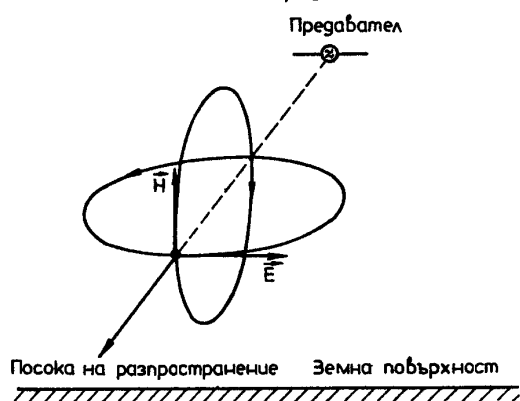


Тема 15. Радиовълни – особености при разпространението на радиовълните от различните честотни обхвати.

Основни понятия за електромагнитни вълни

Посоката на разпространение на електромагнитната вълна (ЕМВ) е перпендикулярна на нейната фронтална равнина в която лежат векторите на електрическото и магнитното полета. Двете полета са взаимноперпендикулярни и се изменят по един и същи закон.



\vec{E} – Интензитет на електрическото поле

\vec{H} – Интензитет на магнитното поле

$Z_0 = E / H$ – Вълново съпротивление

$S = EH = E^2 / Z_0, W / m^2$ – плътност на потока (енергията пренасяна през единица площ за единица време)

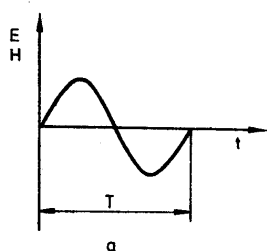
Плътността на потока се нарича още **вектор на Пойнтинг**

Ако площта на равнината, в която се определя енергийната плътност, е F , мощността P , пренасяна от ЕМВ е

$$P = SF = \frac{E^2}{Z_0} F, W$$

Скоростта на разпространение v на ЕМВ зависи от диелектричната ϵ и магнитната μ проницаемости на средата

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\epsilon\mu}}, km / s$$



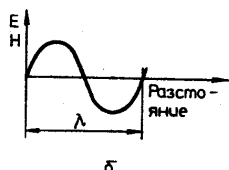
а

Ако H и E се изменят по хармоничен (\sin или \cos) закон с **честота** f и **период** на повторение T , където

$$f = 1/T,$$

то **дължина на вълната** λ се нарича периодът на повторение в пространството.

$$\lambda = cT = c/f, m$$

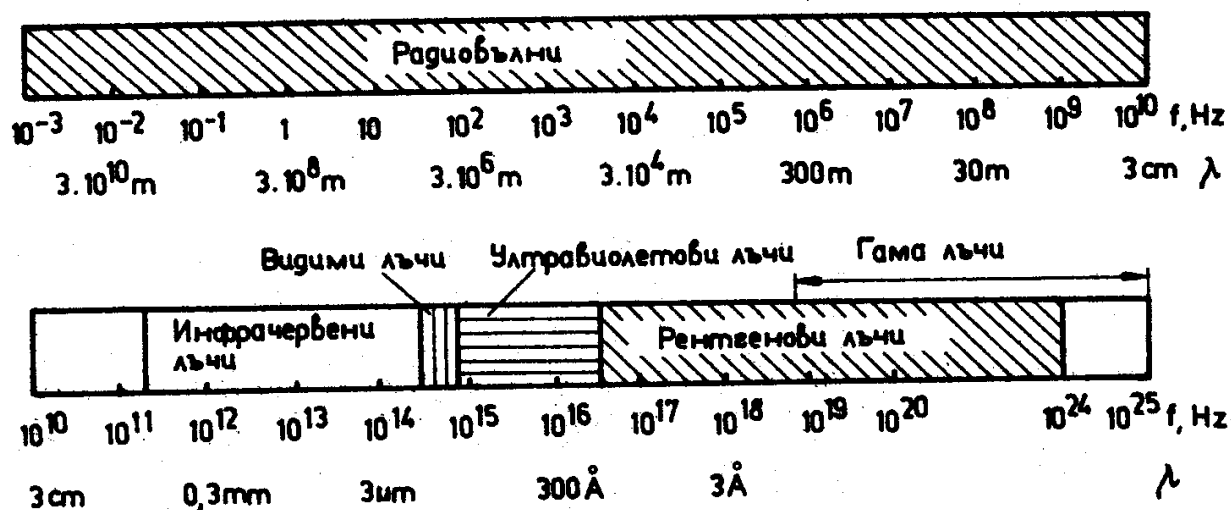


б

Така за време T ЕМВ ще се премести в пространството на разстояние λ

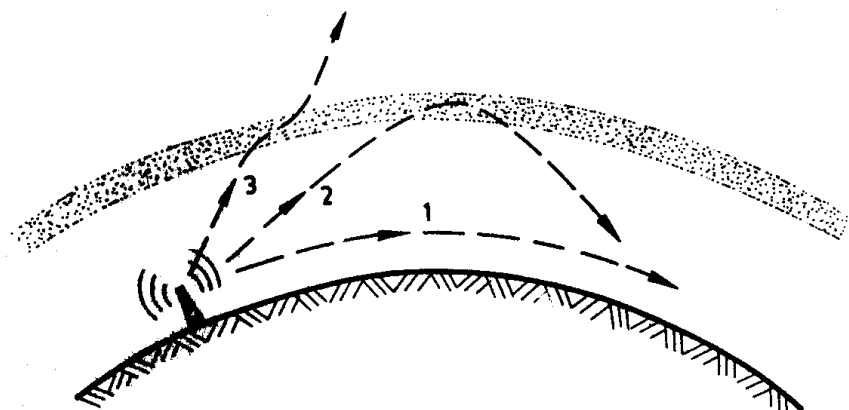
ЕМВ биват **сферични**, **цилиндрични** и **плоски** в зависимост от геометрията на излъчвателя; **свободни** и **направляеми**; **надлъжни** и **напречни**. Те могат да имат и различна (елиптична, кръгова или линейна) **поляризация**.

Класификация на вълните



Честотни обхвати		Вълнови обхват	
Граници	Наименование (означение)	Граници	Наименование (означение)
30 - 300kHz	ниски честоти (НЧ, LF)	10 - 1km	дълги вълни (ДВ)
300 - 3000kHz	средни честоти (СЧ, MF)	1 - 0,1km	средни вълни (СВ)
3 - 30MHz	високи честоти (ВЧ, HF)	100 - 10m	къси вълни (КВ)
30 - 300MHz	много високи честоти (МВЧ, VHF)	10 - 1m	метрови вълни (МВ)
300 - 3000MHz	ултрависоки честоти (УВЧ, UHF)	1 - 0,1m	дециметрови вълни (ДМВ)
3 - 30GHz	свръхвисоки честоти (СВЧ, SHF)	10 - 1cm	сантиметрови вълни (СМВ)
30 - 300GHz	Крайно високи честоти (КВЧ, EHF)	1cm-1mm	милиметрови вълни (ММВ)

Разпространение на радиовълните



Приземни (1) и пространствени (2 и 3) радиовълни. Тропосферна рефракция

Влияние на земната повърхност

Земната повърхност оказва влияние на разпространението на радиовълните чрез своя релеф (неравномерности) и електрическите свойства на почвата. Когато неравномерностите на земната повърхност са съизмерими или по-големи от дължината на радиовълната, това влияние нараства. Дифракцията (най-силно изразена при дългите вълни) позволява преминаване зад прегради.



Дифракция на вълните

Влияние на атмосферата

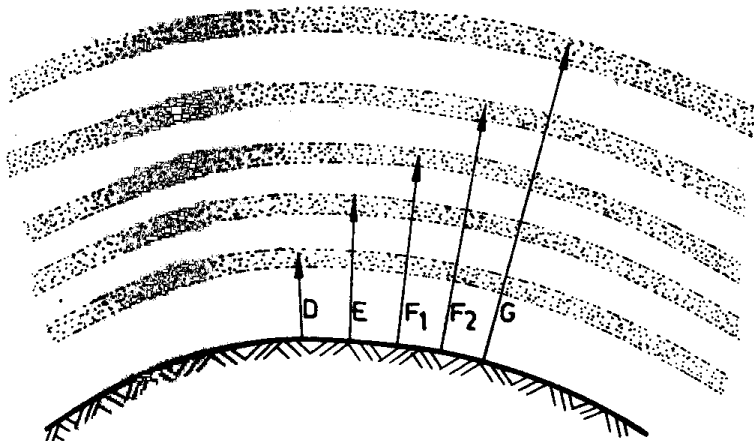
Пространствените радиовълни може да проникнат дълбоко в атмосферата или след пречупване да се върнат обратно към земята.

До височина от порядъка на 100km химическият състав на атмосферата не се различава съществено от приземния слой. Това се отнася преди всичко до долните части на атмосферата - тропосфера (10-18km) и стратосфера (приблизително до 80 km). Горната част на атмосферата се нарича йоносфера (80 - 800 km).

Влияние на тропосферата: 1. Поглъщане, вторични и **разсеяни вълни**.
2. Нормална тропосферна рефракция (смяна на посоката в горните слоеве).

Влияние на стратосферата: **Свърхрефракция** на радиовълните (от резки промени на температурите: на 20 km – минус 50-60⁰, а на 60 km – плюс 80⁰

Влияние на йоносферата. Йоносферата има многослойна структура с различна степен на йонизация в различните слоеве



Слой F_1 има сезонен характер

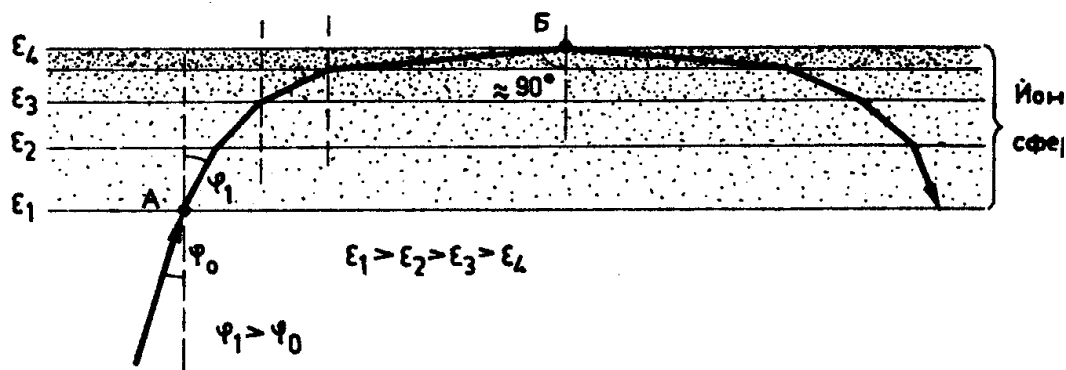
Слой D се появява само денем

E и F_2 – постоянни

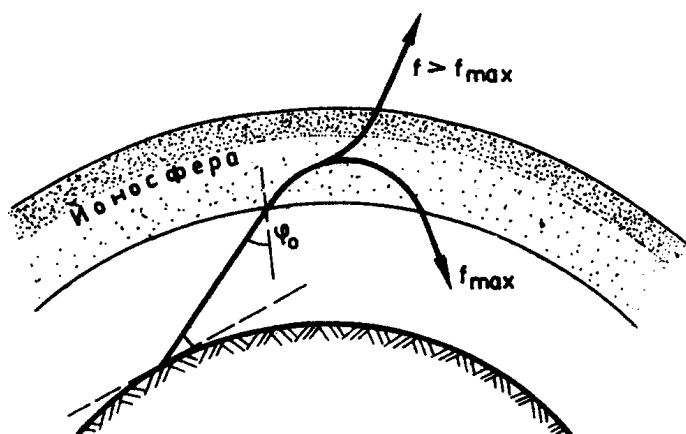
Слой F_2 – с максимална плътност на електрони

Слоеста структура на йоносферата: D – 60–80km, E – 100–200km, F_1 – 300km, F_2 – 300–400km, G – 500km

Пречупване на радиовълните в йоносферата

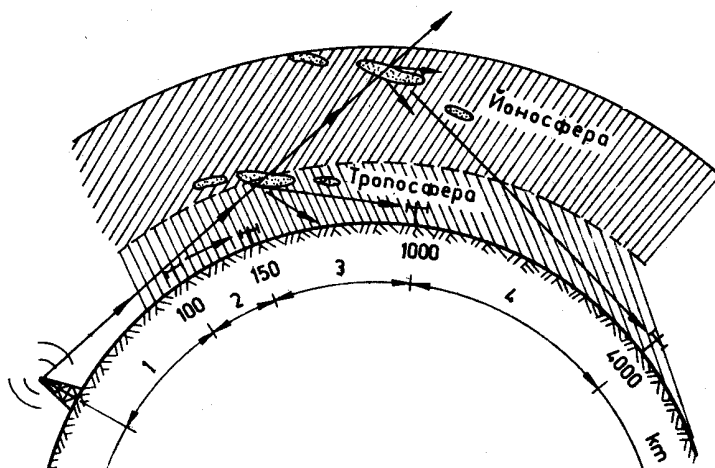


Влияние на честотата върху траекторията на ЕМВ в йоносферата



Максималната честота, при която радиовълната, разпространяваща се перпендикулярно на земната повърхност все още се отразява от йоносферата, се нарича **критична честота**. При дадени атмосферни условия съществува **максимална приложима честота (МПЧ)** на вълната f_{max} , при която все още след отразяване в атмосферата вълната може да стигне до точката на приемане. Радиовълни с честоти, по-високи от МПЧ, преминават през йоносферата, без да изменят своята траектория и това прави възможни космическите и спътникови радиовръзки.

Видове радиовръзки



(1)– директна; (2)– чрез дифракция; (3)– тропосферна; (4)– йоносферна

ОСОБЕНОСТИ ПРИ РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА РАДИОВЪЛНИТЕ ОТ РАЗЛИЧНИТЕ ЧЕСТОТНИ ОБХВАТИ

Особености при разпространението на свръхдългите и дългите радиовълни

За разпространението на дългите вълни (ДВ) роля играят земната повърхност и йоносферата. Влиянието на тропосферата е доста по-слабо. За ДВ земната повърхнина е добър проводник и те се отразяват от нея с малки загуби. Те се поддават и на дифракция и така се получава силна приземна вълна, с която може да се установи радиовръзка до няколкостотин километра.

Дългите вълни се отразяват от йоносферата, но не проникват в нея. Денем те се отразяват от най-ниски слой **D**, а нощем от слой E. При ДВ възниква т.нар. **вълноводно разпространение** – последователното отразяване на ДВ с малки загуби от земята и от йоносферата, разглеждано като разпространение в естествен вълновод между земята и йоносферата, позволява вълните да стигнат до отдалечени приемни точки.

В близост до ДВ предавател преобладава приземната радиовълна. С отдалечаване на 300-400 km приземната и йоносферната вълна имат приблизително еднакъв интензитет. След това започва да преобладава йоносферната вълна и над 3000 km напълно се проявява вълноводният характер на разпространението.

Недостатъци: проблеми с изграждането на ефективни антени, тясната честотна лента и ниската скорост на пренасяне на информацията.

Особености при разпространението на средните вълни

Подобно на ДВ и средните вълни (СВ) се разпространяват чрез приземна и пространствена вълна. Поради по-високата им честота те навлизат по-дълбоко в йоносферата, като се отразяват от слой E. Йоносферната радиовръзка на СВ се отличава с **денонощни колебания** на силата на приемането. През деня, когато съществува слой D, йоносферната вълна поради поглъщане може да затихне напълно. В такъв случай радиовръзката се осъществява само с приземна вълна на разстояние до няколкостотин километра. Изчезването на слой D през нощта намалява затихването, а интензитетът на полето на йоносферната вълна значително да се повиши. Тези денонощни колебания са причина в обхвата на СВ денем да се приемат само близки радиостанции чрез приземната вълна, а нощем освен близки да се приемат и далечни станции чрез йоносферната вълна.

За СВ са характерни и **сезонни колебания** на силата на приемане. Те се дължат на промяната на електронната концентрация на йоносферата, настъпваща поради естествената сезонна промяна в зенитния ъгъл на слънцето.

Вредно явление при разпространението на СВ е **фадингът**, т.е. затихването вследствие на интерференция между две вълни независимо от вида им. Фадингът прави радиовръзката несигурна и влошава качеството на приемане. За борба с фадинга се използват специални антени и се въвежда автоматично регулиране на усилването в приемните устройства.

Особености при разпространението на късите вълни

За късите вълни земната повърхност е полупроводима и затихването в нея е голямо. С приземна вълна не може да се постигне радиовръзка на повече от няколко десетки километри. Дифракционната способност на КВ е силно намалена. Късите вълни проникват дълбоко в йоносферата и тяхното разпространение зависи силно от нейното състояние. В повечето случаи те преминават с поглъщане през слоеве **E** и **D**, като се отразяват от слой **F**. При определени условия **чрез КВ може да се осъществи радиовръзка с всяка точка от земното кълбо**.

Йоносферната радиовръзка на КВ налага да бъдат изпълнени две условия:

- честотата на вълната да не превишава максималната приложима честота за отразяване от йоносферата;
- честотата на вълната да е достатъчно висока, за да се избегне силното поглъщане в йоносферата.

Изменящата се в широки граници през денонощието електронна концентрация на йоносферата налага използването на различни честоти за радиовръзка. Оптималните дължини за радиовръзка на КВ през деня са в границите 10 - 30 m, а през нощта - от 30 до 100 m. Друга слаба страна на радиовръзката на КВ е появата на силен фадинг.

КВ се използват за радиовръзка на далечни разстояния – магистрални радиотрасета, системи за радиоразпръскване, за радиовръзки на радиолюбители, за нуждите на навигацията, за връзки със самолети и др.

Особености при разпространението на метровите вълни

Метровите вълни (МВ) се разпространяват най-често като комбинирани приземно-тропосферни вълни. Поглъщането и разсейването на МВ в тропосферата е сравнително слабо, а траекторията им там може да се измени поради рефракция или свръхрефракция, като разстоянието на приемане нараства. При възникване на закривяване в обратна посока условията на приемане се влошават. Дифракционната способност на МВ е силно намалена в сравнение с ДВ и КВ, но все пак в някои случаи дава възможност за установяване на радиовръзка при липса на пряка видимост. Дифракционна връзка може да се използва например за радиотелеграфия, радиотелефония, УКВ-ЧМ- предавания и др. МВ несъмнено покриват по-далечни разстояния от дециметровите, но с по-трудни за реализация антени.

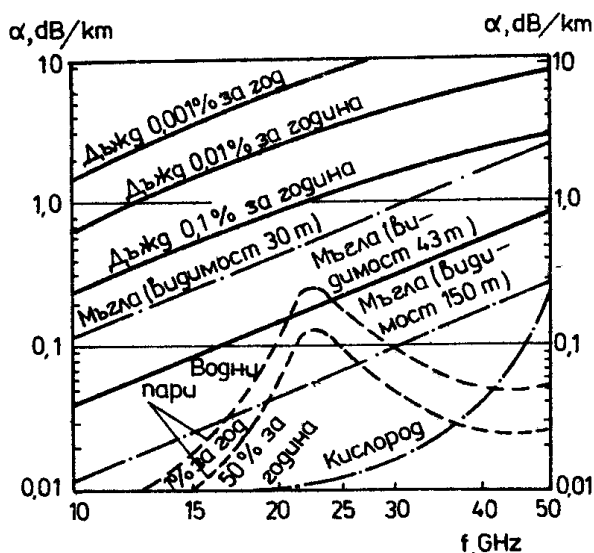
Особености при разпространението на дециметровите вълни

Дециметровите вълни (ДМВ) (0.3 – 3 GHz) се разпространяват предимно като приземно-тропосферни или чисто тропосферни вълни. Поради силната промяна на поляризацията на вълните в йоносферата използването на ДМВ при радиовръзка Земя-Космос е ограничено. Тропосферната рефракция при ДМВ е подобна на рефракцията при МВ, те се поглъщат по-слабо от молекулите на въздуха и хидрометеорите. Дифракцията им е много слабо изразена и за да се увеличи интензитетът на дифрактиралото поле, се прибегва до използването на пасивни ретранслатори. Широката честотна лента на ДМВ прави възможно използването им за пренасяне на телевизионни програми, за организиране на широколентови радиорелейни трасета и др. Полесното изграждане на остронасочени антени води до широко прилагане на ДМВ за нуждите на навигацията, радиолокацията и др. Това е честотния диапазон, в който се разполагат и всички клетъчни мобилни мрежи (450 и 900 MHz за NMT и 900, 1800 и 1900 MHz за GSM), както и RFID, Bluetooth, ZigBee и др.

Особености при разпространението на сантиметровите вълни

Сантиметровите вълни (СМВ) се разпространяват само като приземно-тропосферни или чисто тропосферни вълни. Дифракционната им способност е много слаба и радиовръзката изисква почти винаги пряка видимост с предавателя. Йоносферата също влияе слабо на разпространението им, а тропосферната им рефракция е като при метровите и дециметровите вълни. Затихването в хидрометеорите и молекулите на въздуха играе важна роля при разпространението на СМВ.

Отначало най-добре е бил усвоен обхватът 3-10 GHz, където затихването на СМВ в атмосферата е най-слабо. Този обхват се използва в радиолокацията, в радиорелейните линии и в космическите радиовръзки. На долната фигура са показани честотните зависимости на затихването на вълните при различни атмосферни условия. Вижда се, че атмосферата е „най-про-



зрачна” в началото на обхвата. Между 11,5 и 12,5 GHz е честотният обхват, използван за спътниково телевизионно разпръскване. Вижда се също че молекулното поглъщане в атмосферата има максимум около 22 GHz. Оптималните дължини на радиовълните за космическа връзка са в граници 5 - 10 cm. Днес СМВ (3-30 GHz) е най-активно усвояван за WiMAX, WiFi и други приложения (виж таблицата)

IEEE 802.11b, 802.11a, and 802.11g (WiFi) Standards

Standard	Capacity per Channel (Theoretical)	Capacity per Channel (Actual)	Band Used/Range	Technology	Number of Channels (U.S.)	Number of Channels (Europe)
802.11b	11Mbps	5Mbps	2.4GHz/100 m	DSSS	3	4
802.11a	54Mbps	27Mbps	5GHz/50 m	OFDM	12	15
802.11g	54Mbps	27Mbps	2.4GHz/100 m	OFDM	3	4

Изключително големият интерес към ДМВ (0.3 – 3 GHz) и СМВ (3-30 GHz) се дължи на това, че в тях има два нелицензирани обхвата – 2.4 GHz и 5 GHz – които са удобни за организация на връзки на къси разстояния (до няколко десетки метри), подходящи за **микро-** и **пико-клетки** и **безжични персонални мрежи WPAN** (Wireless Personal Area Network), **RFID**, **Bluetooth**, **ZigBee** и др.

Особености при разпространението на милиметровите вълни

Милиметровите (ММВ) и дециметровите (ДММВ) вълни се разпространяват предимно като приземно-тропосферни вълни. За тези дължини на вълните дифракцията не се проявява, а йоносферата е напълно прозрачна. Ако не се отчита случайното отразяване на ММВ от йоносферата, може да се приеме, че пространственият лъч не участва при установяването на радиовръзка.

Тропосферната рефракция при ММВ се проявява както рефракцията при КВ. Основен проблем при изграждането на радиовръзка е поглъщането на милиметровите вълни в хидрометеорите и молекулите на въздуха.

Тези вълни са особено перспективни за космически радиовръзки между обекти извън земната атмосфера.