

**Аналіз і синтез випромінюючих систем**

**Особливості поширення радіохвиль  
на реальних трасах.**

**Діапазонні особливості поширення радіохвиль**

## Загальна інформація

**У першому наближенні** космічному простору можна приписати властивості однорідного ізотропного середовища з одиничним значенням відносної діелектричної проникності. Тому **можна вважати, що поширення радіохвиль у Космосі відбувається так само, як і у вільному просторі.**

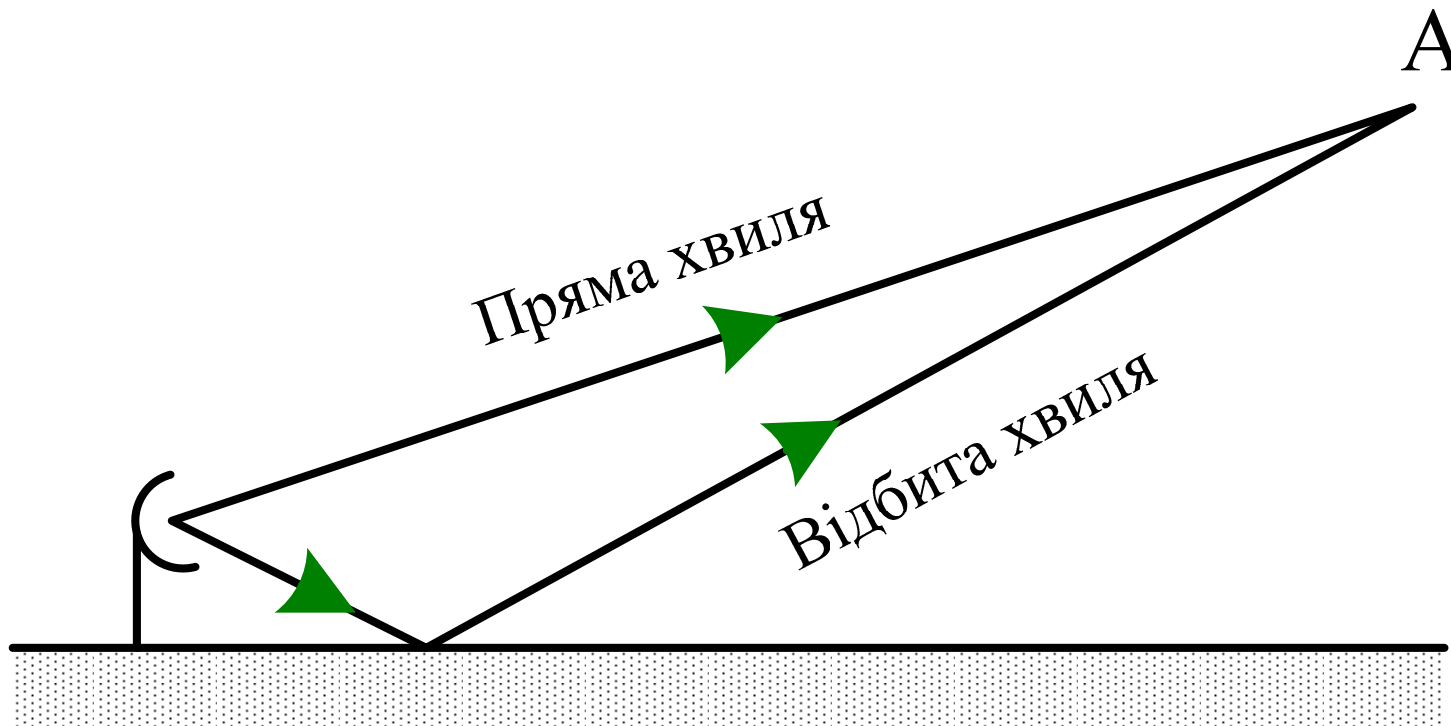
**На трасах, які проходять поблизу поверхні Землі, внаслідок впливу цієї поверхні:**

- траєкторія поширення радіохвиль викривлюється;**
- реальна напруженість поля хвилі відрізняється від напруженості поля у вільному просторі.**

## Загальна інформація

**Вплив поверхні Землі на поширення радіохвиль обумовлено такими факторами:**

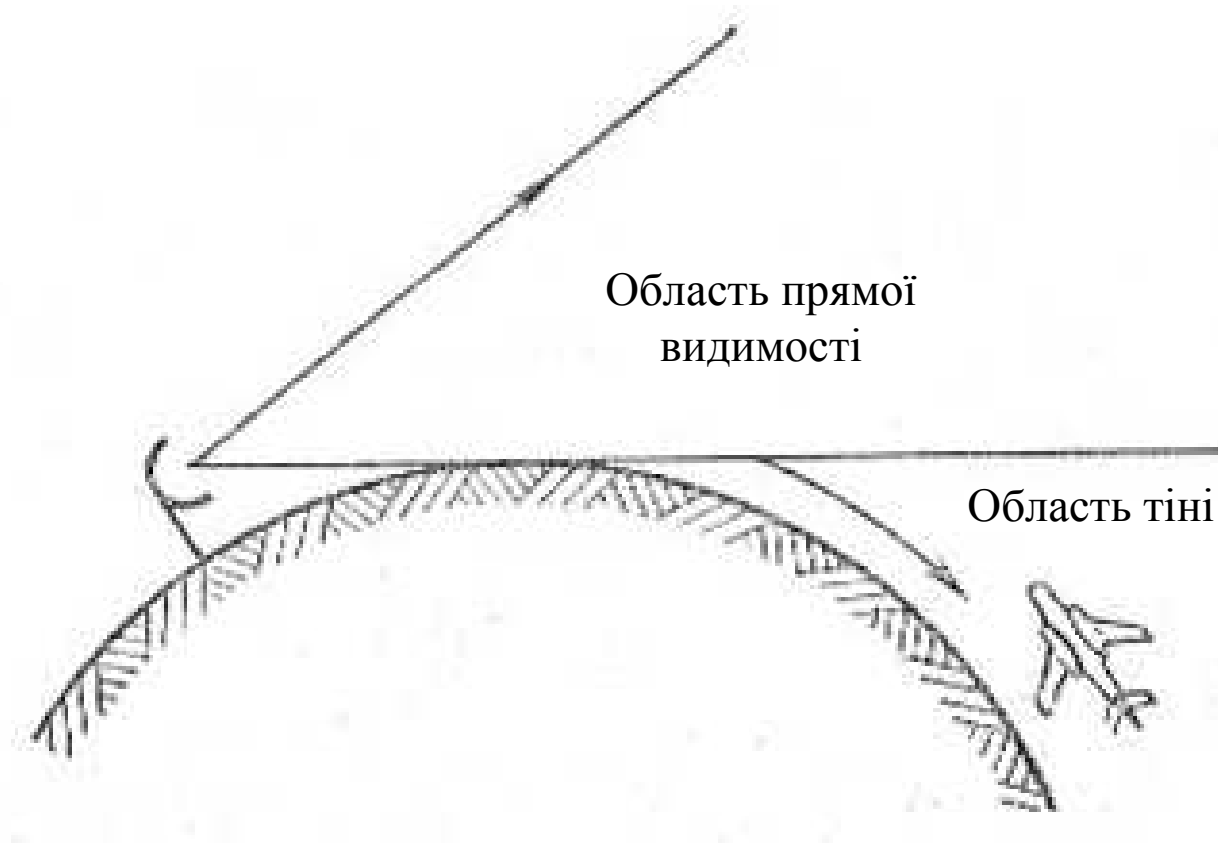
- 1) **відбиттям радіохвиль від поверхні Землі (рисунок) та пов'язаною з ним інтерференцією радіохвиль;**



- 2) **напівпровідниковими властивостями середовища та пов'язаними з ними втратами електромагнітної енергії у землі (воді);**

## Загальна інформація

- 3) сферичністю Землі (рисунок) та пов'язаною з нею дифракцією радіохвиль;



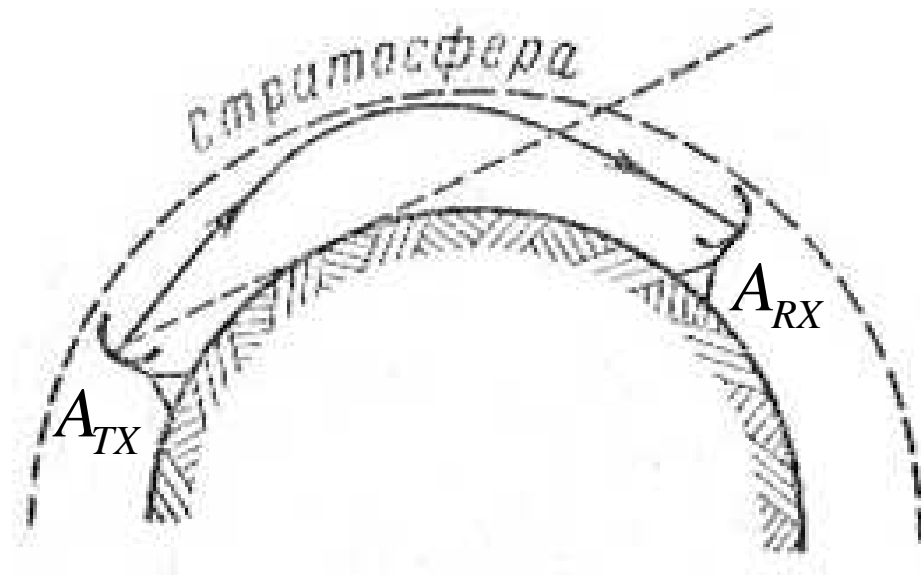
- 4) нерівностями земної поверхні, які спричиняють розсіювання радіохвиль.

## Фактори впливу атмосфери Землі на поширення радіохвиль

**Вплив атмосфери Землі на поширення радіохвиль обумовлено особливостями її електрофізичних властивостей.**

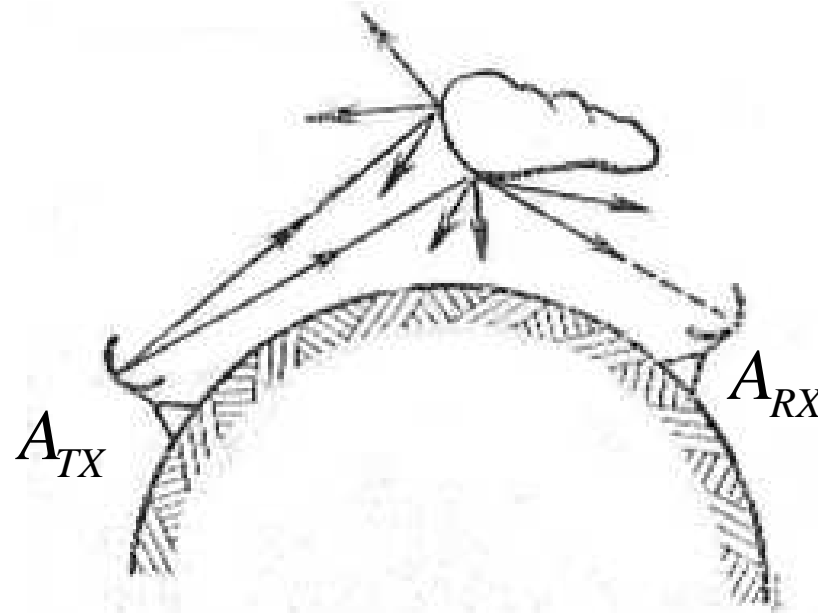
Вплив тропосфери (першого шару атмосфери) на поширення радіохвиль обумовлено факторами:

- 1) У тропосфері і меншою мірою у стратосфері внаслідок зміни коефіцієнта заломлення з висотою відбувається **викривлення траєкторії поширення радіохвиль**. Це явище (**рефракція радіохвиль**), для коротких і особливо ультракоротких хвиль може спричинити потрапляння їх в область тіні – рисунок.



## Фактори впливу атмосфери Землі на поширення радіохвиль

- 2) **У тропосфері на локальних (місцевих) неоднорідностях**, які утворюються внаслідок турбулентного руху повітря (наприклад, у результаті підйому повітря вгору) **має місце розсіяння ультракоротких хвиль** – рисунок.



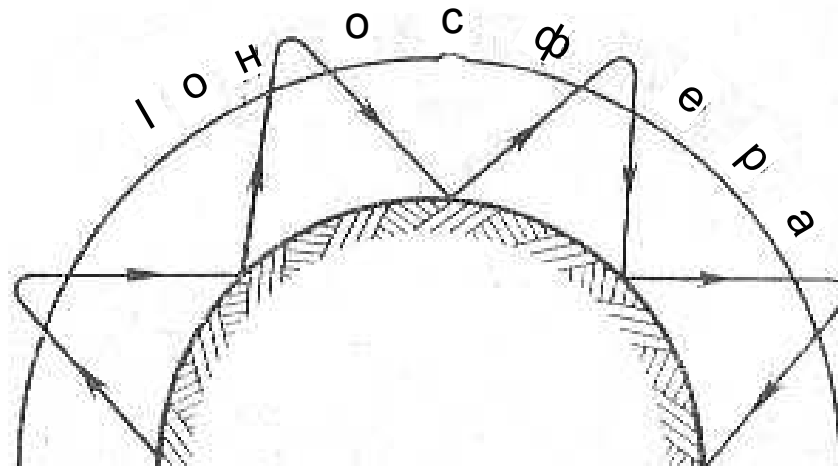
**Це може бути причиною поширення радіохвиль далеко за межі прямої видимості.** Ці явища у радіозв'язку відіграють позитивну роль, проте у радіолокації можуть спричинити погіршення умов виявлення об'єкта та збільшення похибок у визначенні координат його місцеположення.

## Фактори впливу атмосфери Землі на поширення радіохвиль

- 3) У тропосфері відбувається поглинання енергії радіохвиль з довжиною хвилі 3 см та меншою атмосферними газами та різноманітними атмосферними утвореннями (опадами, хмарами, туманом, пилом, піднятим з поверхні землі тощо).

### Іоносфера по-різному впливає на поширення радіохвиль різних діапазонів.

Наприклад, довші, ніж 6...10 м радіохвилі відбиваються від неї. У результаті багаторазових відбиттів від іоносфери та поверхні Землі (рисунок)



такі радіохвилі можуть поширюватись на доволі великі відстані. Коротші, ніж 6...10 м радіохвилі проходять крізь атмосферу. Як і у тропосфері, в іоносфері можуть мати місце такі явища, як рефракція та розсіяння радіохвиль.

## Фактори впливу атмосфери Землі на поширення радіохвиль

Тому для розрахунку реальних радіоліній у формули ідеальної радіолінії (див. попередню лекцію, два останніх слайда)

$$P_{RX} = P_{TX} \frac{D_{RX}(\theta_{TX}, \varphi_{TX}) \cdot D_{TX}(\theta_{RX}, \varphi_{RX}) \cdot \lambda^2}{(4\pi r)^2}$$

потрібно ввести множники, які враховують розглянуті фактори, а для врахування деяких з них потрібно отримати складніші формули.

$$P_{RX} = F^2(r) P_{TX} \frac{D_{RX}(\theta_{TX}, \varphi_{TX}) \cdot D_{TX}(\theta_{RX}, \varphi_{RX}) \cdot \lambda^2}{(4\pi r)^2},$$

$F(r)$  - множник послаблення.



## Радіохвилі у природних умовах

**За способом поширення у навколоземному просторі радіохвилі бувають:**

- 1) земні (поверхневі) хвилі;**
- 2) тропосферні хвилі;**
- 3) іоносферні (просторові) хвилі.**

**Земні (поверхневі) хвилі** – радіохвилі, які поширюються поблизу поверхні Землі та частково огинають її випуклість внаслідок дифракції. Явищу дифракції на випуклостях земного шару підпорядковані, головним чином, довгі та наддовгі хвилі, довжина яких одного порядку з розмірами вказаних випуклостей. На наддовгих хвилях дальність дифракційного поширення досягає 3000...4000 км.

Якщо ДН передавальної антени розташовано у просторі таким чином, що випромінювання здійснюється, головним чином, під малими кутами до горизонту, то характер збуджуваного хвильового процесу суттєво визначається властивостями ґрунту (чи морської поверхні). У результаті поглинання, спричинюваного дією матеріального середовища, поле зменшується з відстанню значно швидше, ніж у вільному просторі.

## Радіохвилі у природних умовах

**Тропосферні хвилі** – радіохвилі, які поширюються на значні (приблизно до 1000 км) відстані за рахунок рефракції та розсіяння у тропосфері, а також у результаті спрямованої хвилеводної дії тропосфери. Розсіяння на неоднорідностях тропосфери проявляється лише на хвилях, коротших за 10 м, які слабо дифрагують навколо земної кулі та не поширюються за рахунок відбиттів від іоносфери. У тропосферних хвилеводах можуть поширюватись хвилі коротші за 3 см.

**Іоносферні (просторові) хвилі** – радіохвилі, які поширюються на великі відстані та огинають земну кулю в результаті одноразового чи багаторазового відбиттів від іоносфери (у діапазоні хвиль довших за 10 м), а також хвилі, які розсіюються на неоднорідностях іоносфери та які відбиваються від іонізованих слідів метеорів (у діапазоні метрових волн).

## Радіохвилі у природних умовах

Іоносфера утворює щось на зразок природного дзеркала.

Проте для достатньо коротких хвиль вона вже не грає ролі відбивача: **якщо частота хвилі більша за так звану частоту Ленгмюра**

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2 N_M}{\epsilon_0 m}},$$

$e$  - заряд електрона;

$N_M$  - кількість електронів в одиниці об'єму;

$\epsilon_0$  - електрична стала;

$m$  - маса електрона,

**то плазма іоносфери за своїми електродинамічними властивостями мало відрізняється від вакууму. Тобто іоносфера стає прозорою для радіохвиль і з'являється можливість радіозв'язку з космічними об'єктами, радіоастрономія, супутникове телебачення.**

## Діапазони радіохвиль

Частоти електромагнітних коливань, використовуваних у сучасній радіо- та телекомунікаційній апаратурі, займають насітльки широку ділянку, що **умови поширення цих радіохвиль суттєво відрізняються! Це головна причина поділу радіохвиль на ряд діапазонів за частотами (довжинами хвиль).**

**Поділ здійснюють таким чином, щоб всередині кожного діапазону природні умови виявляються відносно одноманітними, причому можна вказати характерні особливості поширення радіохвиль відповідно до домінуючих фізичних факторів.**

Граничні частоти цих діапазонів визначають виразами:

$$f_{\min} = 0,3 \cdot 10^n, \text{ Гц};$$

$$f_{\max} = 3 \cdot 10^n, \text{ Гц},$$

$n$  - порядковий номер діапазону ( $n = \overline{1,12}$ ).

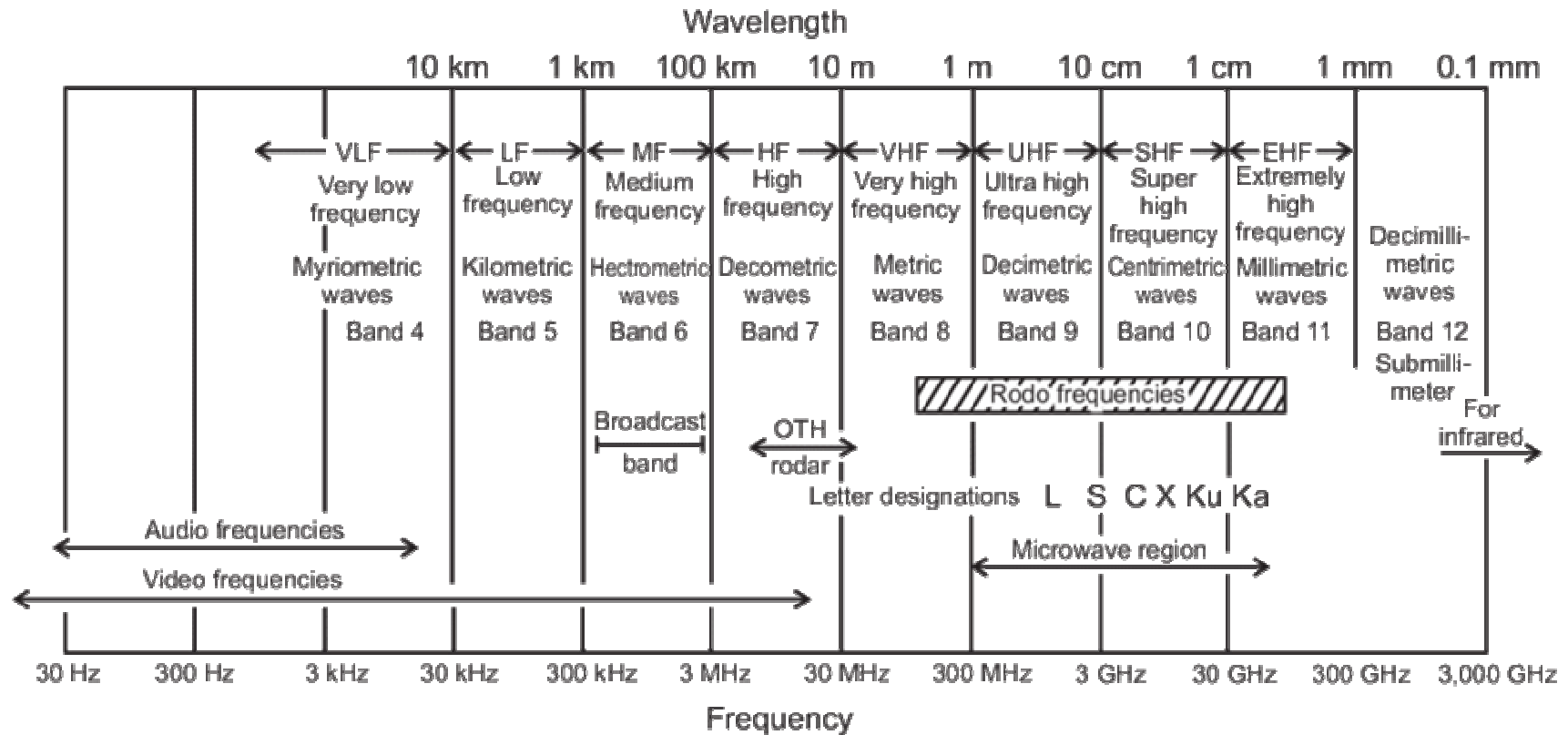
## Діапазони радіохвиль

Номер діапазону	Діапазон радіочастот	Діапазон довжин хвиль	Назва діапазону радіочастот	Назва виду радіохвиль (стара назва діапазону)	Позначення діапазону
1	2	3	4	5	6
1	3-30 Гц	$10^8 - 10^7$ м	Надзвичайно низькі частоти	—	ELF
2	30-300 Гц	$10^7 - 10^6$ м	Наднизькі частоти	—	ELF
3	300-3000 Гц	$10^6 - 10^5$ м	Инфранизкие частоти	—	ELF
4	3-30 кГц	100-10 км	Дуже низькі частоти	Міріаметрові хвилі (наддовгі хвилі)	VLF
5	30-300 кГц	10-1 км	Низькі частоти	Кілометрові хвилі (довгі хвилі)	LF
6	300-3000 кГц	1000-100 м	Середні частоти	Гектометрові хвилі (середні хвилі)	MF

## Діапазони радіохвиль

1	2	3	4	5	6
7	3-30 МГц	100-10 м	Високі частоти	Декаметрові хвилі (короткі хвилі)	HF
8	30-300 МГц	10-1 м	Дуже високі частоти	Метрові хвилі (ультракороткі хвилі)	VHF
9	300-3000 МГц	100-10 см	Ультрависокі частоти	Дециметрові хвилі (ультракороткі хвилі)	UHF
10	3-30 ГГц	10-1 см	Надвисокі частоти	Сантиметрові хвилі (ультракороткі хвилі)	SHF
11	30-300 ГГц	10-1 мм	Надзвичайно високі частоти	Міліметрові хвилі	EHF
12	300-3000 ГГц	1-0,1 мм	—	Деци-міліметрові хвилі (субміліметрові хвилі)	—

# Діапазони радіохвиль



## Діапазони УКХ

<b>Standard Radar Frequency Letter-Band Nomenclature(IEEE Standard 521-2002)</b>		
Band Designator	Frequency (GHz)	Wavelength in Free Space (centimeters)
HF	0.003 to 0.030	10000 to 1000
VHF	0.030 to 0.300	1000 to 100
UHF	0.300 to 1	100 to 30.0
L band	1 to 2	30.0 to 15.0
S band	2 to 4	15 to 7.5
C band	4 to 8	7.5 to 3.8
X band	8 to 12	3.8 to 2.5
Ku band	12 to 18	2.5 to 1.7
K band	18 to 27	1.7 to 1.1
Ka band	27 to 40	1.1 to 0.75
V band	40 to 75	0.75 to 0.40
W band	75 to 110	0.40 to 0.27
mm	110 to 300	0.27 to 0.10



## Діапазонні особливості поширення радіохвиль

**Міріаметрові хвилі (наддовгі хвилі):** проникають у ґрунт і воду. Дуже мало поглинаються у Землі та огинають її. Відбиваються від іоносфери і вдень, і вночі. Огинають, без відбиття, звичайні об'єкти. Антени надзвичайно громіздкі, хоча і малі порівняно з довжиною хвилі. Спрямованість їхнього випромінювання невелика, смуга робочих частот вузька.

**Кілометрові хвилі (довгі хвилі):** мало поглинаються у Землі та частково огинають її. Відбиваються від іоносфери вночі. Огинають, без відбиттів, звичайні об'єкти. Громіздкі антени. Спрямованість їхнього випромінювання невелика, смуга робочих частот вузька.

**Гектометрові хвилі (середні хвилі):** поглинаються у Землі. Інтенсивно відбиваються від іоносфери вночі. Огинають, без відбиттів, звичайні об'єкти. Антени середніх розмірів. Суттєвим є те, що вночі у точку прийому можуть прийти одночасно земна та іоносферна хвилі чи, наприклад, дві іоносферні хвилі. Оскільки стан іоносфери змінюється випадковим чином, фаза хвилі, яка проходить через неї, змінюється у часі. Це є причиною того, що в обох випадках інтерференція призводить то до послаблення, то до підсилення поля – це називають “завмирання”. Спосіб боротьби з ним – зменшення випромінювання під великими кутами до горизонту, щоб уникнути збудження іоносферної хвилі.

## Діапазонні особливості поширення радіохвиль

**Декаметрові хвилі (короткі хвилі):** сильно поглинаються у Землі. Інтенсивно, проте з малими втратами та вибірковістю, відбиваються від іоносфери. Слабко відбиваються від звичайних об'єктів. Антени невеликих розмірів.

**Метрові хвилі (ультракороткі хвилі):** дуже сильно поглинаються у Землі. Не відбиваються від іоносфери. Поширюються у межах прямої видимості. Інтенсивно відбиваються від звичайних об'єктів. Антени компактні.

**Дециметрові хвилі (ультракороткі хвилі):** не відбиваються від іоносфери. Поширюються лише у межах прямої видимості. Інтенсивно відбиваються від звичайних об'єктів. Антени компактні.

**Сантиметрові хвилі (ультракороткі хвилі):** поширюються лише у межах прямої видимості. Вибірково поглинаються в атмосфері. Антени доволі компактні.

**Міліметрові хвилі:** сильно поглинаються в атмосферних утвореннях. Просто досягається дуже висока спрямованість випромінювання та прийому. Антени дуже компактні.

## Діапазонні особливості поширення радіохвиль

Діапазон	Спосіб поширення		
	Близькі відстані (до 100...200 км)	Великі відстані	
		Денні години	Нічні години
Міріаметрові хвилі (наддовгі хвилі)	Земні та іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі
Кілометрові хвилі (довгі хвилі)	Земні та іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі
Гектометрові хвилі (середні хвилі)	Земні хвилі	Земные волны	Іоносферні хвилі
Декаметрові хвилі (короткі хвилі)	Земні хвилі	Іоносферні хвилі	Іоносферні хвилі
Метрові хвилі (ультракороткі хвилі)	Земні хвилі	Тропосферні та іоносферні хвилі	Аналогічно денним годинам
Дециметрові хвилі (ультракороткі хвилі)	Земні хвилі	Прямі та тропосферні хвилі	Аналогічно денним годинам
Сантиметрові хвилі (ультракороткі хвилі)	Земні хвилі	Прямі та тропосферні хвилі	Аналогічно денним годинам
Міліметрові хвилі	Прямі хвилі	Прямі хвилі	Аналогічно денним годинам

## Діапазонні особливості поширення радіохвиль

### Про космічний радіозв'язок

Діапазон УКХ в силу прозорості для цих хвиль іоносфери використовують у системах космічного зв'язку. Проте слід пам'ятати про те, що космічні об'єкти нерідко залишаються у межах внутрішньої іоносфери, і тоді для зв'язку придатні також короткі хвилі.

**Розрізняйте:** зв'язок із Землі з космічними об'єктами (наприклад, супутниками Землі та Місяця, а також космічними кораблями, спрямовуваними до планет Сонячної системи) та використання космічних об'єктів для зв'язку на Землі. Крім того, існують питання зв'язку між позаземними космічними об'єктами, а також зв'язку при освоєнні планет.

Космічні лінії можуть бути безпрецедентно протяжними (багато мільйонів кілометрів). Тому, хоча поглинання у міжпланетному середовищі вельми невелике у розрахунку на одиницю довжини, його можна оцінити. Найбільш сильно проявляється вплив атмосферної ділянки лінії.

## Діапазонні особливості поширення радіохвиль

Дія атмосфери (практично – іоносфери) призводить до викривлення траєкторії променя, який проходить крізь неї, а також до зміни швидкості сигналу. Це потрібно враховувати, наприклад, при визначенні відстаней до супутників радіометодами.

Окрему проблему становить вплив плазмового оточення космічного об'єкта. Великі електронні концентрації виникають поблизу супутника, який входить у щільні шарі атмосфери, що призводить до порушення радіозв'язку. Плазмова область з'являється також при наявності факела ракети.