



# НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Кафедра №4 Управління діями підрозділів  
із засобами військового зв'язку



## Навчальна дисципліна



Військова техніка багатоканального радіозв'язку

”

**ЗМ 2. Засоби супутникового зв'язку**

**Заняття 1. Принципи побудови супутникових  
систем зв'язку**

**Лекція**

**2 години**

# Навчальна мета

- 1. Отримати систематизовані знання щодо загальної характеристики супутникових систем зв'язку.**
- 2. Отримати систематизовані знання щодо існуючих супутникових систем зв'язку.**

# Навчальні питання

1. Загальна характеристика супутникового зв'язку.
2. Супутникові системи зв'язку.

# Література

1. СДН ЗМ 2. Заняття 1.

**Перше питання**

**Загальна характеристика супутникового зв'язку**



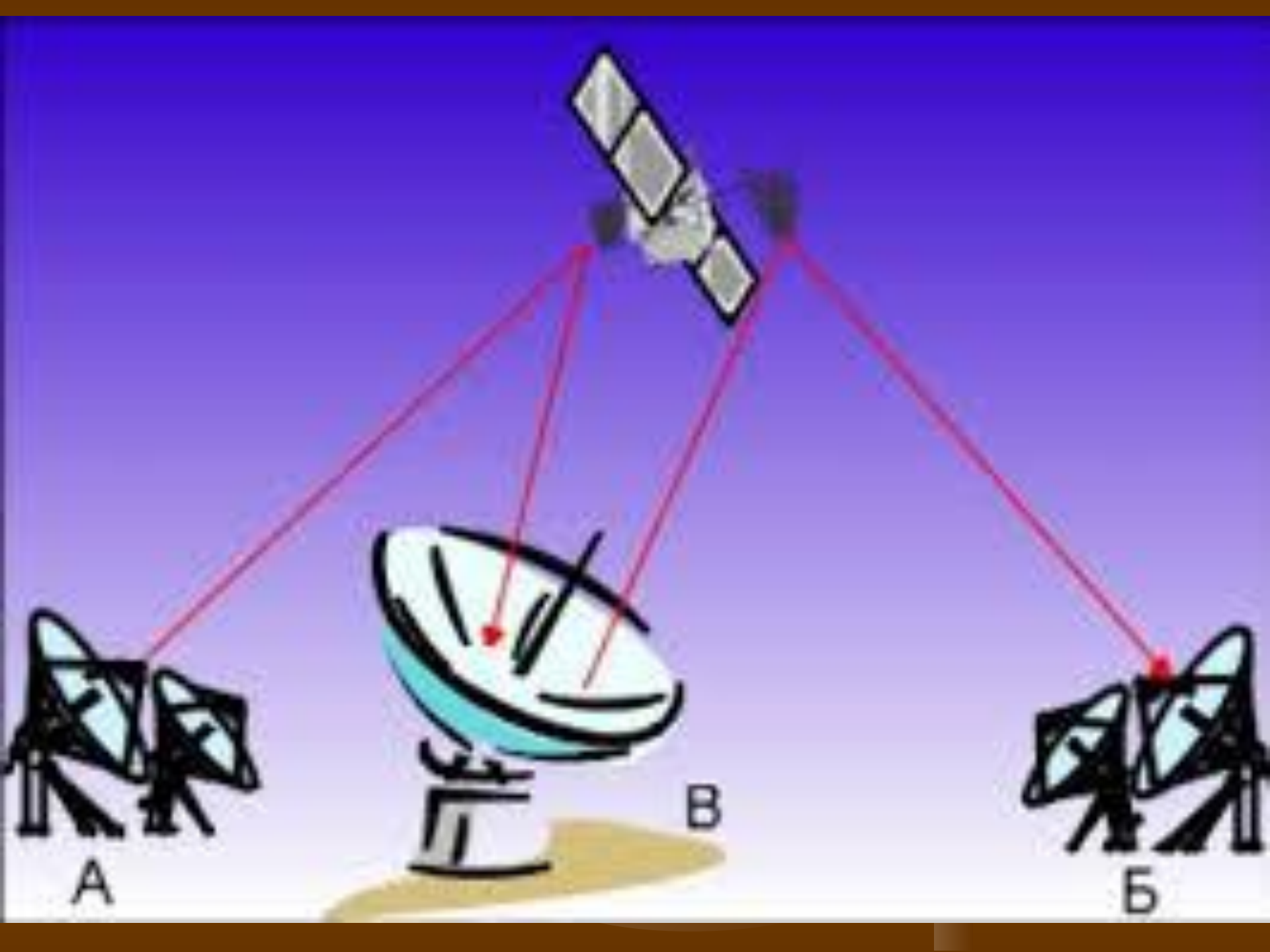
# Космічний радіозв'язок

Радіозв'язок, в якому використовується одна чи кілька космічних радіостанцій або один чи кілька супутників, та інші космічні об'єкти (ДСТУ 3254—95). Радіозв'язок, який здійснюється за допомогою космічних об'єктів (космічних радіостанцій або пасивних ретрансляторів), що перебувають за межами земної атмосфери.

# Супутниковий зв'язок

Це **один з видів космічного радіозв'язку**, що базується на використанні штучних супутників Землі (ШСЗ), на яких змонтовані ретранслятори. Супутниковий зв'язок здійснюється між земними станціями, які можуть бути як стаціонарними, так і мобільними.

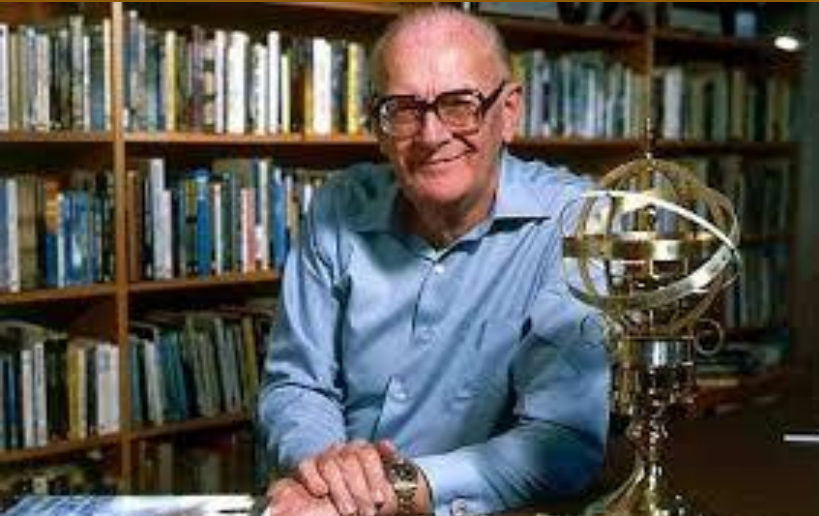
Принцип космічного зв'язку полягає у передачі сигналів НВЧ з наземних станцій у бік ШСЗ і ретрансляції їх усім земним станціям, що знаходяться у зоні "бачення" супутника.





# Історія

У 1945 р. у статті «Внеземные ретрансляторы» («Extra-terrestrial Relays»), що була надрукована у жовтневому номері журналу «Wireless World», англійський учений, письменник і винахідник Артур Кларк запропонував ідею створення системи супутників зв'язку на геостаціонарних орбітах, які б дозволили організувати глобальну систему зв'язку.



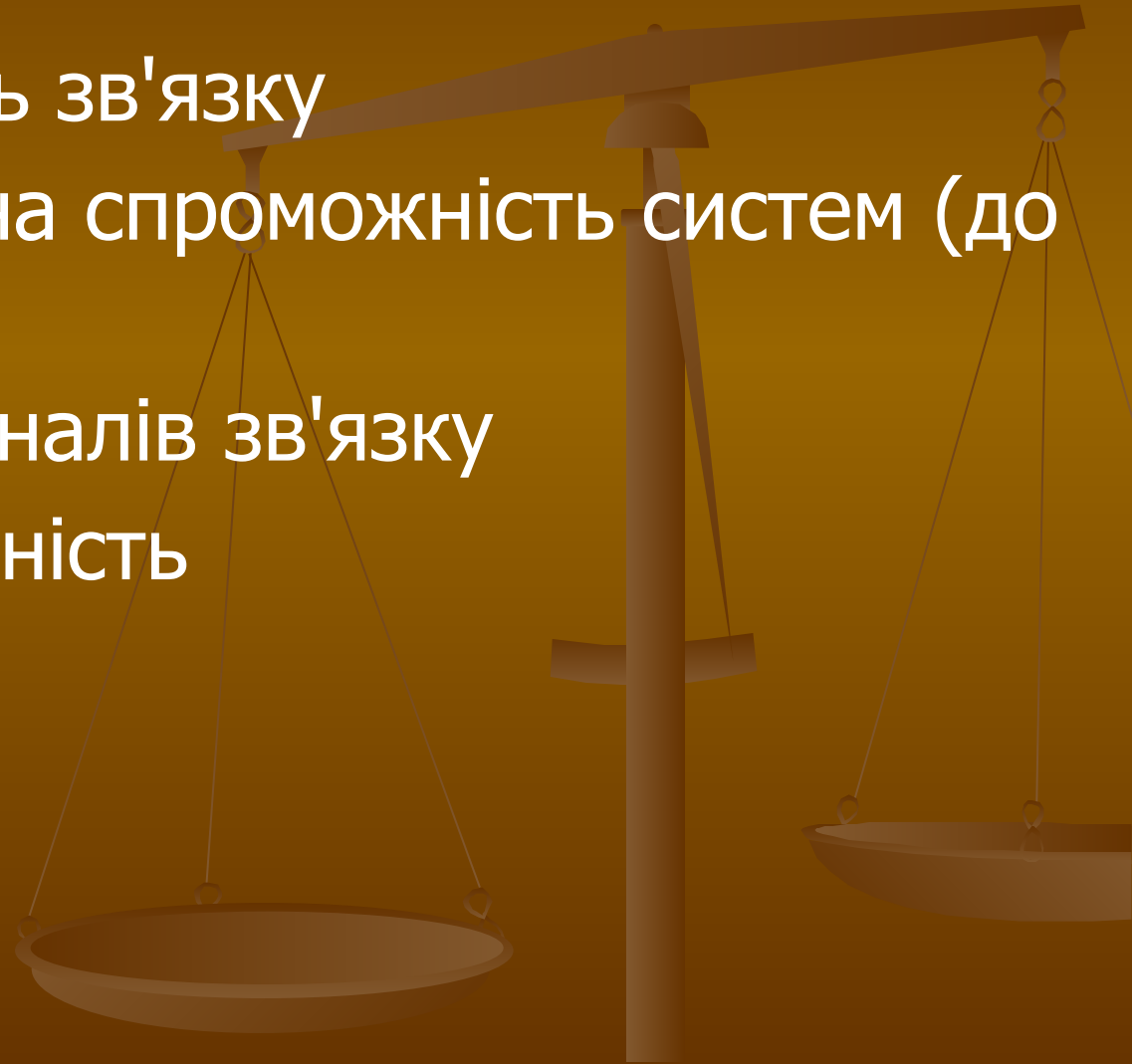
12 серпня 1960 р. у США була виведена на орбіту висотою 1500 км надувна куля з металізованою оболонкою "Ехо-1" (Д=30 м), яка виконувала функцію пасивного ретранслятора



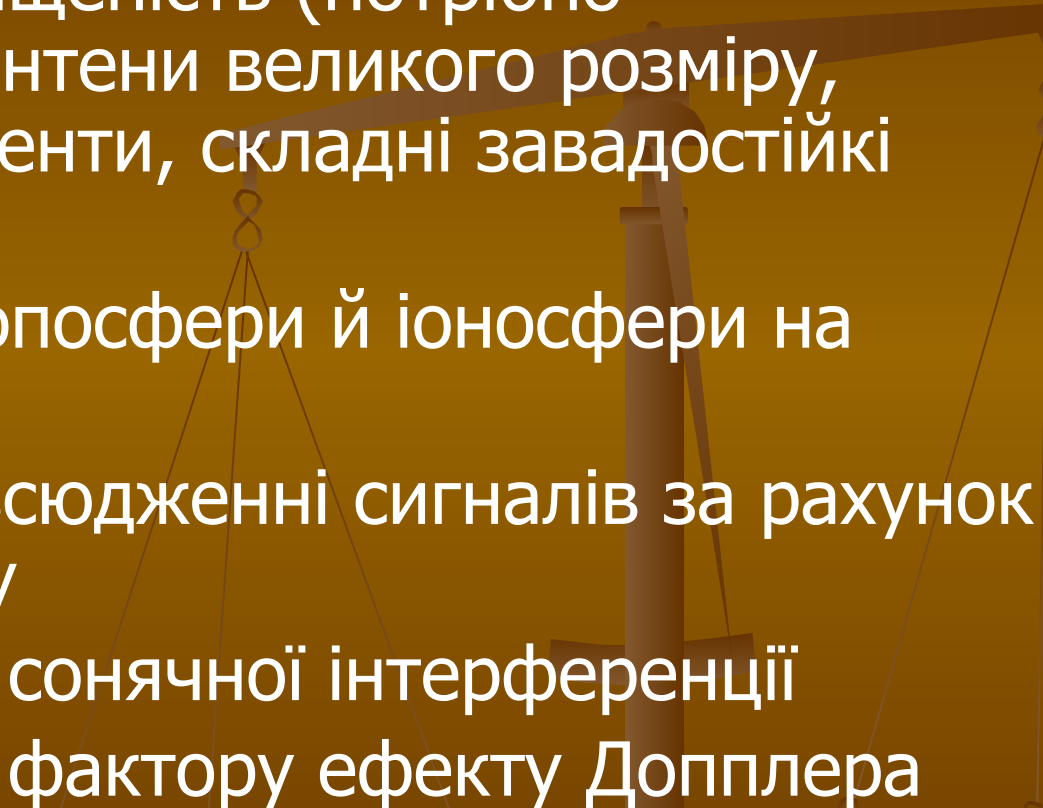
- 20 серпня 1964 р. 11 країн (СРСР у їхнє число не ввійшов) підписали угоду про створення міжнародної організації супутниковому зв'язку Intelsat (Intelsational Telecommunications Satellite organization)
- Перший комерційний супутник зв'язку Early Bird Перший комерційний супутник зв'язку Early Bird (ранішня пташка) корпорації COMSAT був запущений 6 квітня 1965 р.
- 23 квітня 1965 р СРСР запустив свій перший супутник зв'язку "Молния-1"

# Переваги супутникового зв'язку

- велика дальність зв'язку
- висока пропускна спроможність систем (до сотень МБіт/с)
- висока якість каналів зв'язку
- висока економічність



# Недоліки супутникового зв'язку

- Слабка завадозахищеність (потрібно використовувати антени великого розміру, малoshумлячі елементи, складні завадостійкі коди)
  - Великий вплив тропосфери й іоносфери на якість зв'язку
  - Затримки в розповсюдженні сигналів за рахунок запізнення сигналу
  - Негативний вплив сонячної інтерференції
  - Негативний вплив фактору ефекту Допплера
- 

# Супутникові ретранслятори



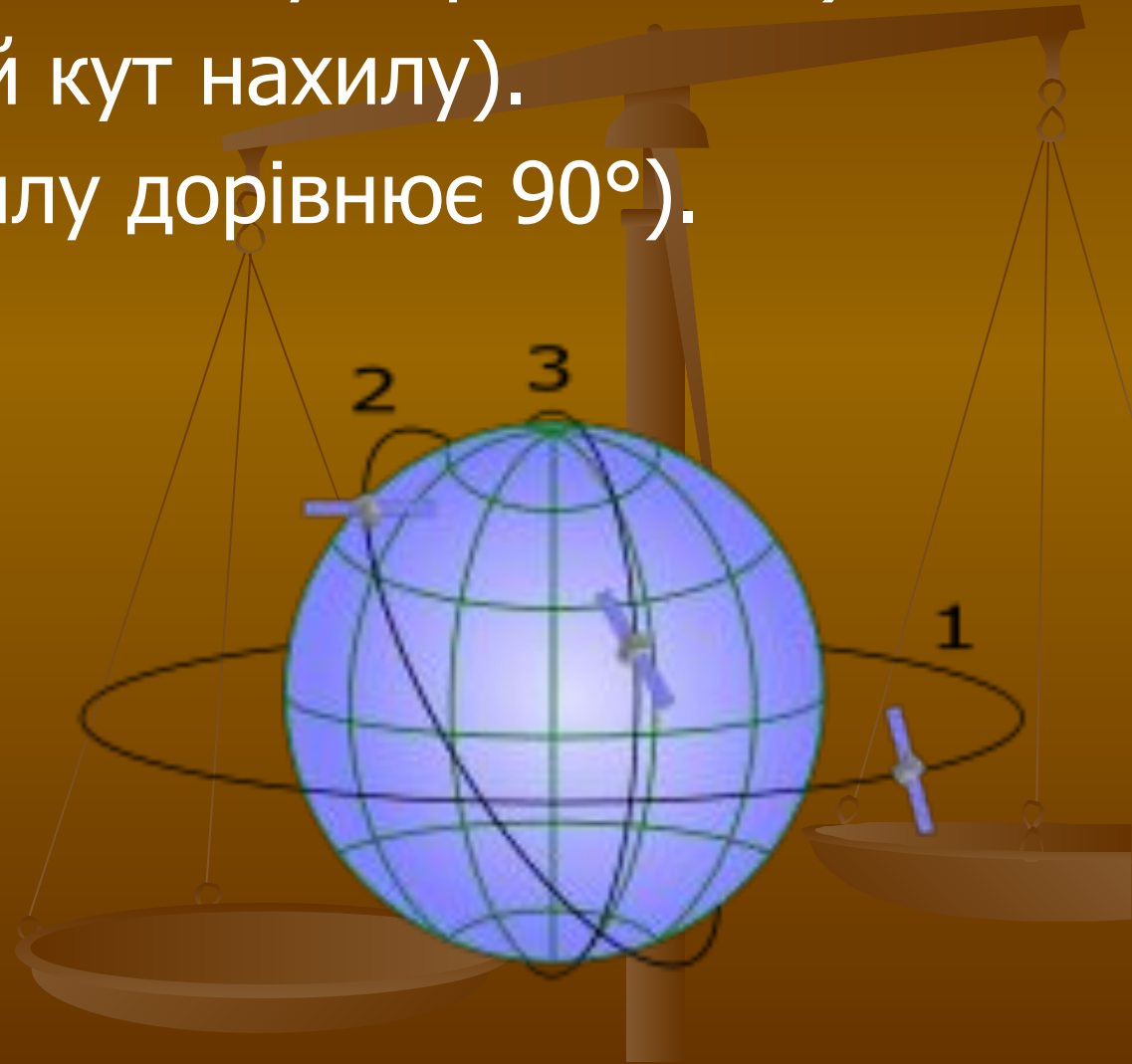


# Супутникові ретранслятори

- Пасивні – відбивають радіосигнали
- Активні:
  - ✉ нерегенеративні – приймають сигнали від однієї земної станції, підсилюють і переносять його на іншу частоту
  - ✉ регенеративні – здійснюють демодуляцію сигналів і знову модулюють (тобто, двічі виправляються помилки – на супутнику и земній станції);

# Орбіти супутникових ретрансляторів

1. Екваторіальні (кут нахилу дорівнює  $0^\circ$ ).
2. Похилі (будь-який кут нахилу).
3. Полярні (кут нахилу дорівнює  $90^\circ$ ).





# Геостаціонарна орбіта

Важливим різновидом екваторіальної орбіти є геостаціонарна орбіта, на якій супутник обертається з кутовою швидкістю, що дорівнює кутовій швидкості Землі, у напрямку, що співпадає з напрямком обертання Землі. Приймач у цьому випадку постійно “бачить” супутник

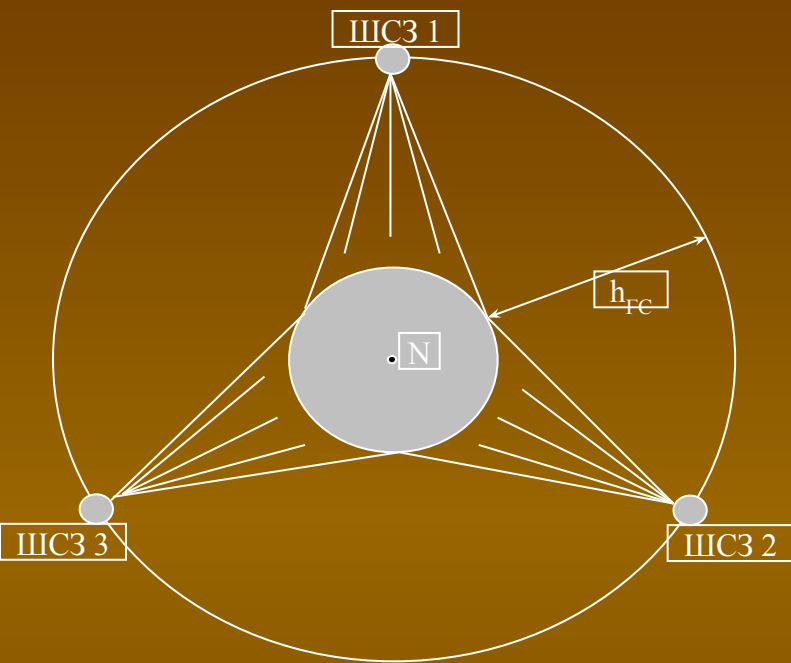




SESQUA.RU

Геостационарная орбита

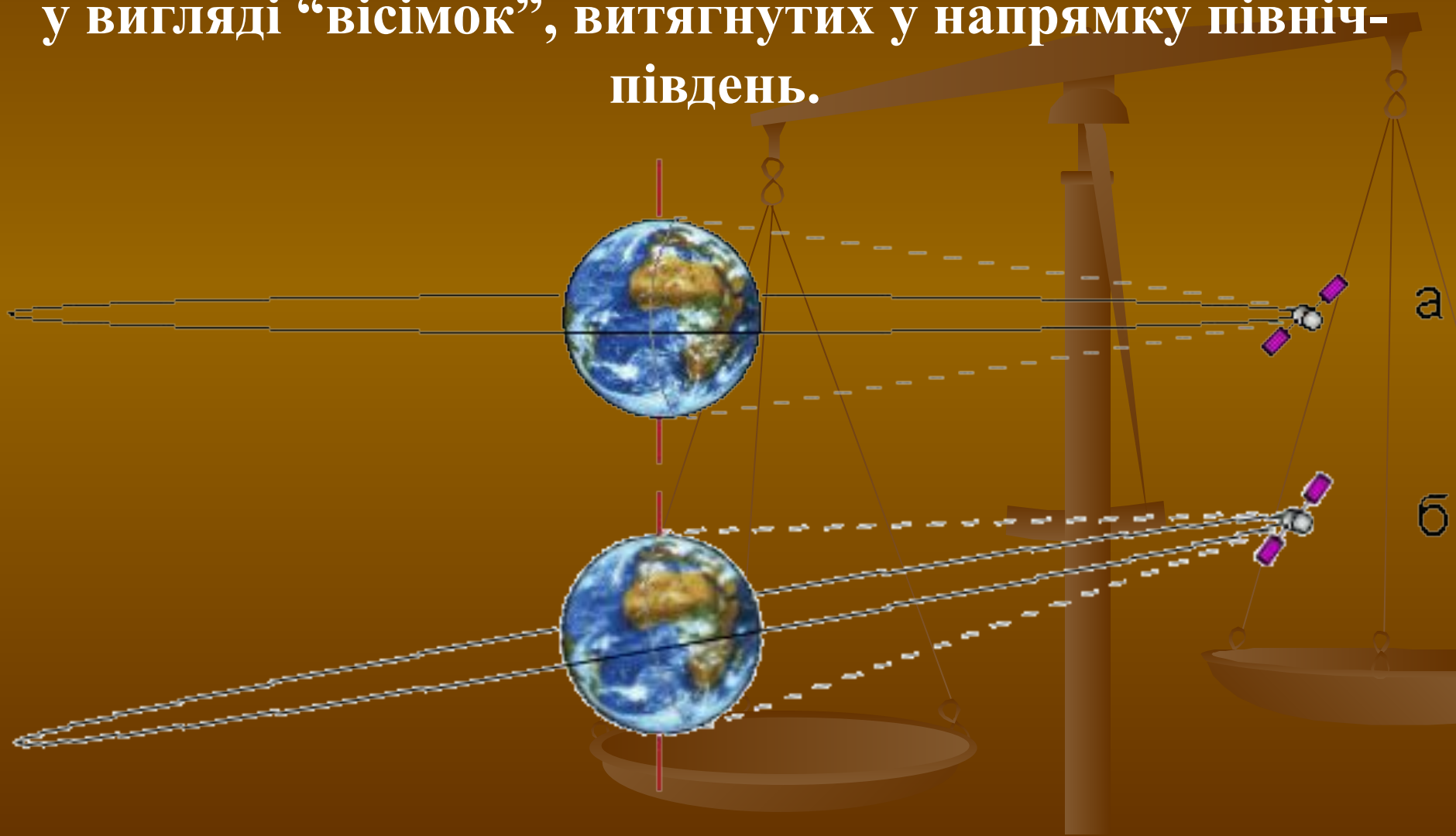
# Геостаціонарна орбіта



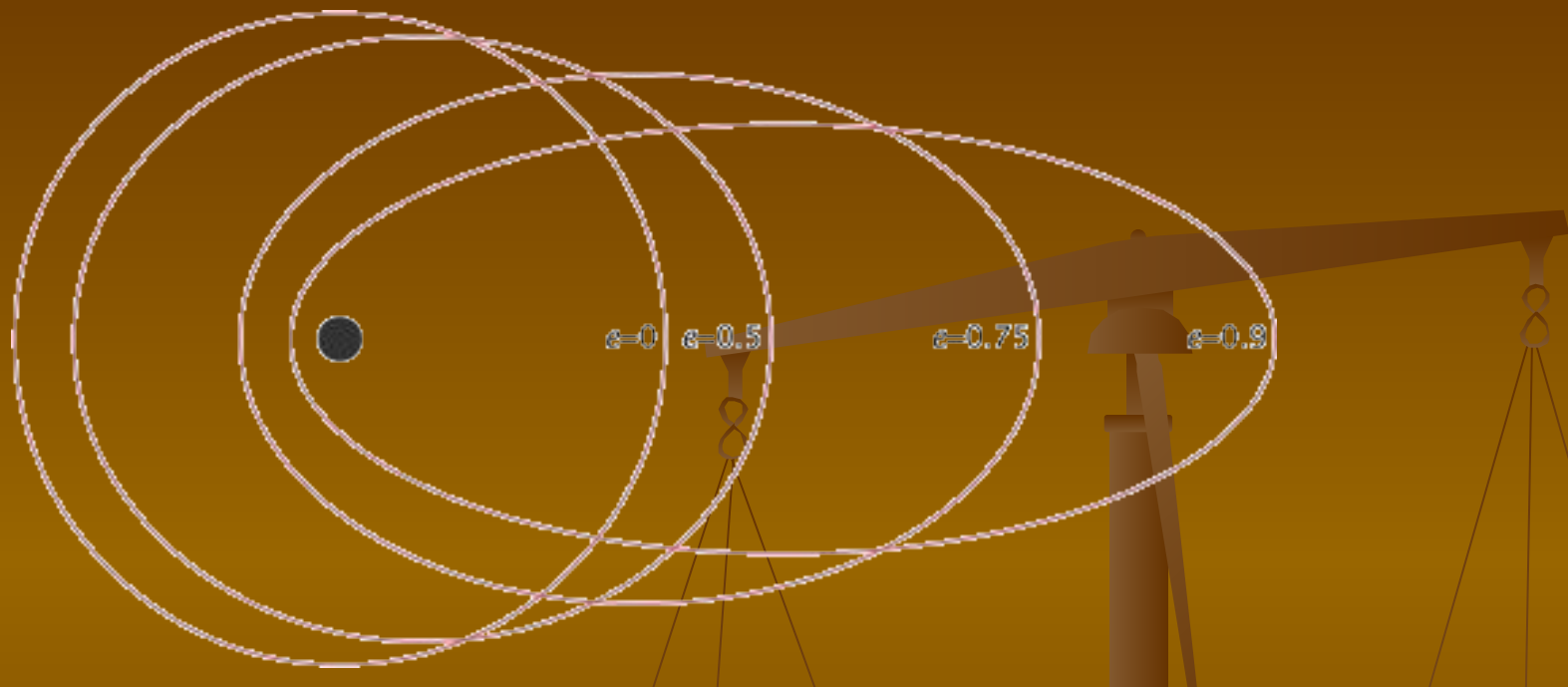
"GSO" - от англ. "Geosynchronous Orbit"). Супутники запускаються на колову орбіту з відстанню від Землі  $H = 35786$  км в екваторіальній площині і мають період обертання  
Тобер = 23 год, 56 хв, 4,09 с.

Три таких супутника, виведених у точки, що відстоять одна від одної на  $120^{\circ}$  в змозі забезпечити зв'язком більшу частину території Земної кулі (крім приполярних районів, що знаходяться вище  $81^{\circ}$  північної широти або південної широти).

В реальності багато геостаціонарних супутників мають невеликий відхил і зазнають збурювання з боку Сонця й Місяця, у зв'язку з чим вони описують на небі фігури у вигляді “вісімок”, витягнутих у напрямку північ-південь.



# За формою орбіти можуть бути:



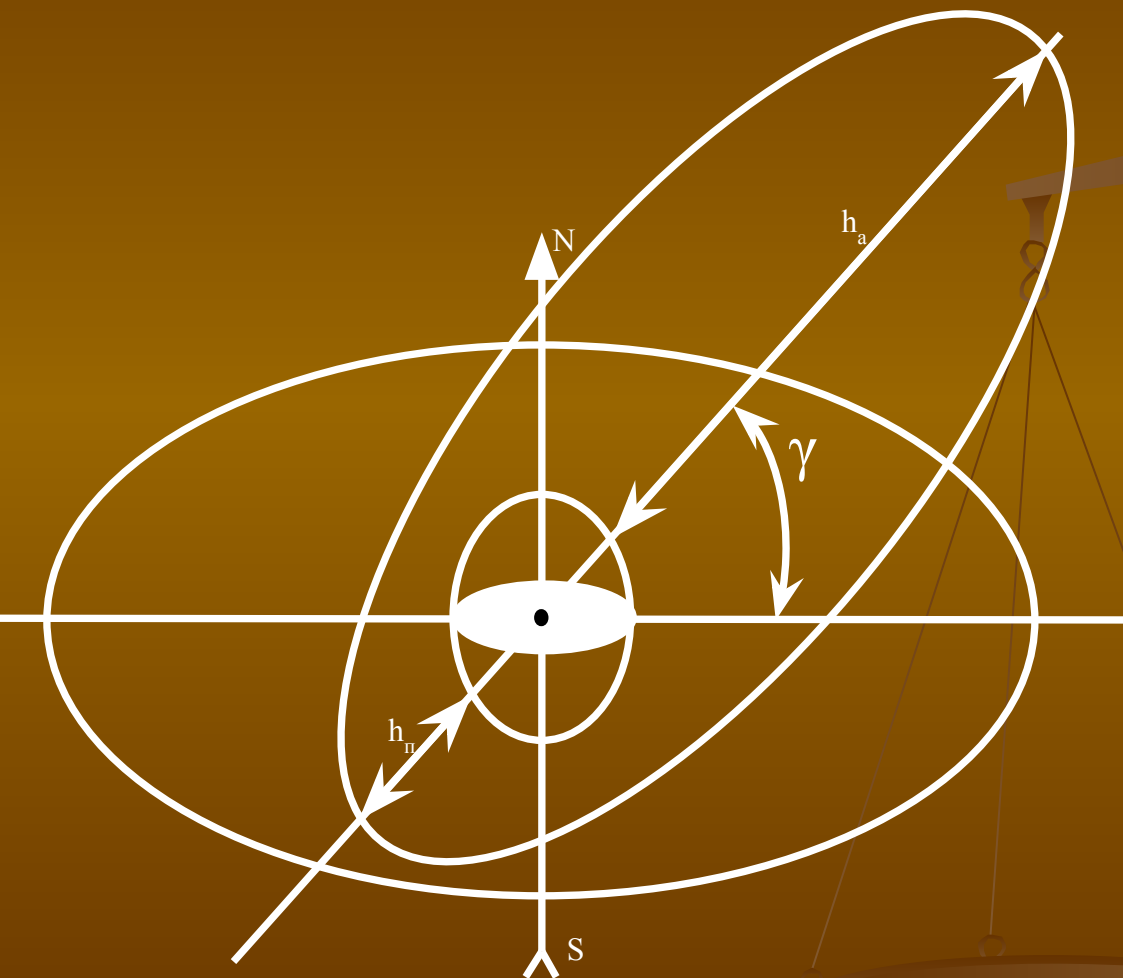
- **Колові**
  - **Еліптичні (мало еліптичні і високо еліптичні)**
- Де  $e$  – ексцентриситет - числова характеристика конусного перерізу, яка показує ступінь його відхилення від окружності;  
 $a$  – велика напіввісь;  
 $b$  – мала напіввісь.

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

**За висотою над поверхнею Землі орбіти можуть бути:**

- **низькоорбітальні - LEO (від англ. "Low Earth Orbit") (супутники з висотами від 160 км до 2000 км над поверхнею Землі); період обертання – 87, 6 – 127 хв;**
- **середньоорбітальні (MEO" - від англ. "Medium Earth Orbit") (супутники з висотами від 2000км до 35786 км над поверхнею Землі); супутники навігації (ШСЗ "NAVSTAR" системи "GPS" на висоті 20200 км; період обертання –127 хв – 24 год;**

# Основні характеристики орбіти супутника



- нахил площини орбіти до площини екватору -  $\gamma$  (Гамма)
- висота перигею (найнижча точка орбіти) -  $h_n$
- висота апогею (найвища точка орбіти) -  $h_a$

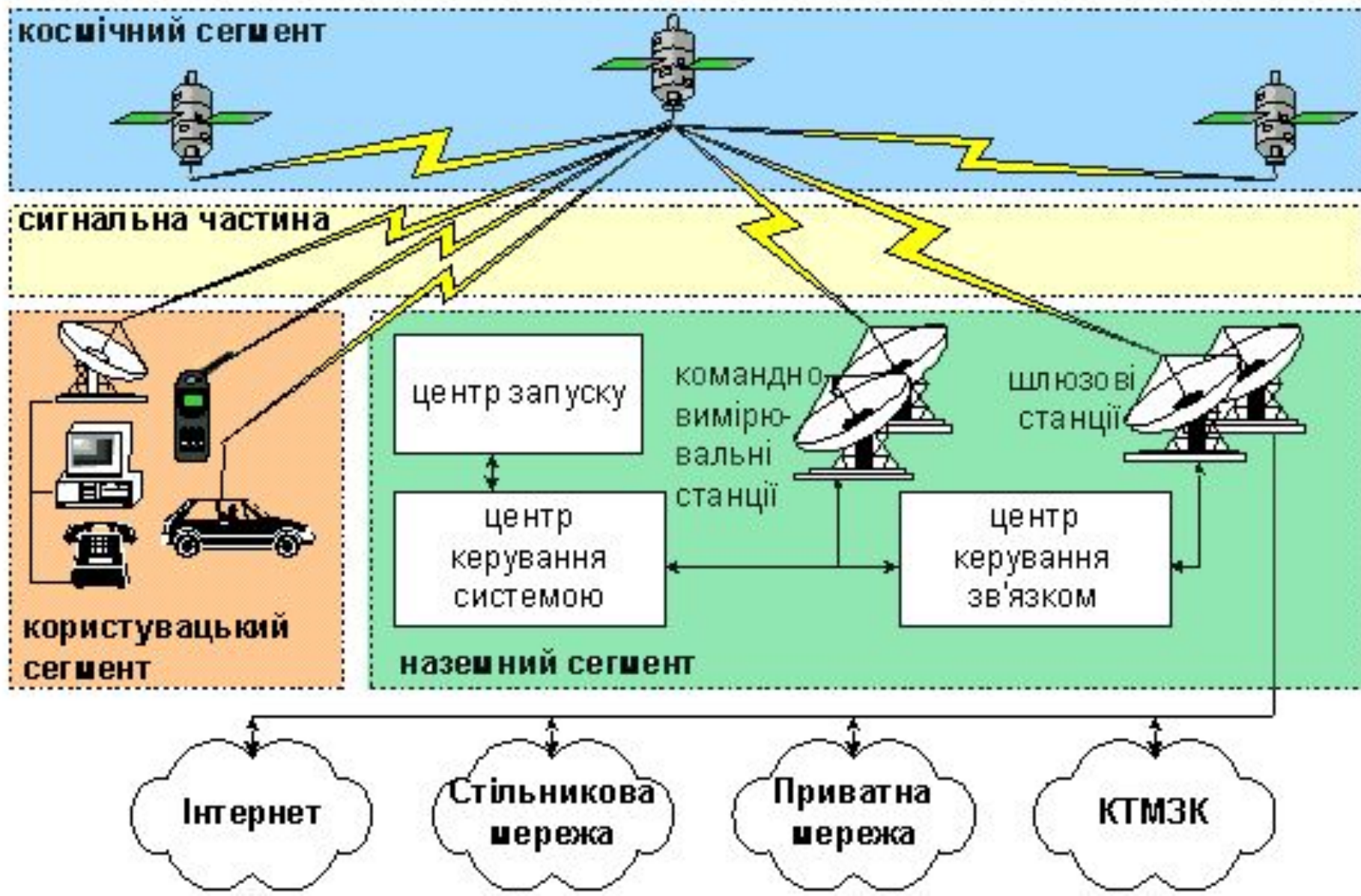
# Друге питання

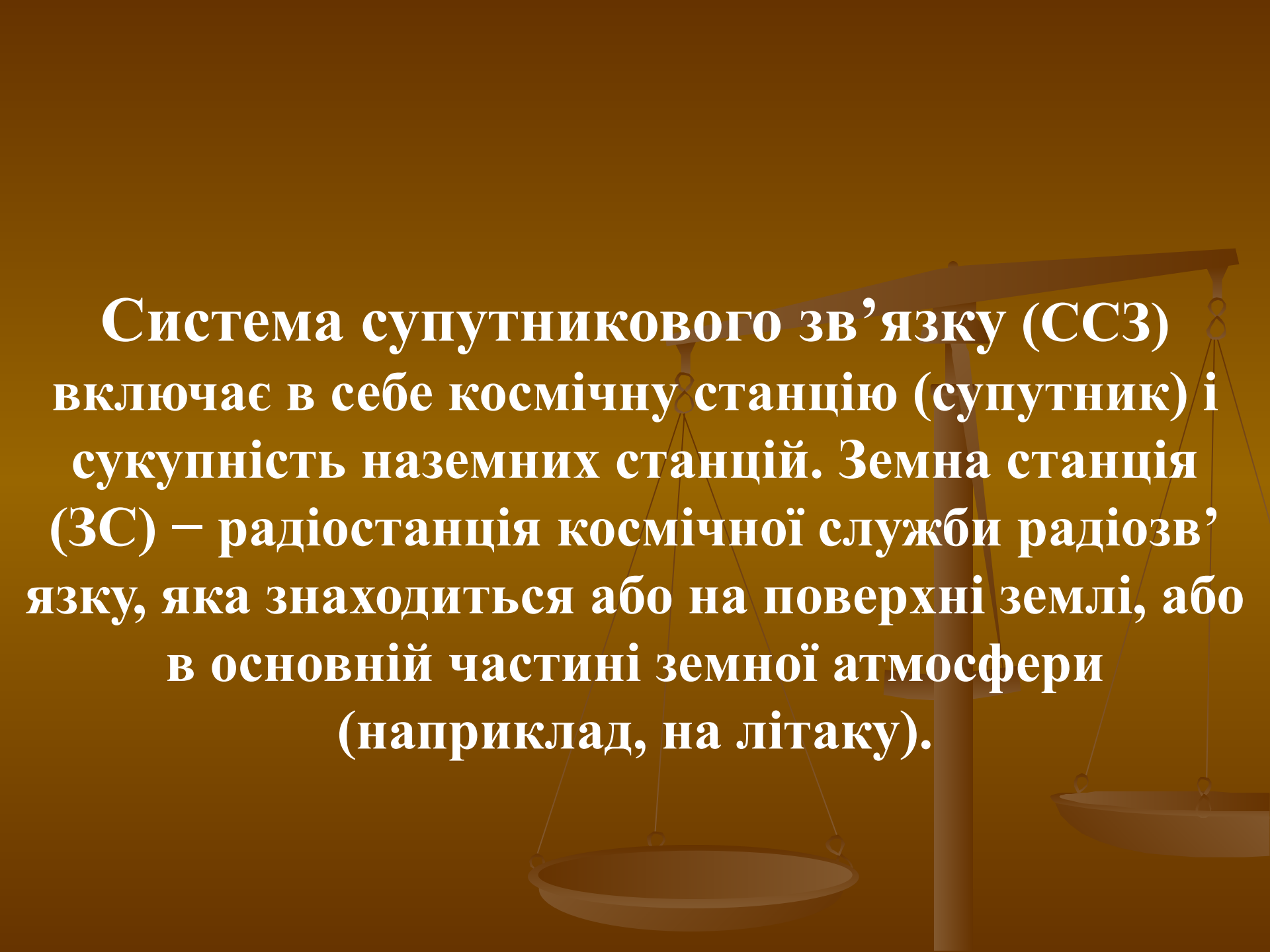
## Супутникові системи зв'язку





# Система супутникового зв'язку (ССЗ)





**Система супутникового зв'язку (ССЗ) включає в себе космічну станцію (супутник) і сукупність наземних станцій. Земна станція (ЗС) – радіостанція космічної служби радіозв'язку, яка знаходиться або на поверхні землі, або в основній частині земної атмосфери (наприклад, на літаку).**

**Згідно регламенту систем зв'язку всі ССЗ використовуються в складі таких служб радіозв'язку:**

- фіксованої супутникової служби (зв'язок між ЗС, розташованими у фіксованих пунктах);**
- рухомої супутникової служби (зв'язок між рухомими ЗС за допомогою одного або декількох супутників зв'язку);**
- супутникової служби віщання (ССВ) (передача телевізійних або звукових програм одному або групі абонентів без використання проміжних технічних засобів).**

# Структура системи супутникового зв'язку:

**космічний сегмент (проекування супутника, розрахунку орбіти і запуску супутника)**

**сигнальна частина (використовуваного спектру частот, впливу відстані на організацію і підтримку зв'язку, джерела інтерференції сигналу, схеми модуляції і протоколи передачі)**

**наземний сегмент (розміщення і конструкцію наземних станцій, типи антен, використовуваних для різних додатків, схеми мультиплексування, що забезпечують ефективний доступ до каналів супутника)**

**користувацький сегмент (абонентське устаткування)**

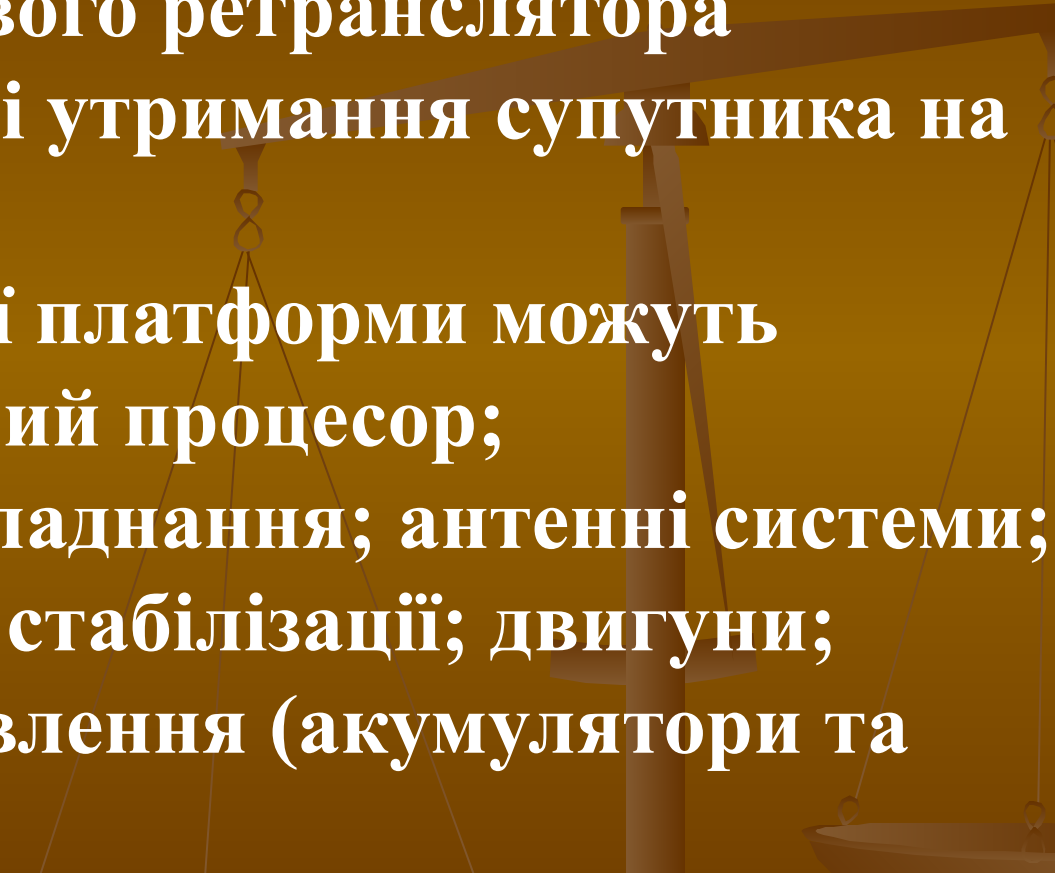
**До системи супутникового зв'язку входить один або декілька супутників-ретрансляторів, які утворюють космічний сегмент системи.**

**Головними компонентами супутника є:**

- Ретранслятор (з приймальними і передаючими антенами);**
- Космічна платформа.**

**Бортовий ретранслятор приймає сигнали земних станцій, підсилює їх і передає на землю.**

**За допомогою бортових антен, переданий супутником сигнал фокусується в один або кілька променів, чим забезпечується формування необхідної зони обслуговування.**



**Космічна платформа призначена для підтримки роботи супутника зв'язку. Основними функціями космічної платформи є забезпечення бортового ретранслятора електроживленням і утримання супутника на заданій орбіті.**

**До складу космічної платформи можуть входити: центральний процесор; радіоелектронне обладнання; антенні системи; система орієнтації і стабілізації; двигуни; система електроживлення (акумулятори та сонячні батареї).**



# Сигнальна частина

Основними характеристиками супутників зв'язку є кількість радіочастотних каналів (ретрансляторів) чи стовбурів, потужність передавачів у кожному стовбурі, кількість і розміри зон обслуговування. Для зменшення взаємних перешкод передача сигналу із супутника (Downlink) ведеться на частоті, відмінної від частоти передачі сигналу з землі на супутник (Uplink).

# Частоти для супутникового зв'язку

Вибір діапазону робочих частот систем супутникового зв'язку обумовлений:

1. Умовами розповсюдження радіохвиль в атмосфері. Атмосфера “прозора” для радіохвиль у діапазонах частот 50 МГц–10 ГГц
2. Рівнем завад, що приймаються антеною земної станції. Найкращим, з точки зору мінімізації зовнішніх завад, є діапазон 1 – 10 ГГц.
3. Використанням смуги 1–10 ГГц іншими службами, що вже існували під час появи ШСЗ.

Для супутникового зв'язку використовується діапазон НВЧ (сантиметровий), у якому можливо забезпечити високу направленість антен земних станцій і широку смугу пропускання ретранслятора (1,5; 2,5; 4; 6; 11; 12; 14; 20; 30 ГГц)



# Багаторазове використання частот

Виходячи з того, що радіочастотний ресурс є обмеженим, використовується повторення частот.

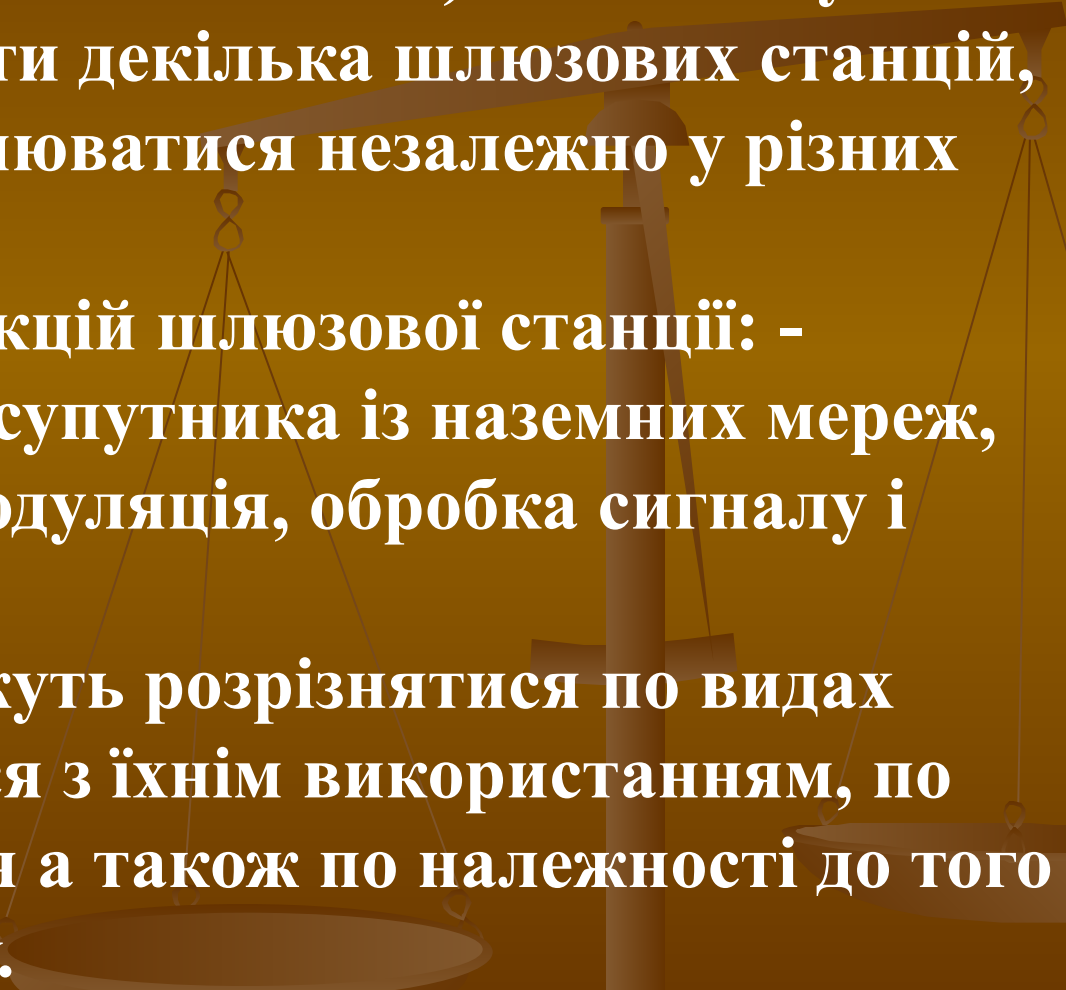
1. Просторовий розподіл частот (кожна антена супутника приймає сигнал тільки з визначеного району земної поверхні, при цьому різні райони можуть використовувати одній й ті ж частоти).
2. Поляризаційний розподіл (різні антени передають і приймають сигнал з ортогональними поляризаціями).

<b>Назва діапазону</b>	<b>Частоти (згідно ITU-R V.431-6)</b>	<b>Застосування</b>
<b>L</b>	<b>1,5 ГГц</b>	<b>Рухомий супутниковий зв'язок</b>
<b>S</b>	<b>2,5 ГГц</b>	<b>Рухомий супутниковий зв'язок</b>
<b>C</b>	<b>4 ГГц, 6 ГГц</b>	<b>Фіксований супутниковий зв'язок</b>
<b>X</b>	<b>Не визначені</b>	<b>Фіксований супутниковий зв'язок</b>
<b>Ku</b>	<b>11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц</b>	<b>Фіксований супутниковий зв'язок, супутникове віщання</b>
<b>K</b>	<b>20 ГГц</b>	<b>Фіксований супутниковий зв'язок, супутникове віщання</b>
<b>Ka</b>	<b>30 ГГц</b>	<b>Фіксований супутниковий зв'язок, супутникове віщання</b>

# Наземний сегмент

- Центр запуску - визначає програму запуску, збірку ракети-носія, передстартові перевірки та випробовування. Після запуску супутника керування ним здійснюється центром керування системою.
- Центр керування системою здійснює керування космічним угрупованням: - контроль запуску і точності виведення на задану орбіту; - контроль стану супутників; - контроль і керування орбітами супутників; - виведення супутників зі складу орбітального угруповання; та ін. Вказані функції здійснюються на основі інформації від супутників. Службова інформація може передаватися також через територіально рознесені командно-вимірювальні станції.

- **Центр керування зв'язком - планує використання ресурсів супутників. Здійснює аналіз і контроль зв'язку через національні шлюзові станції.**
  - **Шлюзові станції (наземні станції) - до складу системи може входити декілька шлюзових станцій, які можуть встановлюватися незалежно у різних регіонах чи країнах.**

**Серед основних функцій шлюзової станції: - організація доступу до супутника із наземних мереж, мультиплексування, модуляція, обробка сигналу і перетворення частот.**
  - **Наземні станції можуть розрізнятися по видах послуг, що надаються з їхнім використанням, по складу устаткування а також по належності до того чи іншого стандарту.**
- 

До складу будь-якої наземної станції входить радіочастотне і каналоутворююче устаткування. До радіочастотного устаткування відносяться : антени СВЧ -діапазону - для прийому та ретрансляції сигналів; транспондери - прийомо-передавачі. Як правило, ці компоненти поставляються в комплекті. Радіочастотне устаткування повинне відповідати типу обраного супутника і забезпечувати роботу каналоутворюючого устаткування.

Каналоутворююче устаткування визначає принципи роботи наземної станції і всієї мережі і працює за певними стандартами (SCPC, DAMA, TDMA, TDM/TDMA). До каналоутворюючого устаткування відносяться пакетні модеми (48 Мбіт/с).

# Модуляція й завадостійке кодування

Особливістю ССЗ є необхідність працювати в умовах порівняно низького співвідношення сигнал/шум, викликаного декількома факторами:

- значною далекістю приймача від передавача;
- обмеженою потужністю супутника (неможливістю вести передачу на великій потужності).

У зв'язку із цим супутниковий зв'язок погано підходить для передачі аналогових сигналів. Тому для передачі мови її попередньо оцифровують, використовуючи, наприклад, імпульсно-кодову модуляцію (ІКМ).

каналу зв'язку вони повинні бути спочатку перетворені в радіосигнал, що займає певний частотний діапазон. Для цього застосовується модуляція (цифрова модуляція називається також маніпуляцією).


Найпоширенішими видами цифрової модуляції для додатків супутникового зв'язку є фазова маніпуляція. Найпоширенішими видами цифрової модуляції для додатків супутникового зв'язку є фазова маніпуляція і квадратурна амплітудна модуляція. Найпоширенішими видами цифрової модуляції для додатків супутникового зв'язку є фазова маніпуляція і квадратурна амплітудна модуляція. Наприклад,

# Множинний доступ

Для забезпечення можливості одночасного використання супутникового ретранслятора декількома користувачами застосовують **множинний доступ:**

- з частотним розподілом (кожному користувачеві надається окремий діапазон частот)
- з часовим розподілом (кожному користувачеві надається часовий інтервал – **таймслот**, в межах якого він здійснює передачу і прийом даних)
- з кодовим розділенням (кожному користувачеві видається кодова послідовність, ортогональна послідовностям інших користувачів, тобто користувачі здійснюють обмін даними на одній частоті, але не заважають один одному)





Крім того, багатьом користувачам не потрібен постійний доступ до супутникового зв'язку. Цим користувачам канал зв'язку (таймслот) виділяється на вимогу за допомогою технології DAMA (DAMA And Assigned Multiple Access — множинний доступ з наданням каналів на вимогу).

**Питання для самостійного вивчення**

```
graph TD; A[Питання для самостійного вивчення] --> B[1. Антени наземних станцій супутникового зв'язку]; B --> C[Література]; C --> D[СДН ЗМ 2. Заняття 1];
```

**1. Антени наземних станцій супутникового зв'язку**

**Література**

**СДН ЗМ 2. Заняття 1**