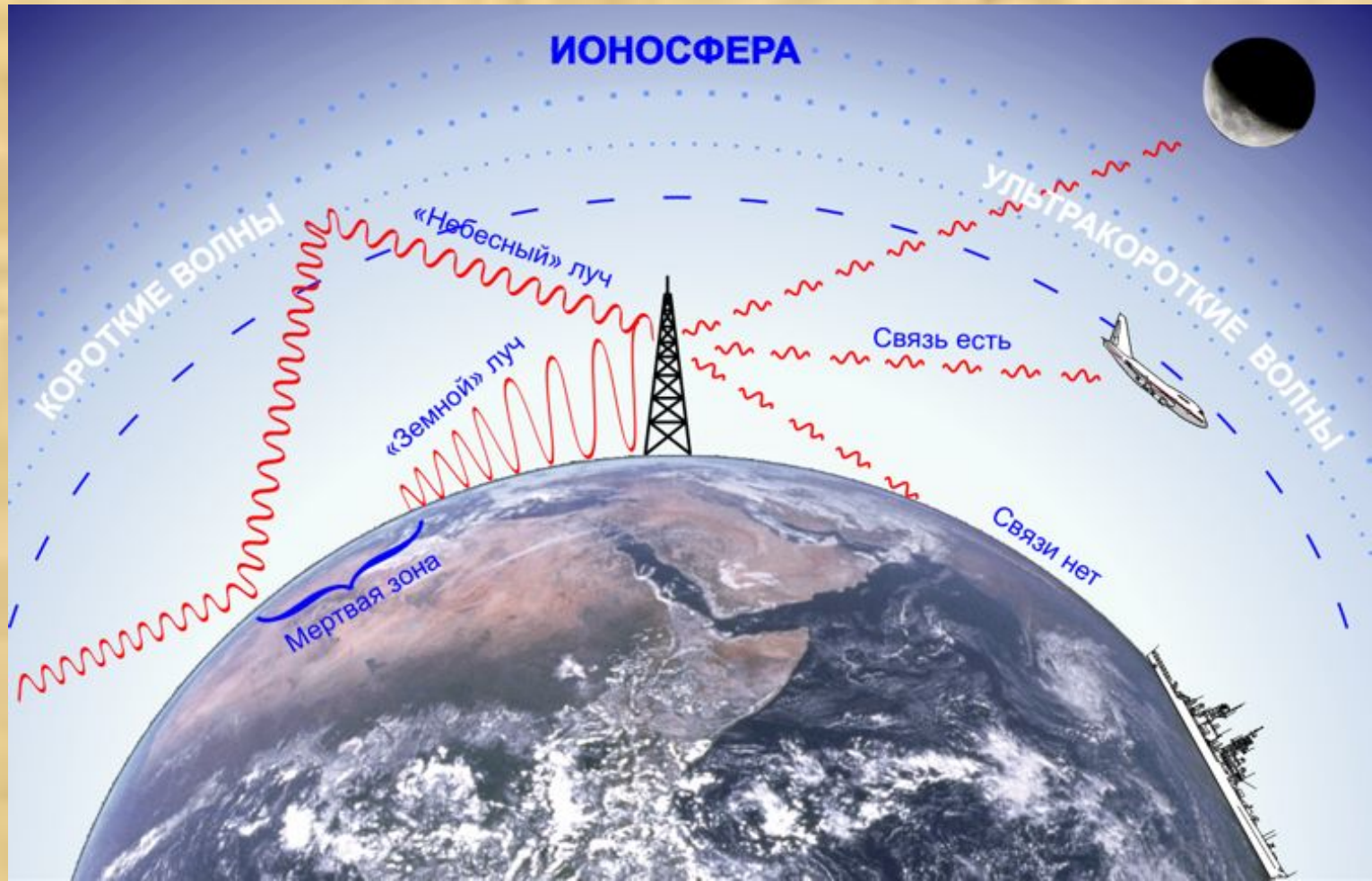


**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА  
И  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**

**ЛЕКЦИЯ № 5:  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ  
РАДИОВОЛН**

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ГОСТ 24375-80)

Ионосферной называется радиоволна, распространяющаяся в результате отражения от ионосферы или рассеяния в ней.



# ПРОЦЕССЫ В ВЕРХНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

- расслоение газов в зависимости от их молекулярной массы под действием силы тяжести

$h$ , км	< 70-80	90-95	85-200	200-600	>600
состав	ионы-гидраты типа $(H_2O)_nH^+$ ; отрицательные ионы $O_2^-$ , $NO_3^-$ и $HCO_3^-$	ионы металлов $Mg^+$ , $Fe^+$ с примесью $Si^+$ , $Na^+$ , $Ca^+$ , $Al^+$ , $Ni^+$	положительные, молекулярные ионы $NO^+$ и $O_2^+$	атомные ионы $O^+$	протоны $H^+$ .

- ионизация газов под действием солнечных и космических лучей

$h$ , км	< 60-70 (день) <80-90 (ночь)	~80	85-100	95-115	120-200
$\lambda$ , Å	-	~1215,7	< 85	911÷1038	85÷911
источник	космические лучи	видимый свет	рентген	УФ	УФ, рентген
		корпускулярные потоки ( $e^-$ с энергией $\leq 30$ кэВ)			

- рекомбинация

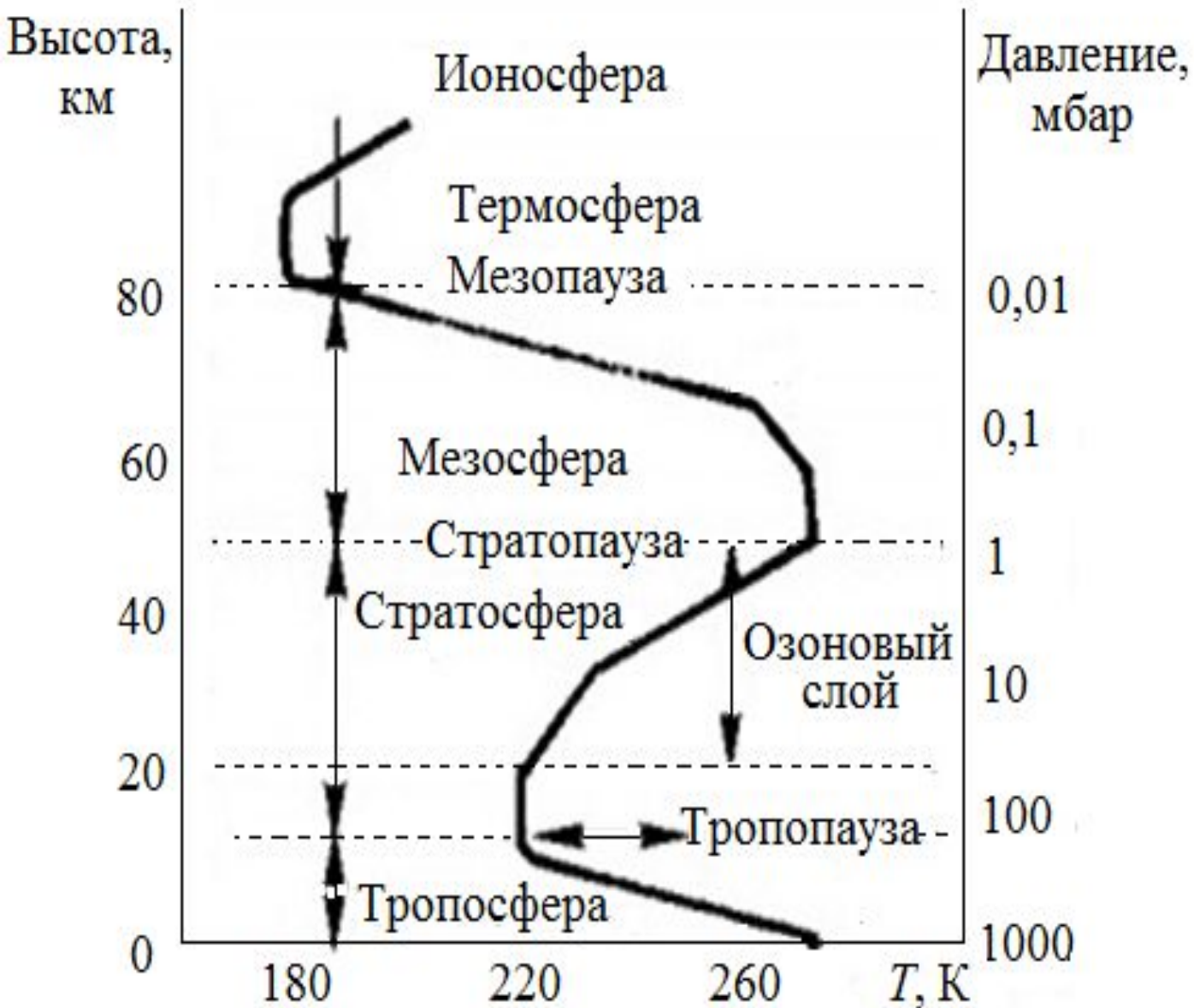
$h$ , км	< 70-80	90-1000	>1000
состав	ион-ионная	диссоциативная	радиоативная

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\hat{\alpha}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

# СТРОЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ

Зависит от времени суток, года, цикла солнечной активности, географического положения (полярная и авроральная зоны, среднеширотные и экваториальные области). Ионизация возрастает на освещенной Солнцем стороне Земли и убывает на теневой. Наиболее стабильной является ионосфера средних широт, которая в спокойном состоянии регулярно изменяется в течение дня, сезона и 11-летнего солнечного цикла.

# СТРОЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ



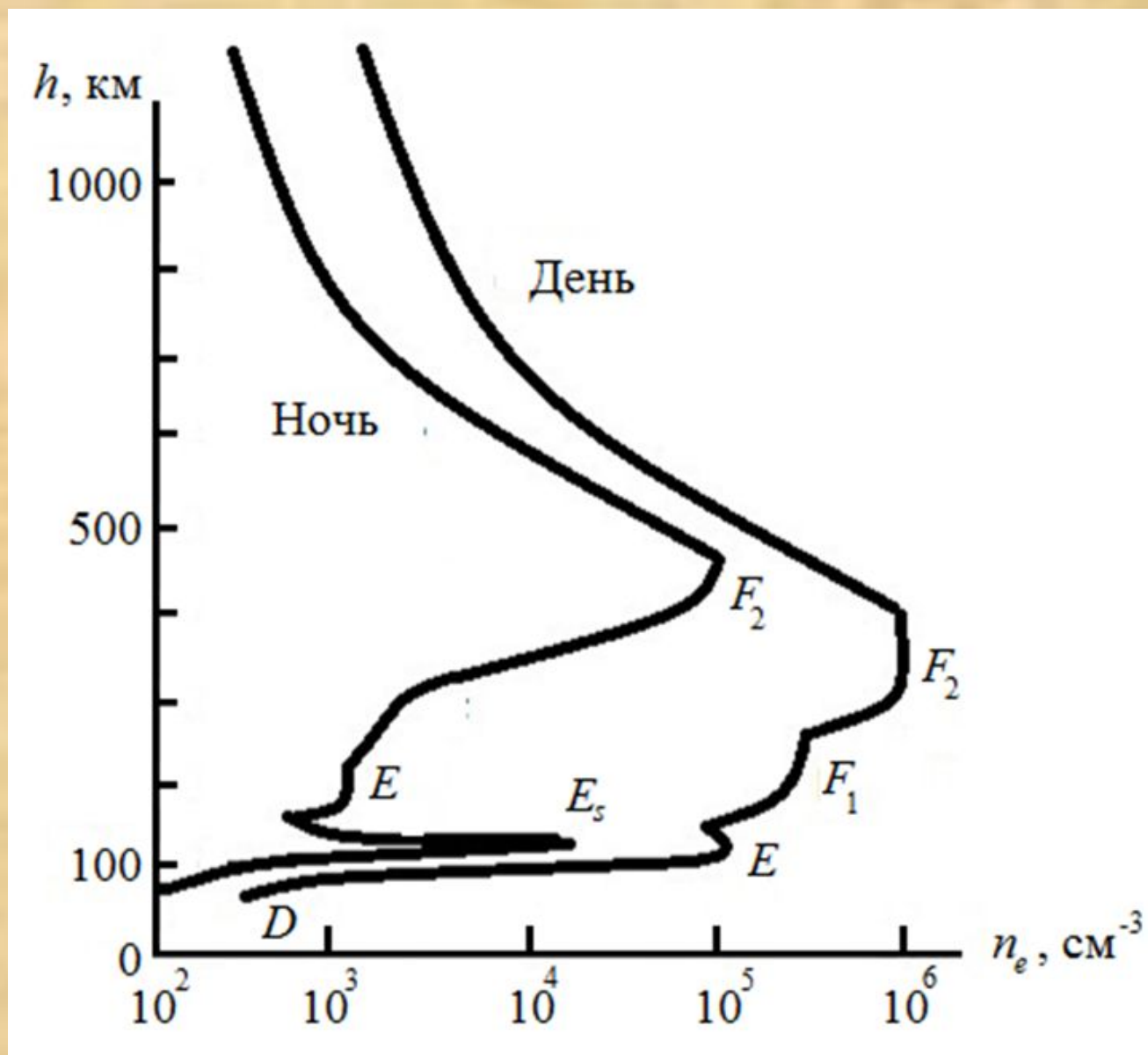
Действующий стандарт ГОСТ Р 25645.158-94 устанавливает модель распределения средних за месяц концентраций электронов ионосферы Земли над геомагнитным экватором в интервале высот 1000-20000 км на любых долготах для любого времени суток различных дней года и уровней солнечной активности, однако он не распространяется на периоды ионосферных бурь.

# СЛОЙ ЧЕПМЕНА В ОДНОРОДНОЙ ИОНОСФЕРЕ

Для образования наибольшего количества ионов необходимо обеспечить максимум двух факторов: частиц для ионизации (выполняется у поверхности Земли) и ионизирующего излучения (выполняется на верхней границе атмосферы).

Максимум ионизированных частиц, наблюдающийся в толще атмосферы, называется простым слоем (слоем Чепмена).

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В РЕАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ



# ПАРАМЕТРЫ СЛОЕВ ИОНОСФЕРЫ

Область ионосферы	Высота максимума, км	$T_i, K$	День		Ночь $n_e \text{ см}^{-3}$	$\dot{a}$ $\text{см}^3 \text{ с}^{-1}$
			Min $n_e \text{ см}^{-3}$	Max $n_e \text{ см}^{-3}$		
$D$	70	220	100	200	10	$10^{-6}$
$E$	110	270	$1.5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	3000	$10^{-7}$
$F_1$	180	800-1500	$3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	-	$3 \cdot 10^{-6}$
$F_2$ (зима)	250	1000-2000	$6 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$	$\sim 10^3$	$2 \cdot 10^{-10}$
$F_2$ (лето)	300	1000-2000	$2 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$\sim 3 \cdot 10^3$	$10^{-10}$

На расстоянии 5-10 км от основного слоя  $E$  возникает слой  $E_s$  (спорадический слой), очень тонкий (0,5-1 км), но плотный, образованный в результате «ветрового сдвига». Данный слой может возникнуть в любое время суток и года, однако в средних широтах он образуется преимущественно днем и летом, в полярных районах ночью в любое время года, а на экваторе в основном днем. Вероятность образования слоя  $E_s$  увеличивается с ростом географической широты; время существования составляет порядка нескольких часов. Не смотря на то, что слой  $E_s$  возникает в ограниченной области ионосферы, его протяженность может достигать десятков или сотен километров, причем часто эта область перемещается в ионосфере со значительной скоростью до  $\sim 300$  км/ч.



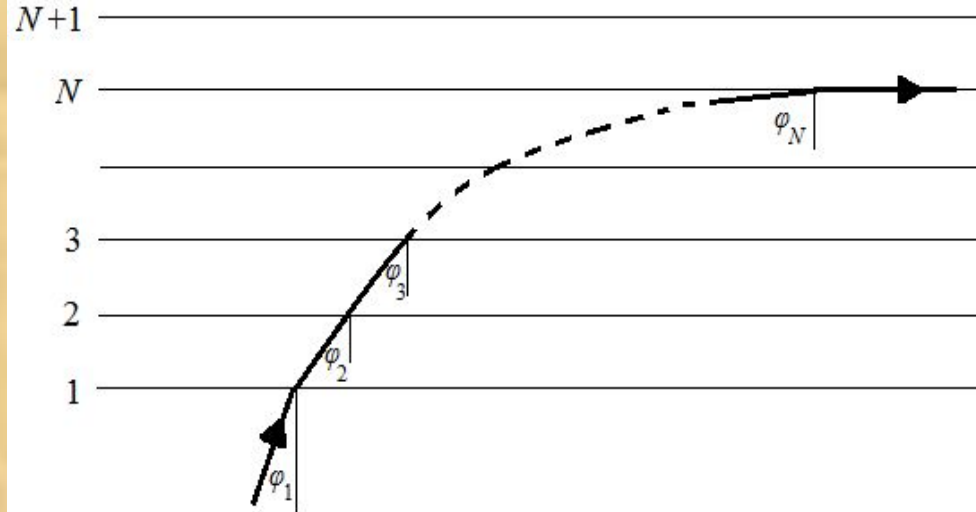
# КРИВАЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЛЯ F-СЛОЯ

# ОТРАЖЕНИЕ ОТ ИОНОСФЕРЫ

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\hat{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\hat{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\hat{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .



область отражения 10-20 км по высоте, величина «скачка» для сверхрефракции до 1000 км

область отражений 100-400 км по высоте, дальность «скачка» до нескольких тысяч километров (кругосветное распространение)

по своим свойствам в среднем приближена к нормальной, отклонения от этого состояния являются редким и плохо прогнозируемым явлением

электронная концентрация слоев ионосферы подвержена регулярным изменениям, что позволяет прогнозировать возможности радиосвязи

изменение коэффициента преломления обусловлено изменением температуры, давления и влажности, зависимости от частоты не наблюдается

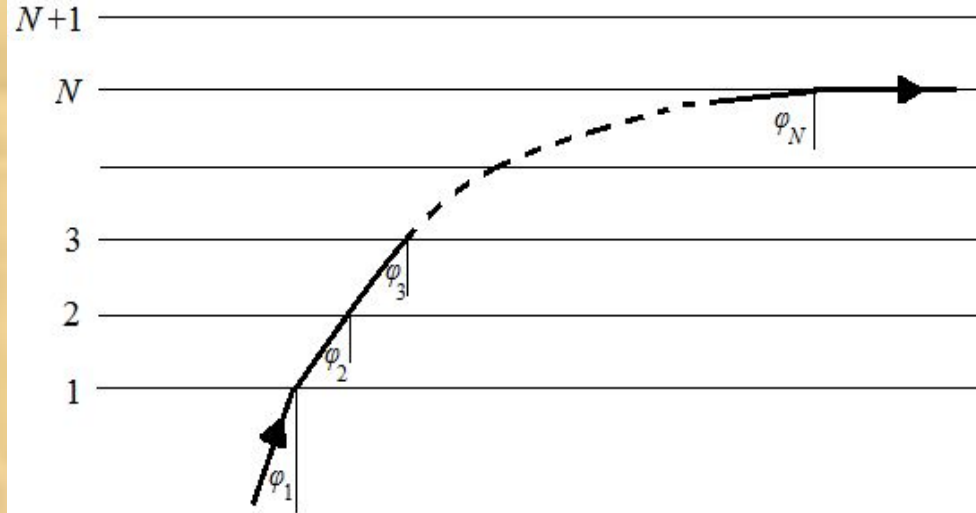
коэффициент преломления меняется в зависимости от электронной концентрации  $n_e$ , и зависит от частоты радиоволны (явление дисперсии)

# ОТРАЖЕНИЕ ОТ ИОНОСФЕРЫ

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .



Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

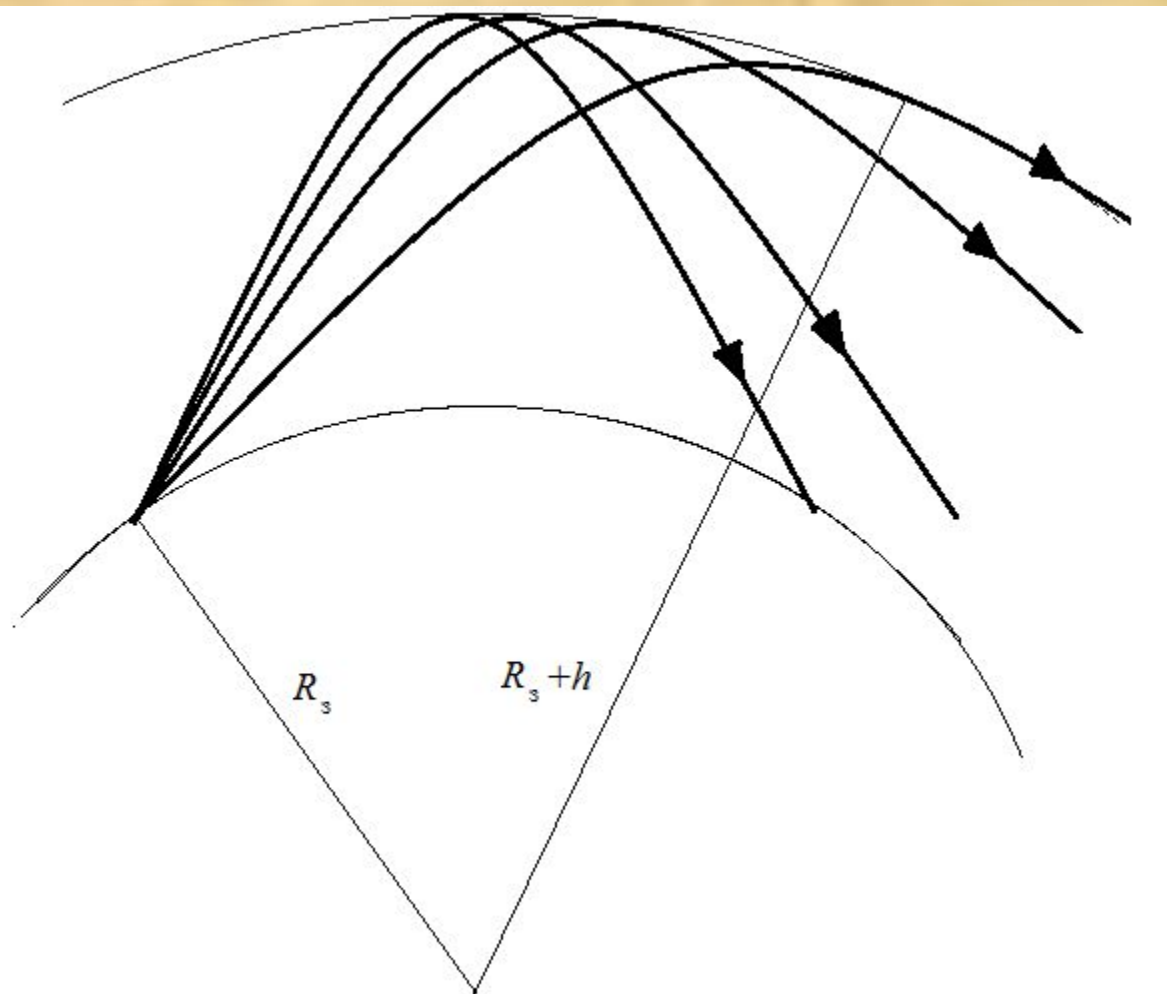
Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

радиус кривизны траектории волны, распространяющейся в слоистой атмосфере

тивным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет

тивным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который оп

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .



## условие полного внутреннего отражения

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\dot{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

в точке отражения волны электронная концентрация должна возрасти с высотой, отражение не может происходить в слое с максимумом электронной концентрации

для полного внутреннего отражения

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\alpha$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\alpha$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\alpha$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

чем больше частота волны, тем большая электронная концентрация требуется для ее поворота

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\alpha$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\alpha$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\alpha$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

максимальное значение частоты

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\acute{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\acute{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\acute{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Наибольшая частота, при которой радиоволны отражаются от данного слоя при вертикально направленном луче, получила название критической частоты.

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\acute{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации  $\acute{a}$ , который определяет изменение во времени концентрации электронов  $n_e$ .