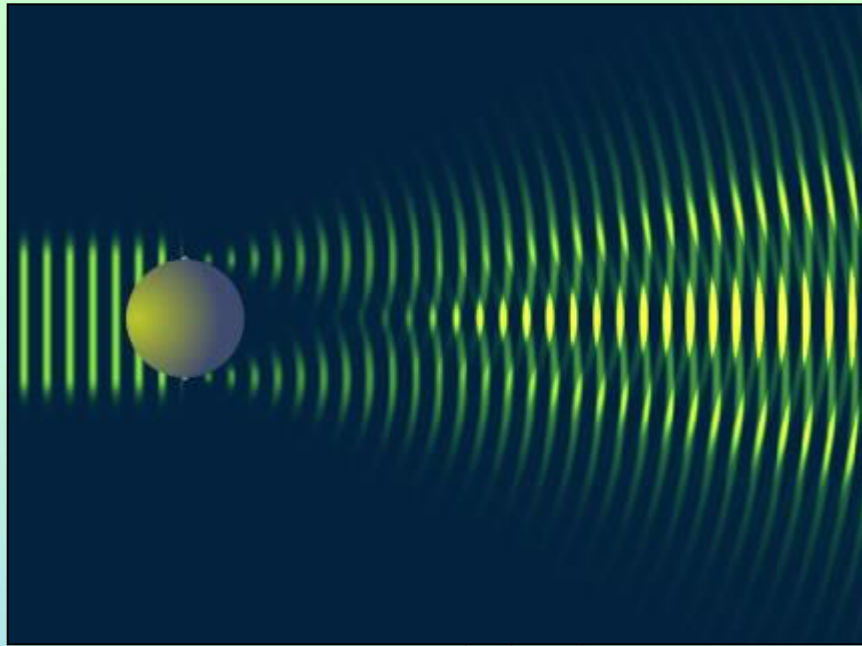


ДИФРАКЦИЯ НА СВЕТЛИНАТА



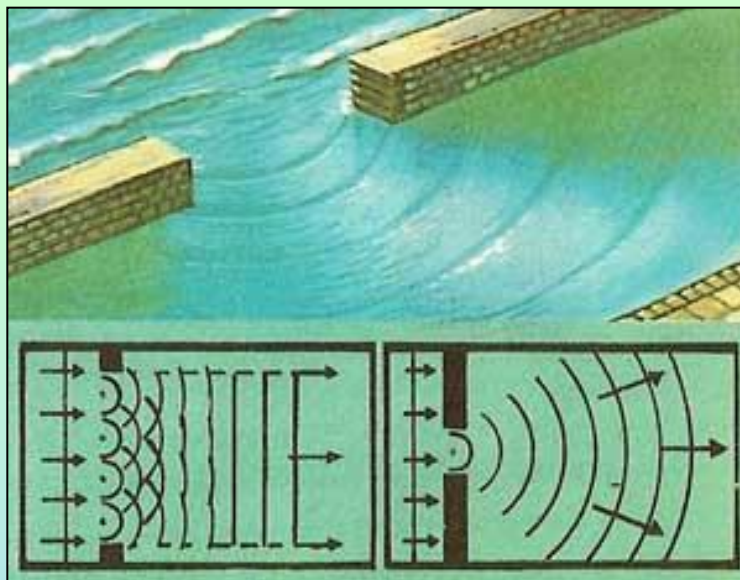
Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

1. Дифракция на светлината




Определение: Отклонение на светлината от праволинейното ѝ разпространение в среда с резки нееднородности (прегради, препятствия, отвори и т.н.), около които възниква локално амплитудно или фазово нарушение на вълновия фронт.


1. Дифракция на светлината




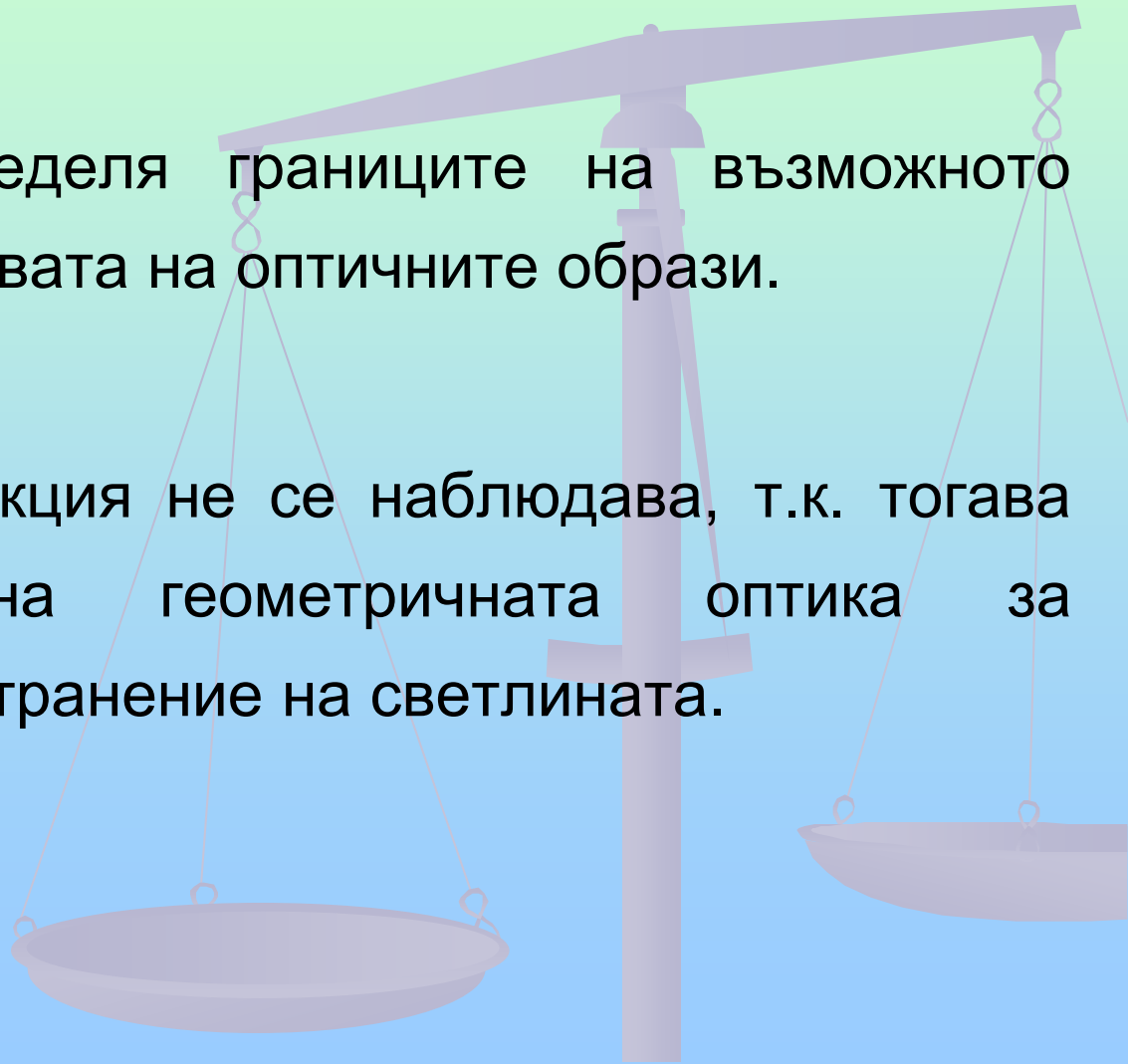
📎 Дифракция възниква във всички случаи, когато изменението на амплитудата или фазата не е еднакво за цялата вълнова повърхност.

📎 Дифракцията води до отклонението на светлинните вълни от препятствия и проникване на светлината зад прегради (в областта на геометрична сянка).

 Дифракцията не е: пречупване, отражение и преминаване през оптически нееднородни среди.

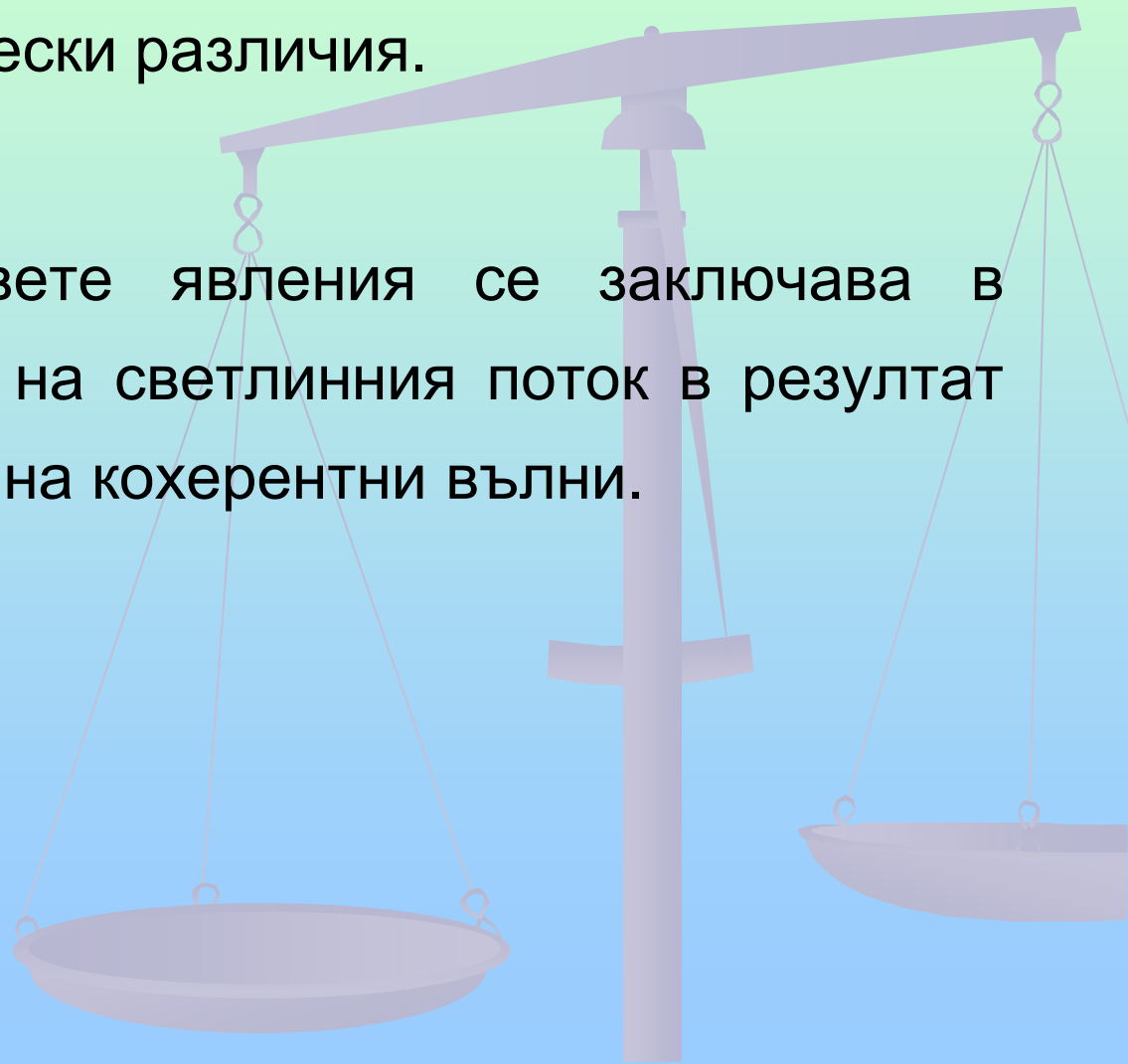
 Дифракцията определя границите на възможното подобряване на качествата на оптичните образи.

 При $\lambda \rightarrow 0$, дифракция не се наблюдава, т.к. тогава действа законът на геометричната оптика за праволинейно разпространение на светлината.



Между интерференцията и дифракцията няма съществени физически различия.

Същността на двете явления се заключава в преразпределение на светлинния поток в резултат на суперпозицията на кохерентни вълни.

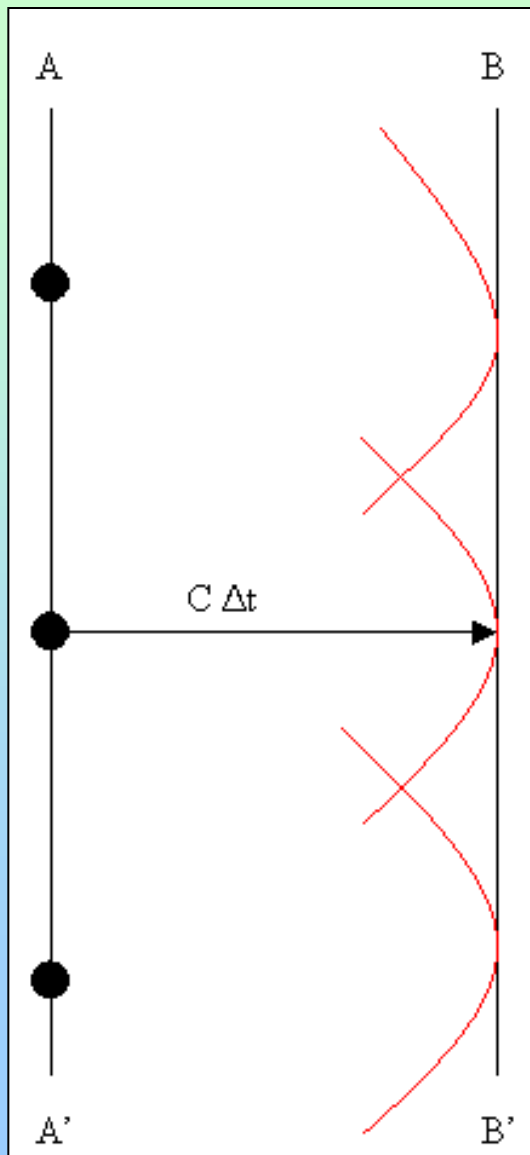


По исторически причини преразпределението на интензитета, възникващо в резултат на суперпозицията на вълни, възбудени от **краен брой дискретни кохерентни източници** е прието да се нарича **интерференция на вълните**.

Преразпределението на интензитета, възникващо вследствие на суперпозиция на вълни, възбудени от **кохерентни източници разположени непрекъснато** е прието да се нарича **дифракция на вълните**.

Затова се говори за интерференчна картина от два тънки процепа и за дифракционна картина от един процеп.

2. Принцип на Хюйгенс

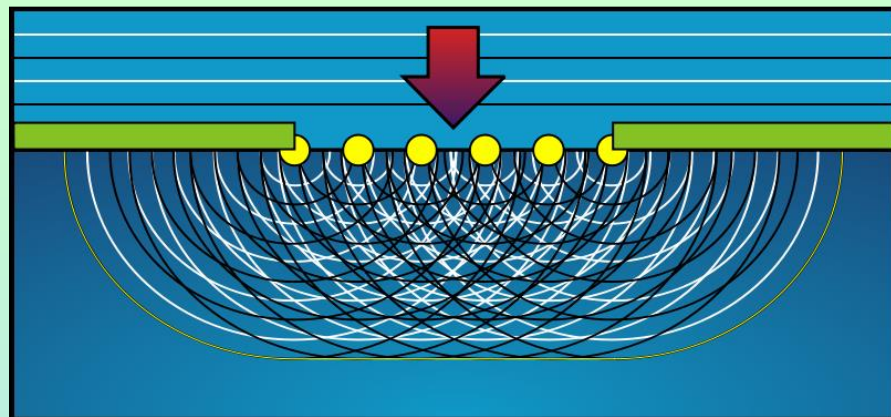
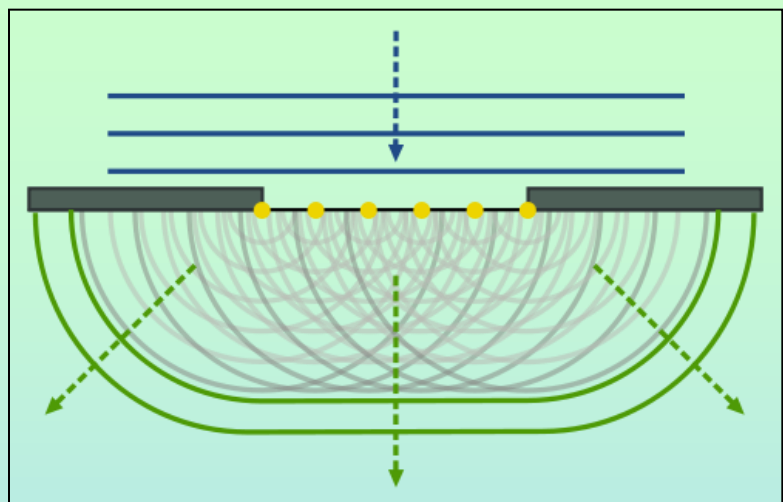


Всяка точка от вълновия фронт става център на елементарна вторична сферична вълна, а обвивката на тези елементарни вълни е новият вълнов фронт.

Този принцип обяснява посоката на разпространение на вълната, т.е. проникването на светлинната вълна в областта на геометрична сянка.

Не обяснява как се пресмята амплитудата и фазата в дадена точка и съответно големината на интензитета, а от там и разпределението на интензитета.

3. Принцип на Хюйгенс-Френел



Френел допълва принципа на Хюйгенс с твърдението, че вторичните вълни интерферират помежду си.

Отчитането на амплитудите и фазите на вторичните вълни и принципа на суперпозиция позволява да се намери амплитудата на резултантната вълна във всяка точка от пространството, а от там и разпределението на интензитета.

Съчетанието на принципа на Хюйгенс с принципа за интерференцията се нарича принцип на Хюйгенс-Френел.

СЪЩНОСТ НА ПРИНЦИПА НА ХЮЙГЕНС-ФРЕНЕЛ

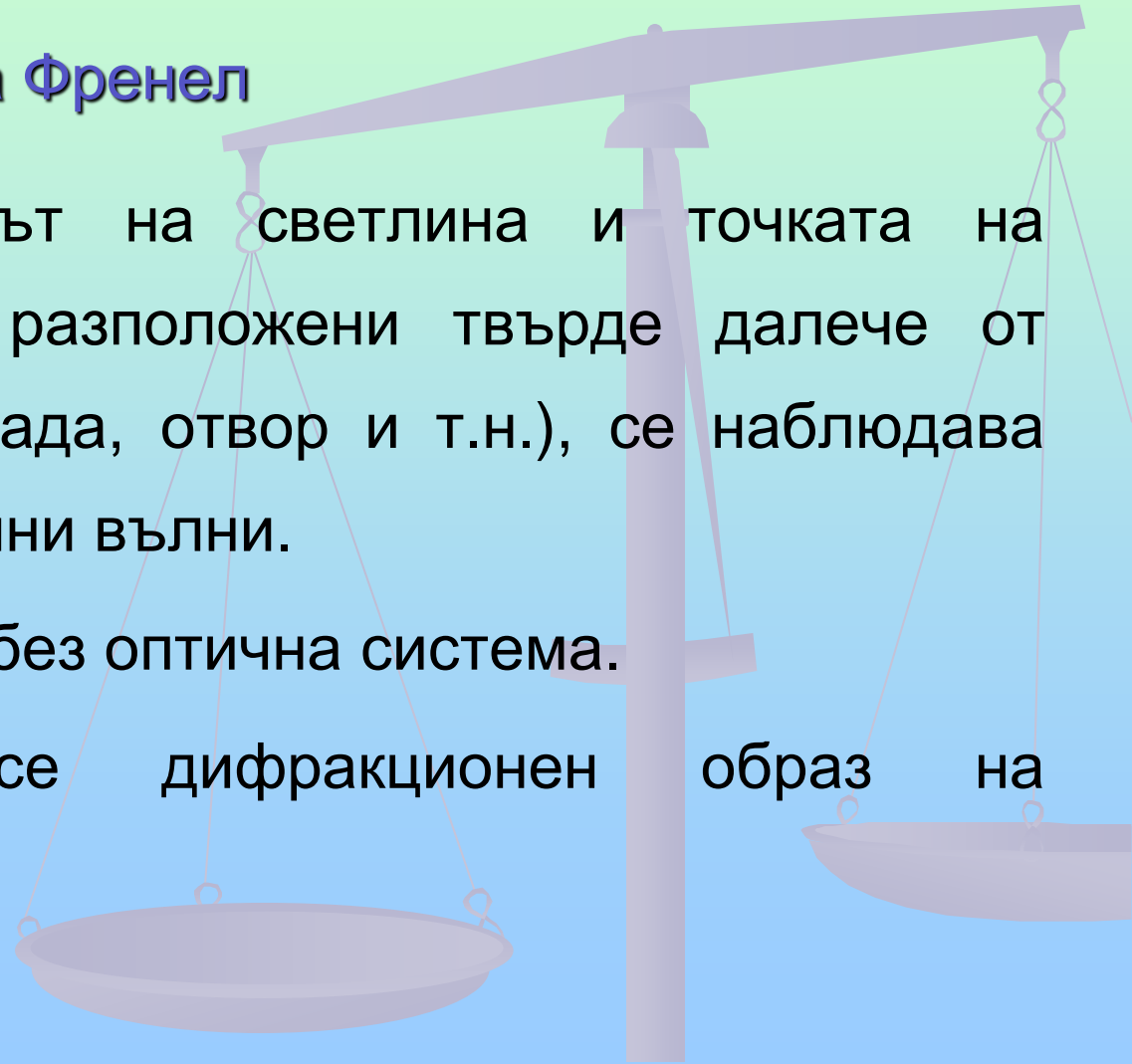
При изчисляване на амплитудата на трептене в т.Р, породено от светлинна вълна, разпространяваща се от реален източник, източникът може да се замени със съвкупност от вторични точкови източници, разположение по вълновата повърхност S.

4. Френелова и Фраунхоферова дифракция

Различават се два вида дифракция:

А) Дифракция на Френел

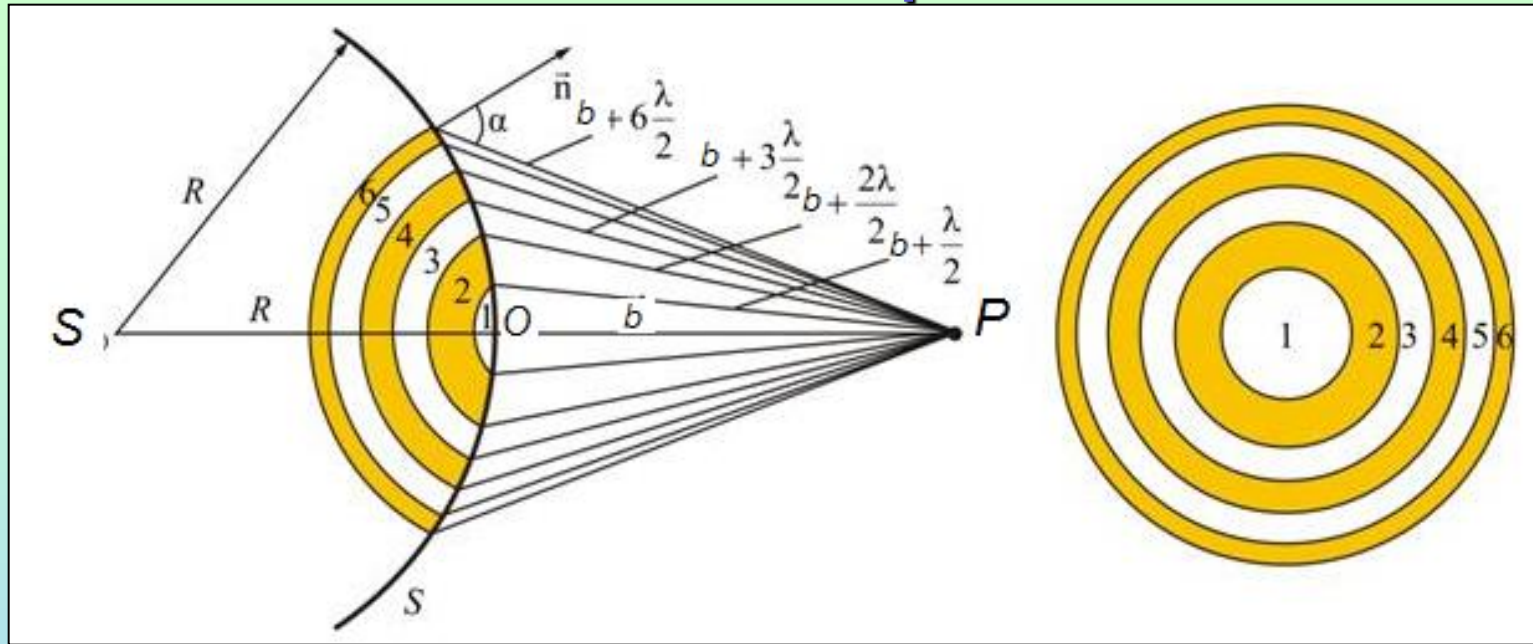
- ✓ Ако източникът на светлина и точката на наблюдение не са разположени твърде далече от препятствието (преграда, отвор и т.н.), се наблюдава дифракция на сферични вълни.
- ✓ Наблюдава се без оптична система.
- ✓ Наблюдава се дифракционен образ на препятствието.



В) Дифракция на Фраунхофер

- ✓ Ако източникът на светлина и точката на наблюдение са разположени от препятствието толкова далече, че лъчите образуват практически успореден сноп лъчи, се наблюдава дифракция на плоски вълни.
- ✓ Може да се наблюдава като след източника O и пред точката на наблюдение t . P се поставят лещи, така че $t.O$ и $t.P$ да са във фокалните равнини на лещите.
- ✓ Наблюдава се с оптична система - леща пред екрана.
- ✓ Наблюдава се дифракционен образ на източника.

5. Зони на Френел

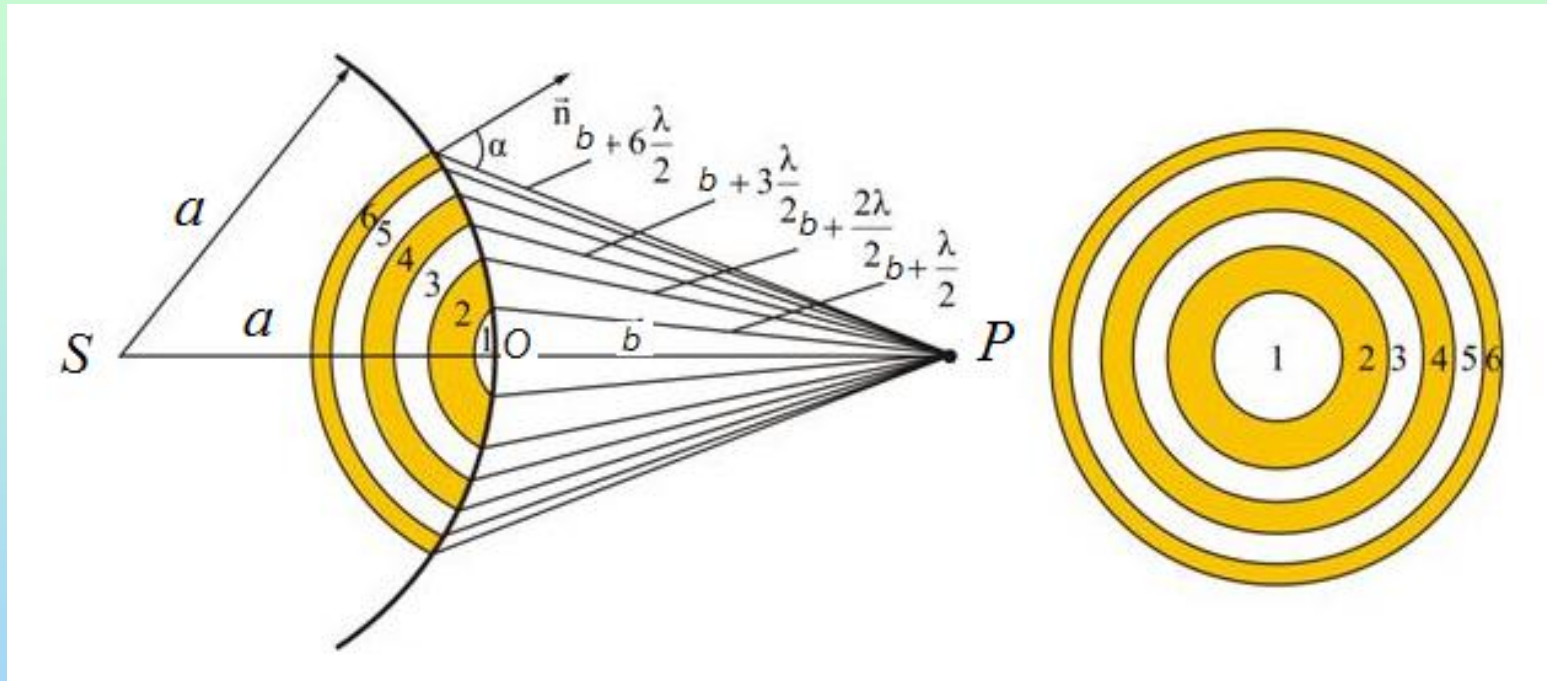


Трябва да се определи амплитудата на светлинното трептене в т. P, възбудено от сферична вълна, разпространяваща се в избрана еднородна среда от точков източник S.

Вълновата повърхност на тази вълна е симетрична спрямо правата SP.

5. Зони на Френел

Разделяме вълновата повърхност на кръгови зони.



(3) $b_m = b + m \cdot \frac{\lambda}{2}$ - разстояние от края на m -та зона до т.Р

b – разстояние от върха на вълновата повърхност до т.Р

Резултантните трептения, създавани от всяка зона, ще са в противофаза с тези, създадени от съседните зони.

- разлика в оптичните пътища за две съседни зони:

$$\Delta = \lambda/2,$$

- разлика във фазите за две съседни зони:

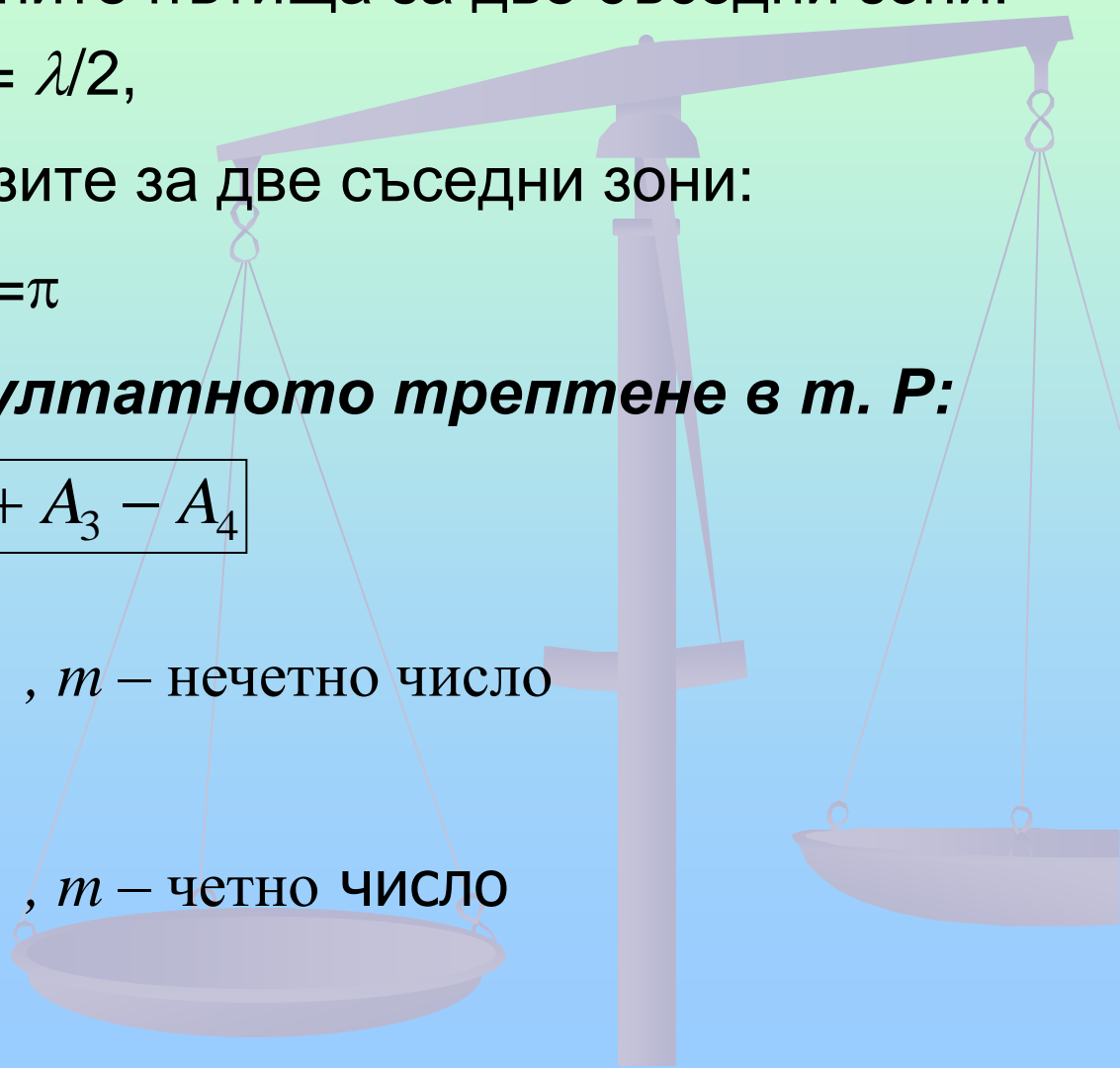
$$\delta = \pi$$

Амплитуда на резултатното трептене в m . P :

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4$$

$$A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}, \quad m - \text{нечетно число}$$

$$A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}, \quad m - \text{четно число}$$

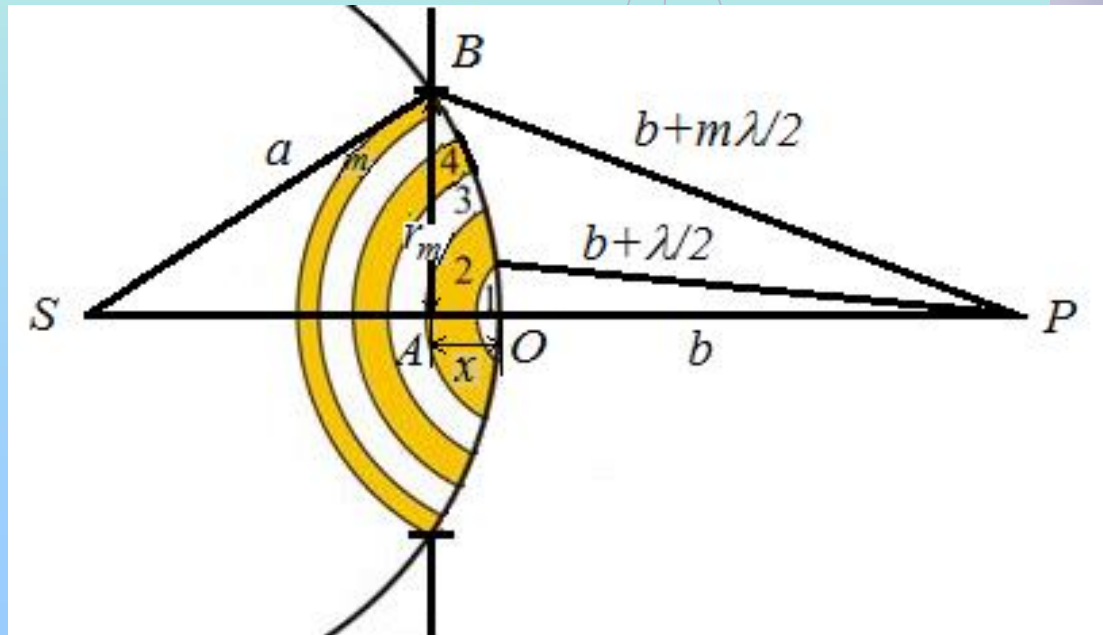


Да се определи броят на откритите зони на Френел - m .

Радиусът на последната открита $m^{\text{та}}$ френелова зона съвпада с радиуса на отвора r :

$$r = \sqrt{m \cdot \frac{a \cdot b}{a + b} \cdot \lambda}$$

$$m = \frac{r^2 (a + b)}{a \cdot b \cdot \lambda}$$



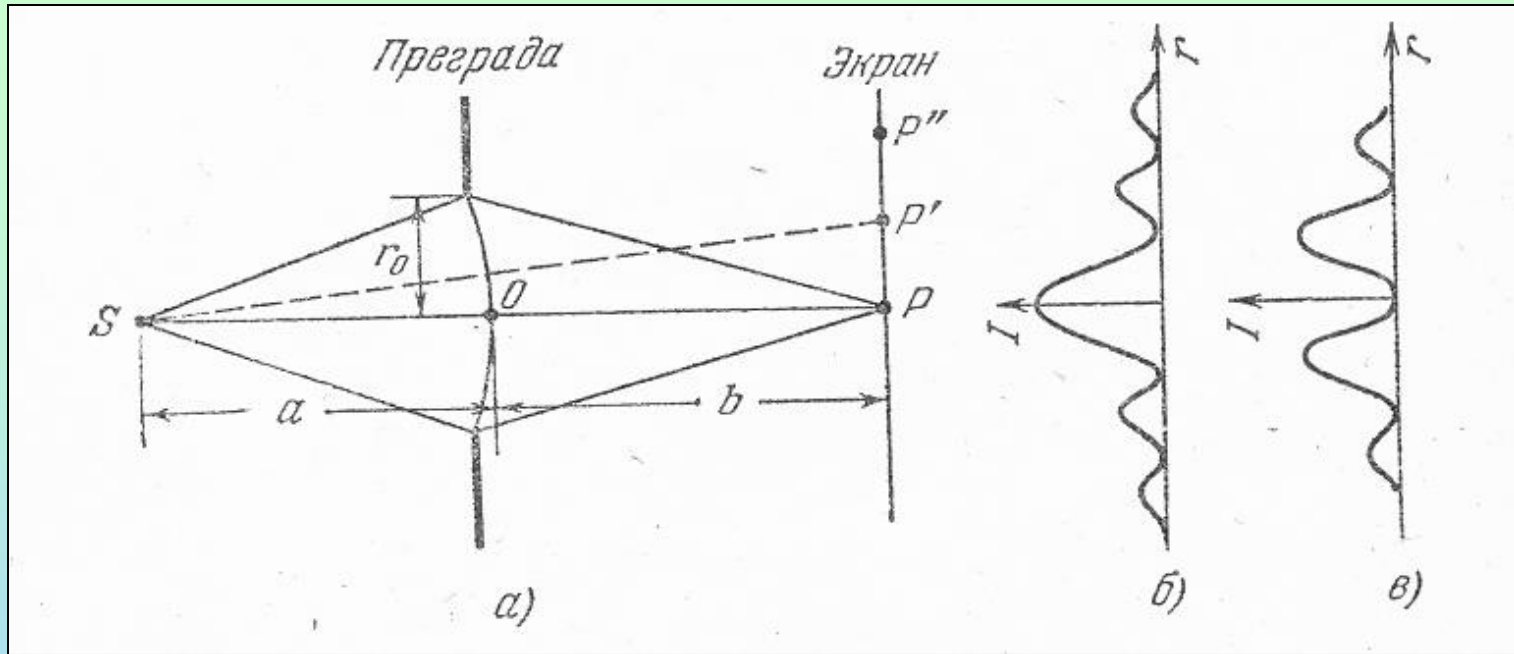
$$m = \frac{r^2(a+b)}{a \cdot b \cdot \lambda}$$

Броят на френеловите зони зависи от големината на отвора r , дължината на вълната λ , от радиуса на сферичната вълна a и от разстоянието b от т.О до екрана (в т.Р).

Следователно, изменяйки b ще се изменя и броят на френеловите зони, които ще се виждат от т.Р.

С нарастване на b ще намалява m , ще се откриват по-малко зони.

6. Дифракция от кръгъл отвор



Поставяме зад сферична вълна преграда с изрязан отвор, кръгъл с радиус r_0 . Както показахме, откриват се m на брой зони:

$$m = \frac{r^2}{\lambda} \cdot \frac{(a+b)}{a \cdot b}, \quad r = r_0$$

В т.Р за амплитудата се получава:

$$A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}, m - \text{нечетно}; \quad A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}, m - \text{четно}$$

А/ За много малки m , например 1, 2, 3, 4, 5

а) нечетно: $I = c.A_1^2$

$$m = 1, \quad A = A_1;$$

$$m = 3, \quad A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_3}{2} \approx A_1, \quad A_1 \approx A_3$$

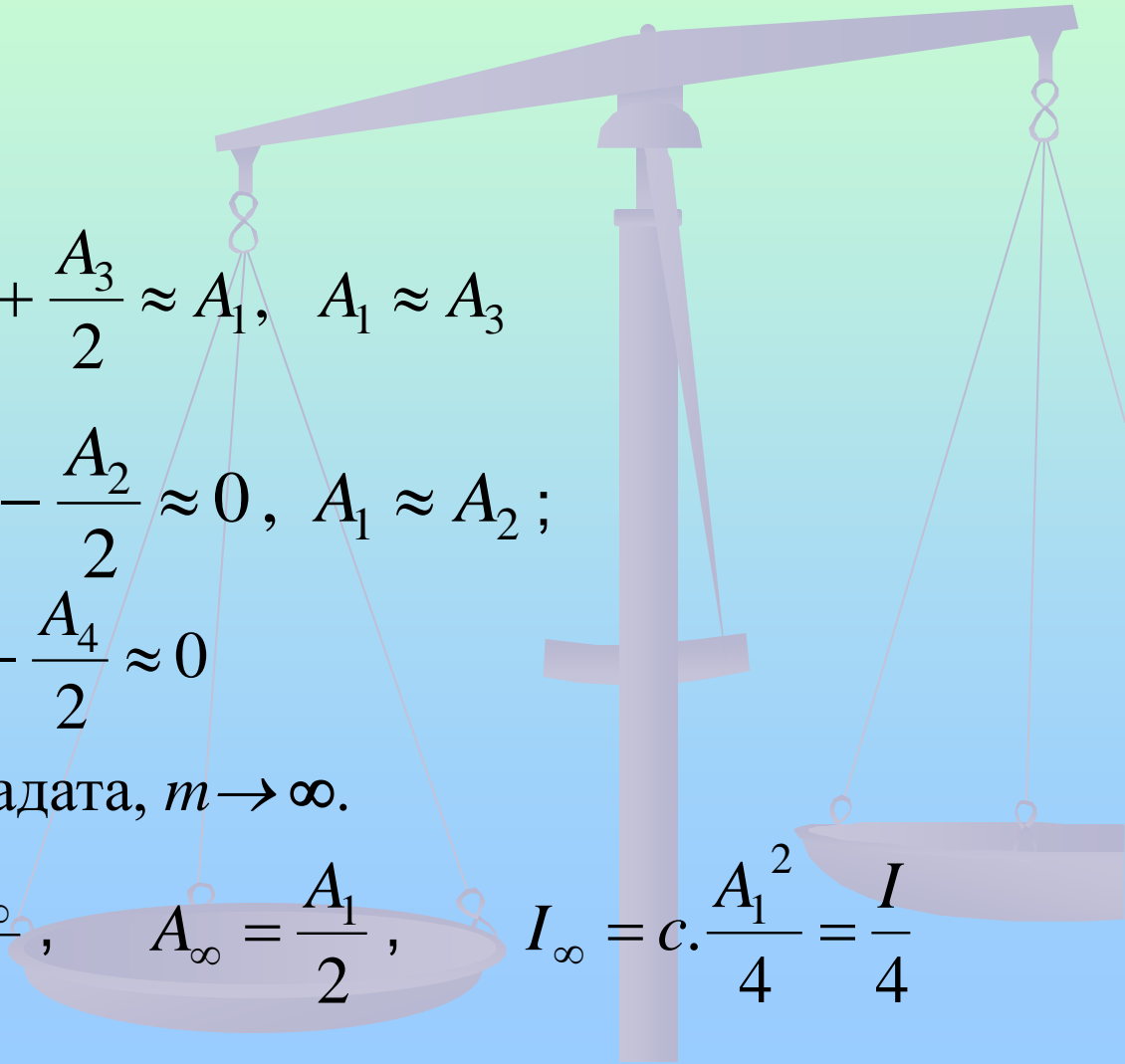
б) четно: $I = 0$

$$m = 2, \quad A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_2}{2} \approx 0, \quad A_1 \approx A_2;$$

$$m = 4, \quad A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_4}{2} \approx 0$$

Б/ Ако премахнем преградата, $m \rightarrow \infty$.

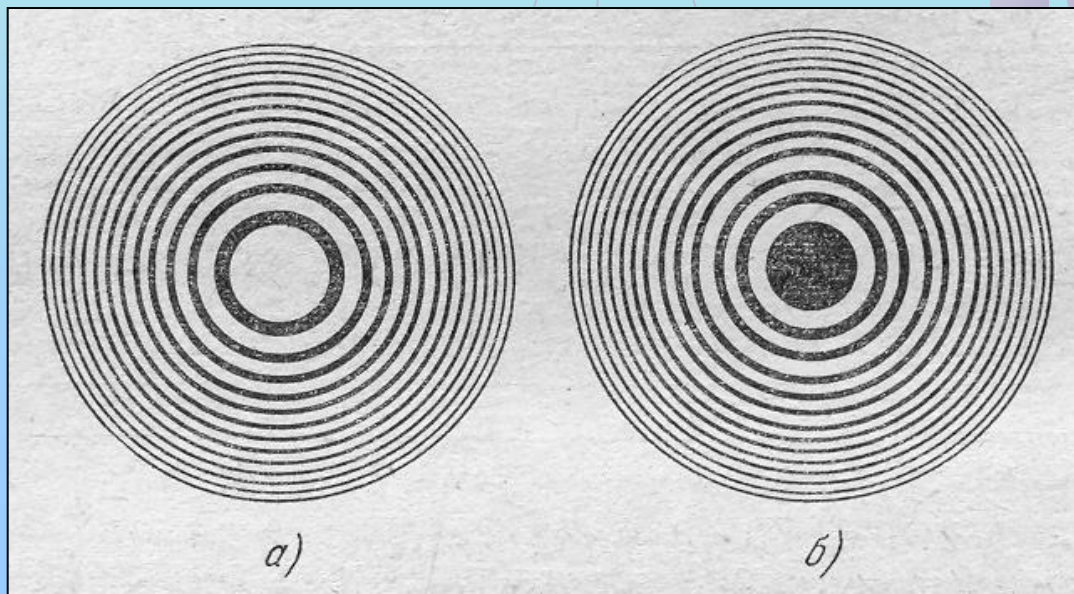
$$\text{В т. Р: } A_\infty = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A'_\infty}{2}, \quad A_\infty = \frac{A_1}{2}, \quad I_\infty = c \cdot \frac{A_1^2}{4} = \frac{I}{4}$$



Преграда с неголям, нечетен брой открити зони на Френел ($m = 1; 3$) увеличава осветеността в т.Р почти 4 пъти, т.к. амплитудата е 2 пъти по-голяма.

$$A = A_1, I = c.A_1^2 - \text{с преграда}; A_\infty = \frac{A_1}{2}, I_\infty = c.\frac{A_1^2}{4} - \text{без преграда}$$

Дифракционната картина от кръгъл отвор е редуващи се светли и тъмни концентрични кръгове. В център ще е светло петно (нечетно m) – фиг.а) или тъмно петно (четно m) – фиг.б).



Задача 1. Как ще се измени интензитетът на светлината във фокуса на зонна пластинка, ако се закрият всички зони освен първата? Интензитетът на светлината без пластинката е I_0 .

$$I_0 = cA^2$$

$$A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2}$$

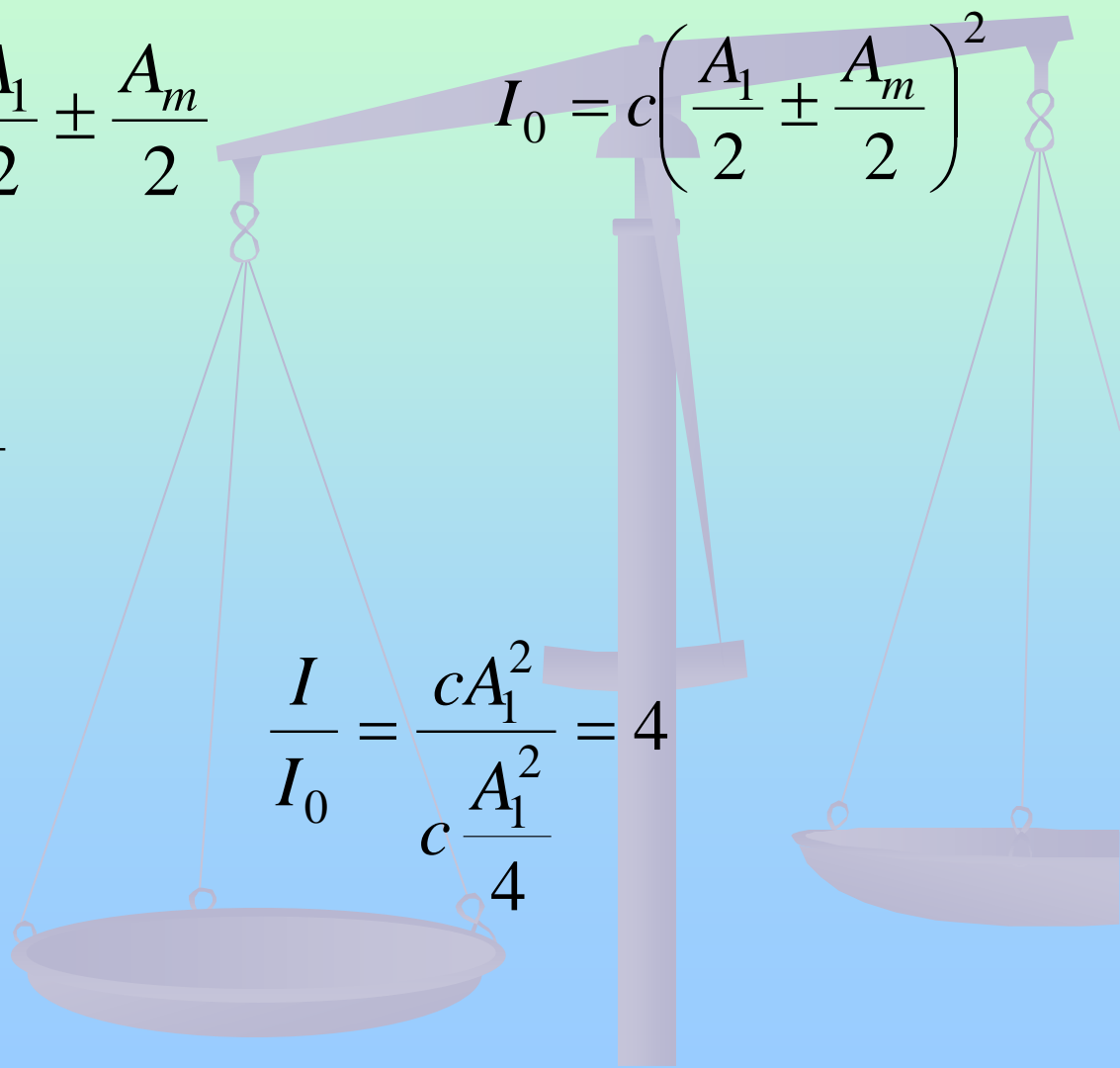
$$I_0 = c \left(\frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2} \right)^2$$

$$m \rightarrow \infty$$

$$I_0 = c \frac{A_1^2}{4}$$

$$I = cA_1^2$$

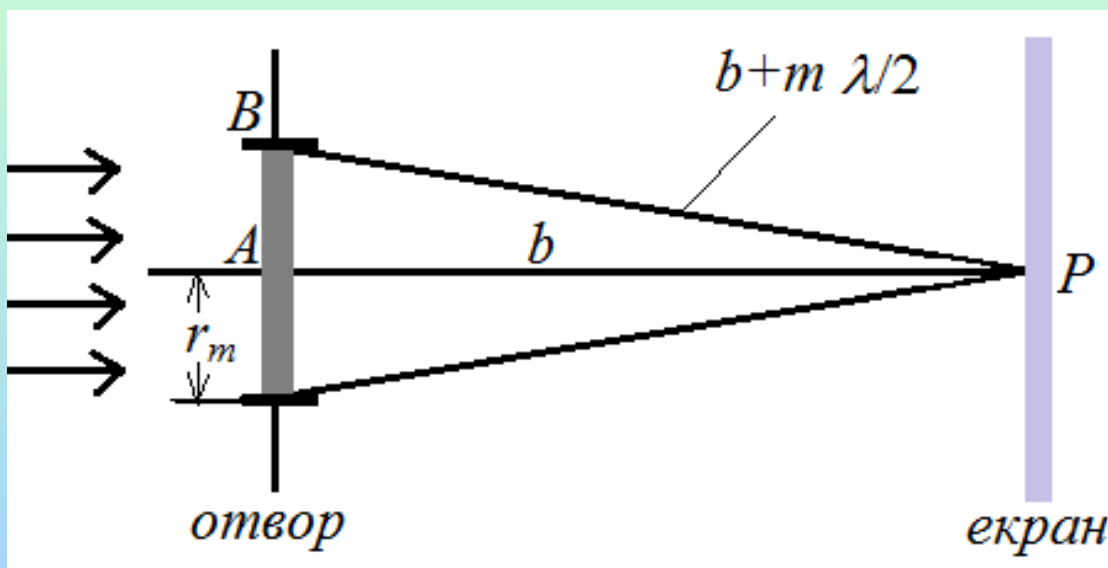
$$\frac{I}{I_0} = \frac{cA_1^2}{c \frac{A_1^2}{4}} = 4$$



Задача 2. Върху пластинка с кръгъл отвор, пада плоска монохроматична вълна с дължина на вълната λ . На разстояние b се намира екран с точка на наблюдение P . Определете:

а) радиуса на m -тата зона на Френел;

б) радиуса на втората зона на Френел, при $b=10$ m, $\lambda=450$ nm.



$$\left(b + m \frac{\lambda}{2}\right)^2 = r_m^2 + b^2$$

$$b^2 + bm\lambda + \frac{m^2 \lambda^2}{4} = r_m^2 + b^2$$

$$\frac{m^2 \lambda^2}{4} \rightarrow \infty \quad r_m^2 = bm\lambda$$

$$r_m = \sqrt{bm\lambda}$$

$$r_2 = \sqrt{2b\lambda}$$

$$r_2 = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 450 \cdot 10^{-9}} = 30 \cdot 10^{-4} = 3 \text{ mm}$$

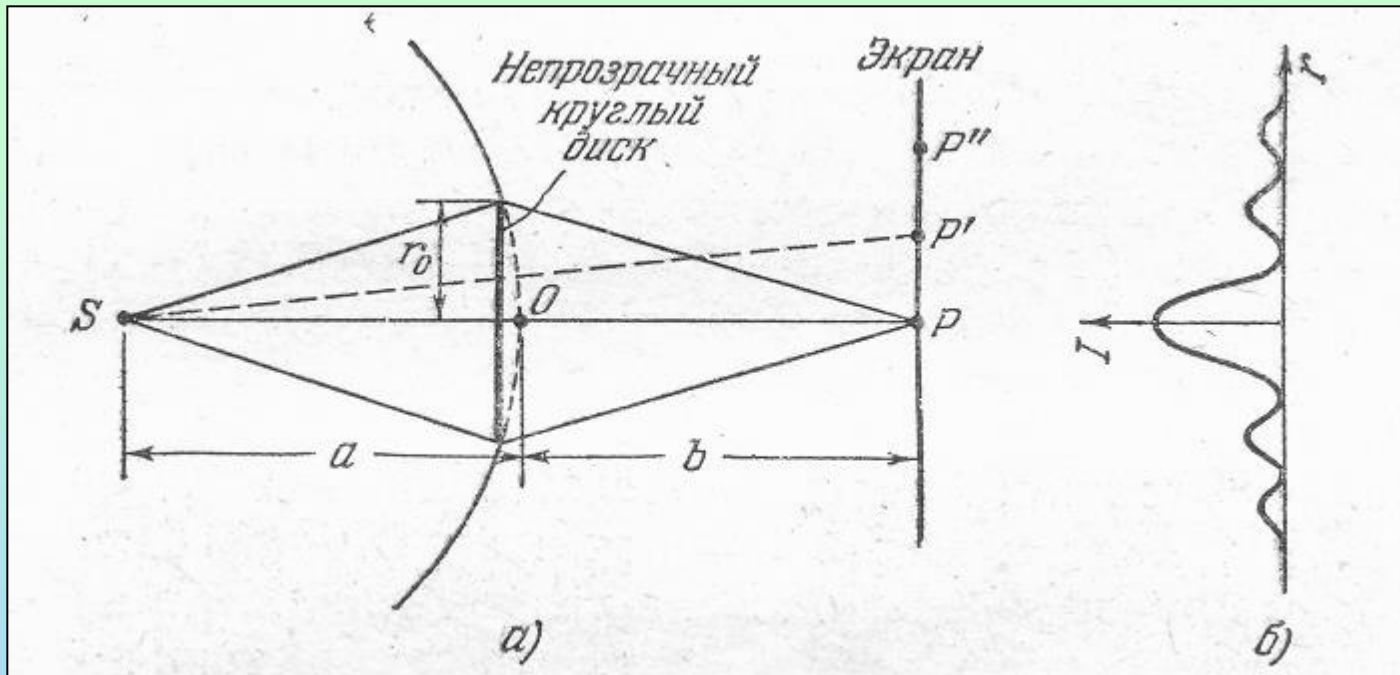
Задача 3. Монохроматична светлина с дължина на вълната $\lambda = 500\text{nm}$ пада нормално на диафрагма с кръгъл отвор с радиус $r=3\text{mm}$. Определете на какво разстояние от диафрагмата трябва да се намира екранът за наблюдение на дифракционна картина, за да може в отвора да се съдържат

$$m = \frac{(a+b)r^2}{ab\lambda} = \frac{ar^2}{ab\lambda} + \frac{br^2}{ab\lambda} = \frac{r^2}{b\lambda} + \frac{r^2}{a\lambda}$$

$$a \rightarrow \infty \quad \frac{r^2}{a\lambda} \rightarrow 0$$

$$b = \frac{r^2}{n\lambda} \quad b = \frac{(3 \cdot 10^{-3})^2}{5.500 \cdot 10^{-9}} = 0,0036 \cdot 10^3 = 3,6\text{m}$$

7. Дифракция зад кръгъл непрозрачен екран



Поставяме зад източника S непрозрачен кръгъл екран с радиус r_0 . Той закрива първите m зони на Френел.

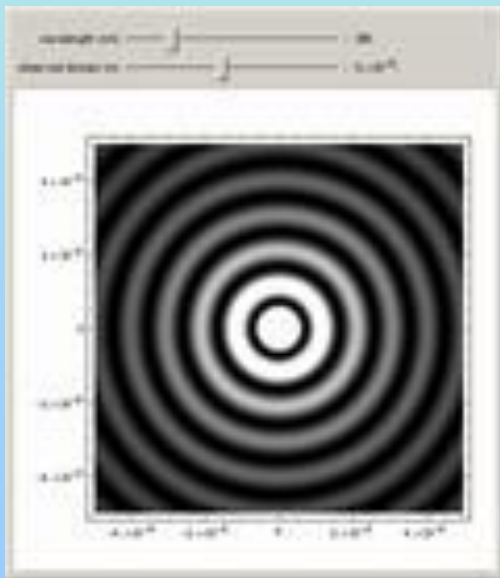
В т. Р:

$$A(P) = A_{m+1} - A_{m+2} + A_{m+3} \dots = \frac{A_{m+1}}{2} + \left(\frac{A_{m+1}}{2} - A_{m+2} + \frac{A_{m+3}}{2} \right) + \dots$$

Изразът в скобите е $\sim 0 \Rightarrow A(P) = \frac{A_{m+1}}{2}$, $I(P) = \frac{1}{4} c \cdot A_{m+1}^2$

Ако m е малко: $I_\infty = c \cdot \frac{1}{4} A_1^2$

$A_{m+1} \approx A_1$, $I(P) \approx I_\infty(P)$ - при отсъствие на преграда,



Дифракционната картина е редуващи се светли и тъмни концентрични кръгове. Винаги в центъра има светло петно – петно на Пуасон. То зависи от броя на френеловите зони.

Задача 4. Какъв ще бъде интензитетът на светлината в центъра на дифракционна картина от кръгла преграда, която закрива първите n зони на Френел? Разгледайте случая за една закрыта зона. Нека интензитетът на светлината без преграда е I_0 .

$$I_0 = cA^2 \quad A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2} \quad I_0 = c \left(\frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2} \right)^2$$

$$m \rightarrow \infty \quad I_0 = c \frac{A_1^2}{4}$$

$$I_n = c \left(\frac{A_{n+1}}{2} \pm \frac{A_\infty}{2} \right)^2$$

$$\frac{I_n}{I_0} = \frac{c \frac{A_{n+1}^2}{4}}{c \frac{A_1^2}{4}} = \left(\frac{A_{n+1}}{A_1} \right)^2$$

$$n = 1 \quad \frac{I_2}{I_0} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \approx 1$$