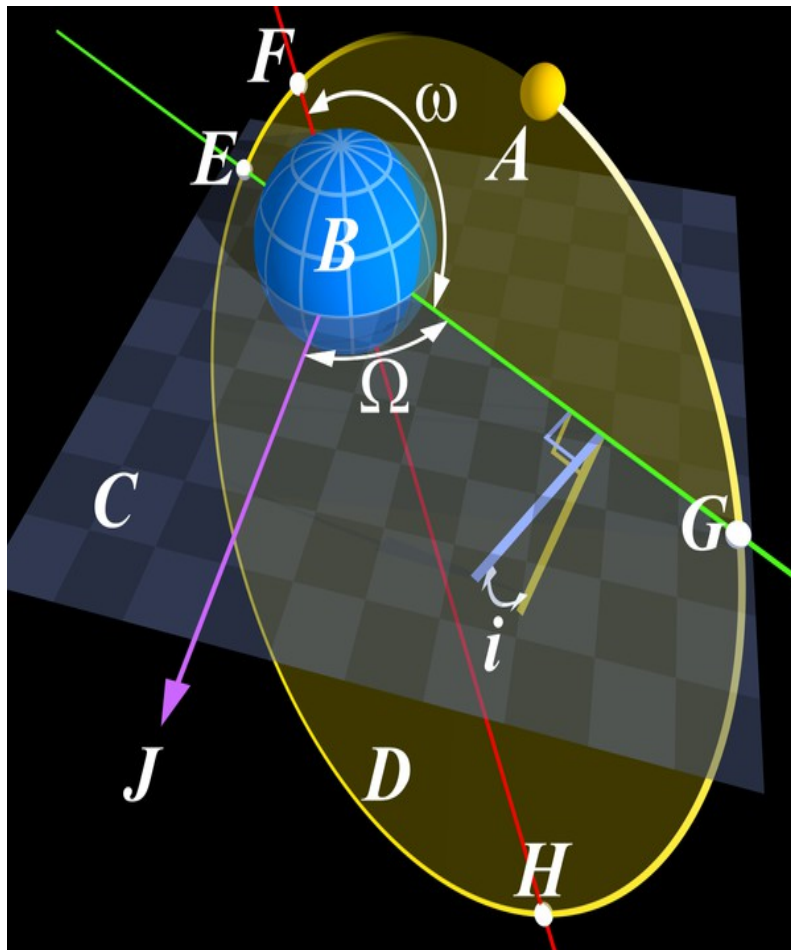


# Віддалемірні та координатні спостереження супутників у АОЛНУ

Відділ практичної  
астрономії та фізики  
ближнього космосу

Астрономічна  
обсерваторія  
ЛНУ ім.І.Франка

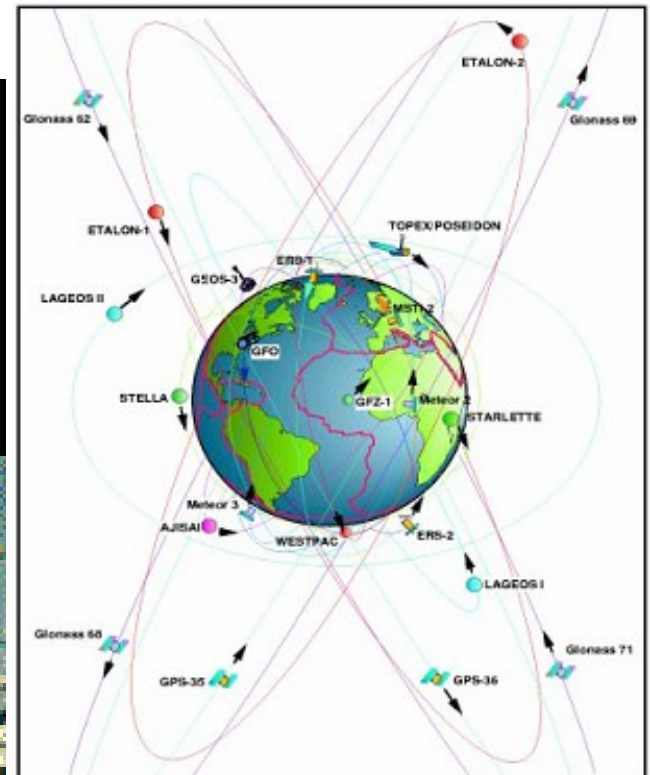
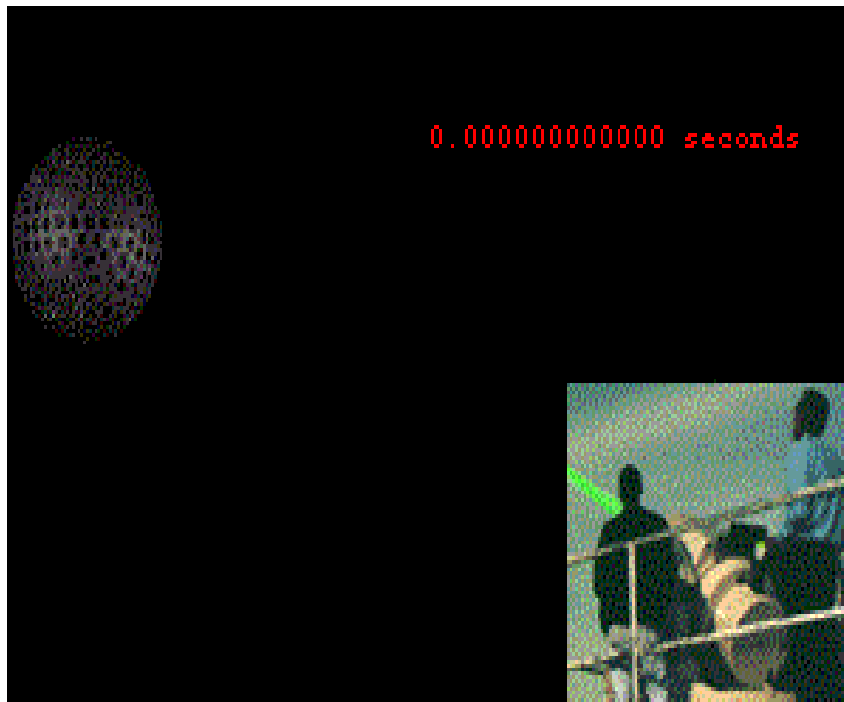
# Небесна механіка.



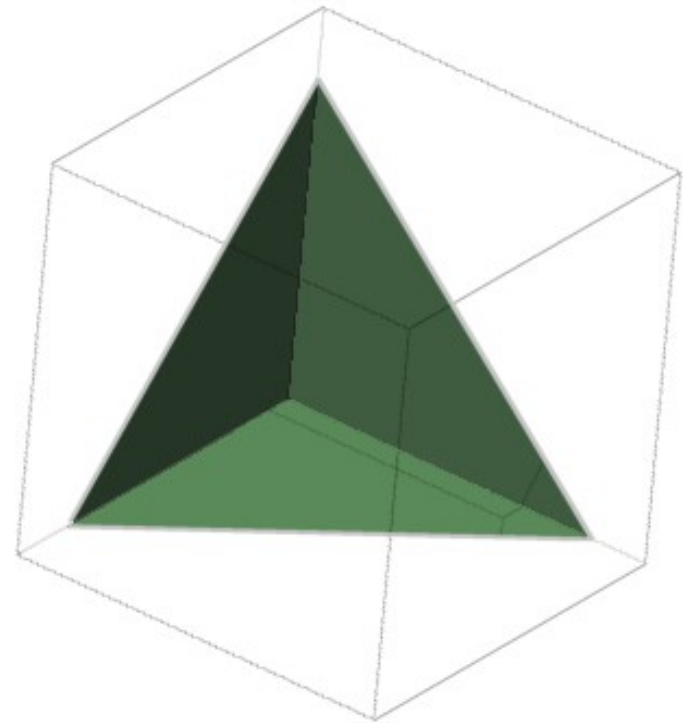
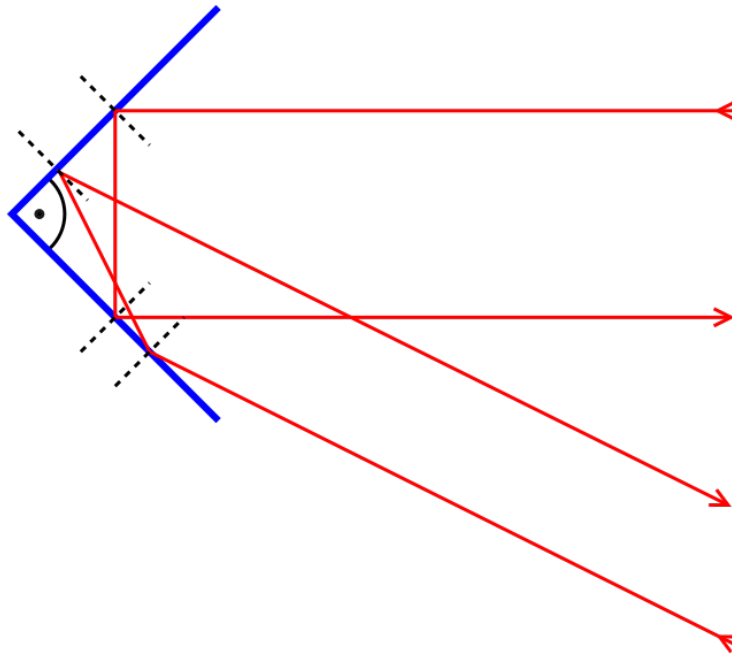
- Задача двох тіл – Земля + супутник.
- Орбіта, кеплерівські елементи, TLE, CPF.
- $a$  – велика піввісь,  $e$  – ексцентриситет,  $i$  – нахил орбіти,  $\Omega$  – довгота висхідного вузла,  $\omega$  – аргумент перигею,  $t$  – час.

# Принципи лазерної локації супутників (ЛЛС)

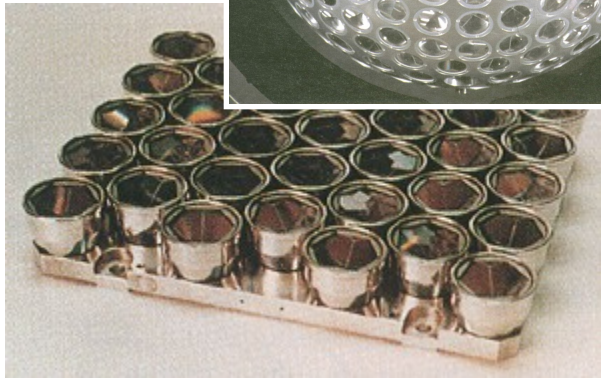
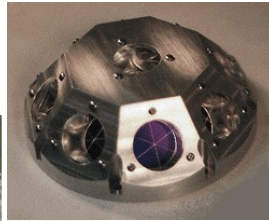
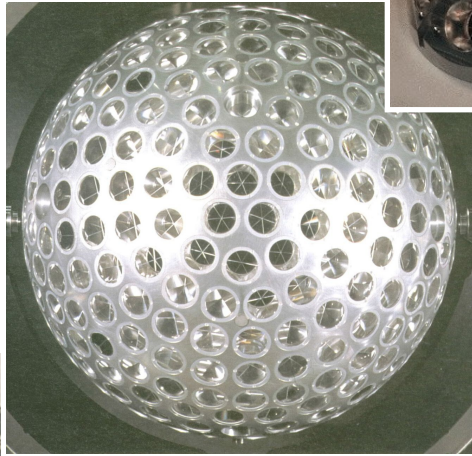
- S
- L
- R



# Лазерний призмовий (кутиковий) відбивач



# Лазерний призмовий відбивач

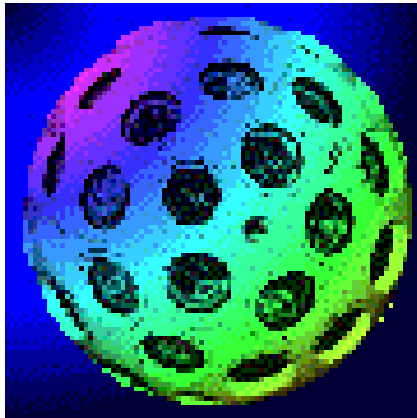


*Кварц,  $n(532\text{нм})=1.4607$ ,  
грані алюмінізовані*

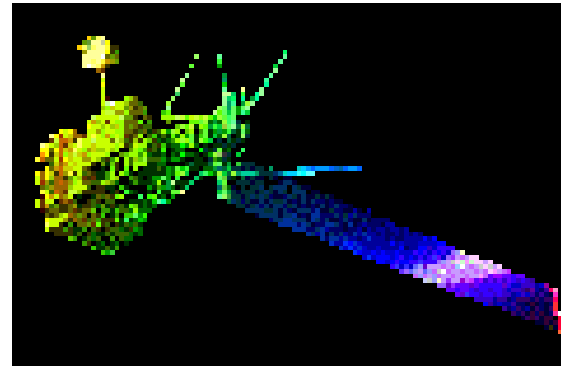
## Масиви відбивачів:

- 6 призм змонтовано у одному гнізді.
- Низькоорбітальні ШСЗ 4-9.
- Геодезичні від 60 до 1500.
- Навігаційні від 30 до 400 на площині.

# Типи супутників



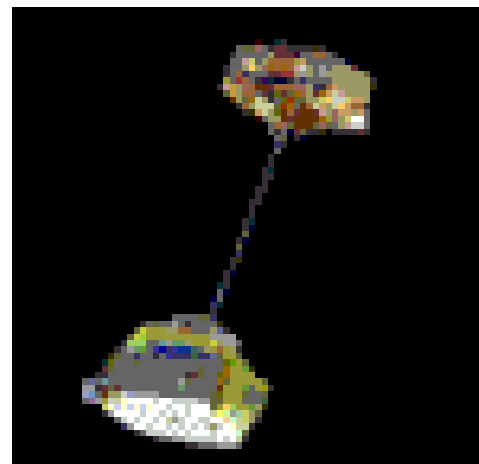
Геодинаміка,  
Геодезія:  
LAGEOS,  
AJISAI,  
STARLETTE  
STELLA...



Зондування  
Землі:  
TOPEX,  
ERS-2,  
GFO-1...

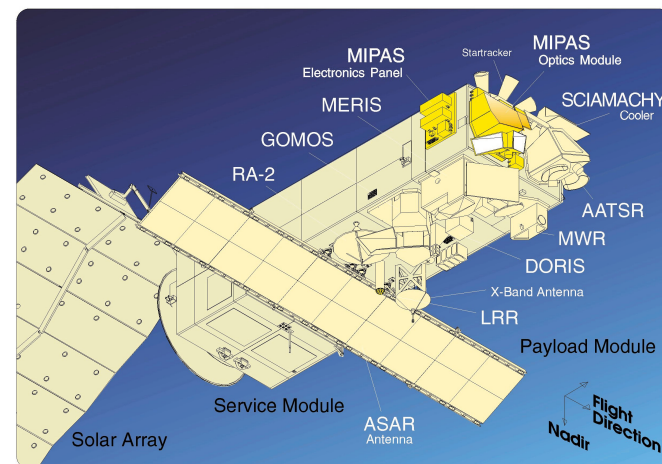
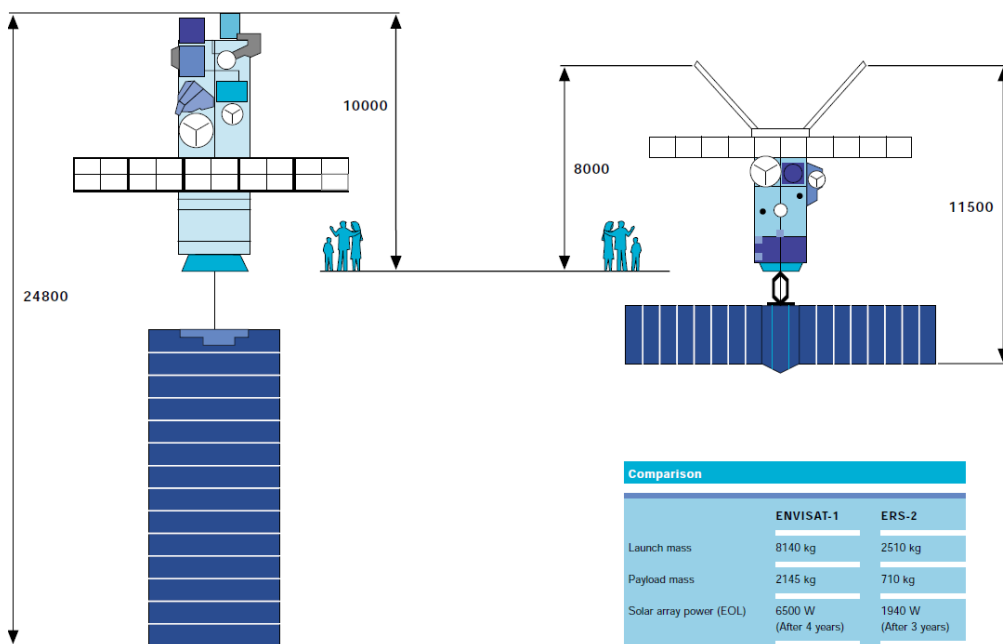


Навігація:  
GPS,  
GLONASS,  
GIOVE,  
COMPASS



Експериментальні:  
TIPS,  
REFLEKTOR,  
WESTPAC...

# Типи супутників



Цікаві факти: LAGEOS-2 виведено на орбіту STS-52 (Columbia); ERS-2 завершив свою 16 річну роботу 4 липня 2011 року.

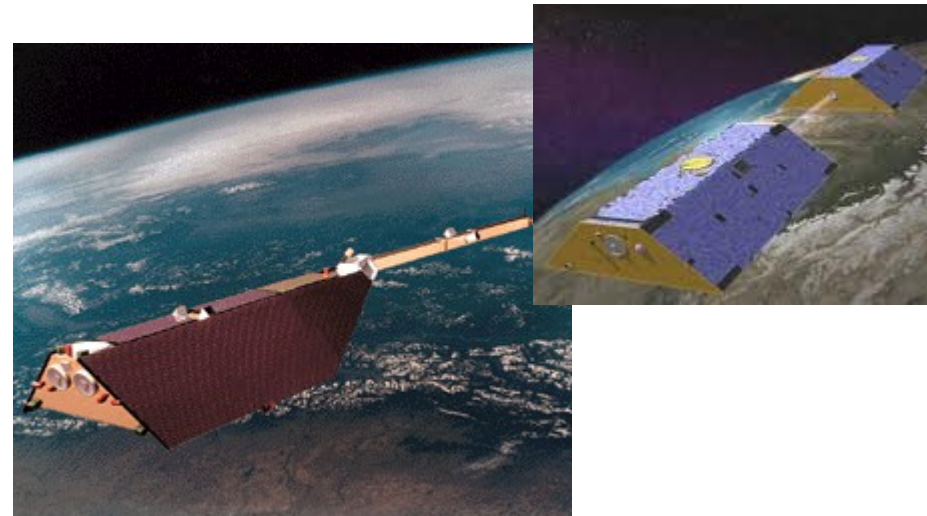
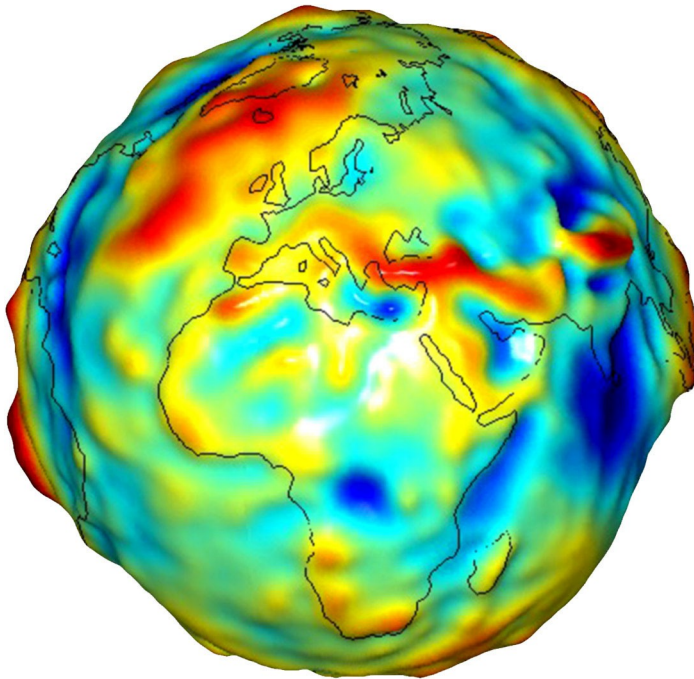
# Задачі ЛЛС: Орбіта супутника

- ЛЛС забезпечує вимірювання топоцентричної відстані до ШСЗ з мм точністю  $\Rightarrow$  прецизійне визначення орбіти супутника та вклад у низку наукових задач...

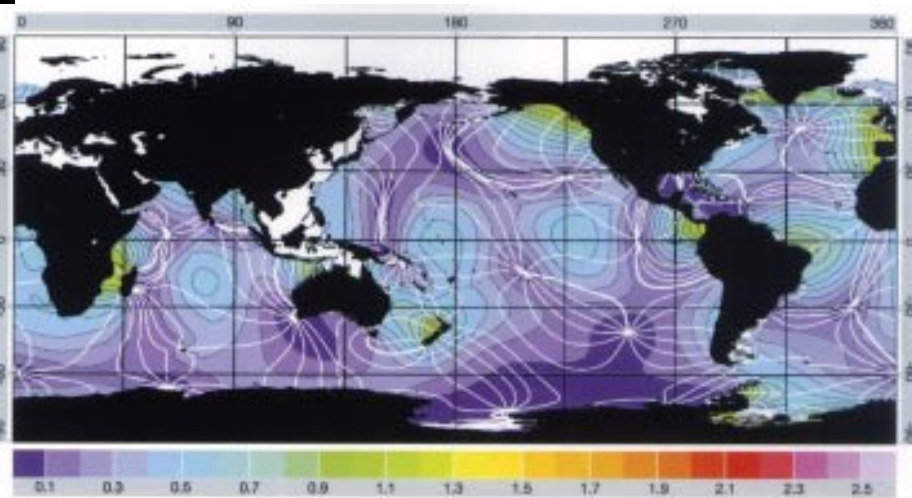
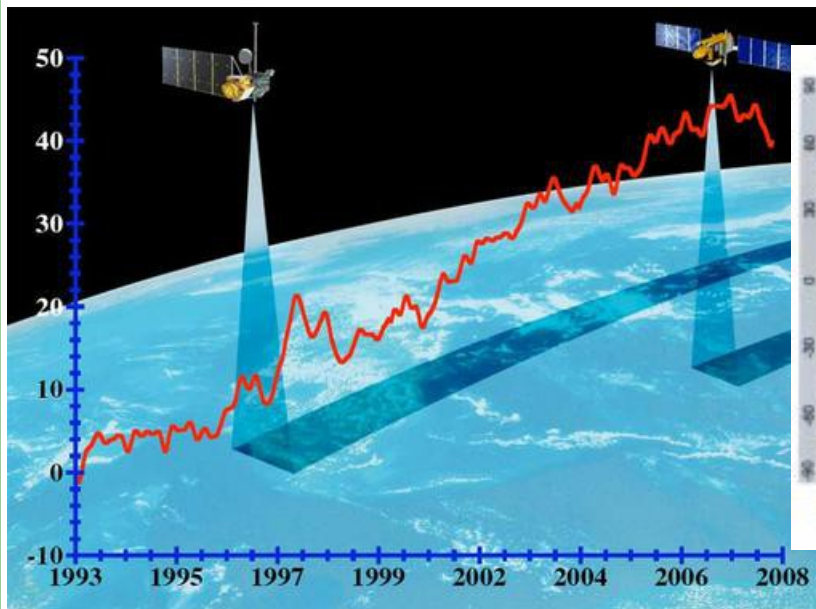




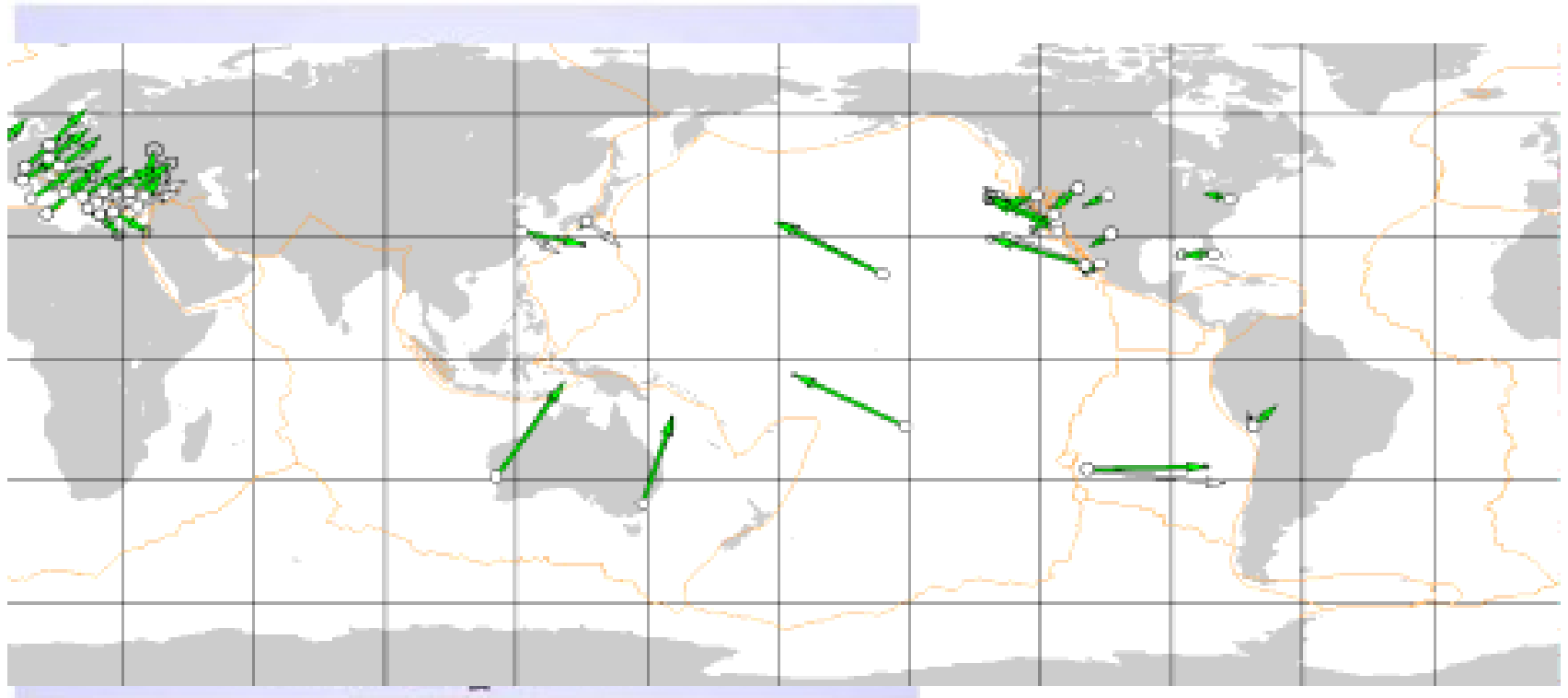
# Задачі ЛЛС: Атмосфера-Гідросфера-Кріосфера-Тверда Земля



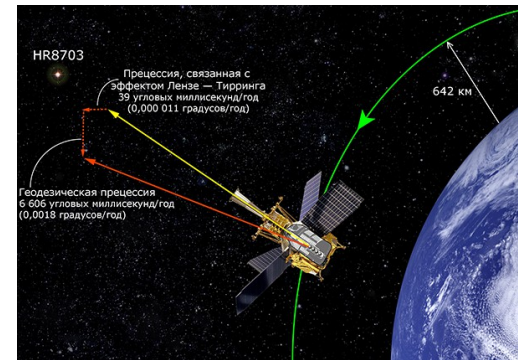
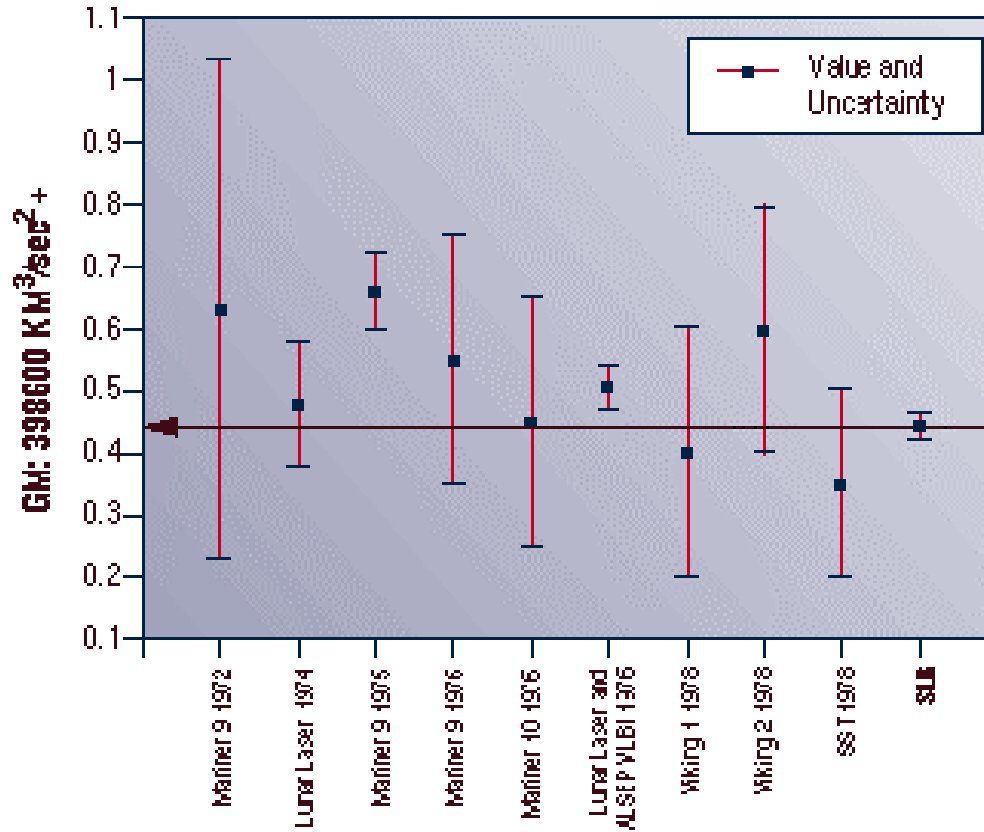
# Задачі ЛЛС: Калібрування космічних висотомірів



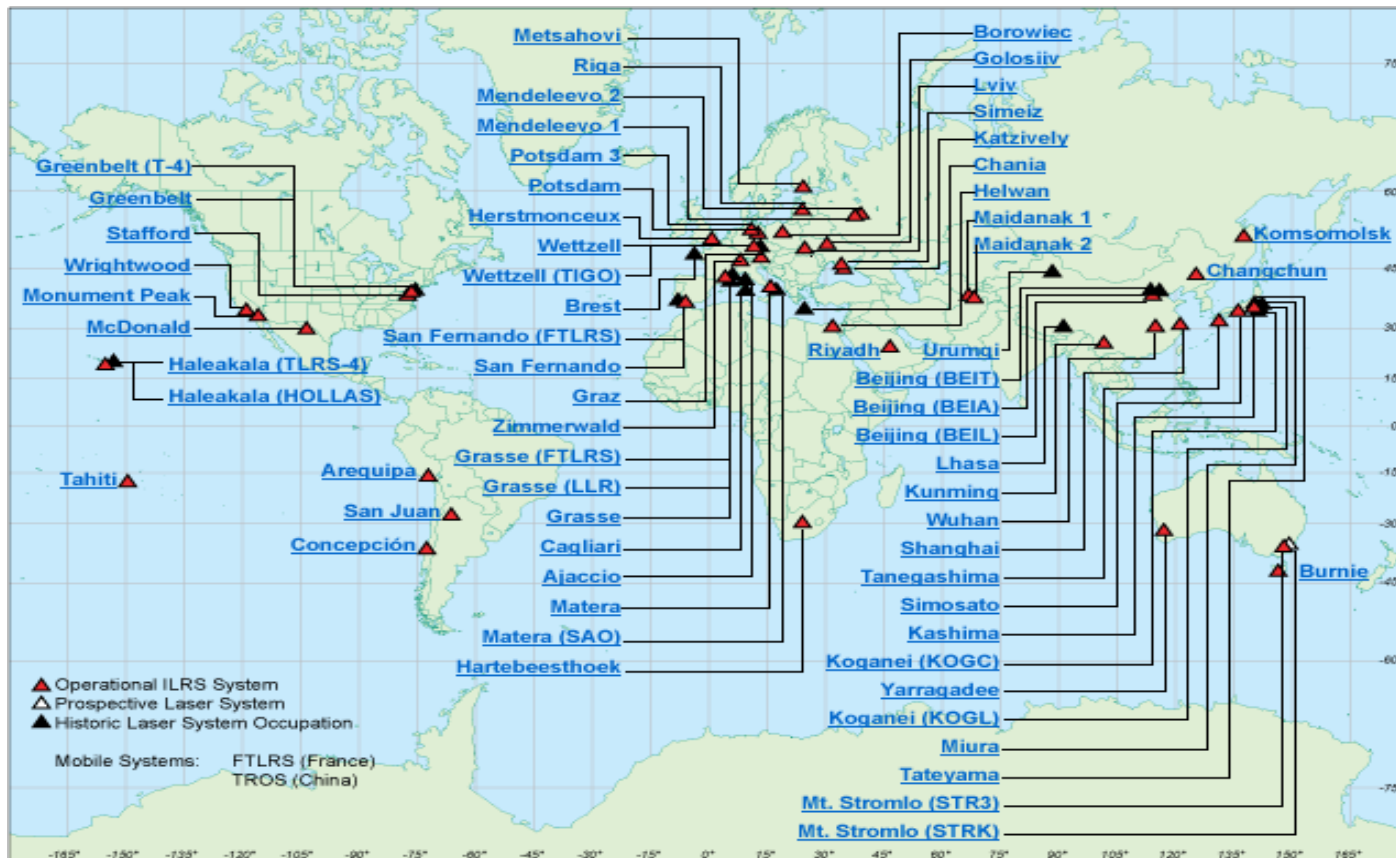
# Задачі ЛЛС: Динаміка обертання Землі та рух тектонічних плит



# Задачі ЛЛС: Дослідження у фундаментальній фізиці

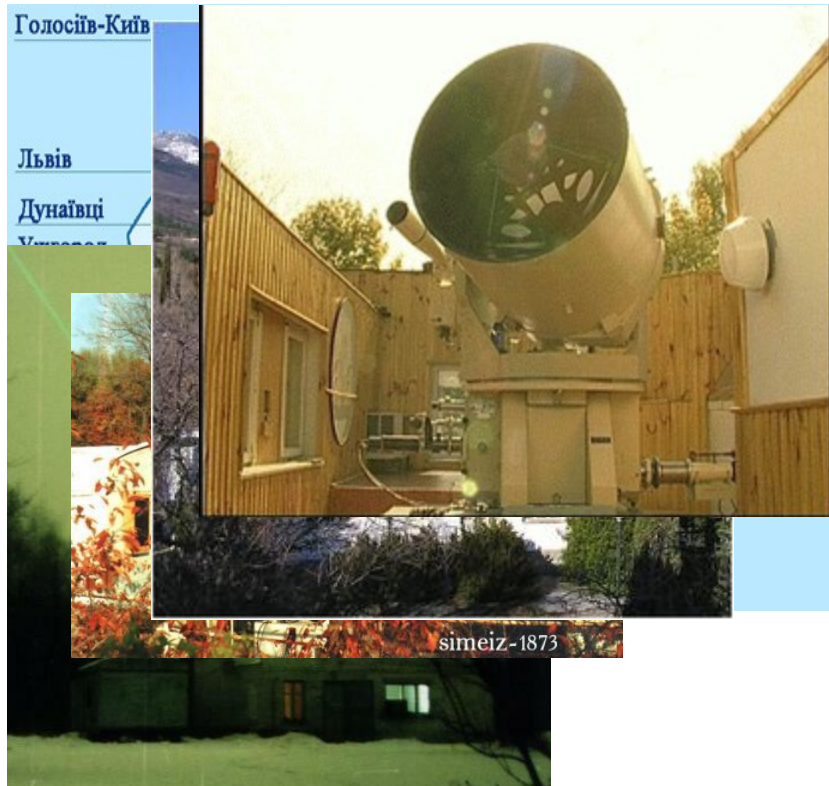


# Мережі ЛЛС станцій: ILRS – International Laser Ranging Service



# Мережі ЛЛС станцій: УЦПОЗ

<http://www.mao.kiev.ua/EOP/UKRAINE/>



- УЦПОЗ – інформаційна, технічна підтримка діяльності мережі ЛЛС-станцій України.
- Українська ЛЛС-мережа створена зусиллями кількох організацій і об'єднує чотири діючих ЛЛС-станції:  
Голосіїв-Київ, Сімеїз, Кацівелі, Львів.

# Львів-1831. Загальний опис.



Code: LVIL  
CDP number: 1831  
IERS DOMES: 12368S001  
SOD: 18318501

## Координати:

Широта:  $49^{\circ}55'3''.2503$  пн.ш.  
Довгота:  $23^{\circ}57'25''.8858$  сх.д.  
Висота: 359.356 м

# Львів-1831. Історія (1031).



- У 1987 році заснована на базі станції оптичних спостережень ШСЗ 1031.
- Інструмент – ЛД-2 з рубідієвим лазером (694 нм), імпульс 50 нс, 300 мДж, частота 0.5 Гц.
- Точність – до 1м, що відповідає ЛЛС станції 2-го покоління.

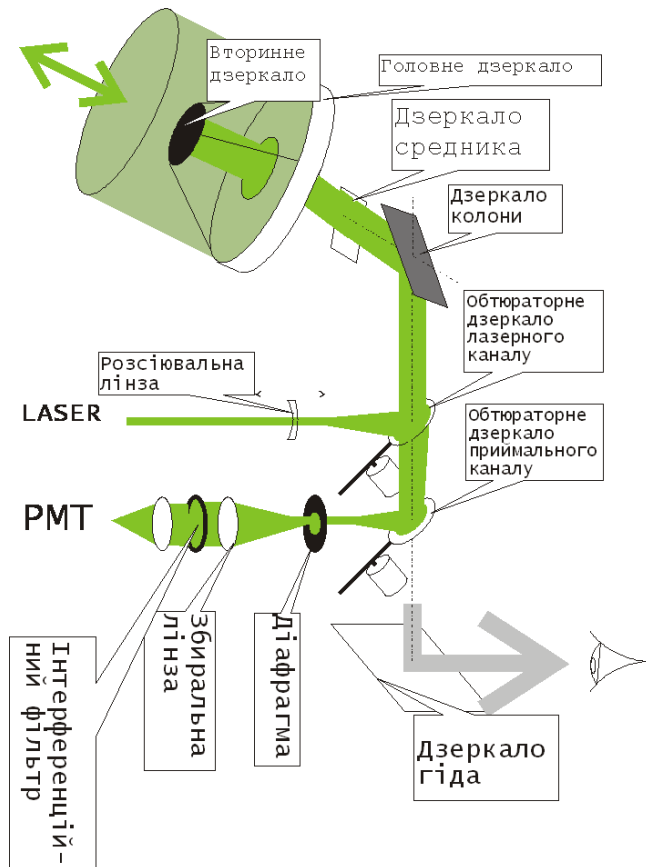


# Львів-1831. Сучасний стан.



- У 1998 році отримано перші результати на новому обладнанні.
- Інструмент – ТПЛ-1М з неодимовим лазером (532 нм), імпульс 0.15 нс, 100 мДж, частота 5 Гц.
- Точність –  $<5\text{см}$ , що відповідає ЛЛС станції 3-го покоління.
- З 2002 року в ILRS.

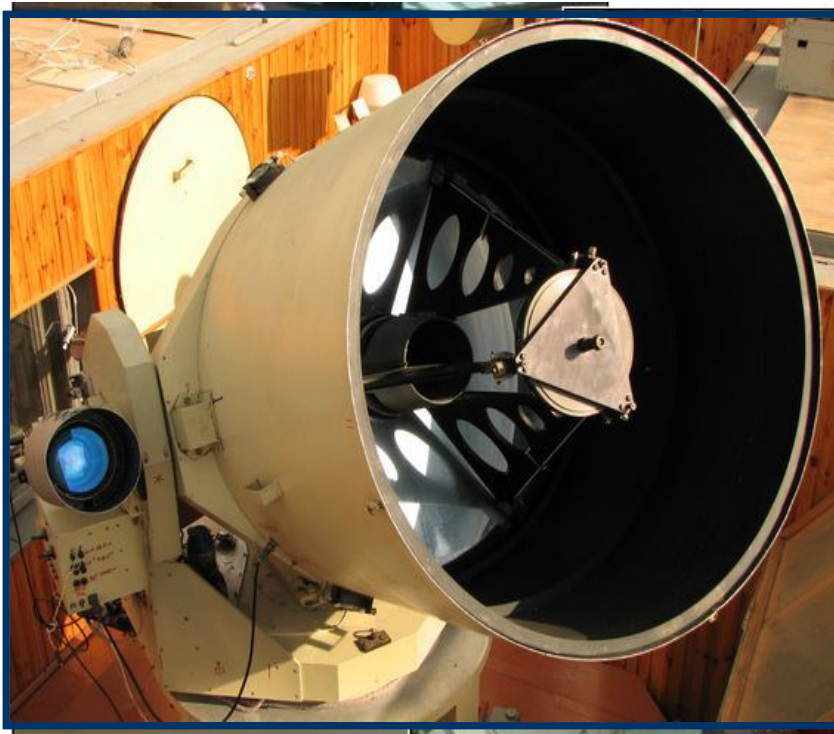
# Львів-1831. Схема.



## ЛЛС станція:

- Телескоп
- Лазер
- Старт/Стоп система
- Реєстрація
- Точний час
- Програмне забезпечення

# Львів-1831. Телескоп.

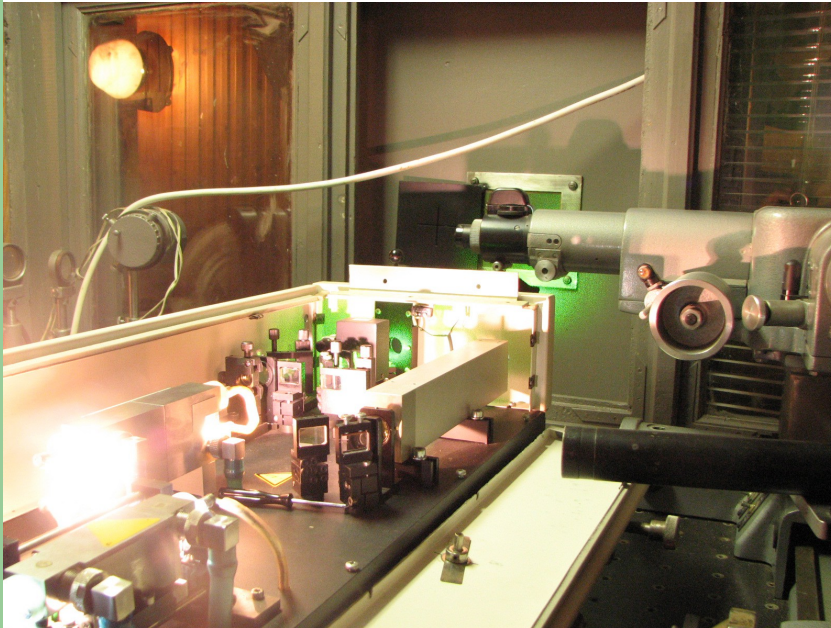


## Телескоп ТПЛ-1М:

- Фокус 11600мм
- Головне дз. 1000мм
- Вторинне дз. 250мм
- Фокус куде
- Діафрагма 120", 60", 30"
- Монтування альт-азимутальне
- Переміщення по кутах ШД5

# Львів-1831. Лазер.

## SL-212

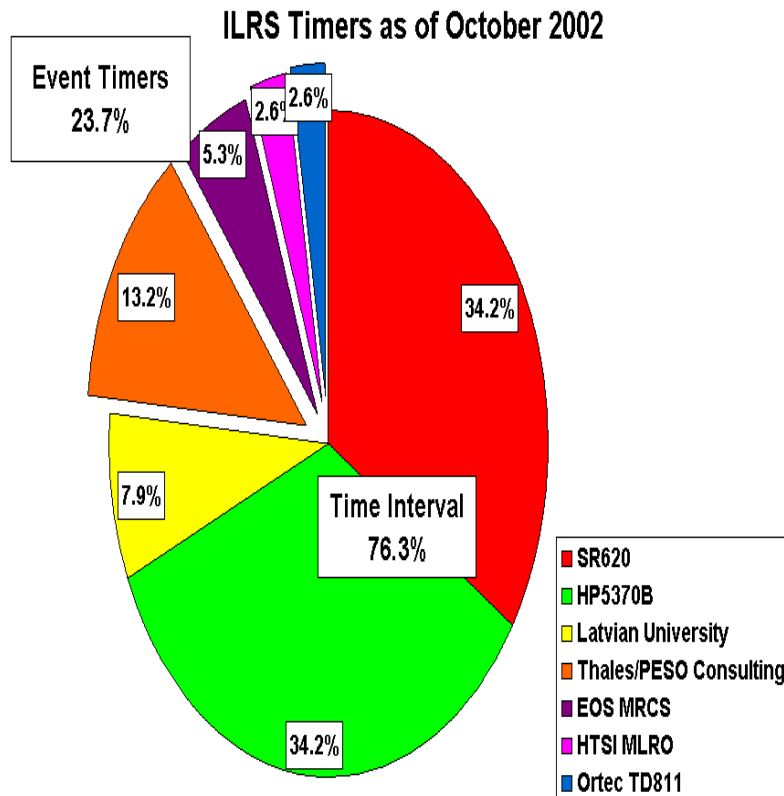


- Тривалість імпульсу 150 пс.
- Енергія імпульсу 100 мДж.
- Довжина хвилі 532 нм.
- Частота імпульсів 5 Гц.

## Львів-1831. Старт / Стоп.

- Старт – ЛФД-2, наростання 1 нс, амплітуда -3 В.
- Стоп – фотопомножувач ФЕУ-79(136), підсилювач VT120, наростання 3 нс, амплітуда -3 В.
- Система часової прив'язки сигналів – 4-канальний дискримінатор ORTEC935, 50 пс у динамічному діапазоні 0.05÷5 В.

# Львів-1831. Реєстрація.



- A911 (ComTiS) – Латвійський ін-т електроніки. Розділення 40 пс, точність виміру 50 пс. **!+ Система часової прив'язки та часові ворота. +!**
- SR620. Розділення 4 пс, точність виміру 25 пс.

# Львів-1831. Програмне забезпечення.

Linux, RTLinux, MySQL, TCP/IP, SMB, nCurces, C/C++, PHP...

- Керування роботою телескопа ТПЛ-1М  $\rightarrow A(t), H(t), R_c(t)$ ...
- Реєстрація (вимірювання)  $\rightarrow R_o(t)$ ...
- Попередня обробка (аналіз)  $\rightarrow NP$  (CRD)
- Службові програми і скрипти:
  - ./log\_weather, GPS, ./calc\_pass...
  - ./geteph, ./sendnp...

# Напрямки досліджень по тематиці лазерних спостережень.

- Дослідження та введення у дію сучасного фотопомножувача H6780-20 (Hamamatsu)
  - Час наростання 0,78 нс  $\Rightarrow$  підсилувач, осцилограф.
- Дослідження та введення у дію лічильника SR620
  - Часові ворота, часова при'язка + відповідне програмне забезпечення.



# Напрямки досліджень по тематиці лазерних спостережень.

- Вдосконалення системи модуляції (передача/прийом)
  - Відмова від дзеркал-модуляторів на моторах.
- ЛЛС спостереження без візуального контролю через гід
  - Програмне забезпечення керування телескопом, модель похибок телескопа.
- Автоматизація ЛЛС спостережень
  - Від скачування початкових даних, до обробки та відсилки результатів у центри.

# Координатні спостереження ШСЗ.



# СКАКО ДКАУ.

Система контролю та аналізу космічної обстановки у складі Державної космічної програми України.

Проект “Спостереження” – забезпечення експлуатації та розвитку системи СКАКО, балістичне забезпечення польотів КА, створених в Україні або виведених українськими ракетноносіями “Днепр”, “Зенит”.

# Програма РН “Днепр”





# Методи координатних спостережень

Спосіб накопичення кадрів із зміщенням (цифровий супровід) – Миколаїв, Львів, Ужгород, Одеса

Спостереження з поворотною платформою – Миколаїв

Прив'язка до опорних зірок у режимі механічного гідуювання телескопом – Одеса

Прив'язка до кутових датчиків у режимі гідуювання телескопом – Євпаторія, Дунаївці.

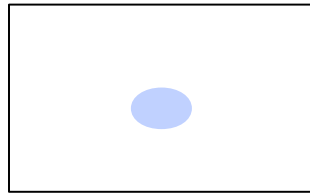
# Метод накопичення кадрів із зміщенням (цифрове гідування)



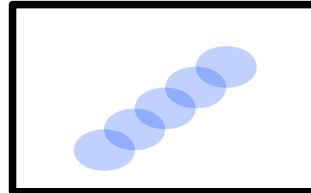
Фото  
об'єктив



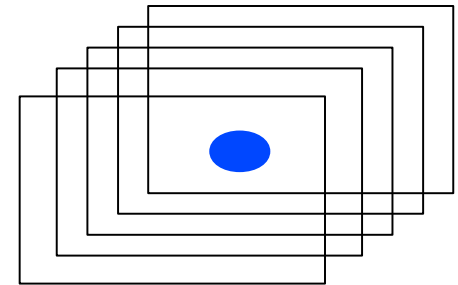
ССТV  
камера



Один кадр



Накопление кадров



Накопление  
кадров  
со смещением

**Експ =**

**0.04 с**

Возможности:

Высота орбиты  
2000 km

Масса  
kg

ЭПО

m<sup>2</sup>

200 -

>=50

>=0.2

**2.00**

# Приклади результатів спостережень



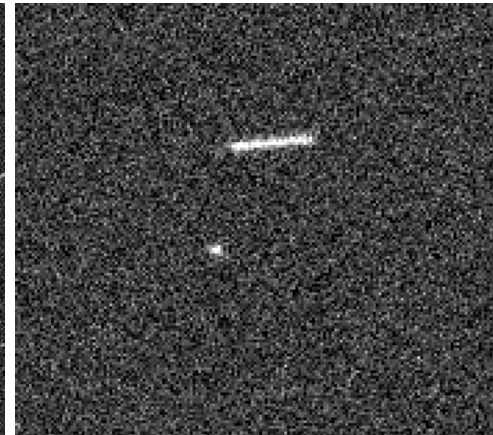
LEO

Дист: 1180 km  
Скор: 0.28 °/sec  
Експ: 2.2 sec  
Дуга: 0.62°  
(110 pix)



SSO

Дист: 21500 km  
Скор: 1760  
"/min  
Експ: 20 sec  
Дуга: 590" (180  
pix)

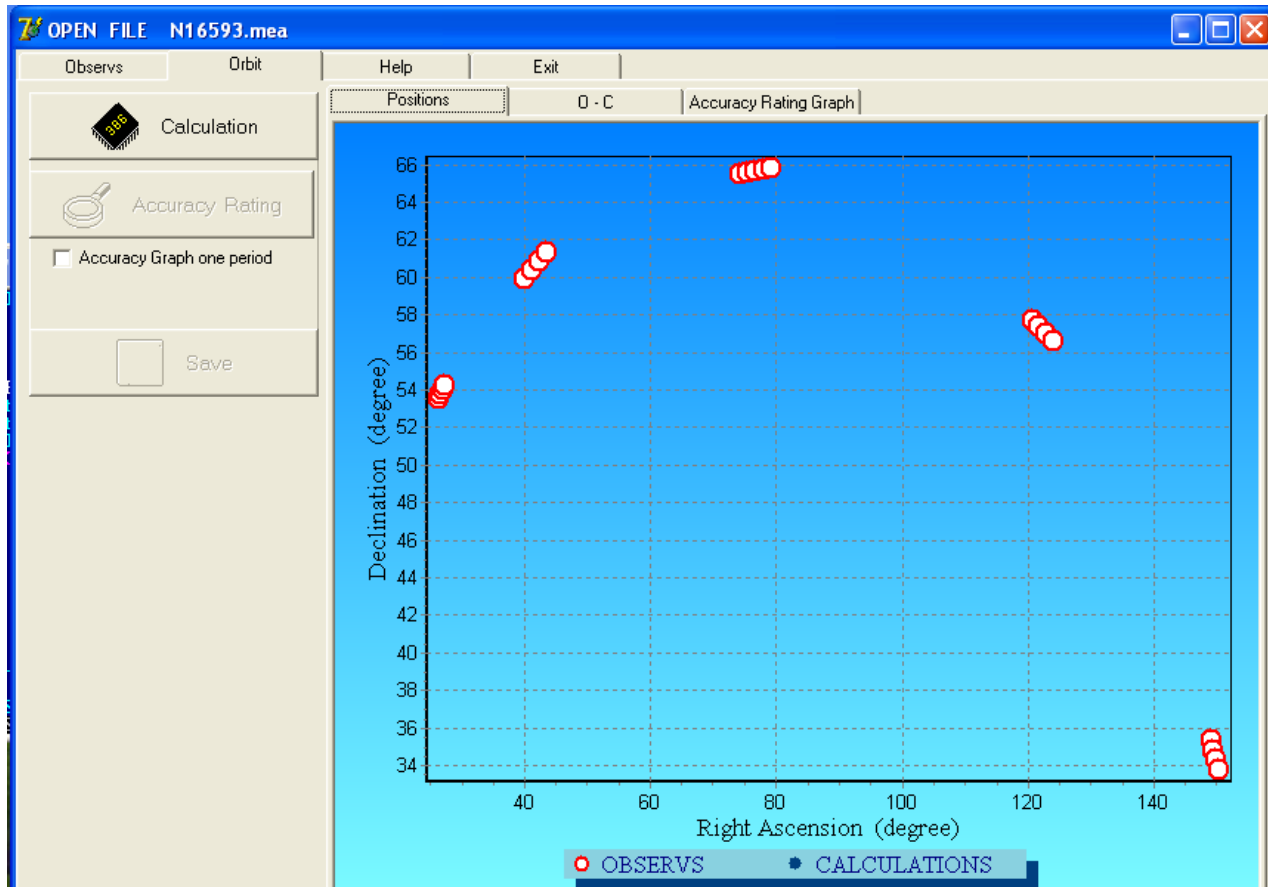


NEO

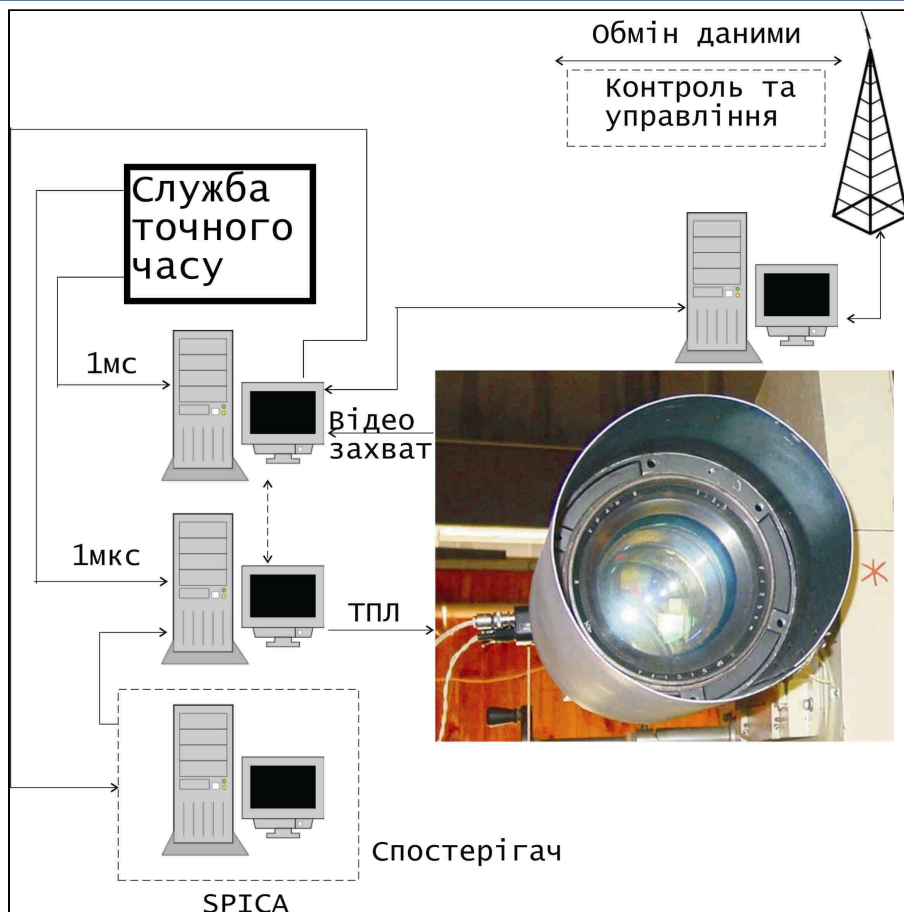
Дист: 0.01 AU  
Скор: 68 "/min  
Експ: 45 sec  
Дуга: 51" (32  
pix)



# Визначення елементів орбіти



# Оптичні засоби спостережень у АО ЛНУ



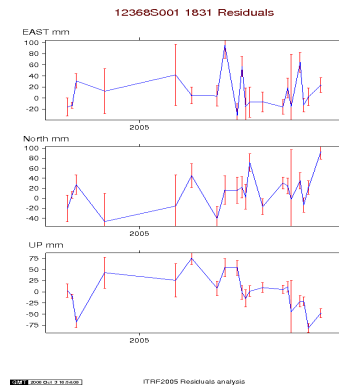
# Проведені роботи

- Встановлення об'єктива, камери, юстування та фокусування.
- Адаптація програм НАО до аль-азимутального монтування.
- Служба часу: ЭСВ-М, Delphi.
- Вдосконалення від Motion\_manual до автоматичних спостережень: програма ведення телескопа, синхронізація даних з іншими програмами системи (Control, Video).

# Етапи спостереження

- Отримати орбітальні елементи
- План\_ЦУ — розрахунок ефемерид
- Список точок спостереження (Control)
- Спостереження (Control, Video, Motion)
- Обробка спостережень супутника (CCD) та опорних зір (Astrometrica)
- Передача результатів (фактично таблицку положень ШСЗ у екваторіальній системі) у центр обробки (НАО, НЦУВКЗ, КБ “Південне”)

# Програми, співпраця, досягнення.



X=3760674.746 м  
±9 мм

Y=1670776.434 м  
±9 мм

Z=4857165.445 м  
±7 мм

Vx=30.9 ±14.2 мм/рік

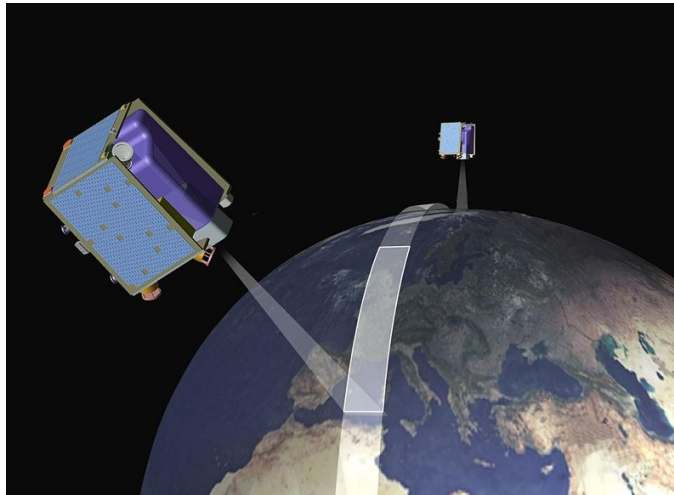
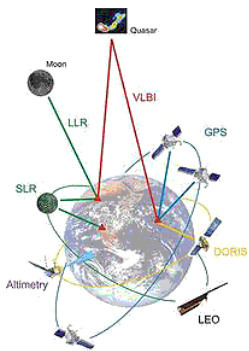
Vy= 4.2 ±12.9 мм/рік

Vz=34.4 ±11.4 мм/рік

- УЦПОЗ ГАО НАНУ
- Державна урядова програма “Створення та розвиток Державної служби єдиного часу і еталонних частот”
- ILRS, ITRF2005

- ILRS, ГАО НАНУ, ЛЛС станції України, НУ “Львівська політехніка”, НЦУВКЗ НКАУ, НДІ “Миколаївська АО”, ЛКД УжНУ, ДМЦ “Оріон”, ЛЛС станція “Рига”, ИНАСАН РАН, КБ “Південне”
- **У 2008 році** "Науково-дослідний комплекс апаратури для вивчення штучних небесних тіл ближнього космосу астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка" **внесено у Державний реєстр наукових об'єктів, що становлять національне надбання.**

# До зустрічі на спостереженнях на замиській базі у Брюховичах



# План:

1. Принципи ЛЛС
2. Задачі ЛЛС
3. Мережі ЛЛС станцій:
  1. ILRS
  2. EDC
  3. UCEOP
4. Львів-1831

# Львів-1831 – план:

- Загальний опис (історія,...)...
- Системи станції:
  - Телескоп
  - Лазер
  - Старт / Стоп (ЛФД, ФЕУ, дискримінатор)
  - Реєстрація (Comtis, SR620)
  - Точний час (GPS, СЧВ74, Ч7-37)
  - Програмне забезпечення...
- Аналіз результатів, використання...
- Програми, досягнення, співпраця...
- Наші контактні дані...



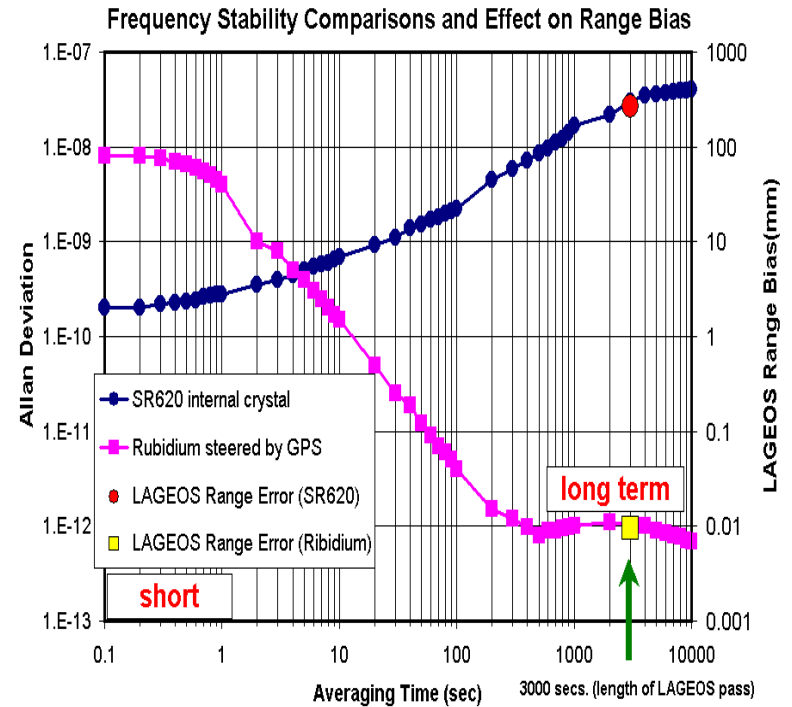
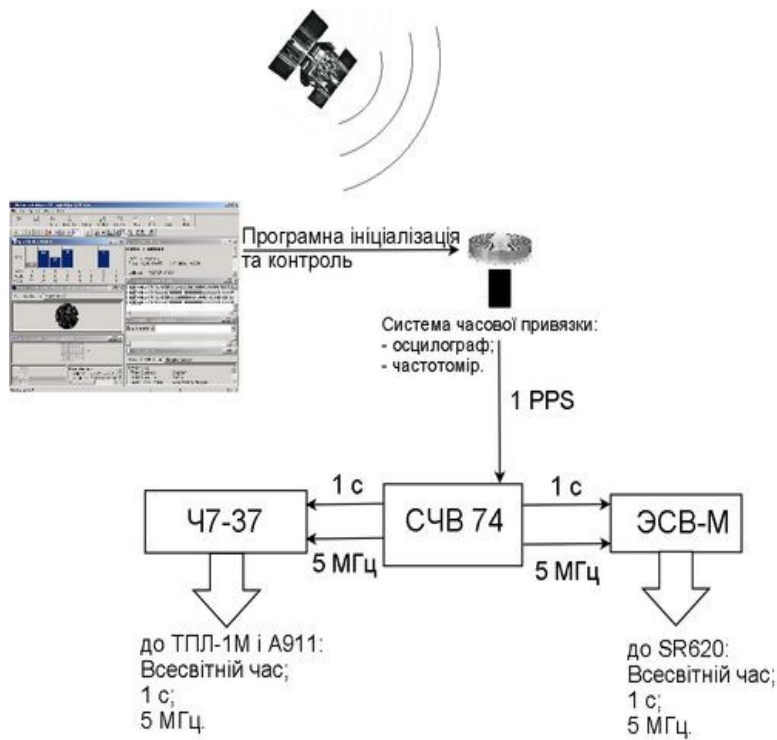
# Мережі ЛЛС станцій: ILRS



- <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>

- NLN – мережа ЛЛС станцій США (NASA)
- WPLN – мережа станцій західно-тихоокеанського регіону
- EUROLAS – мережа станцій Європи
  - EDC – EUROLAS Data Center
  - + мережа ЛЛС станцій УЦПОЗ – Україна.

# Львів-1831. Точний час.



# Львів-1831. Напрямки досліджень.

Оптичні спостереження супутників – фотометричні, позиційні та лазерні:

- Дослідження та вдосконалення оптичних засобів для спостереження супутників.
- Автоматизація проведення астрономічних спостережень, зокрема за супутниками.
- Розробка програмного забезпечення для спостережень у системі Лінукс.

```
Thu Oct 2 02:59:47 2008 a= 220.0311 h=21.0360 SatTrack Laser OFF
Satellite position a= 220.0311 h=21.0360 SatTrack
TPL - Satellite az= 0° alt= 0°
TPL - az= -600°/sec h= 140°/sec
Satellite COSPAR ID is 6503201 > 2000-10-02
Start time is 02:59:23.0 a= 233.3704 h=20.0162 R= 14.445km
Calibration: a= 200.7004 h=23.0162 R= 13.525km
Stop time is 03:03:23.2 a= 183.9254 h=20.0034 R= 14.023km

( 3 ) Set start position: a= 233 h=20
TPL links a= 233
```



# Львів-1831. Контакти.

- м.Львів, 79005, вул.Кирила і Мефодія 8, Астрономічна обсерваторія, тел.: (032)-2600395, 2600393.
- м.Львів, смт.Брюховичі, 79491, вул. Нова 7, Астрономічна обсерваторія (заміська база), тел.: (032)-2346382, 2347317
- Благодир Ярослав Тимофійович, науковий співробітник, в.о. заввіділу “Практичної астрономії та фізики ближнього космосу” АОЛНУ,  
blagod@astro.franko.lviv.ua, slr1831@ukr.net,  
<http://astro.franko.lviv.ua>

# Регламентні роботи.

- Юстування телескопа ТПЛ-1М, перевірка оптичних каналів
- Догляд за лазером та системою охолодження, його юстування