



Кафедра радиосвязи

ДИСЦИПЛИНА: ЭМП и В (Д-1105-1)

Тема 4. Дифракция и рефракция ЭМ волн

Лекция 4/2 (№23). Дифракция ЭМ волн на препятствиях

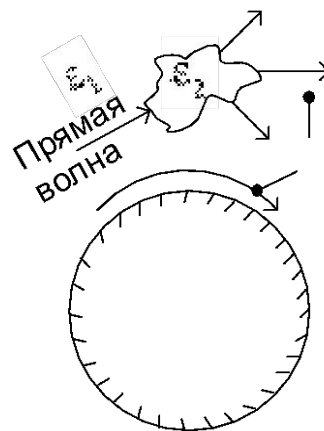
Учебные вопросы:

1. Дифракция ЭМ волн на круглом отверстии в экране.
2. Дифракция ЭМ волн на полуплоскости.
3. Область пространства, существенная при распространении радиоволн.



При распространении радиоволн могут быть препятствия, которые изменяют амплитуду и фазу сигнала. Если параметры сред резко изменяются (скачки), тогда возникает явление **дифракция**.

В радиосвязи под термином «дифракция» понимают **огибание** волнами препятствий либо **изменение направления** распространения в результате резкого скачка одного из параметров среды.





1. Дифракция ЭМ волн на круглом отверстии в экране

(Дифракция Френеля)

№3

1. Дифракция плоской волны на отверстии



Радиус первой зоны Френеля и n-ой из треугольника:

$$\rho_1 = \sqrt{\left(r_0 + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - r_0^2} \approx \sqrt{\lambda r_0}, \quad \rho_n = \sqrt{n \lambda r_0}.$$



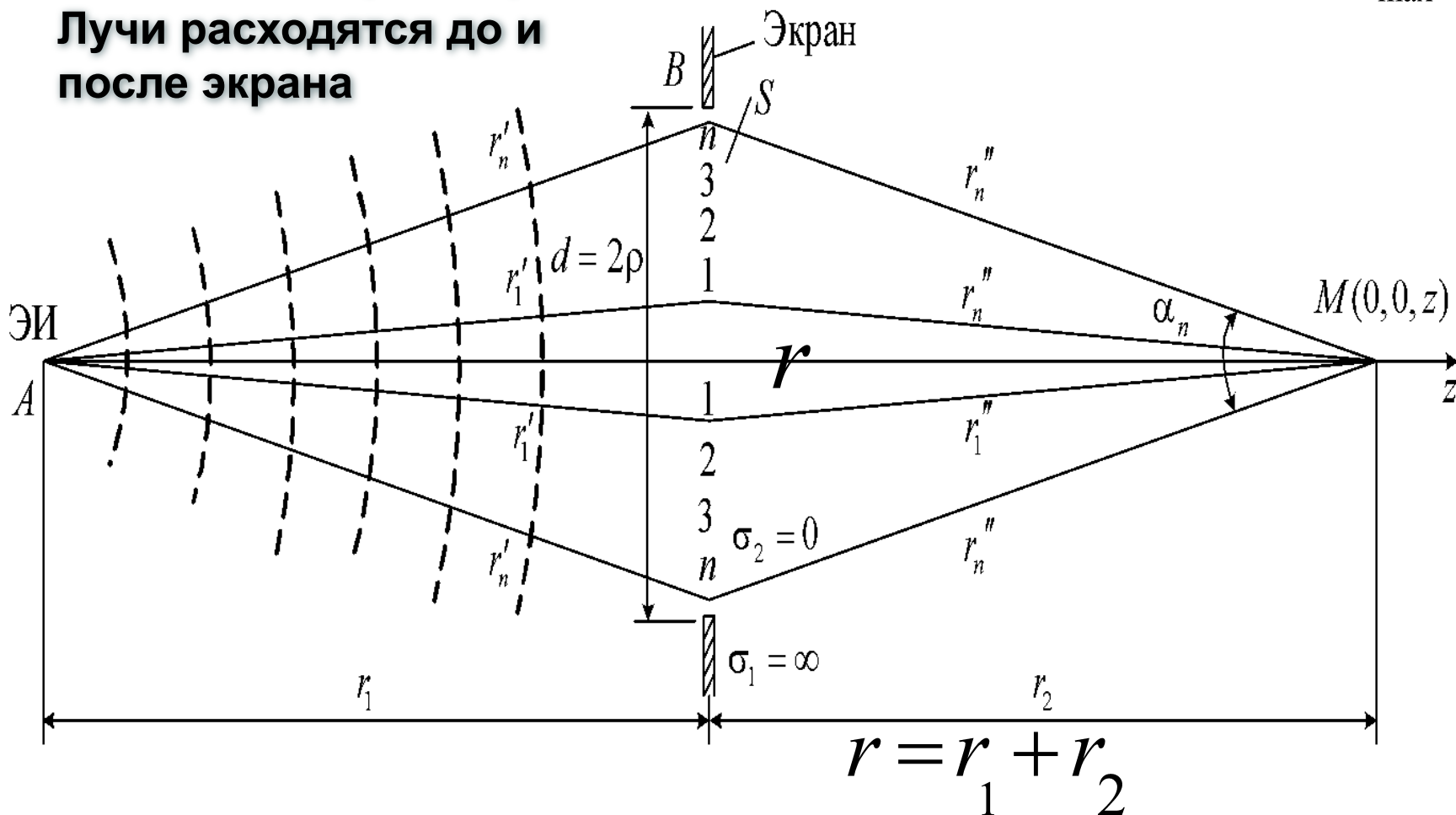
Дифракция сферической волны на отверстии

№4

2. Сферическая волна

Разность хода лучей будет больше чем в плоской волне $\Delta\Phi_{\max} > 180^\circ$.

Лучи расходятся до и
после экрана





Радиус n -зоны Френеля в виде эллиптических поверхностей

№5

Разность хода лучей АВМ – АМ = $n\lambda/2$. $n = 1, 2, 3 \dots$
Из прямоугольных треугольников получаем:

$$\sqrt{\rho_n^2 + r_1^2} + \sqrt{\rho_n^2 + r_2^2} - (r_1 + r_2) = n\lambda/2.$$

Решая уравнения, с учетом ограничений, получаем:

$$\rho_n = \sqrt{n\lambda \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}}.$$

$$r = r_1 + r_2$$

Радиус первой зоны Френеля:

$$\rho_1 = \sqrt{\lambda \frac{r_1 r_2}{r}}.$$



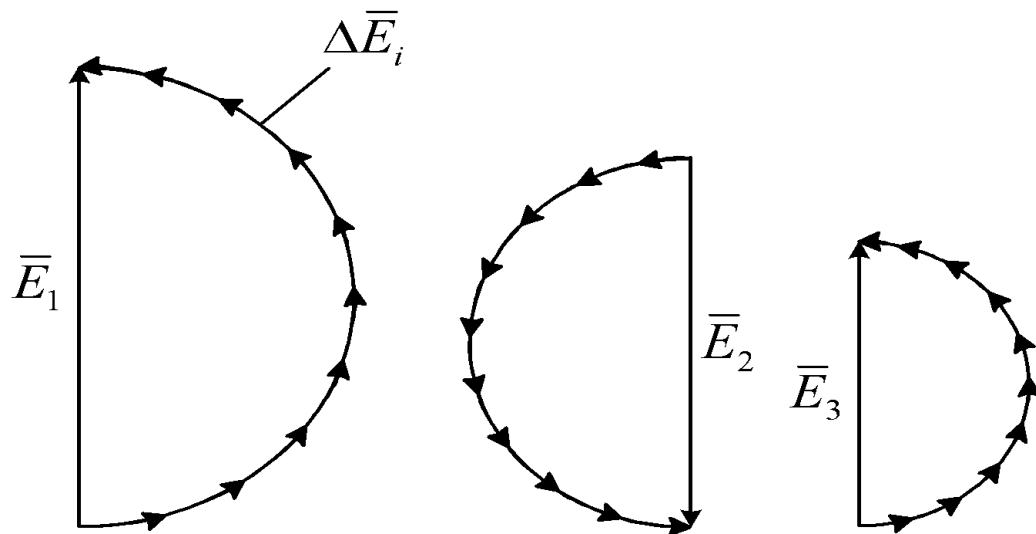
Суммирование полей вторичных источников в точке $M(0, 0, z)$

№6

Поле дифракции равно сумме:

$$E_0 = E_1 - E_2 + E_3 - \dots + E_n.$$

Результирующая напряжённость поля дифракции в точке $M(0, 0, z)$ будет осциллировать вокруг среднего значения E_0 , когда отсутствует экран.



Методы решения:

$$E_0 = \frac{E_1}{2} + \left(\frac{E_1}{2} - E_2 + \frac{E_3}{2} \right) + \left(\frac{E_3}{2} - E_4 - \frac{E_5}{2} \right) + \dots \approx \frac{E_1}{2}.$$

или

$$E_0 = E_1/2 + (E_1/2 - E_2/2) + (E_3/2 - E_2/2) + (E_3/2 - E_4/2) + \dots \approx E_1/2.$$

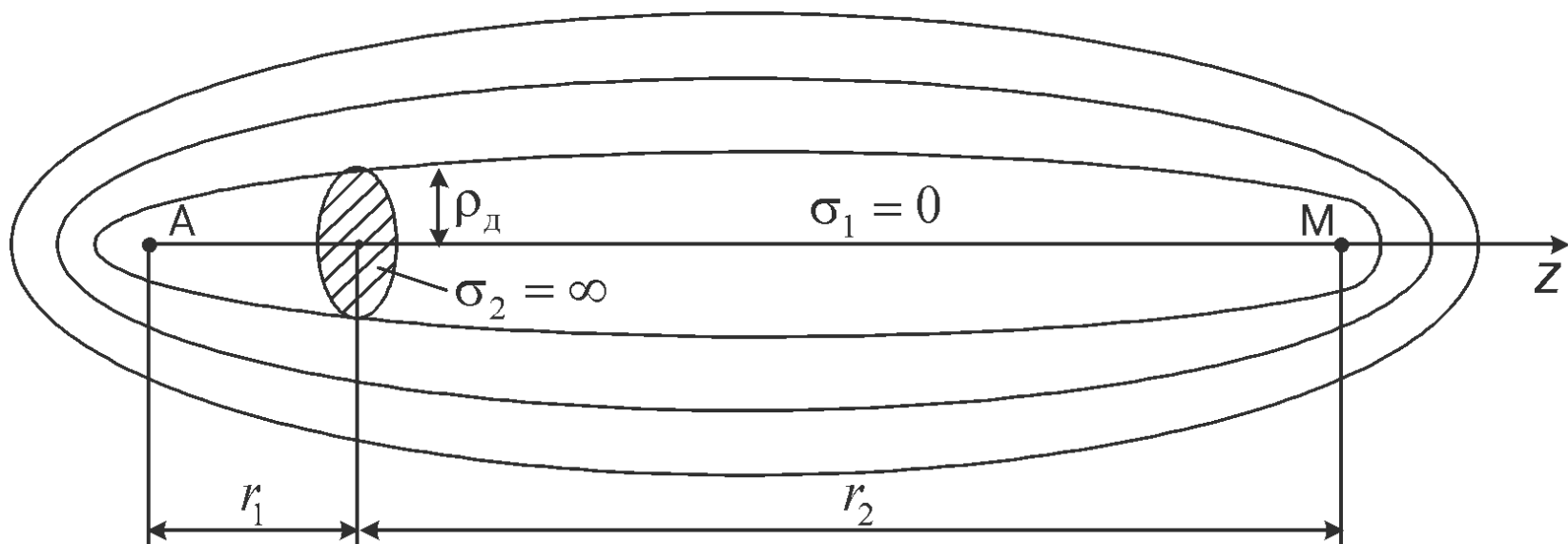
$$E = E_0 \approx E_1/2.$$



Дифракция на диске

№7

$$r_1 + r_2 \gg d$$



$$\rho_d = \rho_1, \quad \text{тогда} \quad E_M \approx E_2/2$$

$$\rho_d = \rho_2, \quad \text{тогда} \quad E_M \approx E_3/2.$$



2. Дифракция ЭМ волн на полуплоскости

№8

В естественных условиях при распространении радиоволн экранирующие препятствия могут иметь вид полуплоскости. Такое препятствие перекрывает только часть **зон Френеля**. Число части зон Френеля над препятствием образует **просвет**.

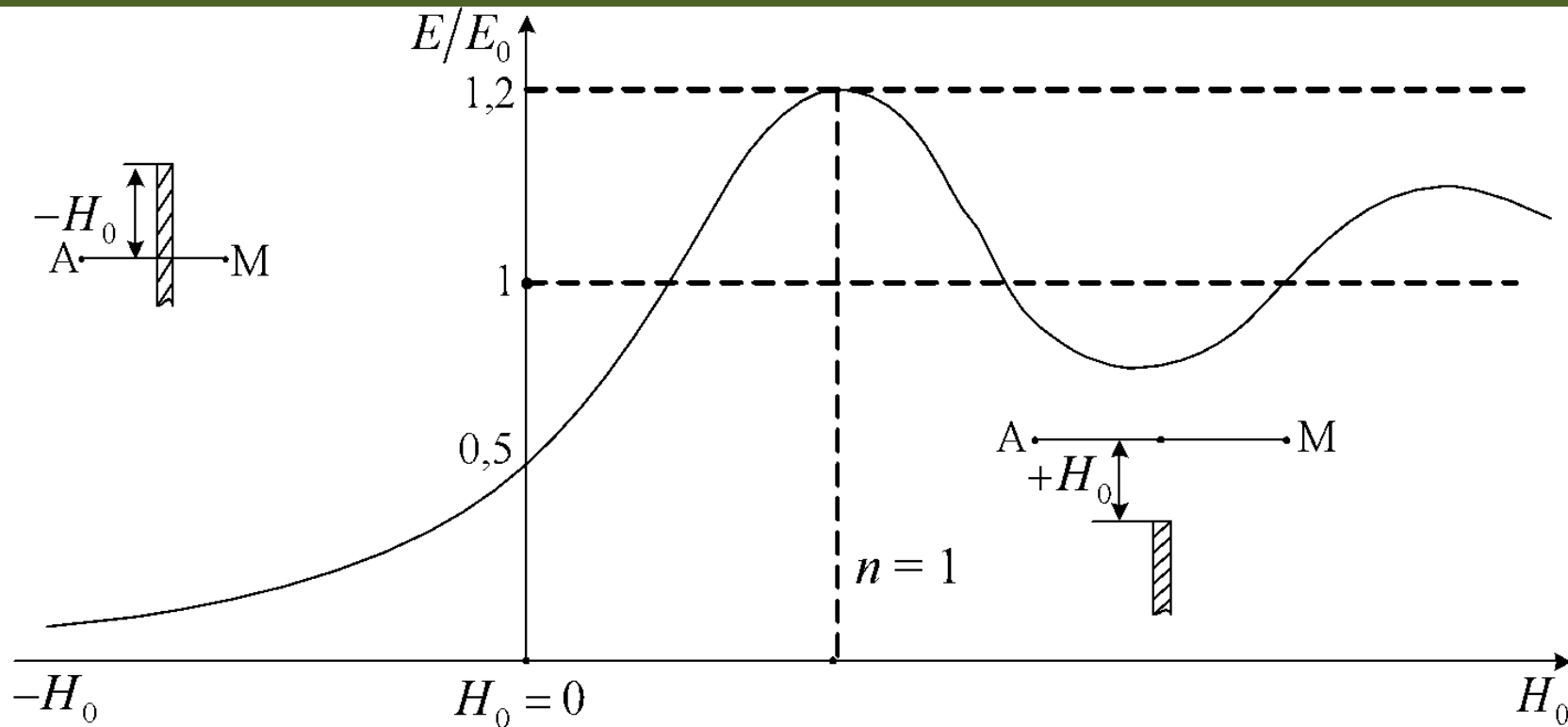
Расстояние между линией, соединяющей ФЦ антенн и непрозрачным экраном (препятствием) называют **просветом**. **Просвет** считается положительным, если край полуплоскости лежит ниже оптической линии АМ.

В случае нулевого просвета амплитуда напряженности поля за экраном уменьшится в 2 раза по сравнению с полем свободного пространства.



Изменение поля дифракции в зависимости от просвета

№9



Расстояние между линией **AM** и непрозрачным экраном (препятствием) называют просветом.

Просвет считается положительным, если край полуплоскости лежит ниже оптической линии **AM**.



Зависимость ослабления ЭМ поля от величины просвета

№10

1) $H > 0$ дифракционное поле сначала возрастает при открытии первой зоны Френеля, а в дальнейшем осциллирует вокруг значения.

Максимальное значения ЭМ поле при открытии первой зоны Френеля.

2) $H < 0$ дифракционное поле практически экспоненциально затухает.



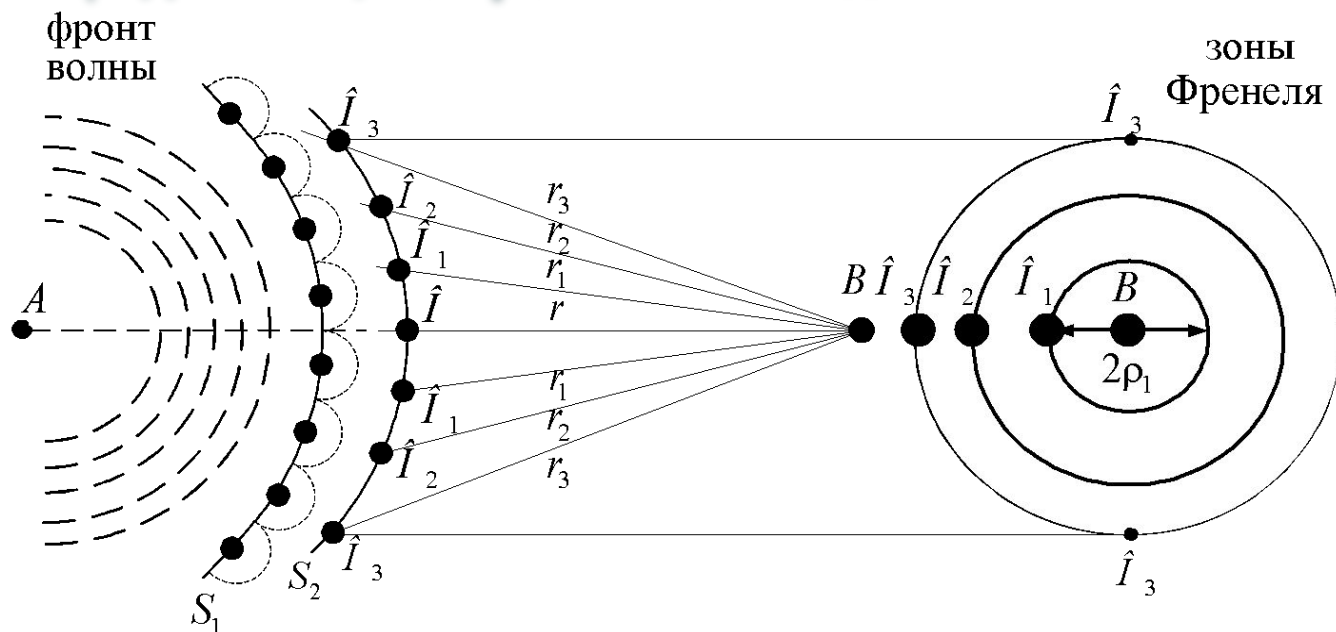
3. Область пространства, существенная при распространении радиоволн

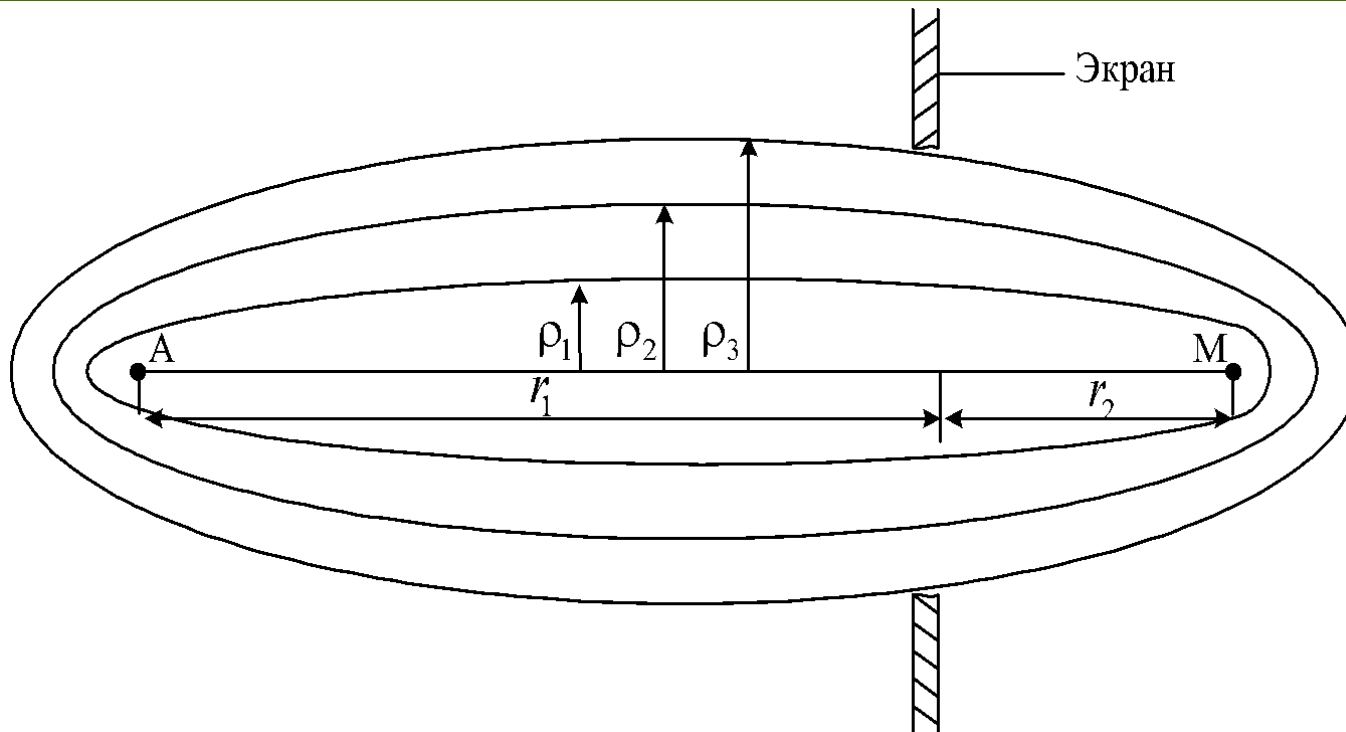
№11

Существенная область пространства при распространении радиоволн в изотропной среде представляет собой эллипсоид вращения радиусом ρ_c и фокусами в точках передачи или приема.

В существенной области распространяется примерно 70% мощности сигнала.

Ошибка в определении поля E в этой области, существенной при распространении радиоволн, не превышает 16%.





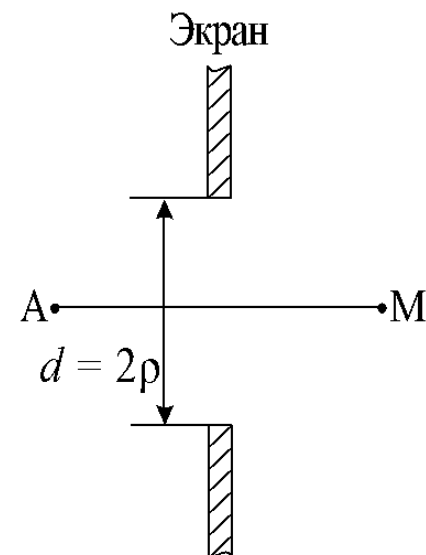
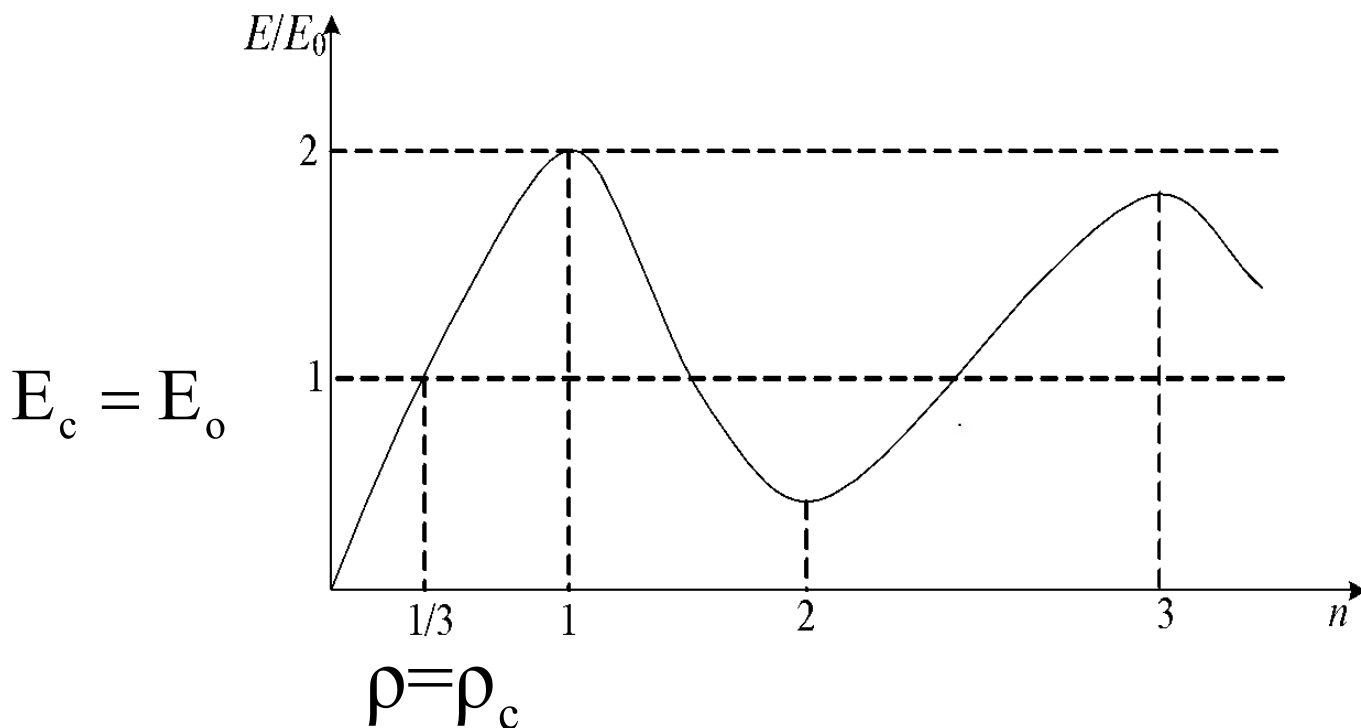
$$\rho_n = \sqrt{n\lambda \frac{r_1 r_2}{r}}.$$

В пространстве для каждой **зоны Френеля** получим соответствующие **эллипсоиды вращения** вокруг прямой AM с фокусами в точках A и M .



Зависимость напряженности поля в точке приема от числа зон Френеля

№13



При изменении диаметра отверстия

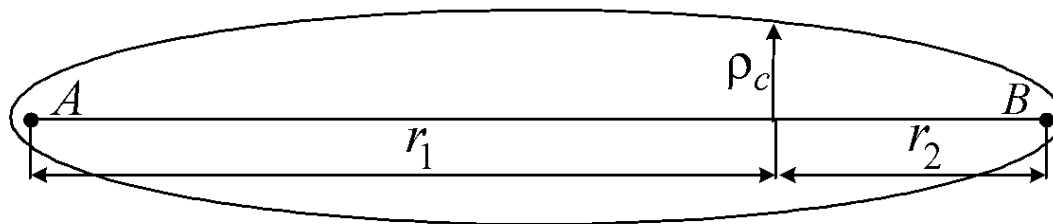
Изменение величины напряжённости поля носит осциллирующий характер. Напряжённость поля максимальна при радиусе отверстия равном радиусу зоны Френеля нечётного номера, и минимальна при радиусе отверстия, равном радиусу зоны чётного номера



Границы существенной области расположены на $1/3$ поверхности первой зоны Френеля.

Существенная область представляет собой эллипсоид вращения с фокусами в точках передачи и приёма.

$$\rho_c = \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\lambda r_1 r_2}{r}} = \frac{\rho_1}{\sqrt{3}},$$



или
$$\rho_c = \sqrt{\frac{1}{3} \lambda r s_i (1 - s_i)}, \quad s_i = r_i / r.$$

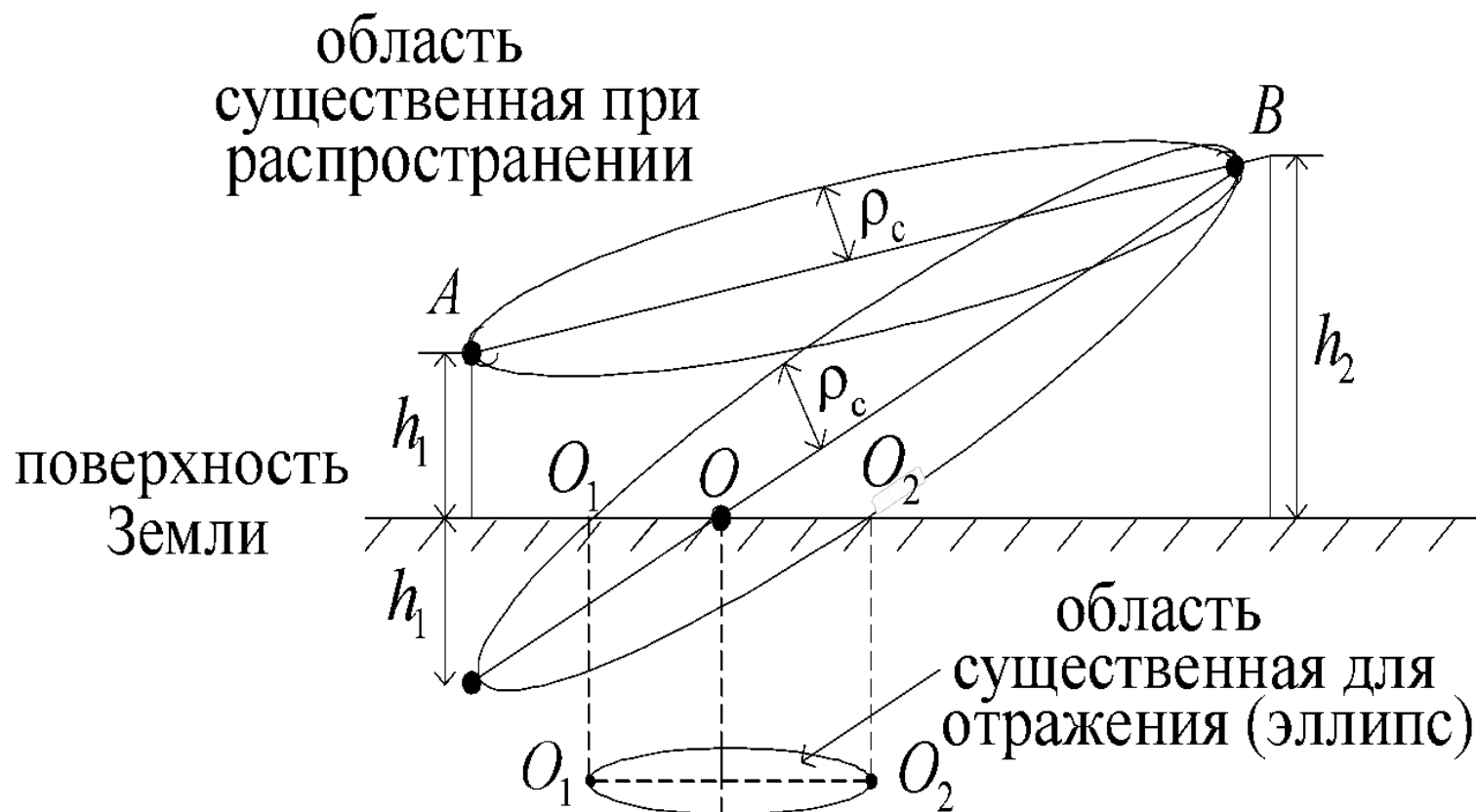
На середине трассы:

$$\rho_{c_{\max}} = \sqrt{r \frac{\lambda}{12}}$$



Существенные области распространения и отражения радиоволн

№15



При **отражении** и **преломлении** радиоволн также существуют области в виде **эллипсоидов** на отражающей или преломляющей поверхностях, в которых распространяется основная часть энергии волны.



Необходимым условием дифракции должны быть такими, чтобы размеры объекта дифракции были относительно малыми, разность хода лучей от тела дифракции изменяли фазу суммарного поля более чем на π .

Наиболее выражено дифракция проявляется: на круглом отверстии, шаре, цилиндре, диске, полуплоскости.

Зоны Френеля и существенная область пространства при распространении радиоволн в изотропной однородной среде представляют собой эллипсоиды вращения с фокусами в точках передачи и приёма.

При отражении и преломлении радиоволн также существуют области в виде эллипсоидов на отражающей или преломляющей поверхностях, в которых распространяется основная часть энергии ЭМ поля.



Задание на самостоятельную работу

№17

1. Рассчитать характеристику направленности и построить диаграмму направленности в плоскости элементарного электрического диполя, расположенного **вертикально** над идеально проводящей поверхностью на относительной высоте $h/\lambda=0,5$.
2. Определить радиус области, существенной при распространении радиоволн на середине трассы ($r = 20\text{км}$) на частоте 2000МГц и сделать выводы.