

ЛЕКЦИЯ 12

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Интерференция, получаемая делением амплитуды:

- *интерференция при отражении от плоскопараллельной пластинки и клина;*
- *кольца Ньютона.*

2. Дифракция:

- *принцип Гюйгенса-Френеля.*
- *метод зон Френеля.*
- *зонная пластинка*

Интерференция световых волн

Интерференция, получаемая делением амплитуды

Интерференция при отражении от тонких пластинок.

При падении световой волны на тонкую прозрачную пластинку или пленку происходит отражение от обеих поверхностей пластинки.

В результате возникают две световые волны, которые могут интерферировать.

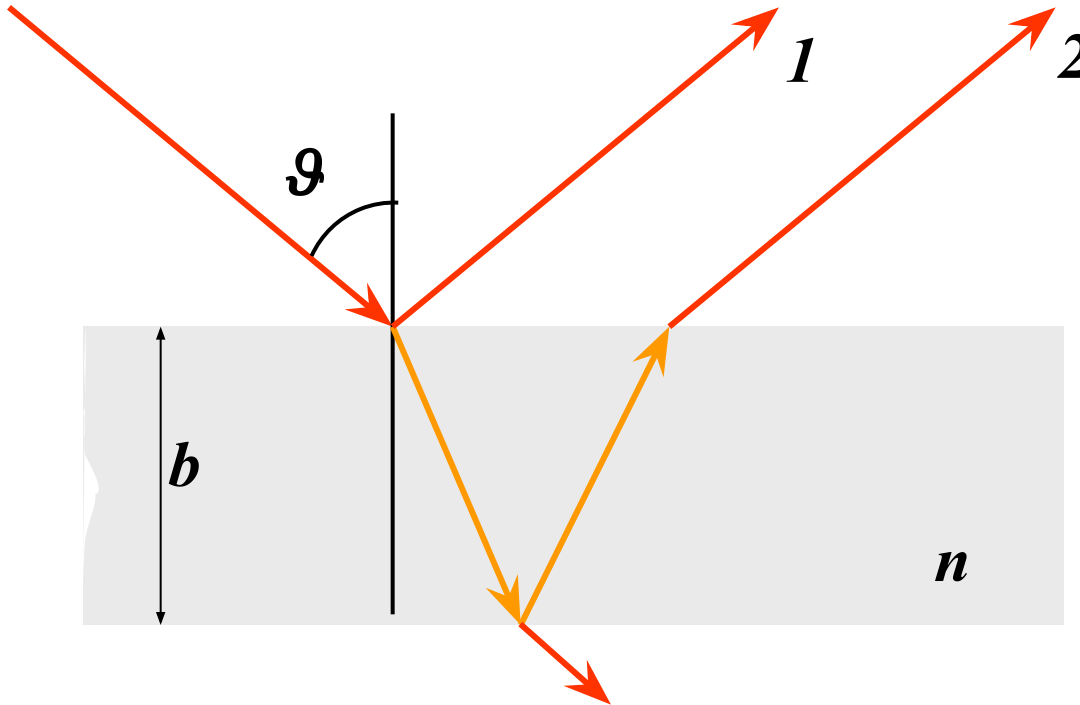
На пластинке происходит *деление амплитуды*, поскольку фронты волн на ней сохраняются, меняя лишь направление своего движения.

Пусть на прозрачную плоскопараллельную пластинку под углом θ (рис. 1) относительно нормали к пластинке падает плоская световая волна, которую можно рассматривать как параллельный пучок лучей.

Пластинка отражает вверх два параллельных пучка света, один из которых образовался за счет отражения от верхней поверхности пластинки, другой – от нижней поверхности.

Интерференция световых волн

Интерференция при отражении от тонких пластинок.



n - показатель преломления среды.

Амплитуды волн 1 и 2 мало отличаются друг от друга, картина интерференции контрастная.

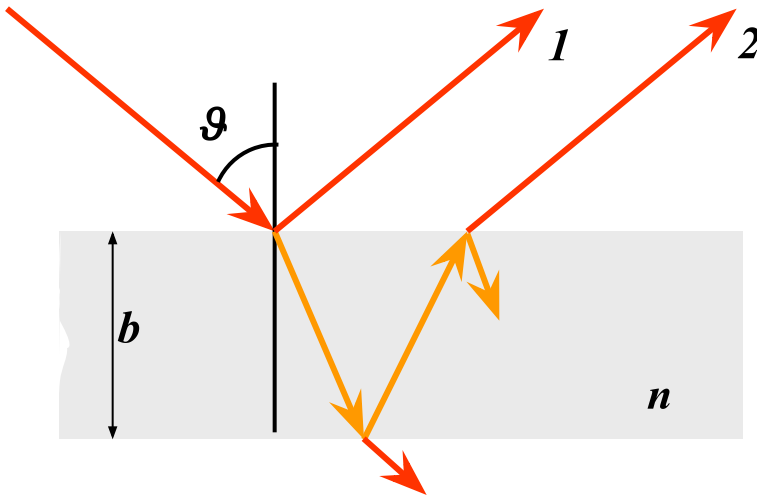
Выражение для оптической разности хода Δ волн 1 и 2:

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

λ_0 - длина падающей на тонкую пленку волны.

Интерференция световых волн

Интерференция при отражении от тонких пластинок.



Интерференционная картина будет наблюдаться в виде системы полос.

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ - условие минимумов}$$

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2} \text{ - условие максимумов}$$

Подставив в эти условия выражение для Δ , получим, например, для максимумов выражение вида:

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} - \frac{\lambda_0}{2} = 2m \frac{\lambda_0}{2} \Rightarrow 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$$

Интерференционную картину при отражении световых лучей от тонких пленок наблюдают с помощью линзы, в фокальной плоскости которой располагается экран.

На экране наблюдаются чередующиеся светлые и темные круговые полосы. Каждая полоса будет образована лучами, падающими на пластинку под одинаковым углом ϑ . Это *полосы равного наклона*.

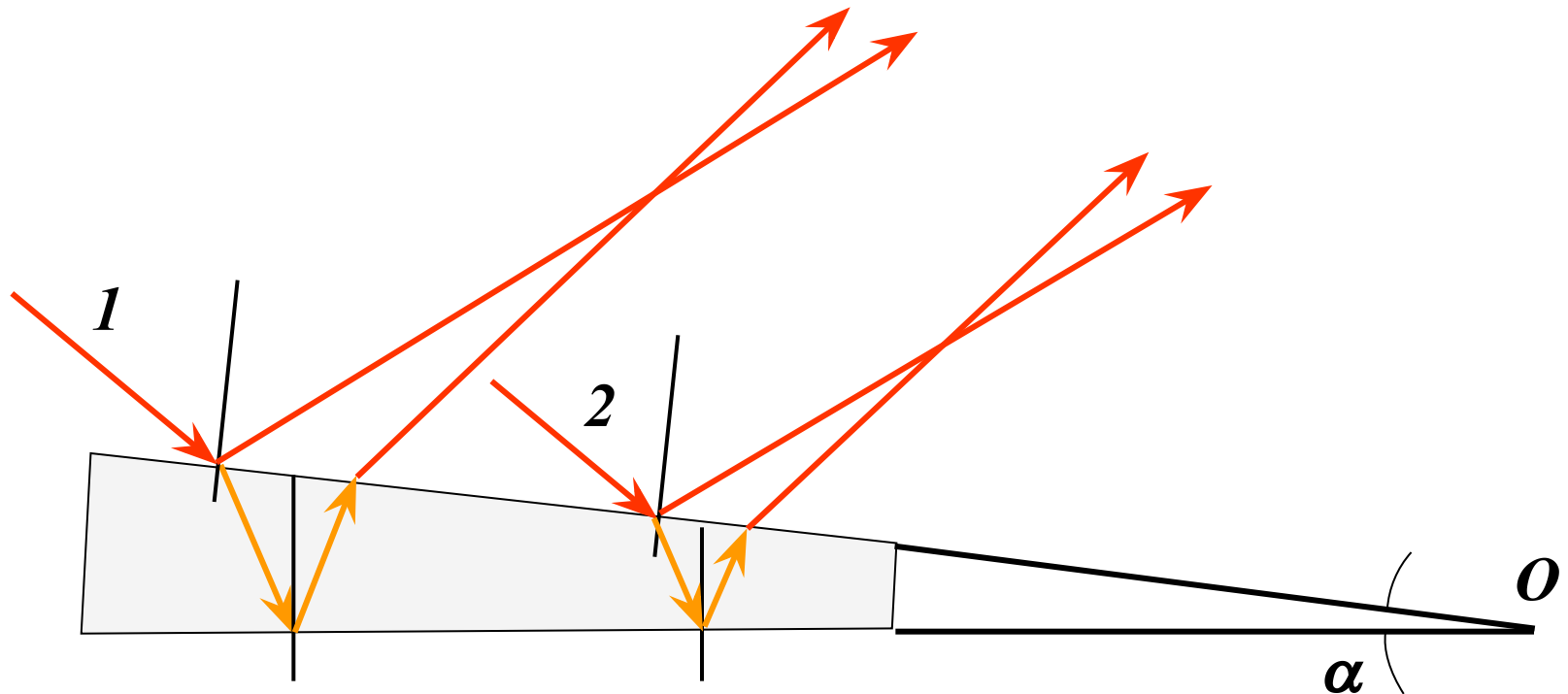
Интерференция световых волн

Интерференция от пластинки переменной толщины.

Пластинка имеет форму клина с малым углом α .

Пусть на нее падает плоская волна, направление распространения которой совпадает с параллельными лучами **1** и **2**.

Отразившиеся от разных поверхностей пластинки лучи не будут параллельными.

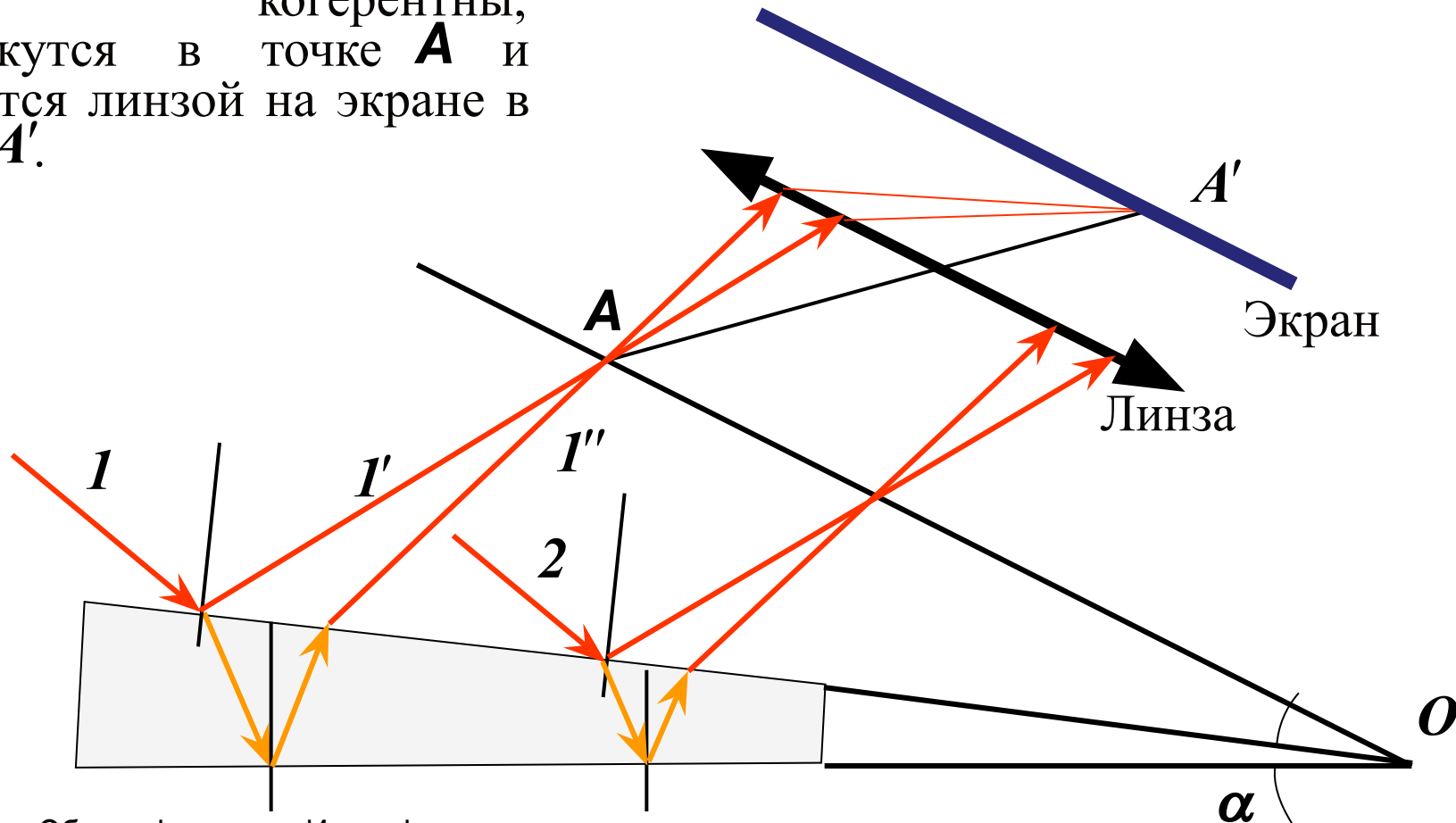


Интерференция световых волн

Интерференция от пластинки переменной толщины.

Луч I разделился на лучи I' и I'' , отразившиеся от верхней и нижней поверхностей клина.

Лучи когерентны, пересекутся в точке A и соберутся линзой на экране в точке A' .



Если источник света расположен далеко от клина и угол α очень мал, то оптическая разность хода между лучами I' и I'' может быть вычислена по формуле для плоскопараллельной пластинки:

b - толщина клина в месте падения на него луча **l** .



Интерференция световых волн

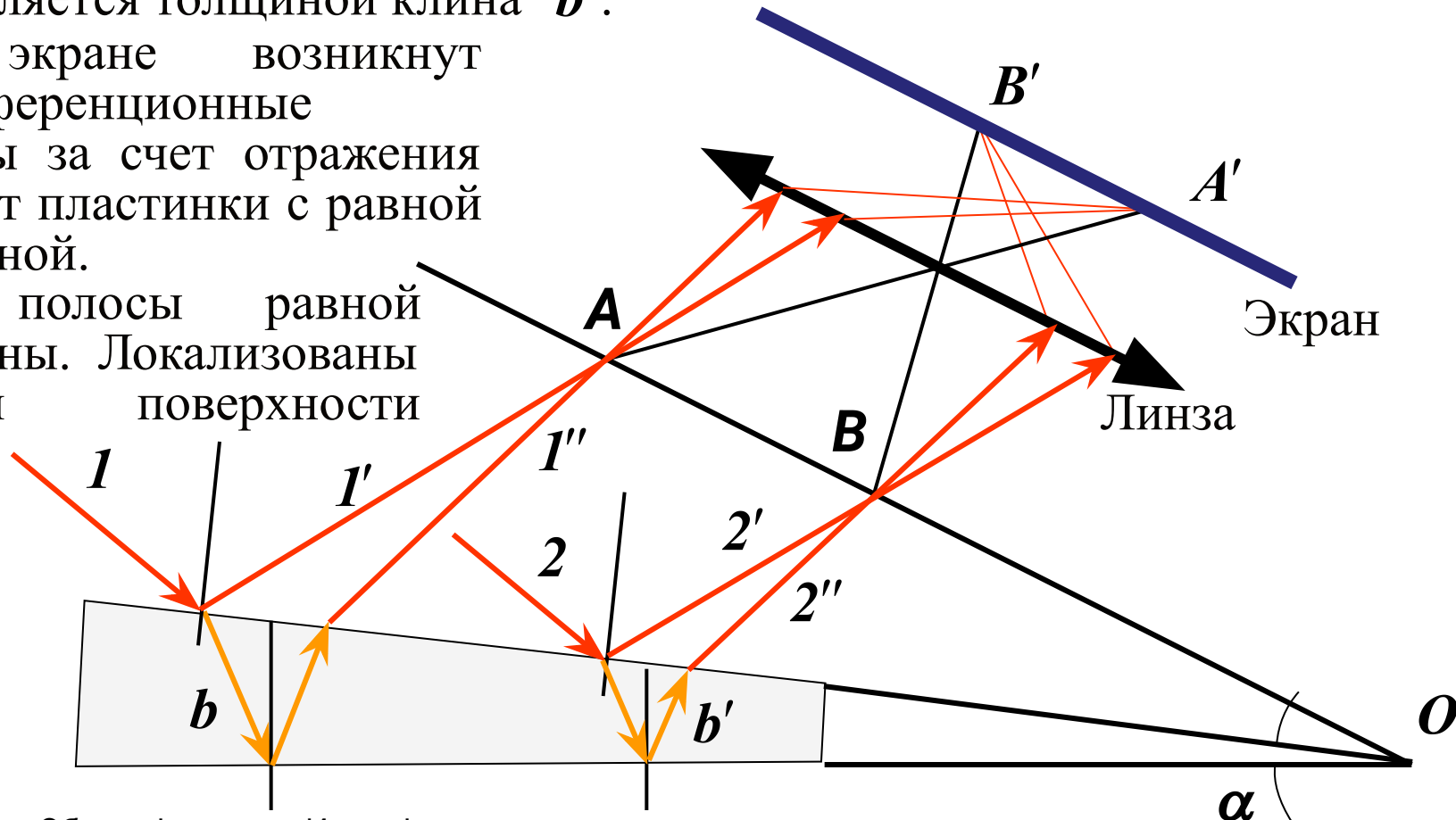
Интерференция от пластинки переменной толщины.

Лучи $2'$ и $2''$, образовавшиеся за счет деления луча 2 , собираются линзой в точке B' .

Оптическая разность хода лучей $2'$ и $2''$ определяется толщиной клина b' .

На экране возникнут интерференционные полосы за счет отражения от мест пластинки с равной толщиной.

Это полосы равной толщины. Локализованы вблизи поверхности клина.



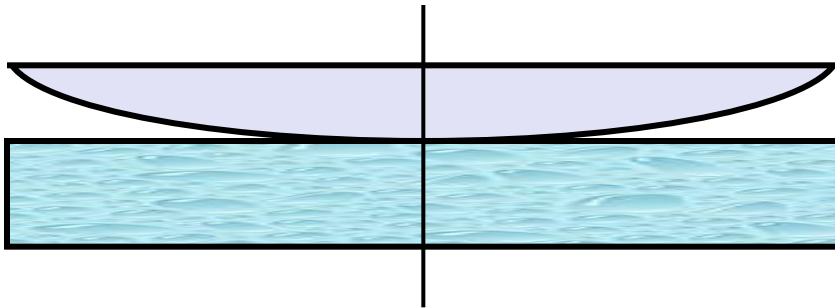
Интерференция световых волн

Кольца Ньютона

Кольца Ньютона - классический пример полос равной толщины.

Наблюдаются при отражении света от соприкасающихся друг с другом плоскопараллельной толстой стеклянной пластинки и плоско-выпуклой линзы с большим радиусом кривизны.

Роль тонкой пленки играет воздушный зазор между пластиной и линзой.



При нормальном падении света в отраженном свете наблюдаются концентрические окружности с центром в точке соприкосновения линзы с пластинкой.

Найдем радиусы *темных* колец (минимумов) r_{min}

Запишем условие образования минимумов:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

$$\Delta = 2b \sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

Интерференция световых волн

Кольца Ньютона

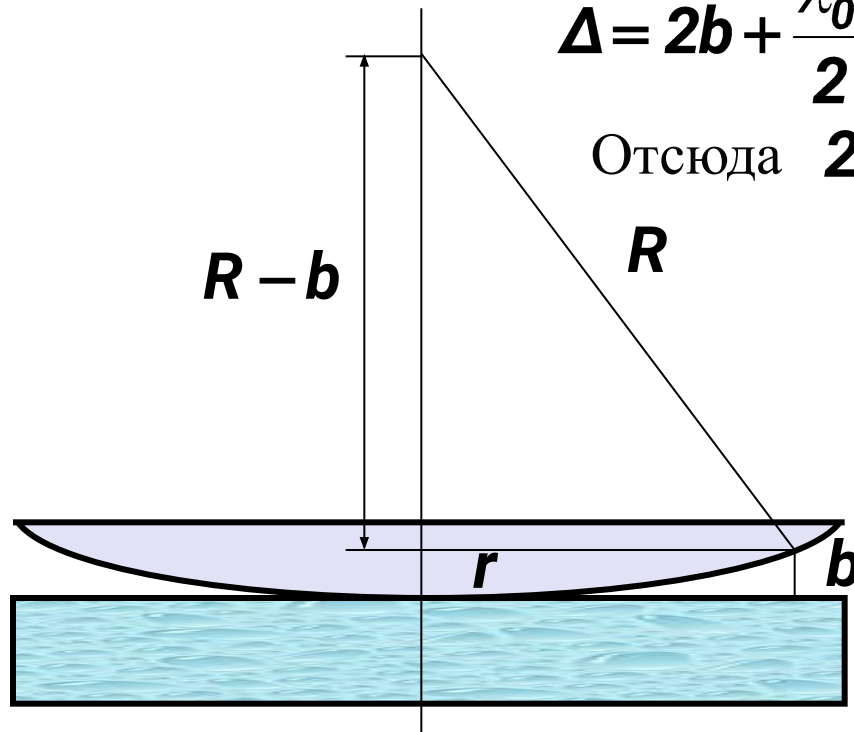
$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \vartheta} \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

При нормальном падении света угол ϑ равен нулю, $n = 1$ (воздушный зазор).

Тогда $\Delta = 2b + \lambda_0/2$ (полуволна «теряется» при отражении от пластинки) и условие минимумов запишется в виде:

$$\Delta = 2b + \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda_0}{2}$$

Отсюда $2b = m\lambda_0$. Выполним построения.



Из теоремы Пифагора следует:

$$\begin{aligned} r^2 &= R^2 - (R - b)^2 = \\ &= R^2 - R^2 + 2Rb - b^2 \end{aligned}$$

Поскольку $b \ll R$, пренебрежем b^2 .

Интерференция световых волн

Кольца Ньютона

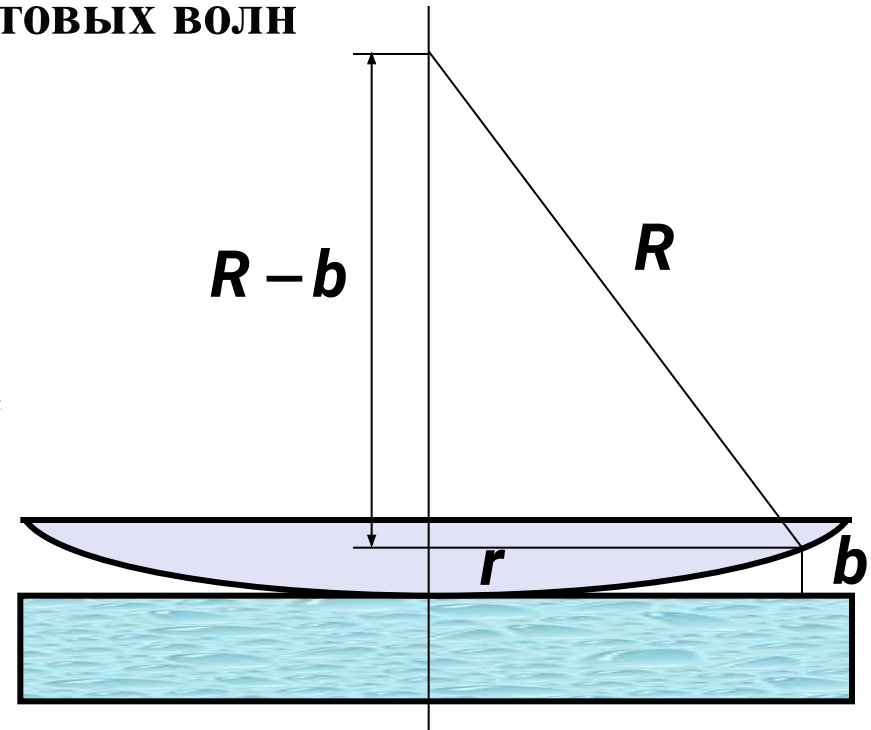
Получим $b = r^2 / 2R$.

Подставим это выражение в условие для минимумов $2b = m\lambda_0$:

$$\frac{2r^2}{2R} = m\lambda_0, \quad \text{отсюда}$$

$$r_{\min} = \sqrt{mR\lambda_0} \quad \text{где} \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Получили выражение для радиуса m -го темного кольца.



Интерференция световых волн

Практическое применение интерференции

Изучить самостоятельно следующие применения:

1. Просветление оптики.
2. Интерферометрия: интерферометр Майкельсона, интерферометр Фабри - Перо.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Дифракция - совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями (края экранов, малые отверстия) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики.

Дифракция приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени.

Интерференция и дифракция - явления одной физической природы. Это перераспределение светового потока в результате суперпозиции волн.

Принято интерференцией называть перераспределение интенсивности, возникающее в результате суперпозиции волн от *конечного* числа дискретных когерентных источников. Если же складываются волны от *непрерывно распределенных* когерентных источников — это дифракция.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Задача изучения дифракции: исследование распределения интенсивности света на экране с целью получения информации о свойствах световой волны.

Два вида дифракции:

- *дифракция Френеля* – дифракция в сходящихся лучах;
- *дифракция Фраунгофера* - дифракция в параллельных лучах - источник света и точка наблюдения расположены от препятствия далеко, лучи образуют практически параллельные пучки.

Первое объяснение дифракции: французский физик Френель (1818г.). Показал, что количественное описание дифракции возможно на основе построений Гюйгенса, (нидерландский ученый, 17 век), дополненных принципом интерференции вторичных волн.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

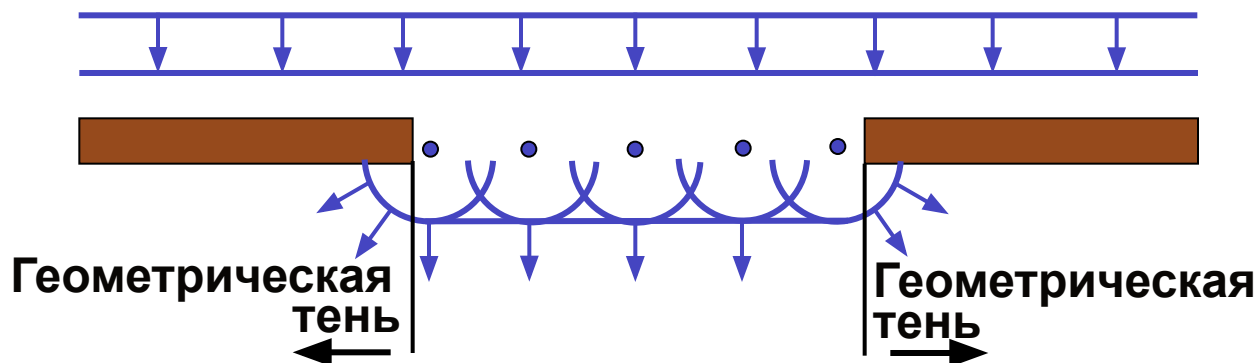
Принцип Гюйгенса-Френеля.

Принцип Гюйгенса: каждая точка, до которой доходит волновое движение, служит центром *вторичных* волн; огибающая этих волн дает положение фронта волны в следующий момент.

Объясняется проникновение световых волн в область геометрической тени.

Пусть на плоскую преграду с отверстием падает параллельный ей фронт волны.

По Гюйгенсу: каждая точка выделяемого отверстием участка волнового фронта служит центром сферических вторичных волн.



За отверстием волна, огибая края преграды, проникает в область геометрической тени.

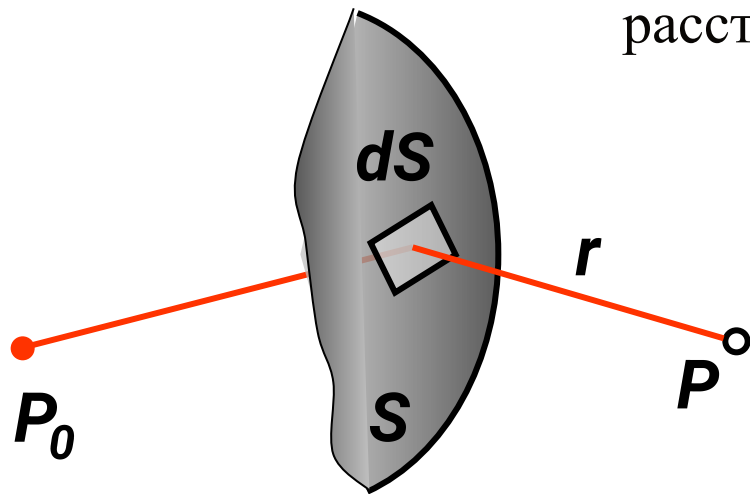
ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Принцип Гюйгенса-Френеля

Принцип Гюйгенса дает направление распространения волнового фронта. Интенсивность световой волны за преградой не рассматривается. Этот недостаток устранил Френель.

Принцип Гюйгенса–Френеля: каждый элемент dS волновой поверхности S служит источником вторичной сферической волны, амплитуда которой пропорциональна величине элемента dS .

Амплитуда сферической волны убывает с расстоянием r от источника по закону $1/r$.



Следовательно, от каждого участка dS волновой поверхности в точку P , лежащую перед этой поверхностью, приходит колебание

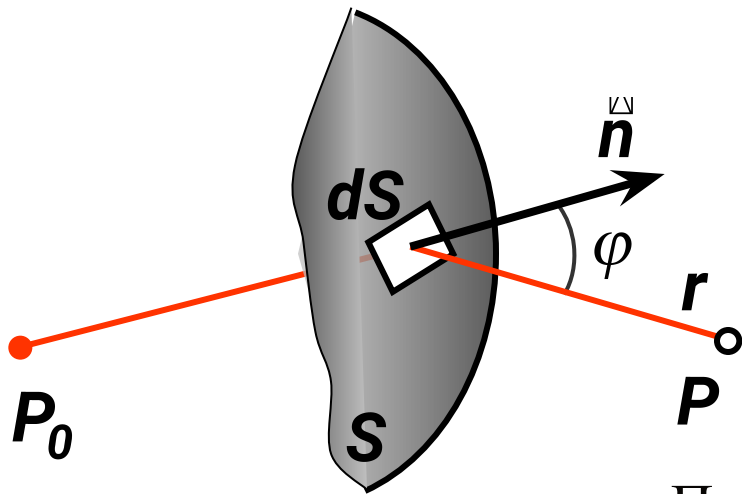
$$dE = Ka_0 dS \frac{1}{r} \cos(\omega t - kr)$$

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Принцип Гюйгенса-Френеля

$$dE = Ka_0 dS \frac{1}{r} \cos(\omega t - kr)$$

a_0 - множитель, зависящий от амплитуды световой волны в месте нахождения элемента dS ,
 k - волновое число ($k = 2\pi/\lambda$).



Коэффициент K зависит от угла φ между нормалью $\vec{n}$ к элементу dS и направлением от dS к точке P .

Коэффициент K монотонно убывает с ростом φ .

При $\varphi = 0$ этот коэффициент максимален.

Результирующее колебание в точке P определяется суперпозицией колебаний dE от всех элементов dS волновой поверхности S :

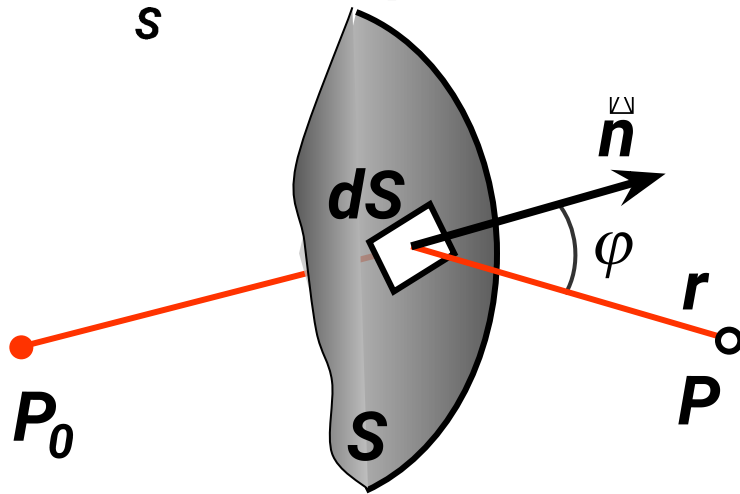
$$E = \int_S K(\varphi) a_0 \frac{1}{r} \cos(\omega t - kr) dS$$

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Принцип Гюйгенса-Френеля

$$\mathbf{E} = \int_S \mathbf{K}(\varphi) \mathbf{a}_0 \frac{1}{r} \cos(\omega t - kr) dS$$

Это математическая формулировка принципа Гюйгенса – Френеля.



Для определения колебания в точке $\mathbf{P}$, лежащей перед некоторой поверхностью $\mathbf{S}$, надо найти колебания, приходящие в эту точку от всех элементов $d\mathbf{S}$ поверхности $\mathbf{S}$ и затем сложить их с учетом амплитуд и фаз.

Источниками (фиктивными) вторичных волн служат бесконечно малые элементы одной волновой поверхности, следовательно, все фиктивные источники действуют синфазно.

Тогда возбуждаемая световая волна может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, излучаемых фиктивными источниками.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Принцип Гюйгенса-Френеля.

Таким образом, для определения в некоторой точке пространства результирующей интенсивности, надо учесть *интерференцию* всех вторичных волн.

Принцип Гюйгенса-Френеля – *основной постулат* волновой теории, объясняющий механизм распространения световых волн.

Суммировать (интегрировать) амплитуды элементарных колебаний, приходящих в точку P , сложно.

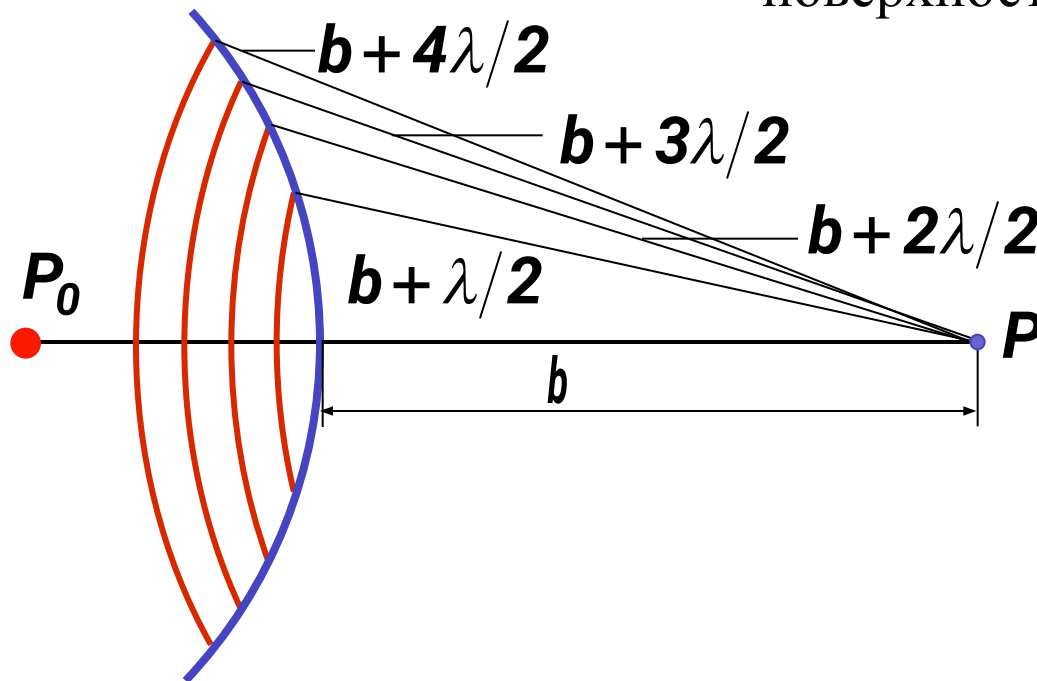
Предложение Френеля: в простейших симметричных случаях поверхность разбивается на зоны. Амплитуды колебаний, приходящих от различных элементов волновой поверхности S , суммируются.

Метод зон Френеля

Определим амплитуду светового колебания, возбуждаемого в точке **P** сферической волной, распространяющейся в изотропной однородной среде из точечного источника P_0 .

Волновые поверхности такой волны симметричны относительно прямой P_0P .

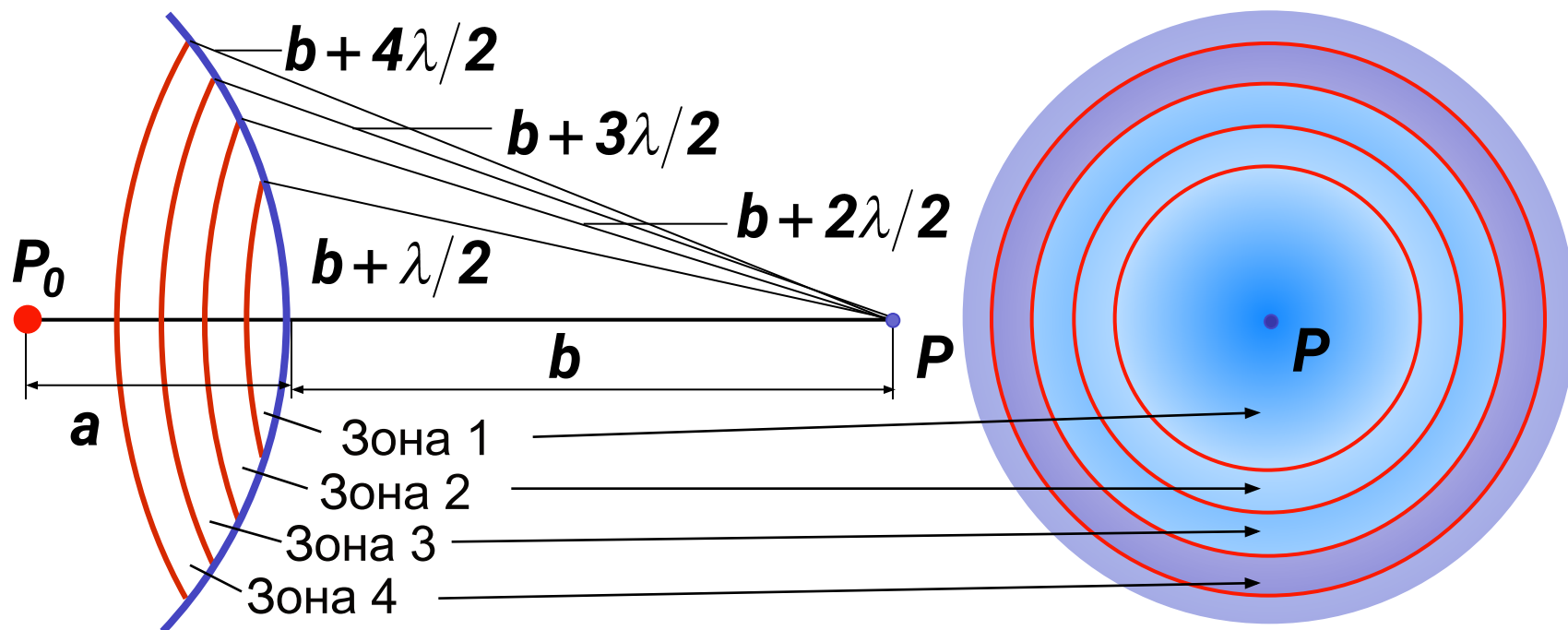
b - расстояние от вершины волновой поверхности до точки **P**.



Разобьем волновую поверхность на кольцевые зоны так, чтобы расстояния от краев каждой зоны до точки **P** отличались друг от друга на половину длины волны $\lambda/2$.

Это зоны Френеля.

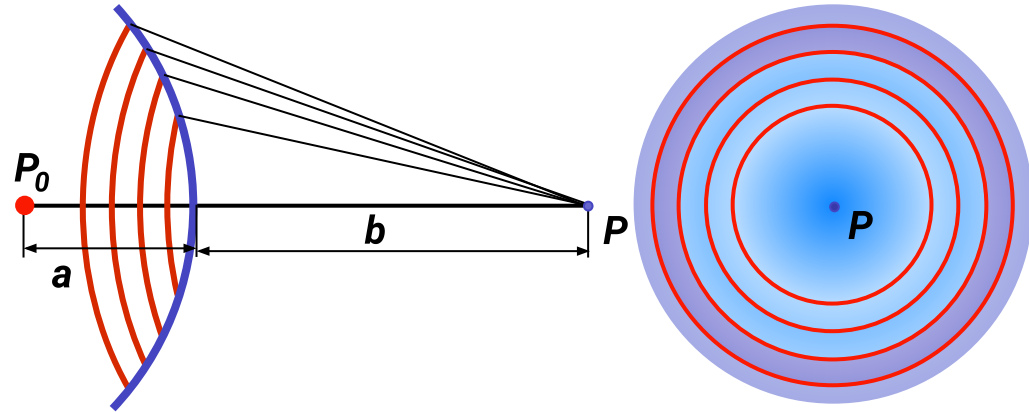
Метод зон Френеля



a - расстояние от источника P_0 до вершины рассматриваемой волновой поверхности.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Метод зон Френеля



Из простых геометрических построений следует, что амплитуды колебаний, возбуждаемых зонами Френеля в точке **P**, образуют монотонно убывающую последовательность вида

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots A_{m-1} > A_m > A_{m+1} > \dots$$

Фазы колебаний, возбуждаемых соседними зонами, различаются на π

Следовательно, амплитуда результирующего колебания в точке **P** может быть представлена в виде:

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

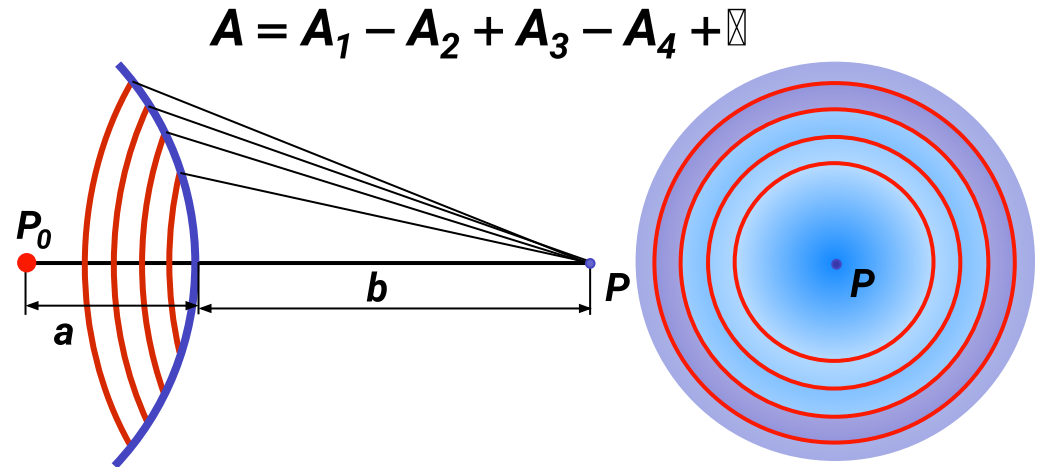
Все амплитуды от нечетных зон входят в это выражение с одним знаком, от четных — с другим.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Метод зон Френеля

Общее число зон Френеля, уместяющихся на полусфере, велико.

Например, при $a=b=10$ см и $\lambda=0,5$ мкм радиус центральной зоны $0,16$ мм, а число зон 10^5



Поэтому можно считать, что амплитуда колебания от m -ой зоны Френеля равно среднему арифметическому от амплитуд примыкающих к ней зон:

$$A_m = \frac{A_{m-1} + A_{m+1}}{2}$$

С учетом этого допущения амплитуда результирующего колебания в точке P определяется выражением:

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

Таким образом, действие всей волновой поверхности на точку P сводится к действию ее участка, меньшего центральной зоны.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Метод зон Френеля

Оценки показывают, что радиус первой зоны Френеля очень мал.

Это означает, что световой поток распространяется от P_0 к P как будто внутри очень узкого канала, т.е. прямолинейно.

Таким образом, принцип Гюйгенса – Френеля объясняет прямолинейное распространение света в однородной среде.

Некоторые дополнительные выводы из принципа Гюйгенса – Френеля:

1. Если закрыть все зоны, кроме первой, то амплитуда в точке P увеличится по сравнению с полностью открытым волновым фронтом в два раза ($A = A_1$), а интенсивность в *четыре* раза ($I \sim A^2$)
2. Если отверстие в преграде открывает для точки P две зоны Френеля, интенсивность в этой точке падает практически до нуля ($A = A_1 - A_2$), хотя световой поток оказывается в два раза больше.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Зонная пластинка.

Интенсивность света в точке наблюдения можно увеличить с помощью *зонной пластинки*.

В простейшем случае это стеклянная пластинка, на поверхность которой нанесены по принципу расположения зон Френеля чередующиеся прозрачные и непрозрачные кольца.

Если установить пластинку в строго определенном месте, то она перекроет все четные или нечетные зоны.

В результате этого интенсивность света в точке наблюдения будет значительно больше, чем при полностью открытом волновом фронте.

Таким образом, зонная пластинка действует подобно собирающей линзе.