



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

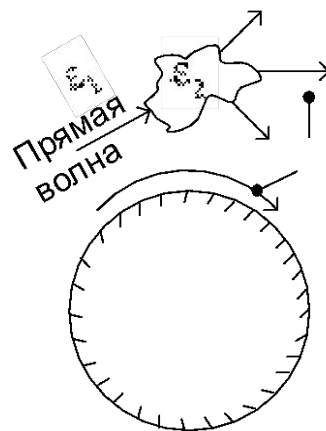
Учебные вопросы:

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)

1. Дифракция плоской волны на отверстии

Из-за разных расстояний r_n образуются

области (зона), где набег фаз π ($r_1 - r_0 = \lambda/2$)



Образование колец на цилиндрической поверхности:

Радиус первой зоны Френеля и n-ой из треугольника:

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



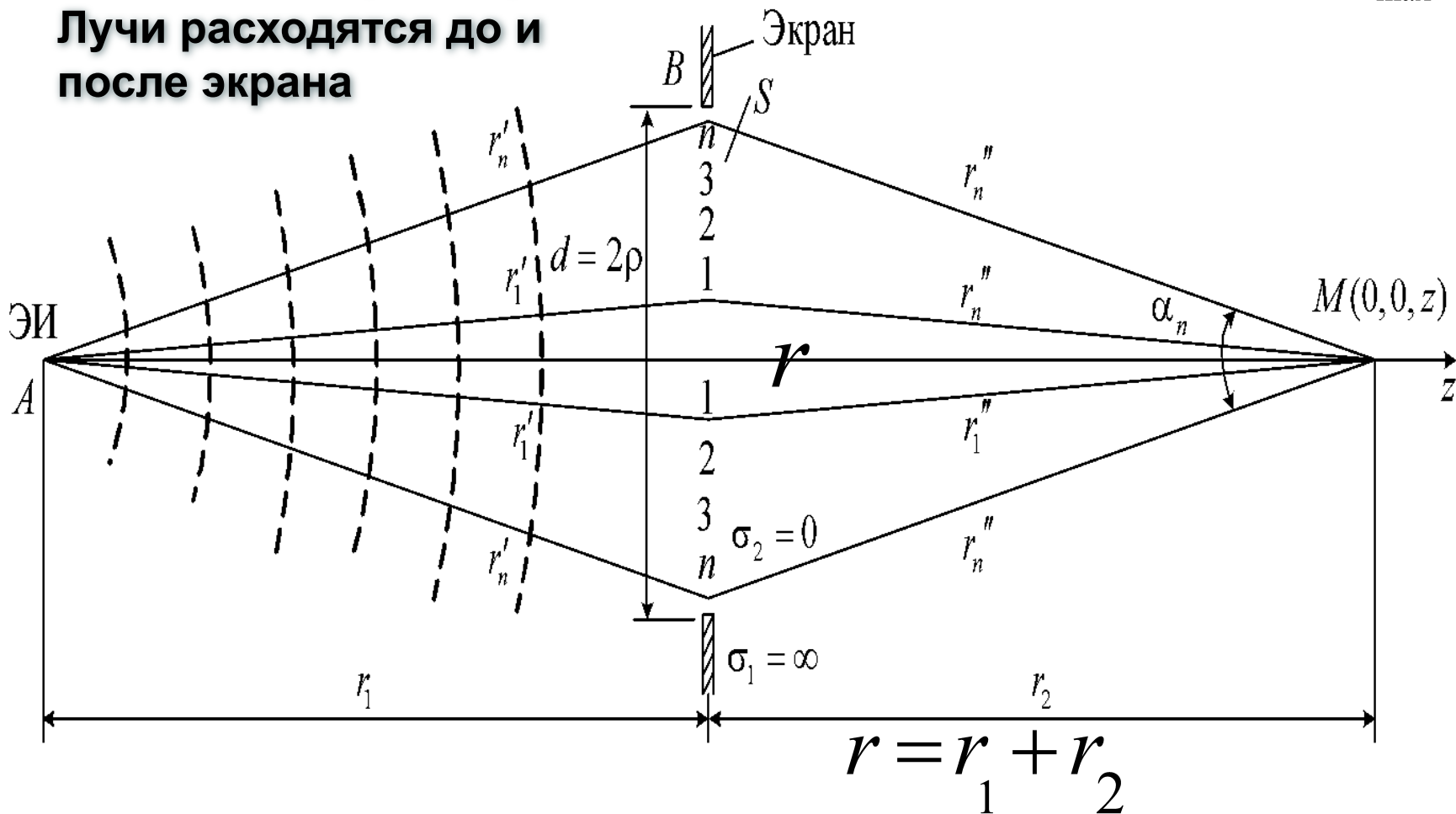
Дифракция сферической волны на отверстии

№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

Разность хода лучей $ABM - AM = n\lambda/2$. $n = 1, 2, 3 \dots$
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:

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



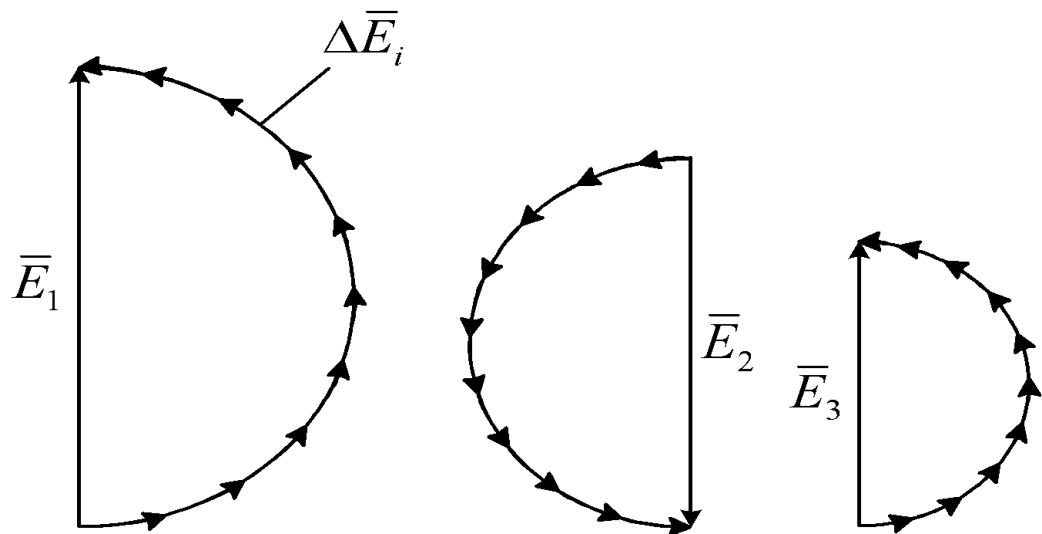
Суммирование полей вторичных источников в точке $M(0, 0, z)$

№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

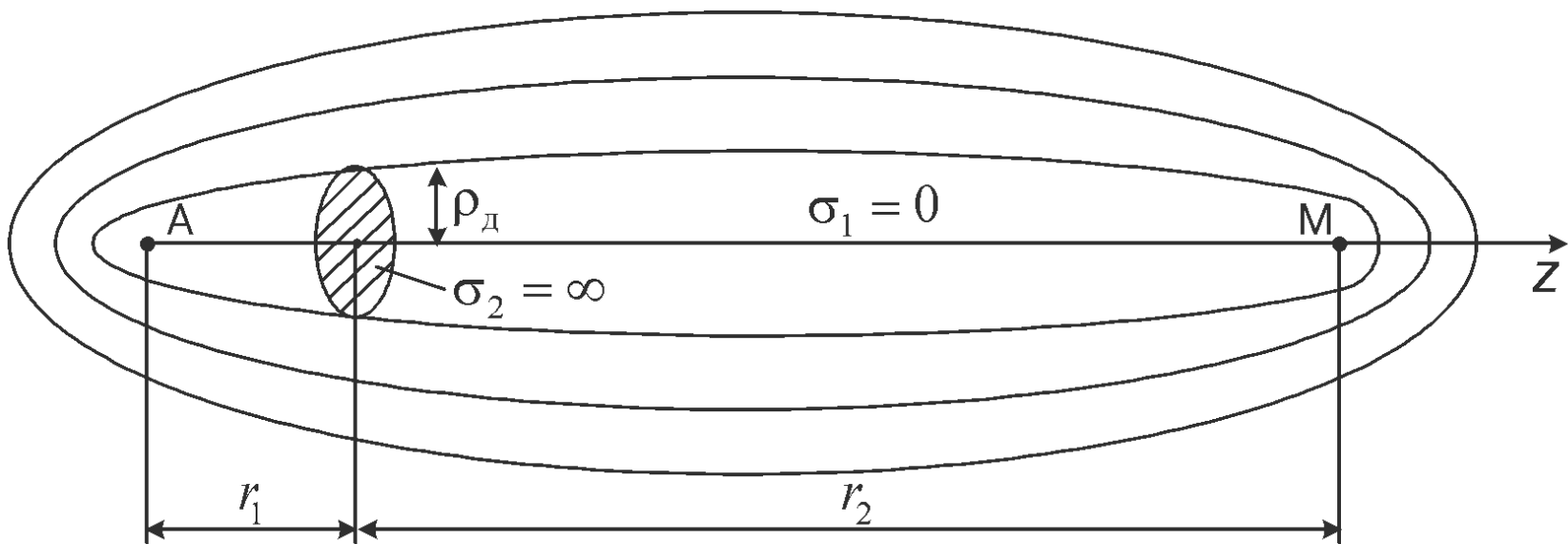
$$E_0 = E_1/2 + (E_1/2 - E_2/2) + (E_3/2 - E_2/2) + (E_3/2 - E_4/2) + \dots \approx E_1/2.$$

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



Дифракция на диске

$$r_{\text{д}} + r_2 \gg d$$



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

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



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**.

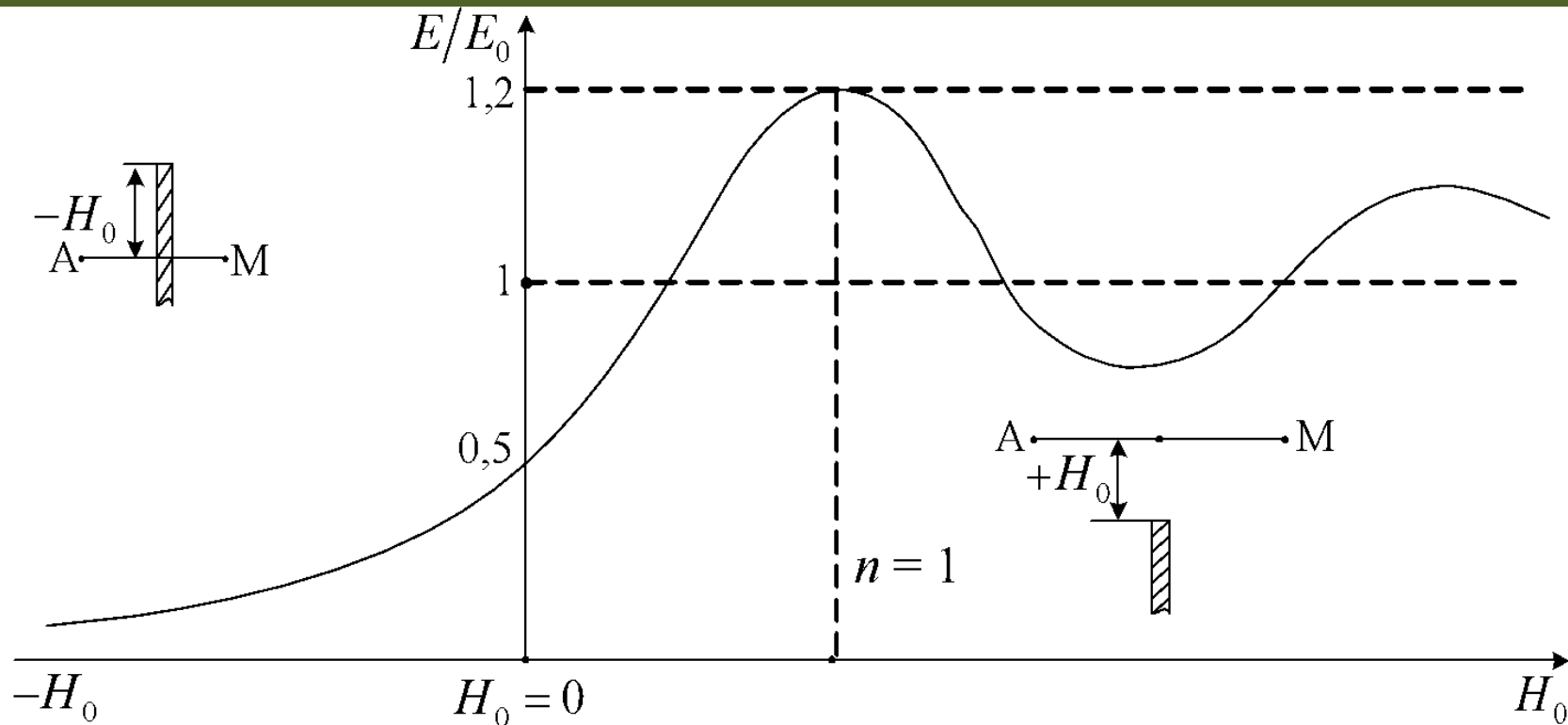
Расстояние между линией, соединяющей ФЦ антенн и непрозрачным экраном (препятствием) называют **просветом**. **Просвет** считается положительным, если край полуплоскости лежит ниже оптической линии АМ.

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.

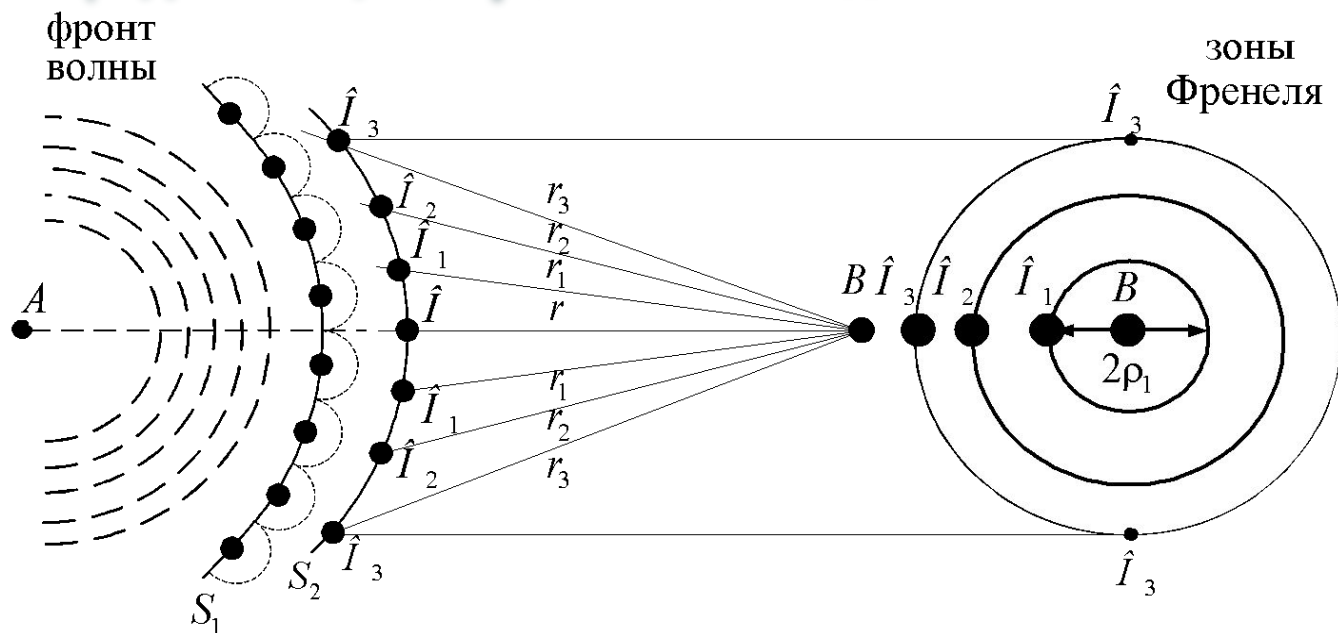


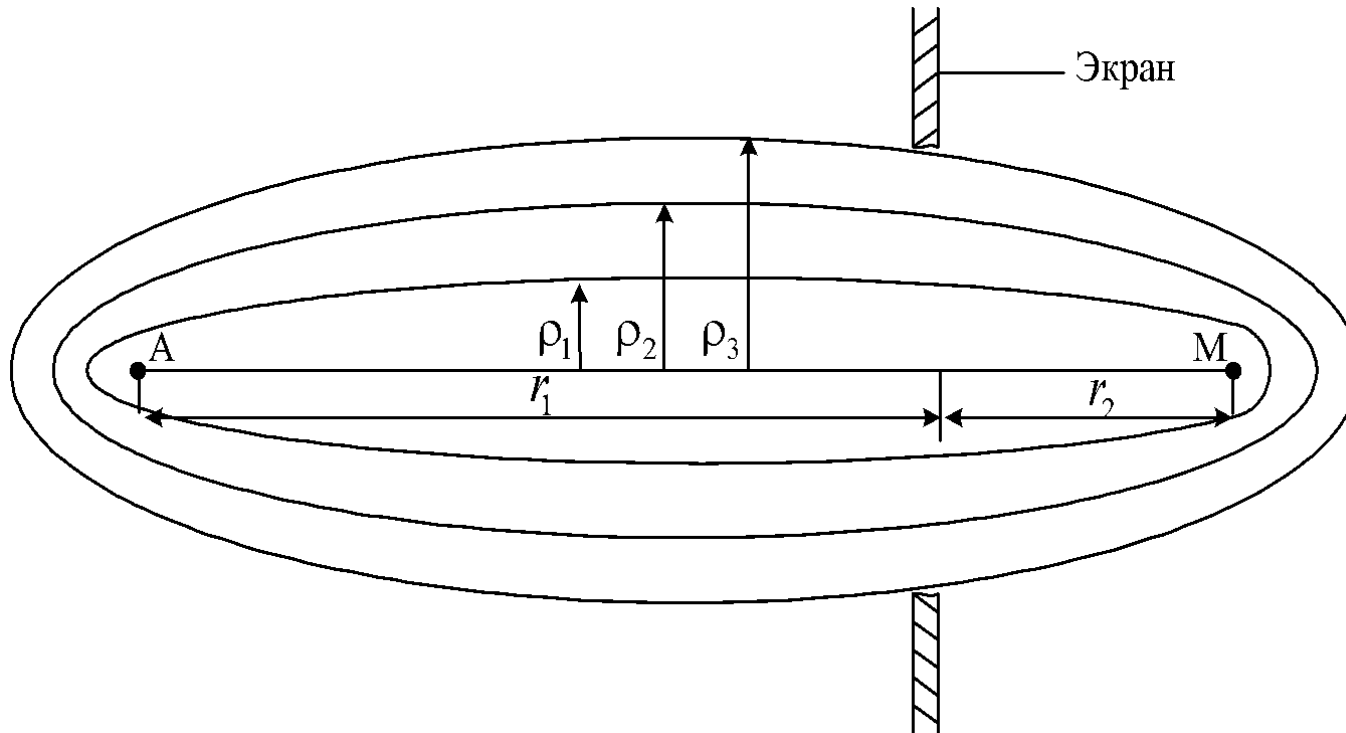
3. Область пространства, существенная при распространении радиоволн

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%.





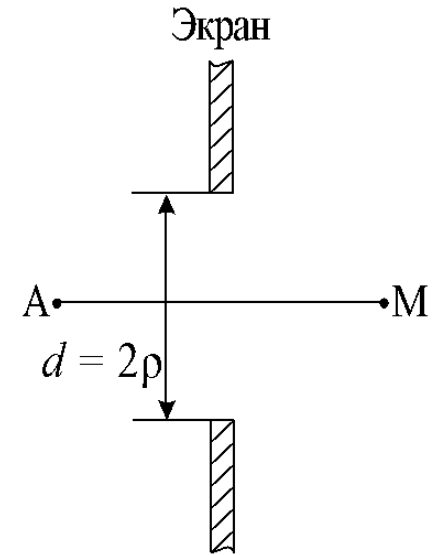
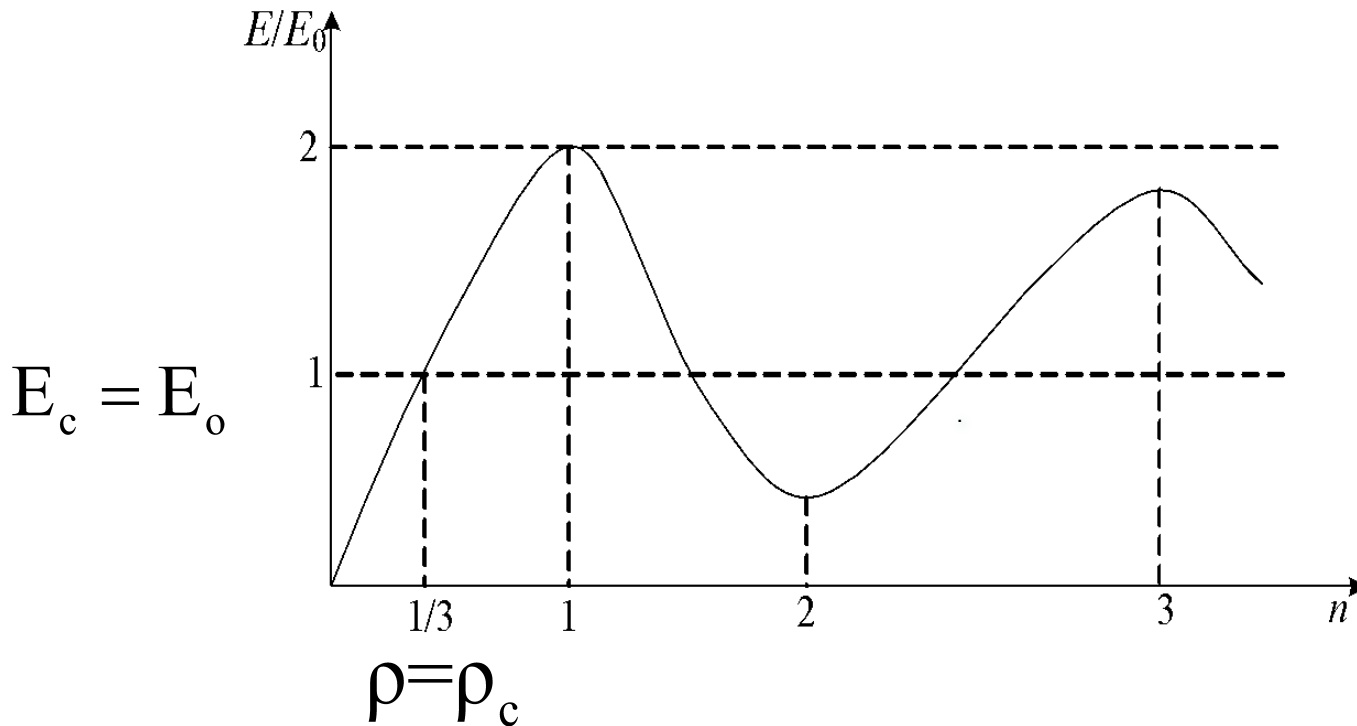
$$\rho_n = \sqrt{n\lambda \frac{r_1 r_2}{r}}$$

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 равному радиусу зоны Френеля нечётного номера, и минимальна при радиусе отверстия, равному радиусу зоны чётного номера



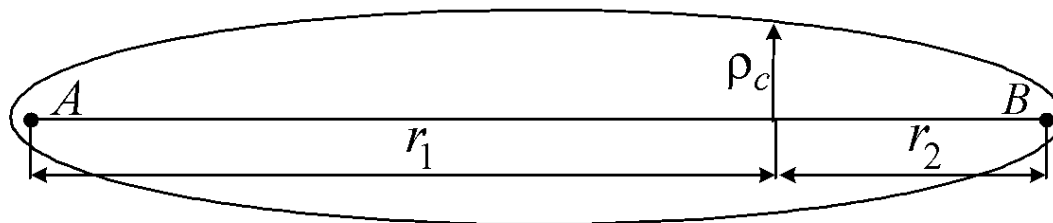
Существенной области при РРВ

№14

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

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

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

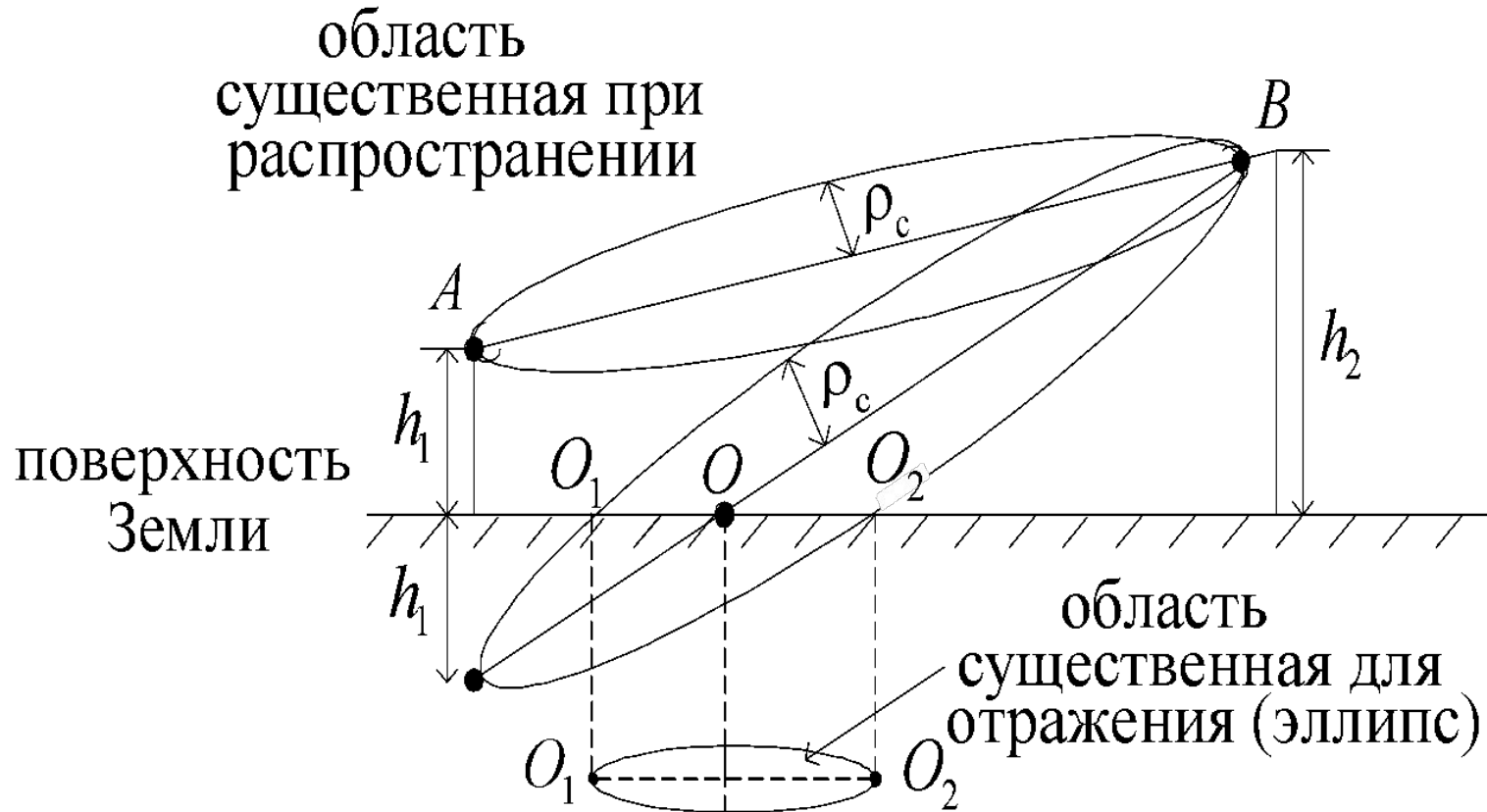


или
$$\rho_c = \sqrt{\frac{1}{3} \lambda r s_i (1 - s_i)}, \quad s_i = r_i / r.$$

На середине трассы:
$$\rho_{c_{\max}} = \sqrt{r \frac{\lambda}{12}}$$



Существенные области распространения и отражения радиоволн



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



ВЫВОДЫ

№16

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.