

Тема 8. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

8.1. Принцип Гюйгенса-Френеля

8.2. Метод зон Френеля

8.3. Дифракция Френеля от простейших преград

8.4. Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

8.5. Дифракция на пространственных решетках.

~~Дифракция рентгеновских лучей~~

8.6. Понятие о голографии

Введение

Дифракция света – в узком смысле – огибание лучами света границы непрозрачных тел (экранов); проникновение света в область геометрической тени.

В широком смысле дифракция света – проявление волновых свойств света в предельных условиях перехода от волновой оптики к геометрической.

Примерами дифракции света являются рассеяние света каплями тумана, формирование изображения оптическими системами (например, микроскопом) и т.п.

Наиболее рельефно дифракция света проявляется в областях резкого изменения плотности потока лучей: вблизи фокуса линзы, границ геометрической тени и др.

Разница между дифракцией и интерференцией проявляется в том, что дифракция – есть наложение волн от большого числа источников когерентных волн. При интерференции - всего два источника.

Красный свет сильнее дифрагирует (сильнее отклоняется границами тел), чем фиолетовый, т.е. разложение белого света в спектр, вызванное дифракцией, имеет обратную последовательность цветов чем при разложении света в призме.

Проникновение света в область геометрической тени было известно уже в XVI–XVII вв., однако объяснение этому было дано лишь в XIX в.

Первая волновая трактовка дифракции волн дана Юнгом 1800 г., вторая – О. Френелем 1815.

В картине волнового поля, возникающей за препятствием, Юнг усматривал сочетание собственно дифракции волн и интерференции.

Согласно Юнгу, возникновение дифрагированной волны имеет локальный характер и происходит в некоторой окрестности границы тени за краем препятствия.

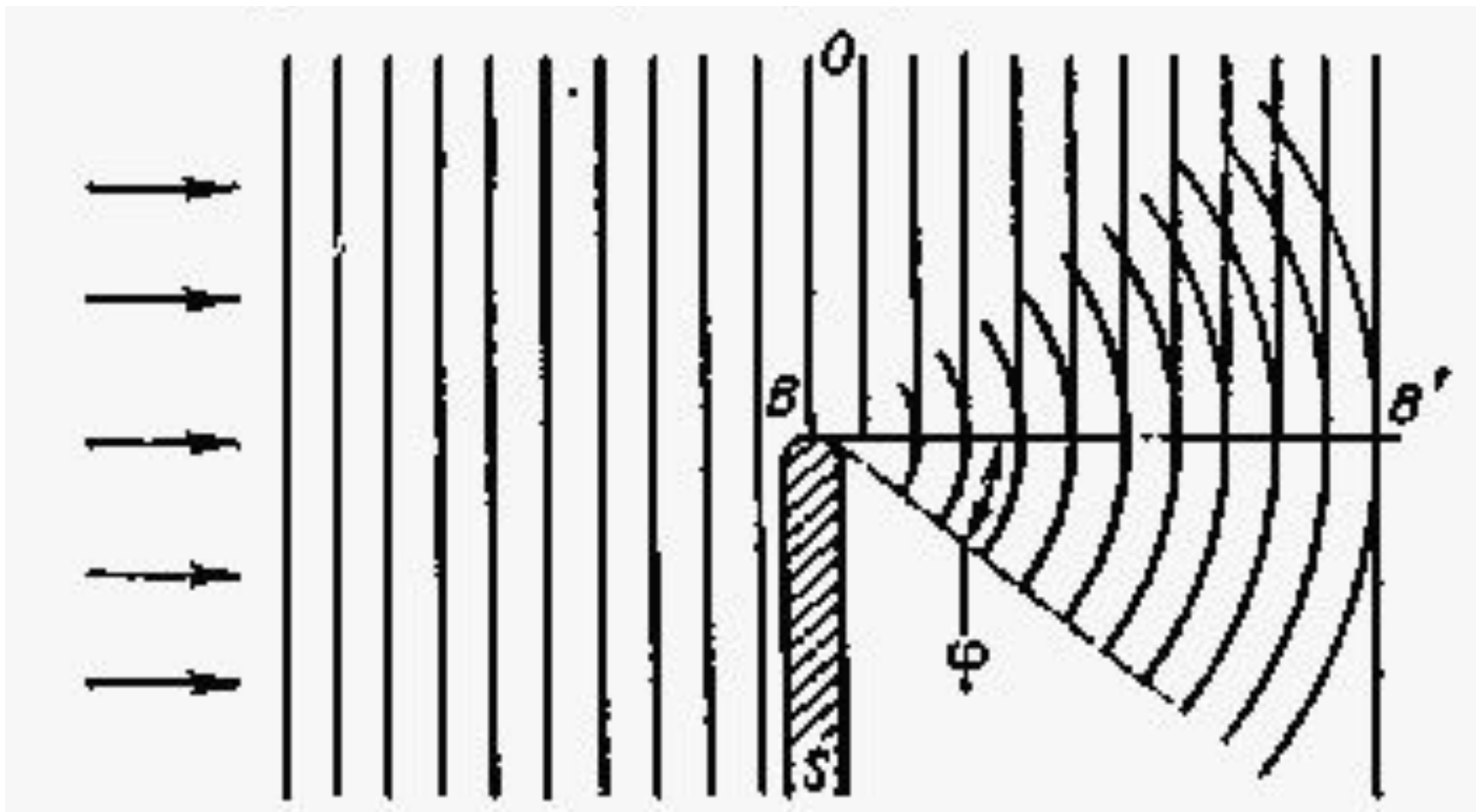
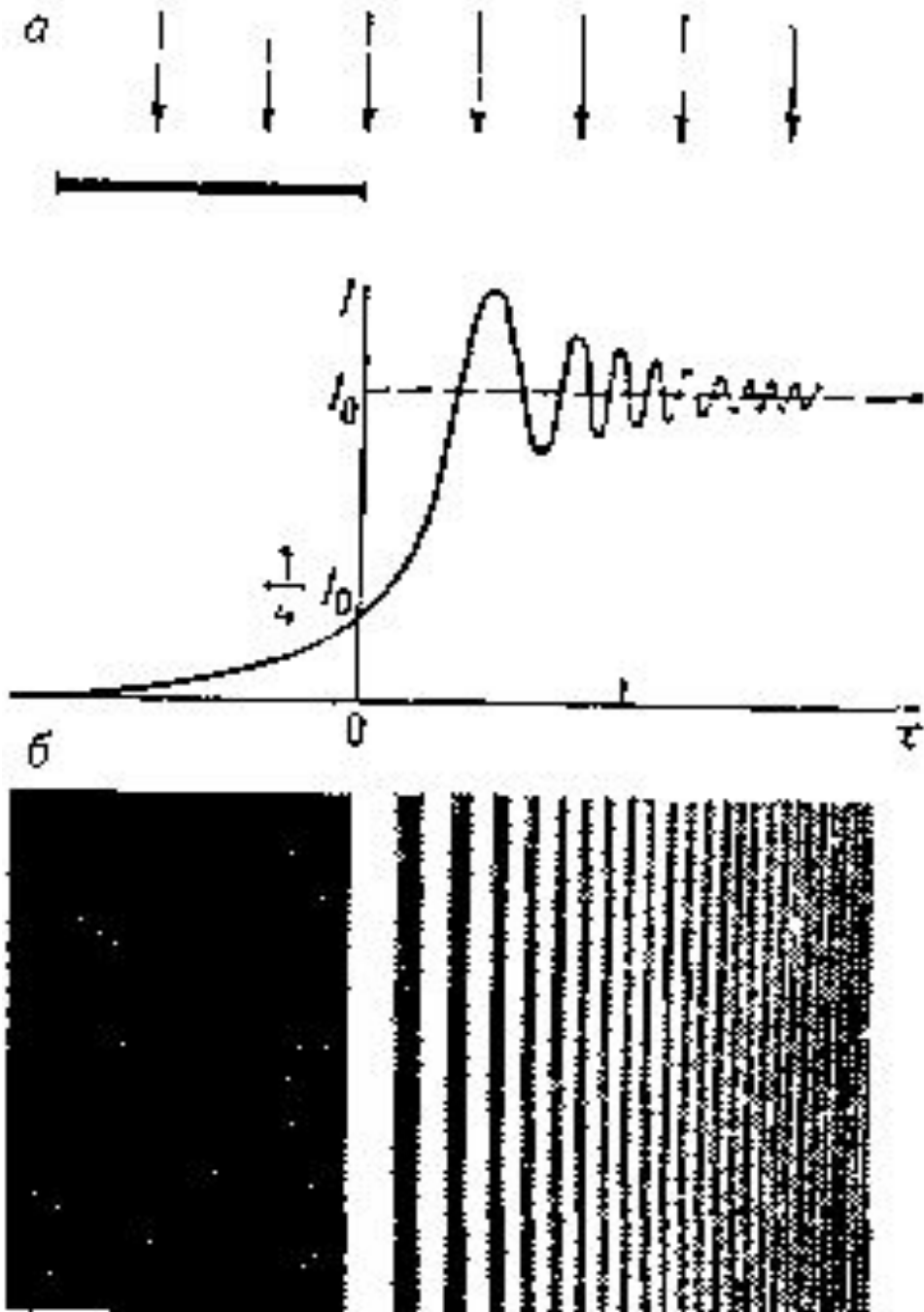


Схема дифракции волн от края экрана по Юнгу



Дифракция плоского волнового фронта на полуплоскости;

a – графическое распределение интенсивности I ;

б – дифракционная картина

Дифракция света, по Френелю, – результат интерференции вторичных волн. Несмотря на недостатки, эта теория сохранила свое значение и служит основой расчетов дифракционных эффектов в инструментальной оптике.

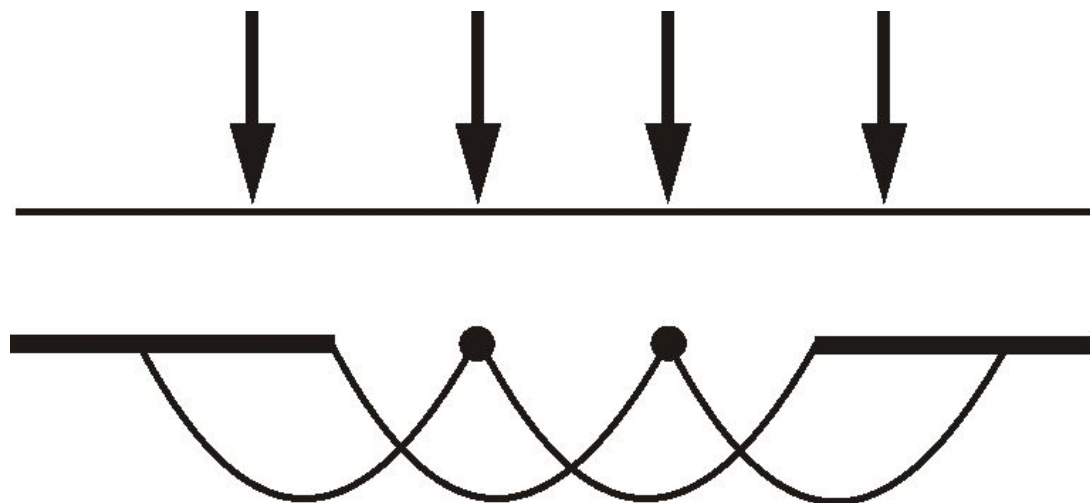
Явление дифракции применяется для изучения спектров излучения и поглощения различных веществ, а также применяется для исследования структуры строения веществ в рентгеноструктурном анализе.

Широко известный голографический способ восстановления объёмного изображения объекта также основан на явлении дифракции опорной волны на голограмме объекта, записанной на фотопластинке, также благодаря дифракции на ней опорной волны.

8.1. Принцип Гюйгенса-Френеля и дифракция

Дифракцией называется совокупность явлений наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями, размеры которых сравнимы с длиной волны, и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики.

Явление дифракции объясняется с помощью **принципа Гюйгенса**, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн задает положение волнового фронта в следующий момент времени.



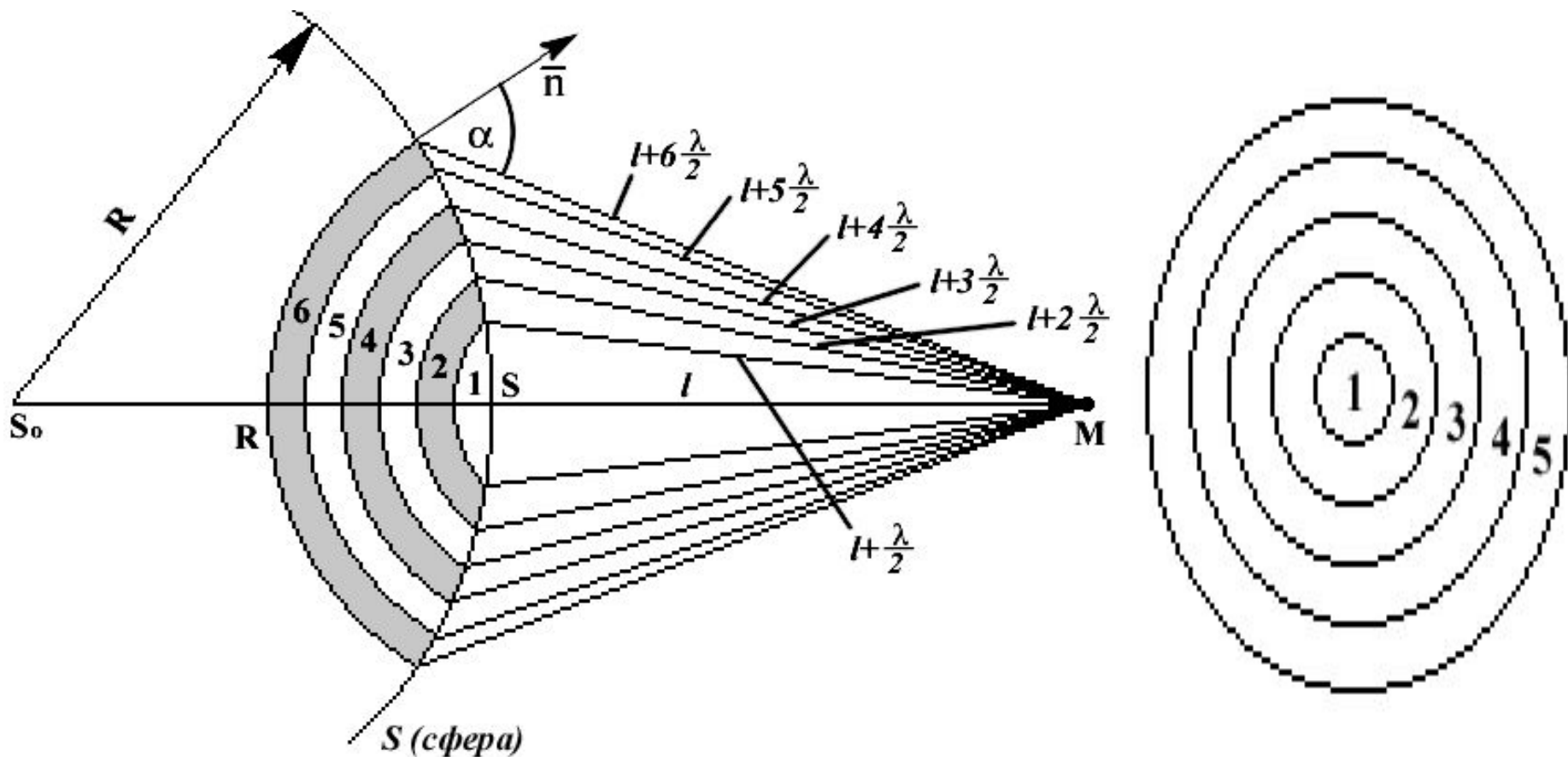
Согласно *принципу Гюйгенса*: каждую точку фронта волны можно рассматривать как источник вторичных волн.

Френель существенно развил этот принцип.

- *Все вторичные источники фронта волны, исходящей из одного источника, когерентны между собой.*
- *Равные по площади участки волновой поверхности излучают равные интенсивности.*
- *Каждый вторичный источник излучает свет преимущественно в направлении внешней нормали к волновой поверхности в этой точке.*
- *Для вторичных источников справедлив принцип суперпозиции.*

8.2. Метод зон Френеля

Границей первой (центральной) зоны служат точки поверхности S , находящиеся на расстоянии $l + \lambda/2$ от точки M . Колебания в точке M от соседних зон - противоположны по фазе



В случае, когда расстояние a до источника света S и расстояние b до точки наблюдения P много больше размеров зон Френеля, то поверхность ΔS_m m -ой зоны Френеля определяются по формуле и одинакова для всех зон

$$\Delta S_m = \frac{\pi ab \lambda}{a + b}$$

При сложении колебаний соседних зон, они должны взаимно ослаблять друг друга:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots + A_i$$

площади соседних зон одинаковы, а амплитуды

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_i > \dots$$

при $R = l = 0,1 \text{ м}$, $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 500 \text{ нм}$, число зон $N \approx 3 \cdot 10^5$, а радиус первой зоны $r_1 \approx 0,16 \text{ мм}$.

Амплитуды волн, приходящих в точку M от соседних зон примерно равны.

Результирующая амплитуда $A = \frac{A_1}{2}$.

Интенсивность излучения $J \sim A^2$.

Результирующая амплитуда, создаваемая в некоторой точке M всей сферической поверхностью, равна половине амплитуды, создаваемой одной лишь центральной зоной, а интенсивность $J = J_1 / 4$.

Интенсивность света увеличивается, если закрыть все четные зоны:

$$J = 4J_1$$

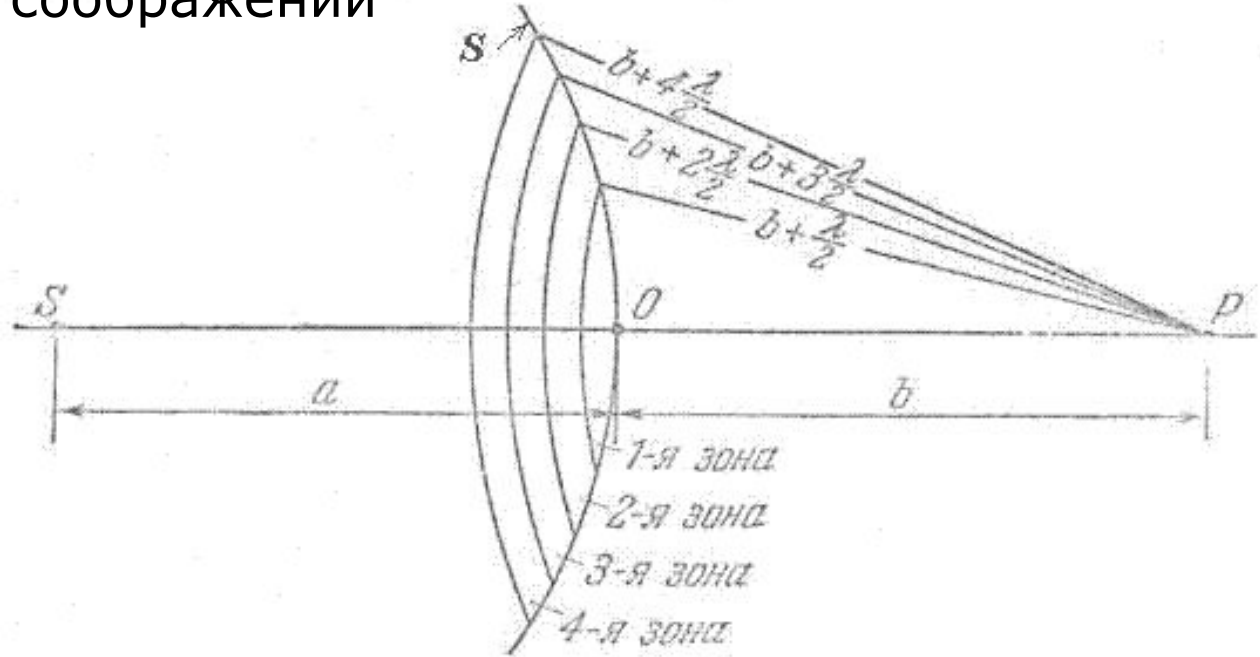
Если на пути световых волн поставить пластинку, которая перекрывает все четные зоны, то интенсивность света в точке P резко возрастает. Такая пластина называется *зонной или линзой Вуда*.

Можно добиться ещё большей степени фокусировки излучения, если в линзе Вуда вместо кольцевых металлических экранов использовать диэлектрические, изменяющие на 180° фазу, проходящего через них света.

Зонная пластинка – перекрывает все четные зоны Френеля на волновой поверхности



Найдём радиус m -ой зоны Френеля. Как следует из геометрических соображений



$$r_m^2 = a^2 - (a - h_m)^2 = (b + 0.5m\lambda)^2 - (b + h_m)^2,$$

Пренебрегая λ^2 , для не очень больших m найдём h_m :

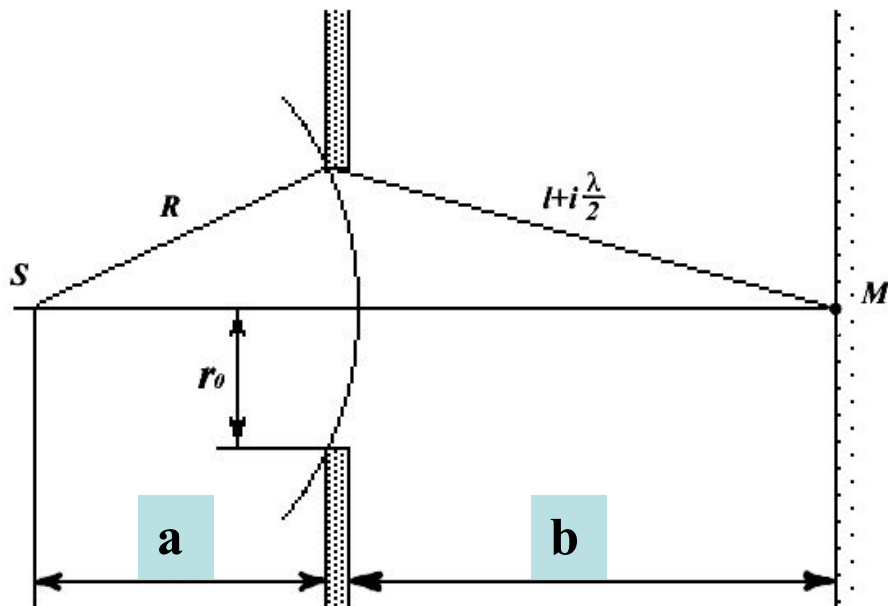
$$h_m = 0,5b_m / (a + b).$$

Если расстояние a до источника света S и расстояние b до точки наблюдения P много больше размеров зон Френеля, то радиус r_m

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m\lambda}$$

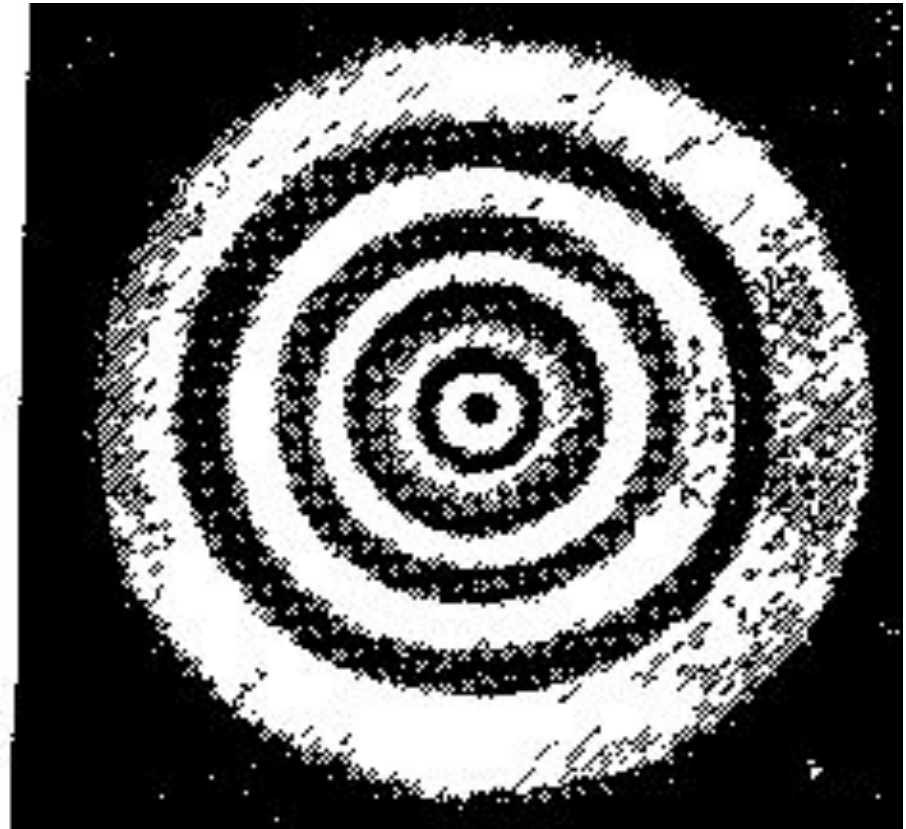
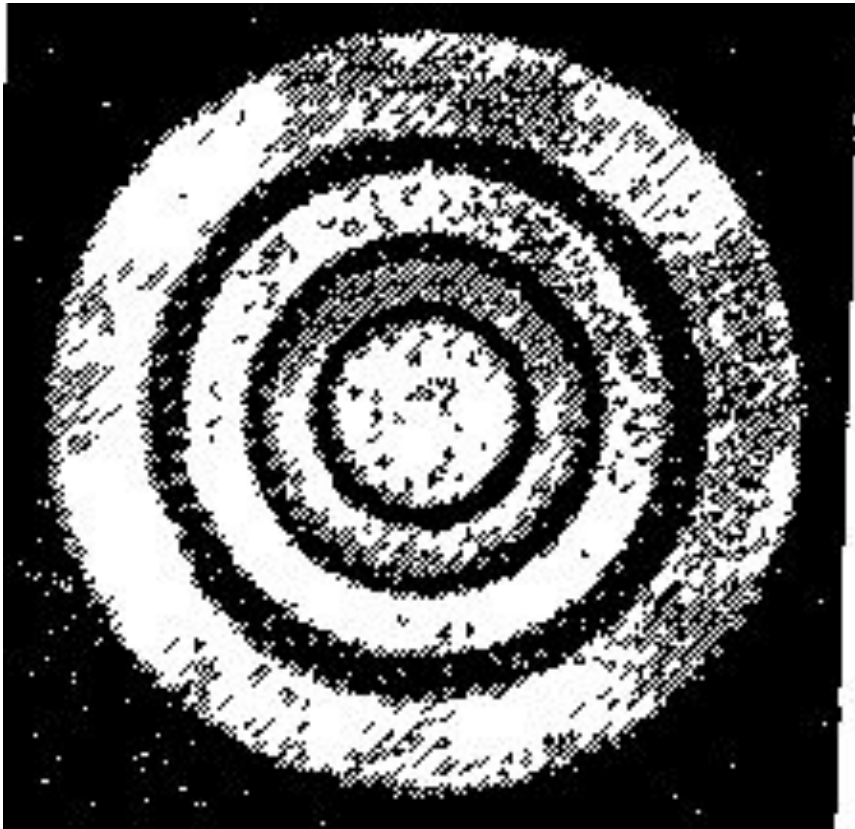
8.3. Дифракция Френеля от простейших преград

Дифракция от круглого отверстия



Вид дифракционной картины зависит от числа зон Френеля, открываемых отверстием.

$$A = \begin{cases} 1/2(A_1 + A_m) & (m - \text{нечетное}), \\ 1/2(A_1 - A_m) & (m - \text{четное}). \end{cases}$$

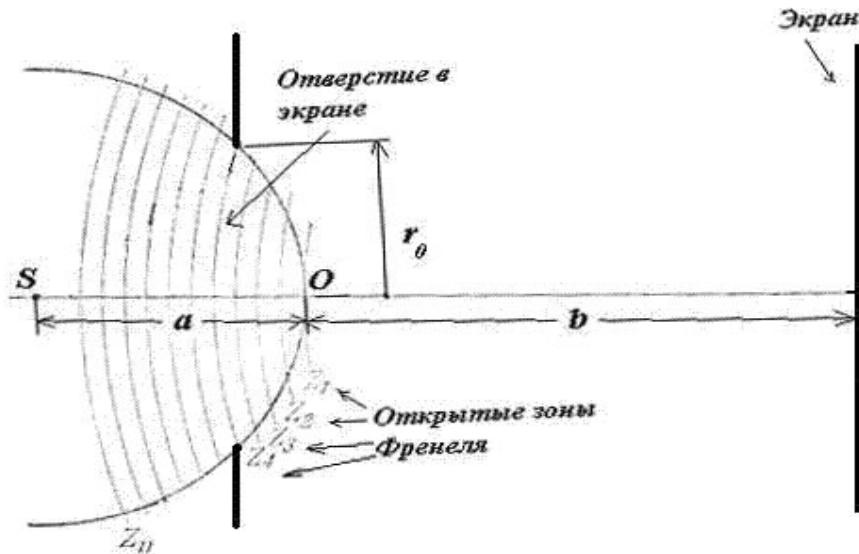


Дифракция на круглом отверстии при открытом нечетном (*a*) и четном (*b*) числе зон

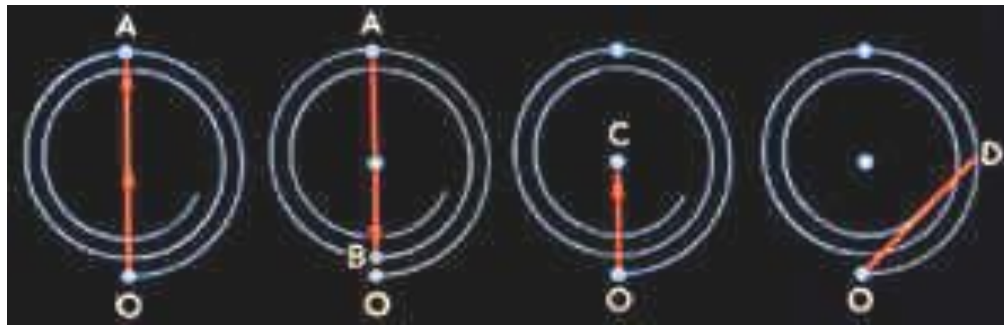
8.4. Векторная диаграмма (спираль Френеля)

Волновая поверхность разбивается на очень маленькие по ширине кольцевые зоны. Колебание, создаваемое в точке наблюдения P каждой из зон, изображается вектором A , длина которого равна амплитуде колебаний, а угол α дает начальную фазу. При сложении таких векторов получается векторная диаграмма (а). В пределе, при стремлении ширины зон к нулю, векторная диаграмма принимает вид спирали (б).



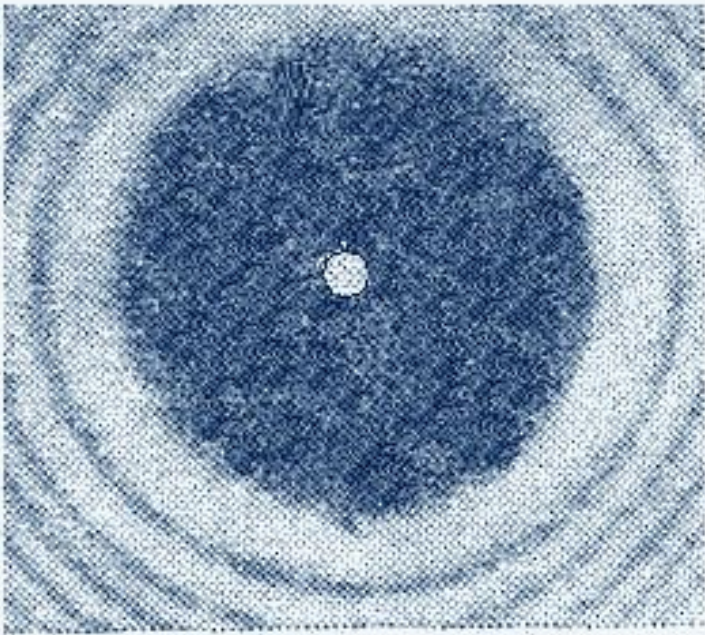


Колебания, возбуждаемые в точке P первой зоны Френеля, изображается вектором OA , второй – AB . Вектор OC соответствует колебанию, создаваемому всей волновой поверхностью, OD – половиной первой зоны Френеля. Из этих диаграмм видно, что амплитуда A , создаваемая всей волновой поверхностью, равна половине амплитуды A_1 , создаваемой одной центральной зоной.

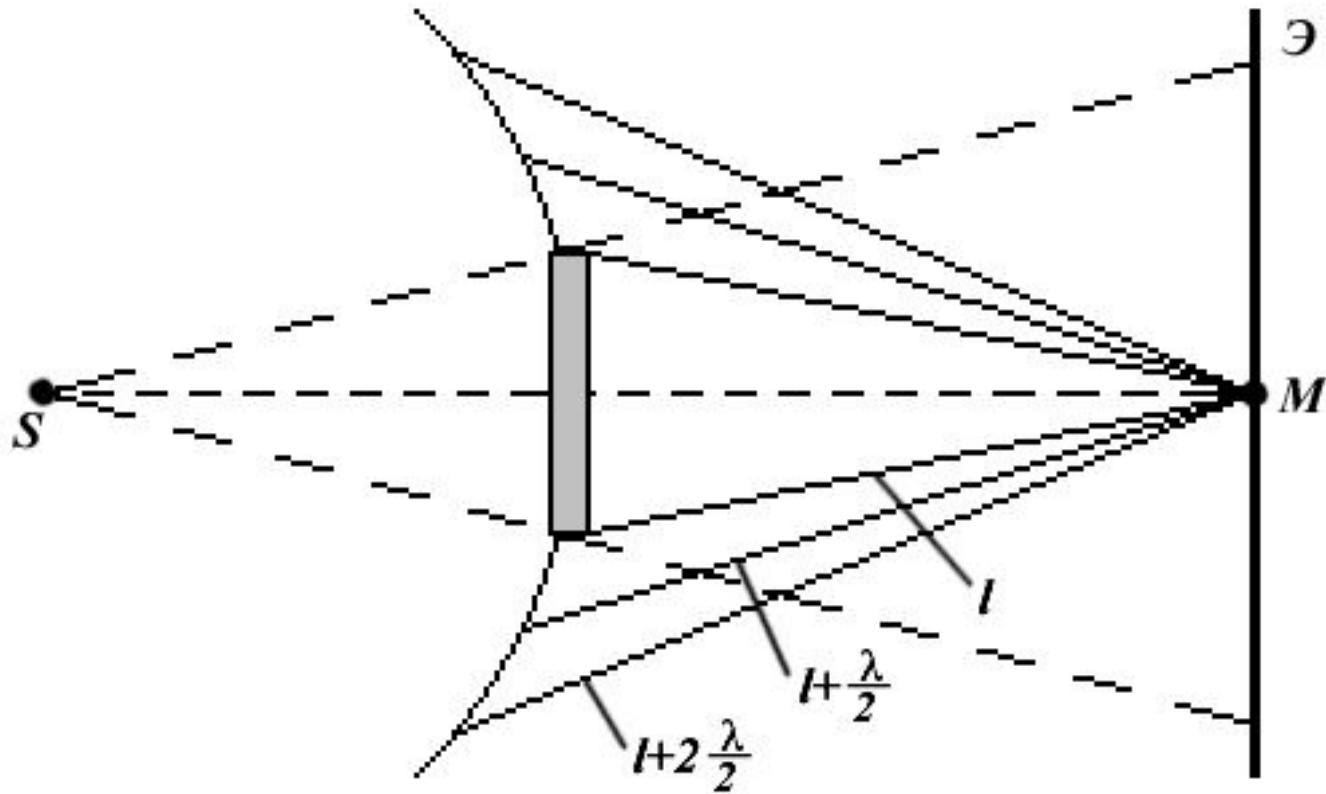


8.5. Дифракция от диска

Метод Френеля также качественно объясняет причину засвечивания в области геометрической тени от круглого диска: светлое пятнышко (так называемое пятно Пуассона) создается вторичными волнами первой кольцевой зоны Френеля, окружающей экран.



Дифракционная картина от круглого диска; в центре геометрической тени — светлое пятно — пятно Пуассона



Освещенность в точке M будет такой же, как и в отсутствие экрана. Вследствие симметрии центральная светлая точка будет окружена кольцами света и тени «Пятно Пуассона» (вне границ геометрической тени).

Если закрыть m первых зон Френеля, то амплитуда в точке M будет равна

$$A = A_{m+1} - A_{m+2} - \dots = A_{m+1}/2 + (A_{m+1}/2 - A_{m+2} + A_{m+3}/2) + \dots = A_{m+1}/2.$$

Таким образом, в центре геометрической тени, в точке P будет светлое пятно.

Светлое пятно в центре тени послужило причиной инцидента, происшедшего между Пуассоном и Френелем.

Парижская академия наук предложила дифракцию света в качестве темы на **премию** за 1818 г. **Френелем** была представлена **работа**, в которой все известные к тому времени оптические явления объяснялись с волновой точки зрения.

Пуассон, бывший членом конкурсной комиссии, обратил внимание на то, что из теории Френеля вытекает нелепый вывод, что в центре тени, отбрасываемой небольшим круглым диском, должно находиться **светлое пятно**. **Араго** тут же произвёл опыт и **обнаружил, что такое пятно действительно существует**. Это принесло победу и всеобщее признание волновой теории света.