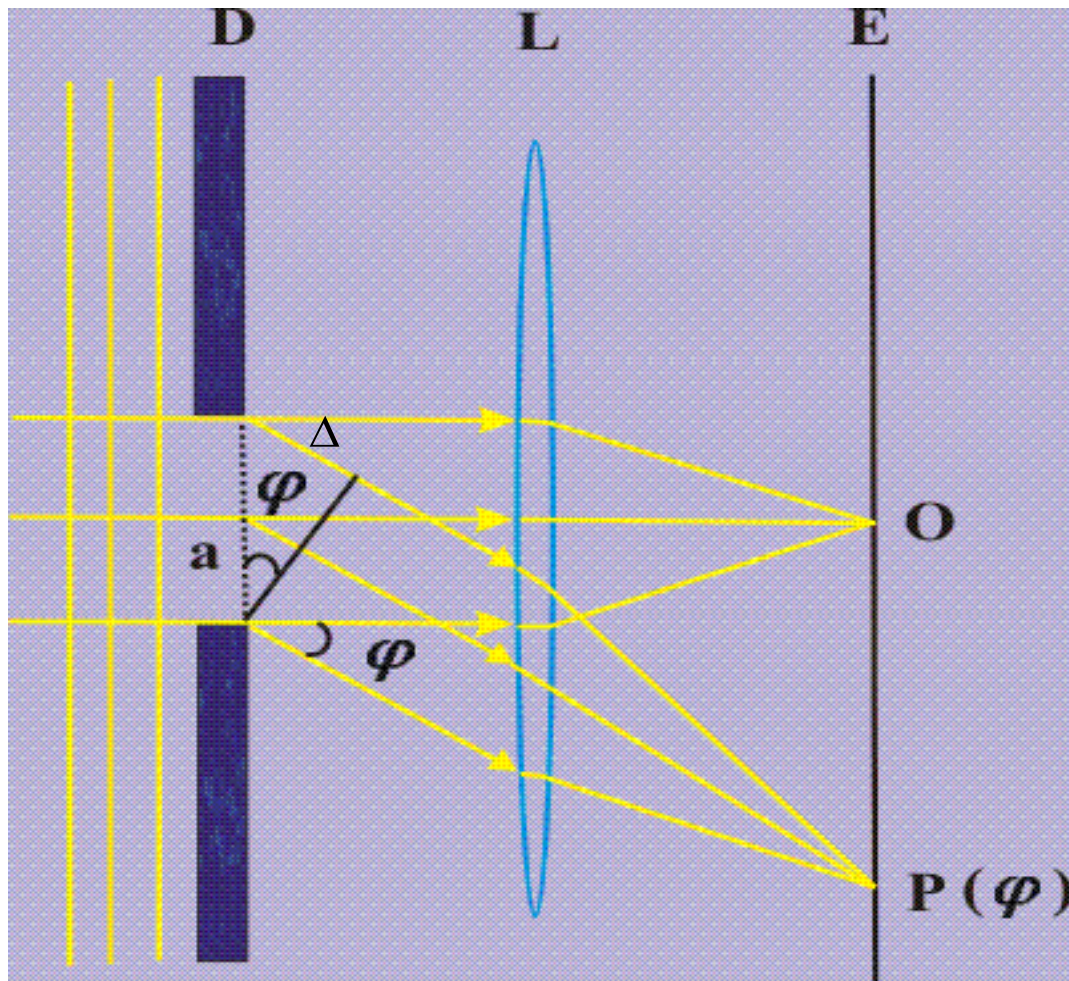


нечетен брой зони



Дифракция на Фраунхофер

дифракция от 1 процеп



Дифракция
на плоска
вълна.

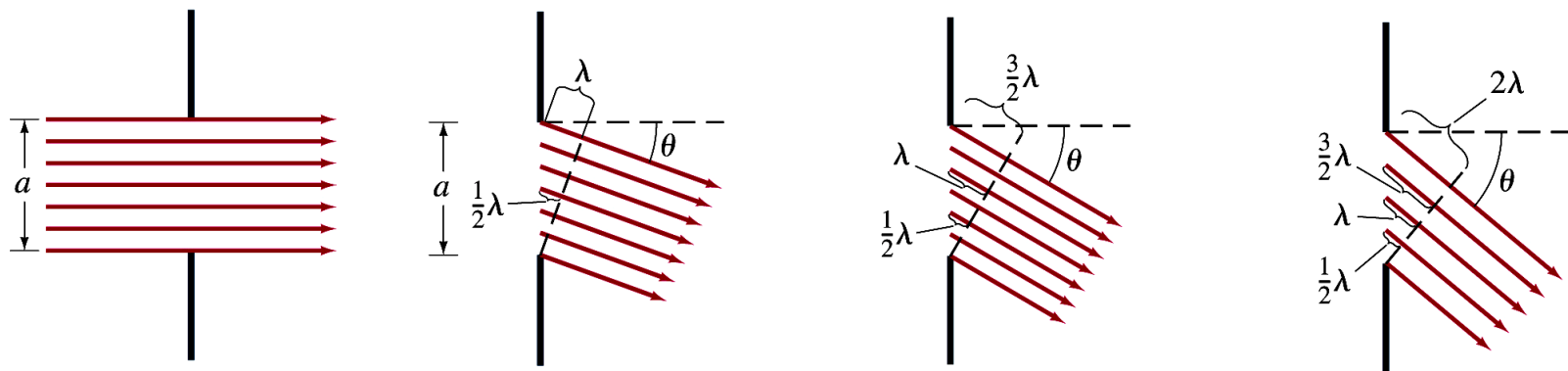
максимум

$$\Delta = a \sin(\varphi) = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

минимум

$$\Delta = a \sin(\varphi) = 2m \frac{\lambda}{2}$$

Условия за дифракционен минимум и максимум



(a) $\theta = 0$
Bright

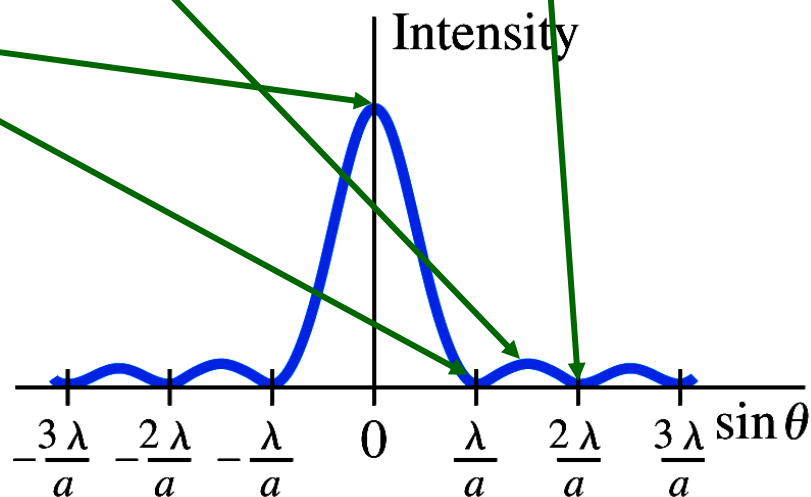
(b) $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$
Dark

(c) $\sin \theta = \frac{3\lambda}{2a}$
Bright

(d) $\sin \theta = \frac{2\lambda}{a}$
Dark

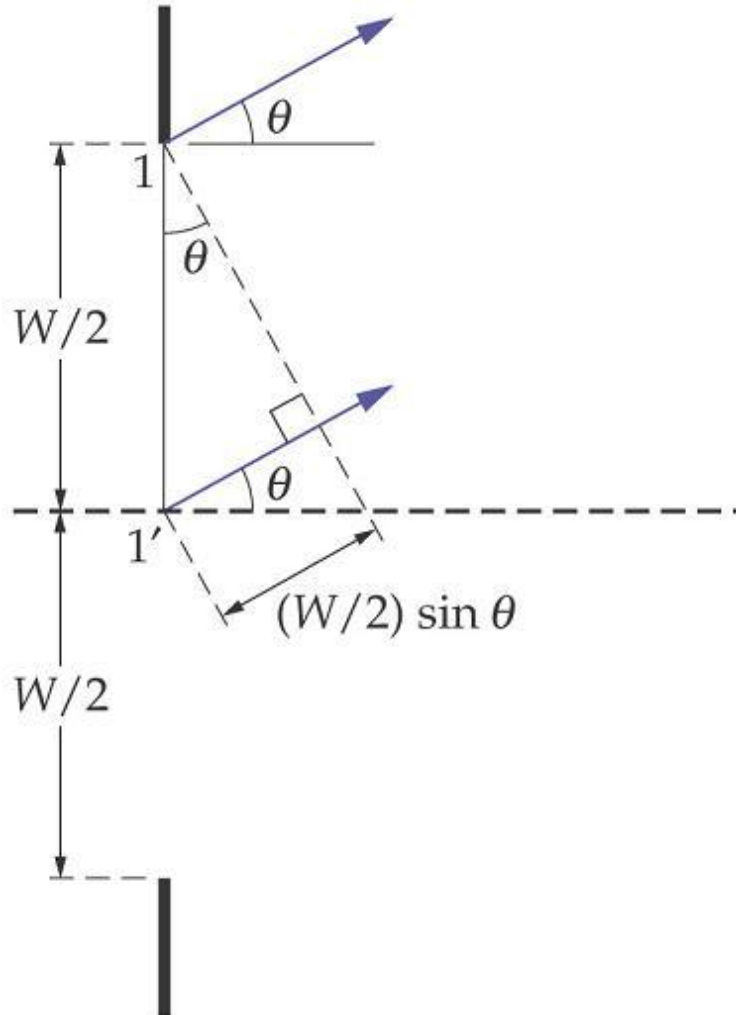
$$m \frac{\lambda}{a} = \sin \theta_m \cong \theta_m; \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

(условие за дифракционен минимум,
р порядък на минимума)



Дифракция

Метод на зоните на Френел



**Първата тъмна ивица
(минимум):**

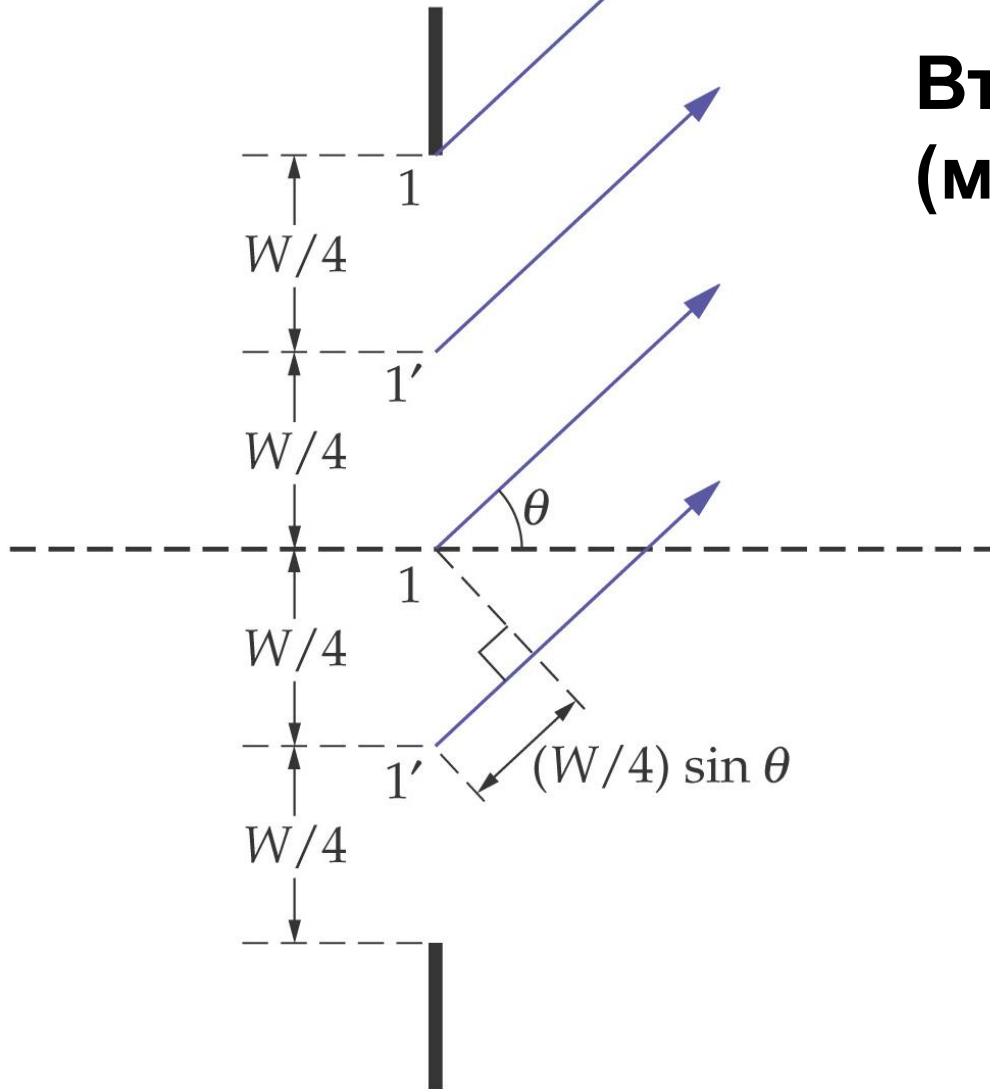
$$W \sin \theta = \lambda$$

Дифракция

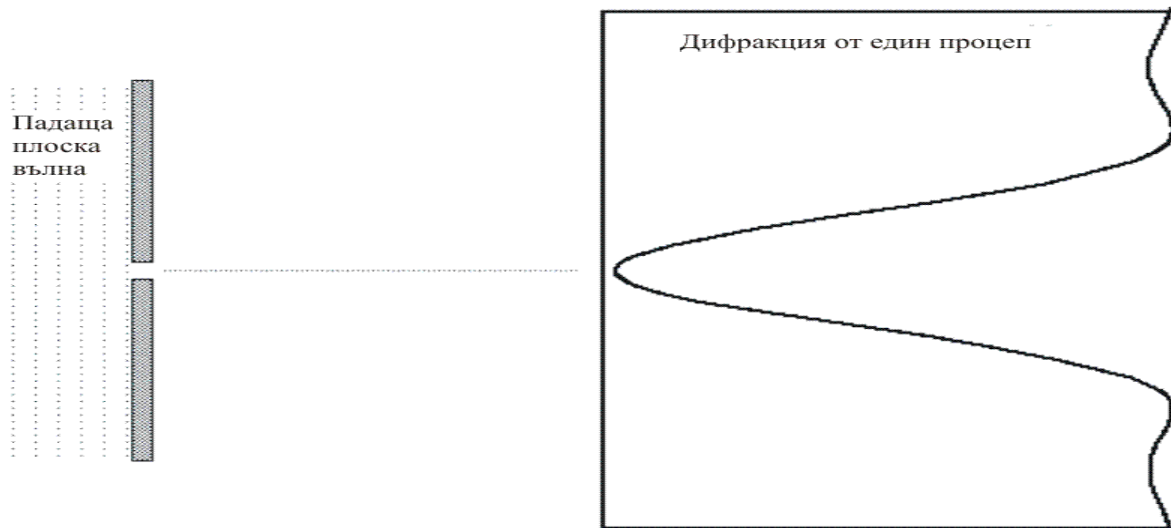
Метод на зоните на Френел

**Втората тъмна ивица
(минимум):**

$$W \sin \theta = 2\lambda$$



Интензитет на осветяването



$$I \sim A^2$$



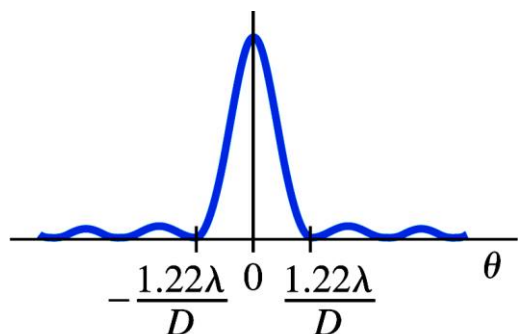
Следствия

1. Дифракция се наблюдава само при размери на отвора или екрана, сравними с дължината на вълната.
2. Ако вълната е безгранична, действието ѝ върху дадена точка се свежда до действието на половин централна зона на Френел.
3. Праволинейното разпространение на светлината е възможно само при размери на отвора или екрана много по-големи от дължината на вълната.
4. Колкото по-къса е дължината на вълната, толкова по-точно може да се прилагат законите на геометричната оптика.

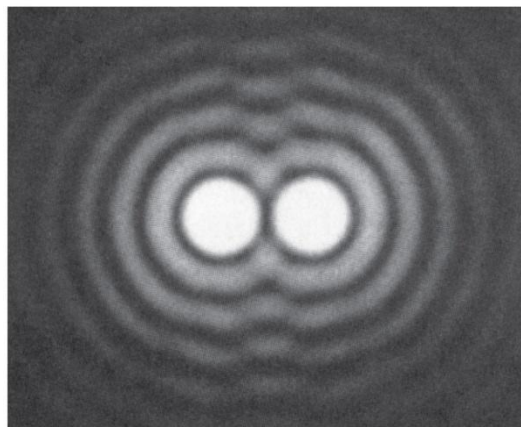
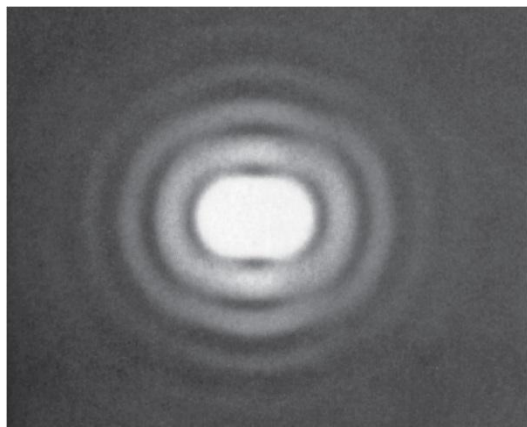
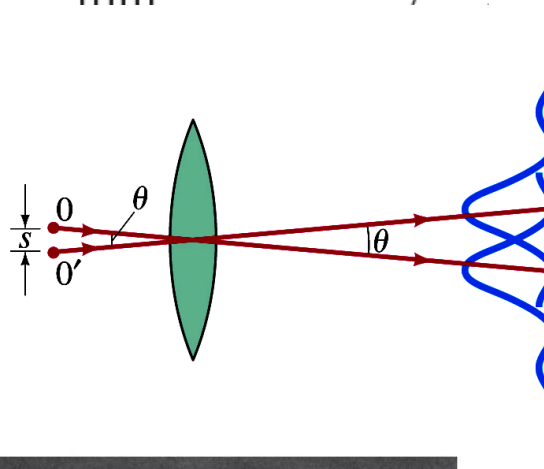
Дифракционна разходимост

Дифракцията от кръгъл отвор има кръгова дифракционна картина. Локализацията на първия тъмен пръстен определя размера на централното петно:

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

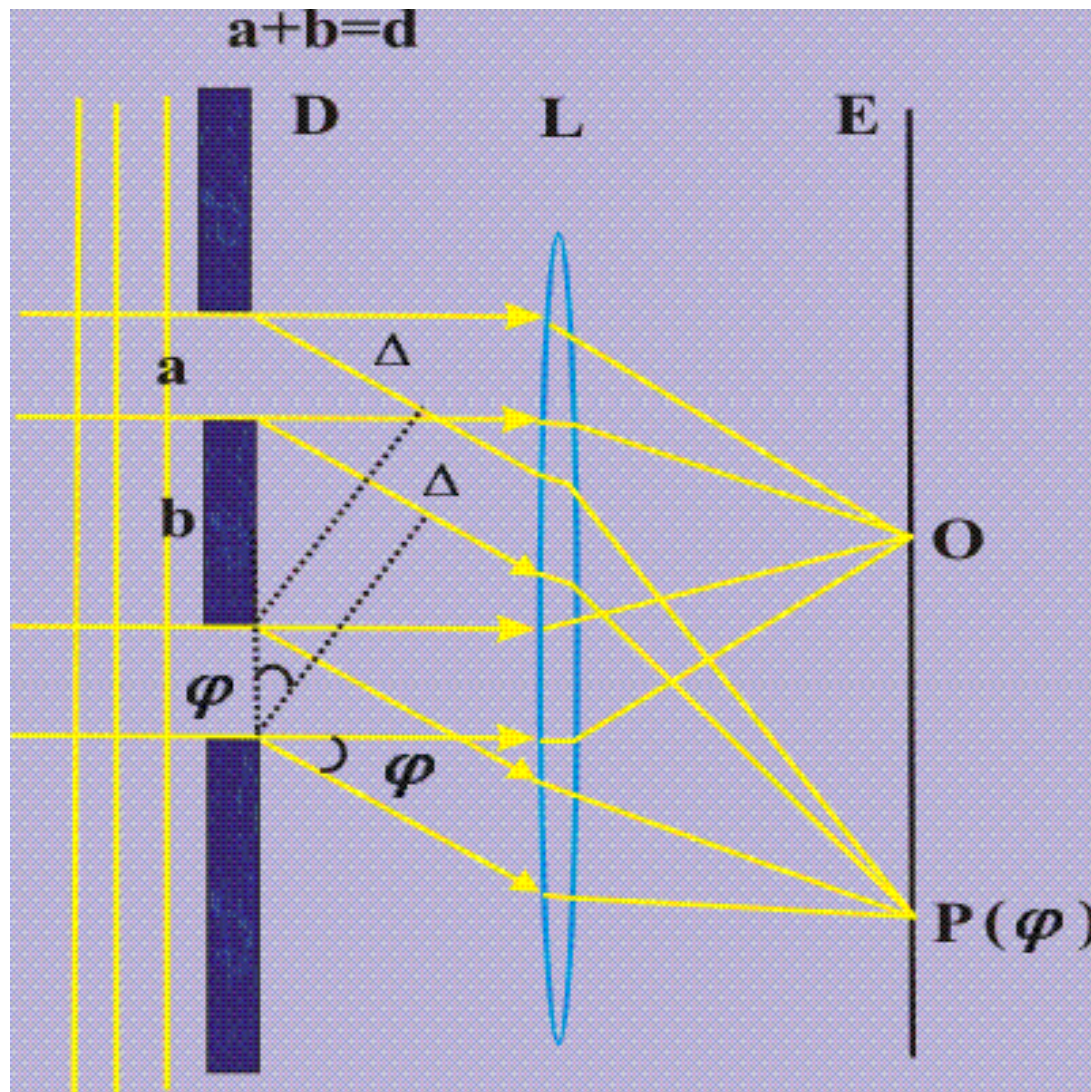


$$\theta_{\min} = 1.22 \lambda / D$$



От ляво, изглежда че има един източник; от дясно, двата източника се различават ясно.

Дифракция от два процепа



Ако $\Delta = (a + b) \sin \phi = d \sin \phi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$

вълните ще пристигнат с еднакви фази и амплитуди и ще се насложат, наблюдаваме максимум

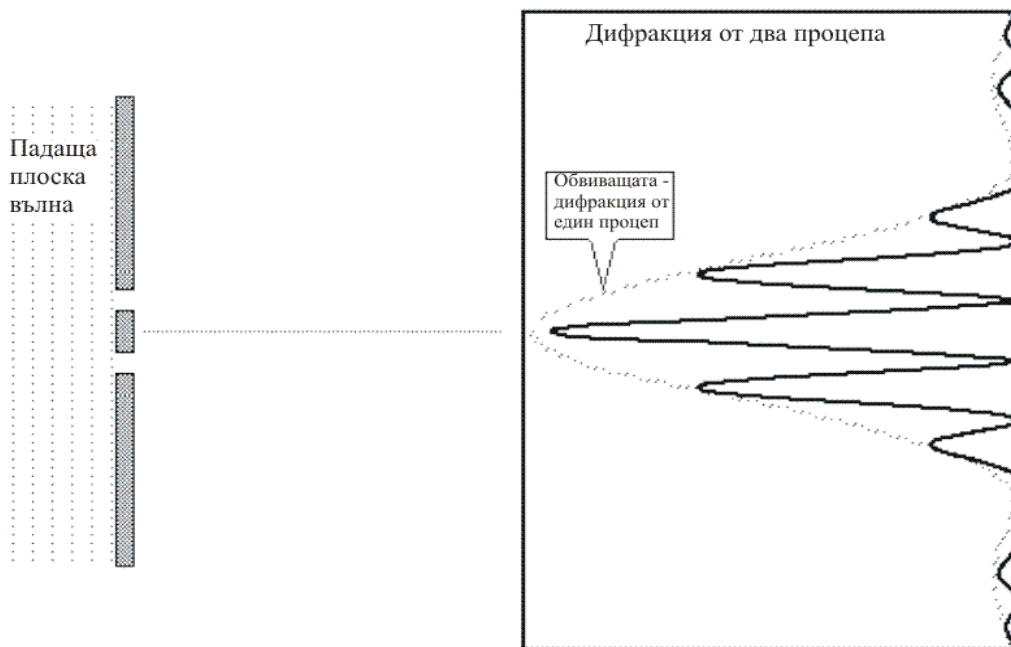
За N процепа: $A_P = \sum_{i=1}^N A_i = NA_i$

наблюдаваме централен максимум с интензитет $I \sim A_P^2 = N^2 A_i^2$

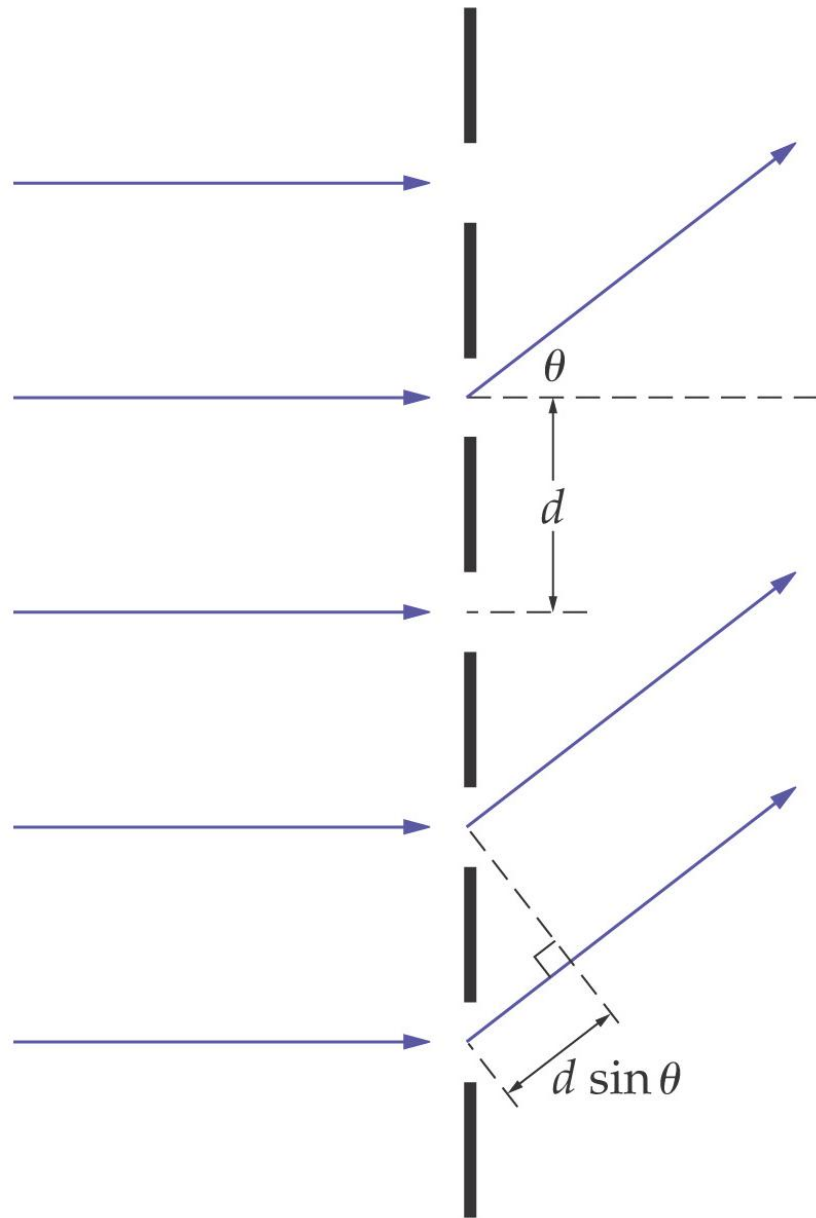
Ако $\Delta = a \sin \phi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad m = 1, 2, 3, \dots$

наблюдаваме главните минимуми

Интензитет на максимумите при дифракция от два процепа



Дифракционна решетка

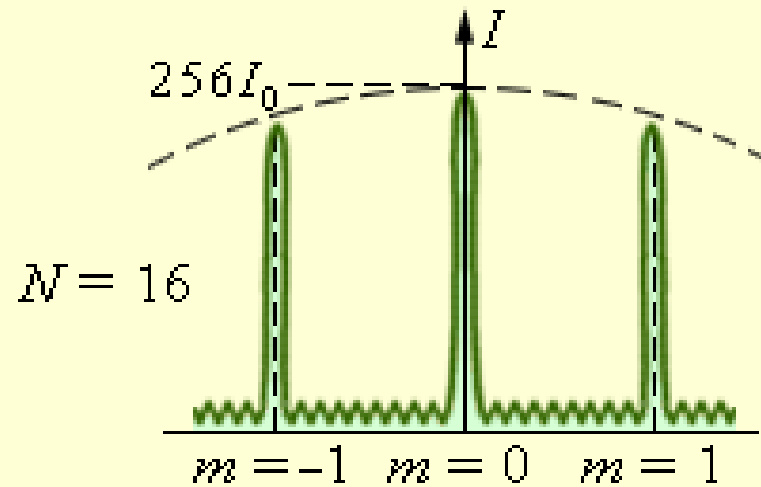
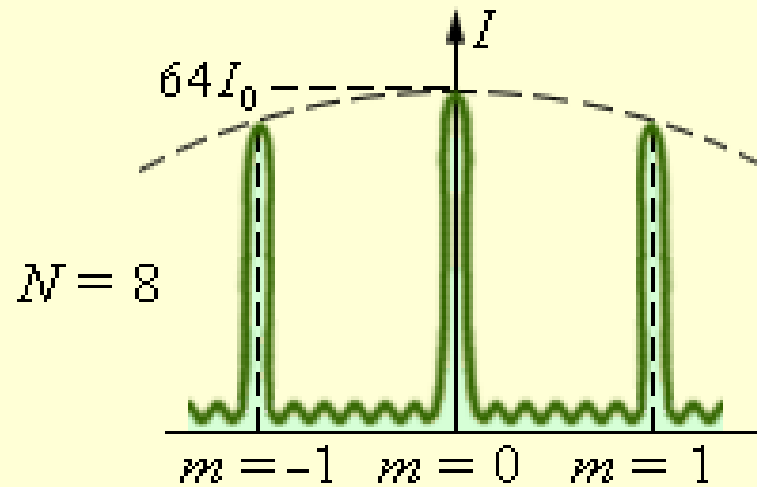
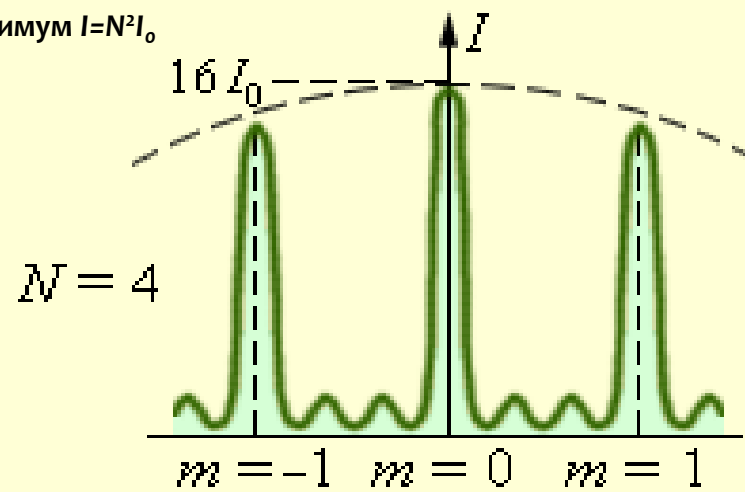
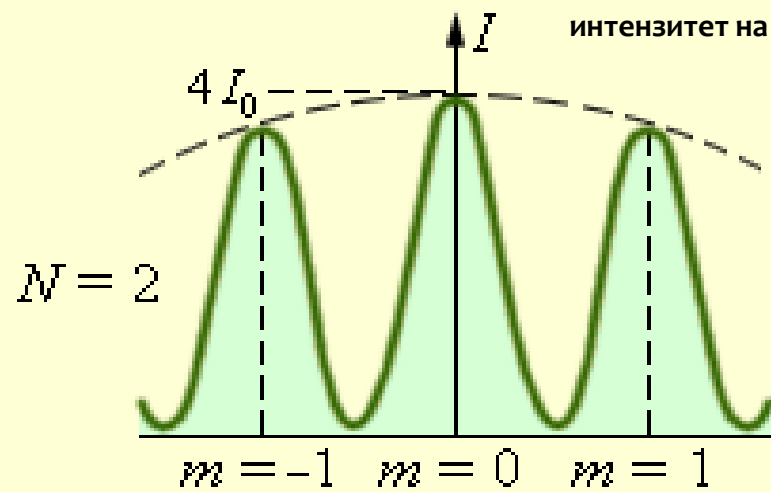


Позициите на максимумите са различни за различните λ .

Условие за конструктивна интерференция при дифракционна решетка:

$$d \sin \theta = m\lambda \qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Сравнение на интензитетите на максимумите при дифракция от няколко процепа



Разделителна способност на спектрални апарати (резолюция)

Резолюцията R е възможността да отличим две близко разположени спектрални линии:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

$$\delta\lambda = \lambda' - \lambda$$

Използва се критерия на Релей :

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = N m$$

N – брой процепи на дифр. решетка
 m – порядък на дифракция

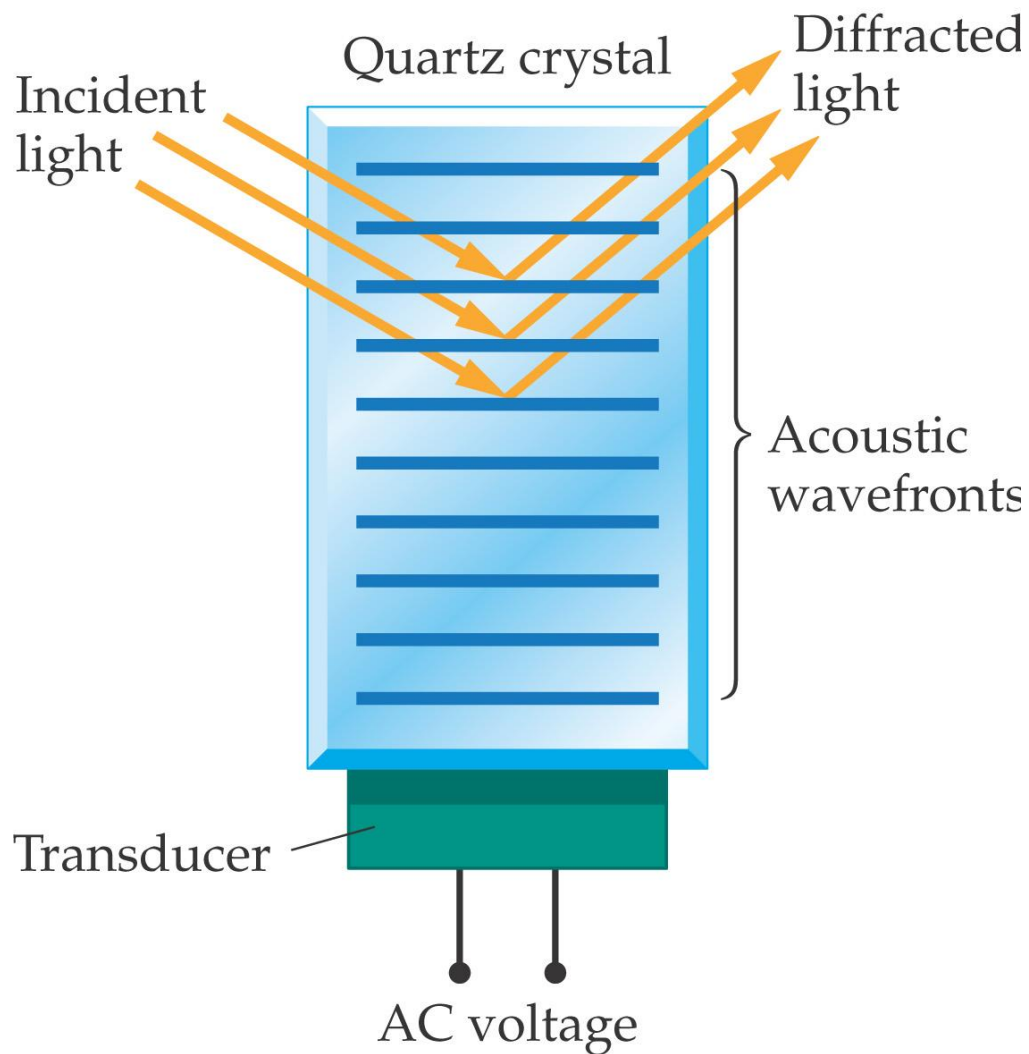
Задача 93.4 (Максимов): какъв минимален брой процепи трябва да има дифракционна решетка за да разделя дублета на жълтата линия на натриева лампа (589нм и 589.6нм)?

Наблюдава се дифракционен спектър от 2-ри порядък ($m=2$).

Решение: стр. 219

Дифракционни Решетки

Конструиране на дифракционна решетка- АОМ.



В акусто-оптичния модулатор дифракц. решетка се създава от фронтовете на акустичните вълни в кристала. Изкл. звука елиминираме сигнала. Променяйки честотата на звука модулираме сигнала.

Дифракционна решетка

Дифракцията на рентгенови лъчи (Х-лъчи) се използва за изучаване на кристалната структура – разстоянието между равнините в кристалната решетка е близко до λ на рентг. лъчи което позволява получаването на дифр. картина.

