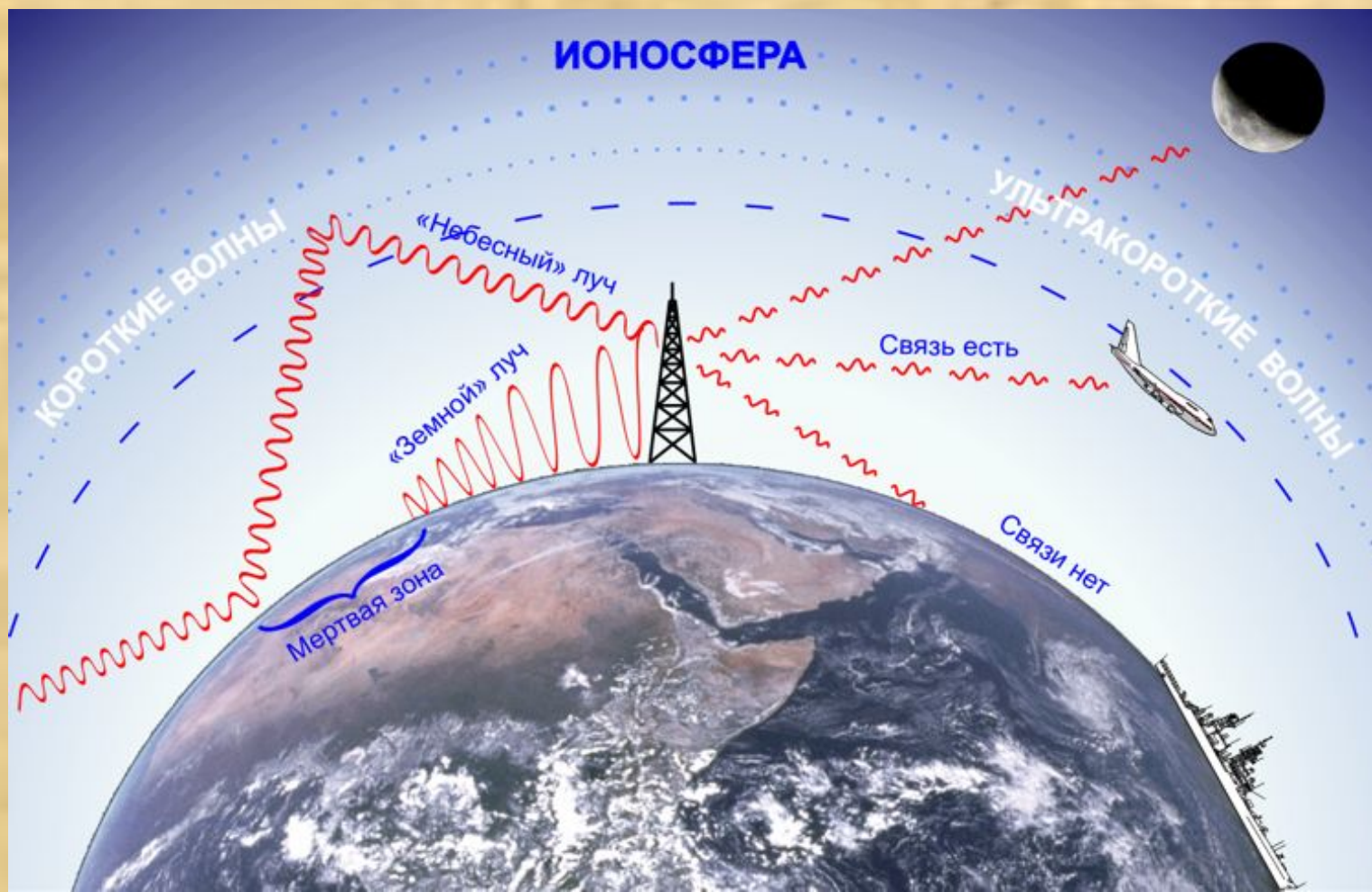


**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
И
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**

**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
λ , Å	-	~1215,7	< 85	911÷1038	85÷911
источник	космические лучи	видимый свет	рентген	УФ	УФ, рентген
		корпускулярные потоки (e^- с энергией ≤ 30 кэВ)			

- рекомбинация

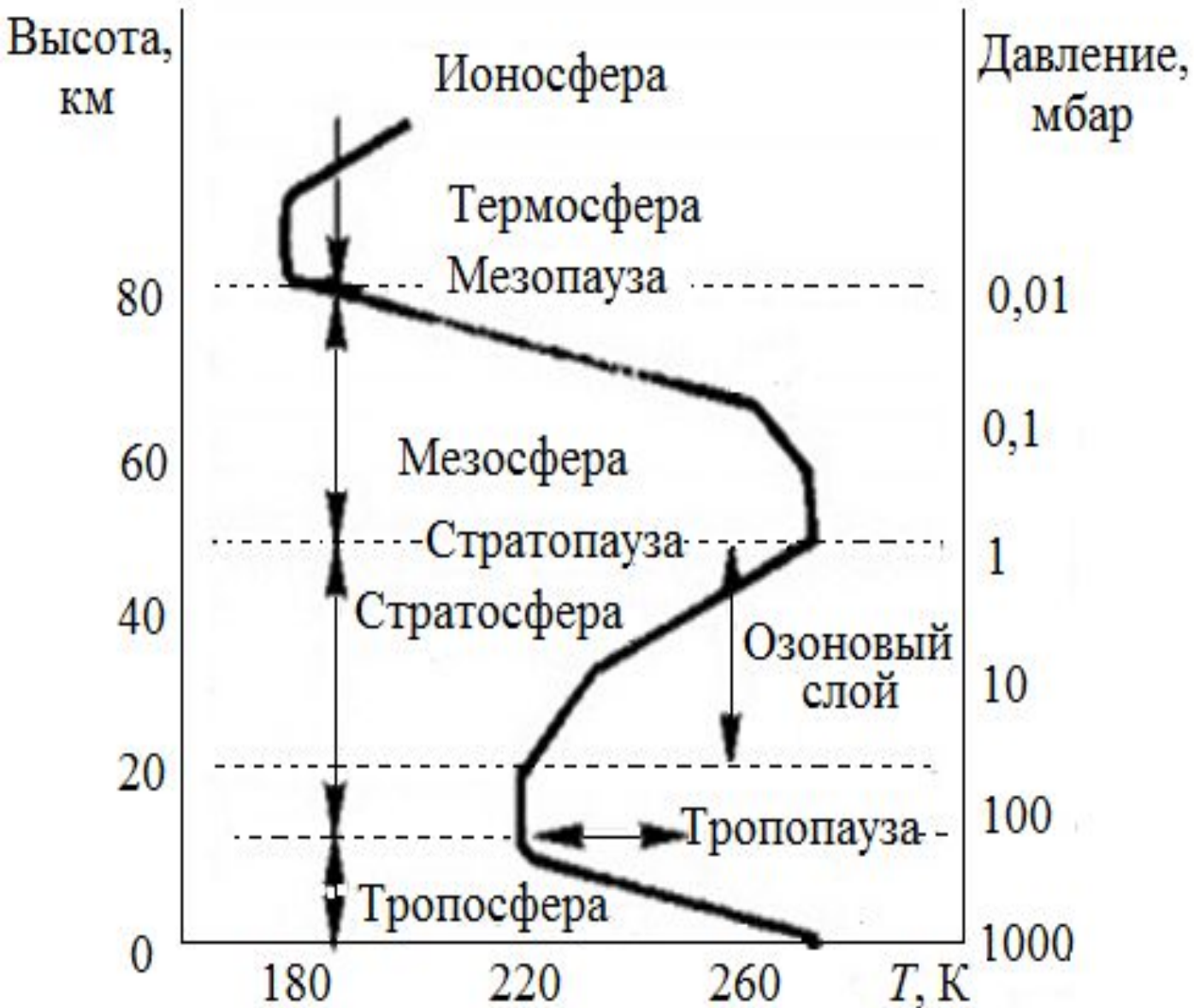
h , км	< 70-80	90-1000	>1000
состав	ион-ионная	диссоциативная	радиоативная

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



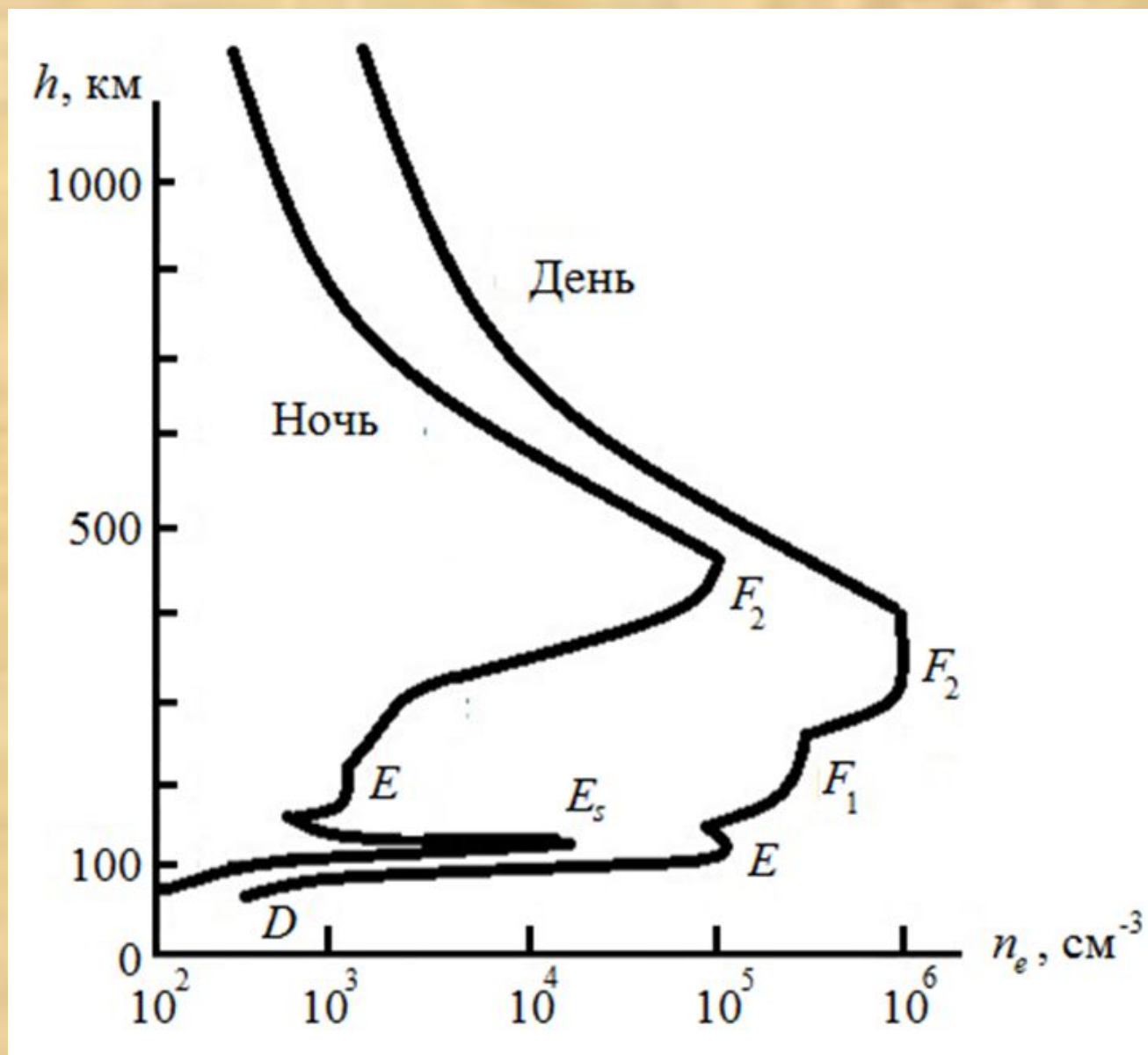
Действующий стандарт ГОСТ Р 25645.158-94 устанавливает модель распределения средних за месяц концентраций электронов ионосферы Земли над геомагнитным экватором в интервале высот 1000-20000 км на любых долготах для любого времени суток различных дней года и уровней солнечной активности, однако он не распространяется 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 , К	День		Ночь n_e см ⁻³	\dot{a} см ³ с ⁻¹
			Min n_e см ⁻³	Max n_e 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 ~ 300 км/ч.

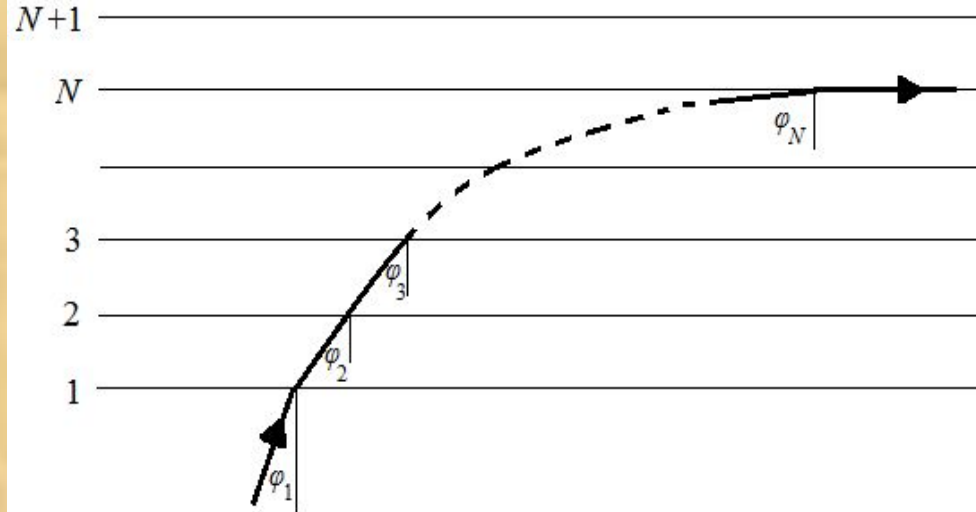
КРИВАЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЛЯ F-СЛОЯ

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

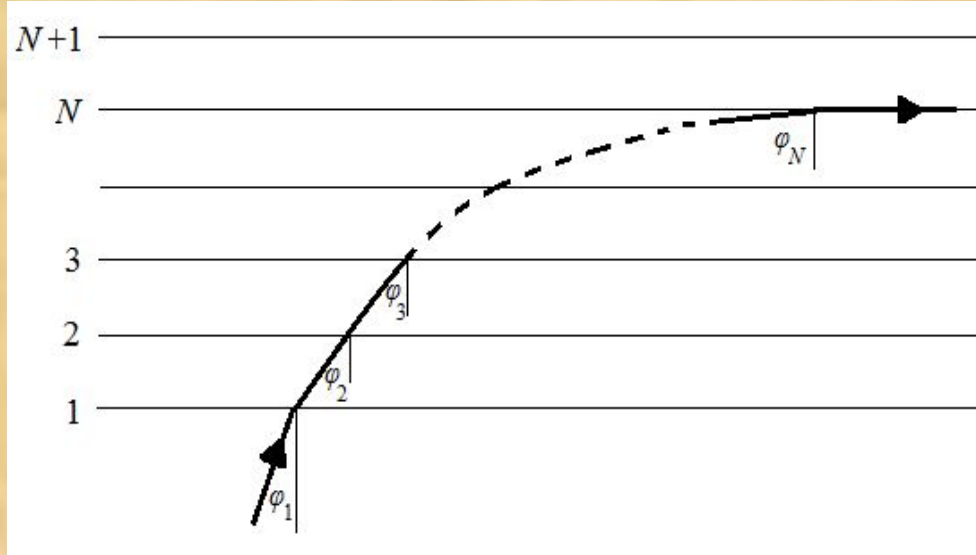
коэффициент преломления меняется в зависимости от электронной концентрации n_e , и зависит от частоты радиоволны (явление дисперсии)

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 .

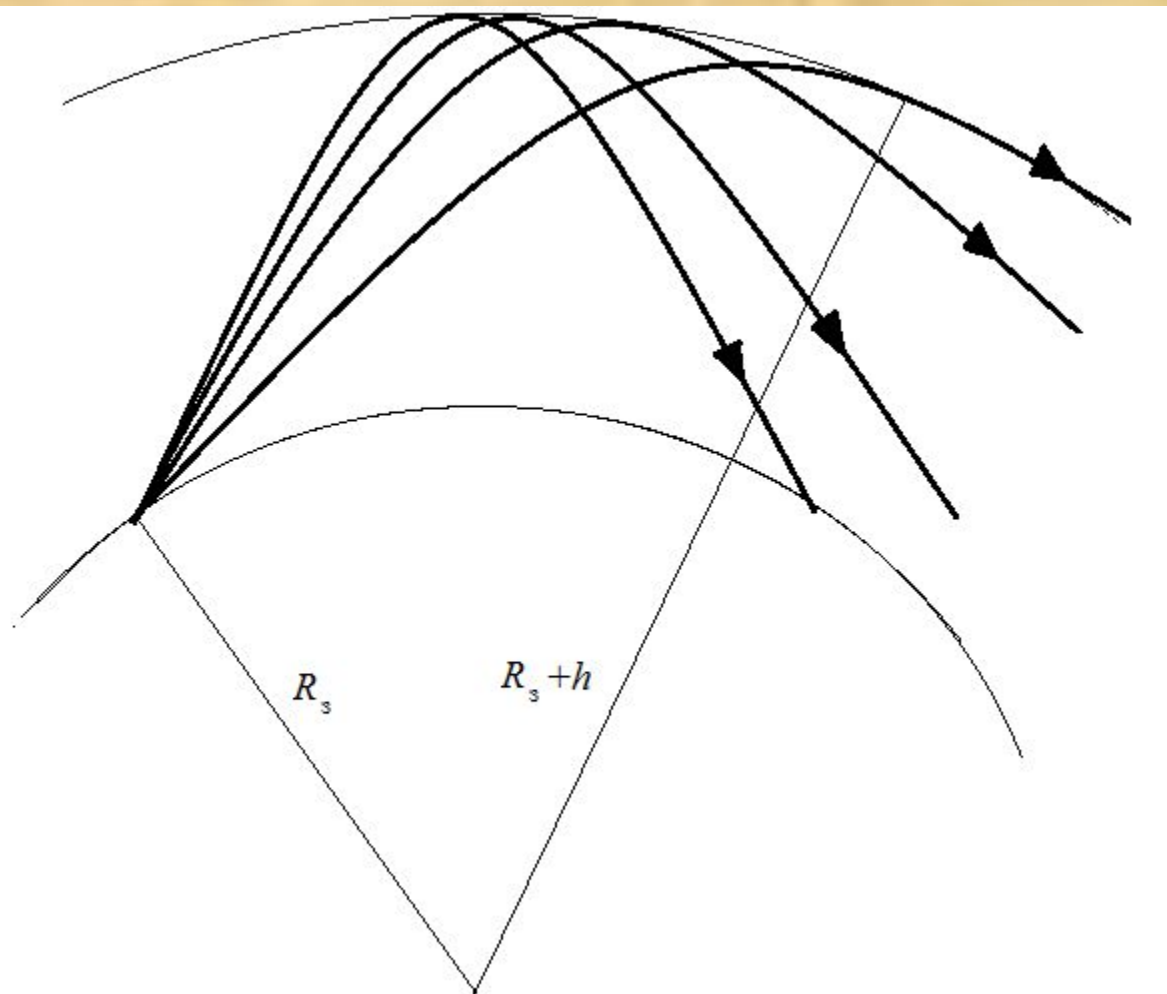
Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации \dot{a} , который определяет изменение во времени концентрации электронов n_e .

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 возрасть 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 α , который определяет изменение во времени концентрации электронов n_e .

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

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

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

Скорость исчезновения ионов в ионосфере характеризуется эффективным коэффициентом рекомбинации α , 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 .