

## POSEBNE METODE GEODETSKE ASTRONOMIJE

# 1. OSNOVE ASTROMETRIJE

## 1.2 ASTROMETRIJSKI INSTRUMENTI

predavanja, VII. semestar

**oko 2800. g. pr. Kr.**

izgrađen **STONEHENGE** – prvotna se građevina sastojala od jarka, zemljanog nasipa, obeliska i jama (600 do 1000 godina kasnije dodan krug kamenih gromada)



- određivanje doba solsticija, motrenja pomrčina



**oko 2600. g. pr. Kr.**

izgrađena Keopsova piramida orijentirana prema Orionovom pojasu i zvijezdi Tuban u Zmaju (Sjevernjači onog doba)



## NAJSTARIJI ASTROMETRIJSKI INSTRUMENTI

### SUNČANE URE

(razvojna faza završava sredinom XV. st. konstrukcijom ekvatorske sunčane ure a potom i dodavanjem kompasa)

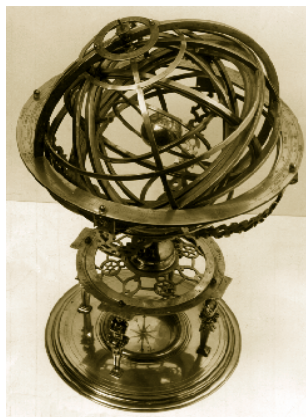


- prienosne /putne/ sunčane ure
- određivanje «jednolikog» vremena tijekom godine s jednako dugim satnim intervalima, bez obzira na godišnje doba

## NAJSTARIJI ASTROMETRIJSKI INSTRUMENTI

### ARMILARNA SFERA

(između 52. pr. Kr. i 132. kineski astronomi izumili armilarnu sferu, u početku ima samo metalni prsten koji predstavlja horizont i nebeski ekvator, kasnije dobiva ekliptički i zodijakalni prsten te meridijanski krug i vodenu uru)



- određivanje stajališnog meridijana
- određivanje/mjerenje položaja zvijezda (azimuta i visine)
- određivanje/mjerenje položaja Sunca, Mjeseca i planeta
- određivanja vremena izlazaka/zalazaka nebeskih tijela u različito doba godine

## NAJSTARIJI ASTROMETRIJSKI INSTRUMENTI

### ASTROLAB

(arapski majstor za instrumente Nastul 927. izrađuje prvi poznati astrolab /okrugla ploča s ucrtanim zvijezdama/, smjerom viska definirana vertikalna os instrumenta)



izv or crteža:  
<http://www.britannica.com/clockworks/>

- mjerenje visina nebeskih tijela (Sunca i zvijezda)
- određivanje/očitavanje položaja Sunca na ekliptici, određivanje doba dana i trajanje dana i noći (vrijeme), vrijeme i trajanje sumraka
- predviđanja vremena izlaska i zalaska nekih zvijezda
- prikaz (karta) neba iznad nekog stajališta u nekom trenutku te praćenje prividnog gibanja zvijezda oko Sjevernjače i u odnosu na obzor

## NAJSTARIJI ASTROMETRIJSKI INSTRUMENTI

### KVADRANT

najraniji poznati opis kvadranta  
/astrolab s pločom veličine četvrtine kruga/  
je iz 1288. od Mahir ibn Tibbona,

Arapi unapređuju (mogućnost rotacije  
oko vertikalne osi) i grade velike kvadrante

1576. početak izgradnje T. Brahove  
zvjezdarnice Uraniborg  
(velika armilarna sfera, sekstant koji zahvaća  
30° neba s pomičnim krakovima za  
mjerenje udaljenosti među zvijezdama, te  
zidni kvadrant)



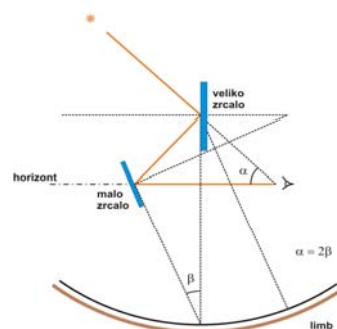
- određivanje/mjerenje visine i trenutka prolaza zvijezda stajališnim meridijanom ili u nekom drugom položaju

## DOBA OPTIČKIH ASTROMETRIJSKIH INSTRUMENATA I PRECIZNIH URA

- 1608.** Nizozemski optičar H. Lippershey izumio dalekozor (teleskop)
- 1609.** Galileo Galilei izrađuje prvi dalekozor/teleskop (1610. opaža Jupiterove satelite, Saturnove prstenove, Venerine mijene i zvijezde u Mliječnoj stazi)
- 1761/62.** Harrison izrađuje svoj četvrti kronometar H4

## INSTRUMENTI U POMORSKO-ZRAKOPLOVNOJ ASTROMETRIJI

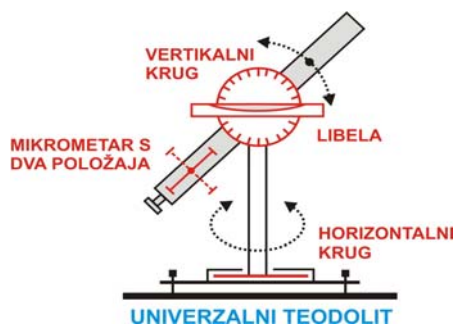
### SEKSTANT



- određivanje položaja (koordinata) na moru i u zraku iz mjerenja visina i vremena opažanja nautičkih zvijezda
- prvi zapisi koji upućuju na poznavanje karakteristika igle kompasa (pokazuje magnetski smjer svever-jug) iz početka XI. st. (Kina)

## INSTRUMENTI U ASTRONOMSKO- GEODETSKOJ ASTROMETRIJI

### UNIVERZALNI INSTRUMENT (univerzalni teodolit Wild T4)



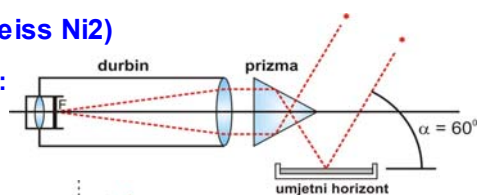
- određivanje astronomske (geografske) širine stajališta ( $\Phi$ ) iz mjerenja zenitnih daljina (ili razlika zenitnih daljina) zvijezda u stajališnom meridijanu
- određivanje astronomske (geografske) duljine stajališta ( $\Delta$ ) iz mjerenja vremena prolaza zvijezda stajališnim meridijanom
- mjerenja u triangulaciji viših redova, određivanje astronomskog azimuta na Laplaceovim točkama

## INSTRUMENTI U ASTRONOMSKO- GEODETSKOJ ASTROMETRIJI

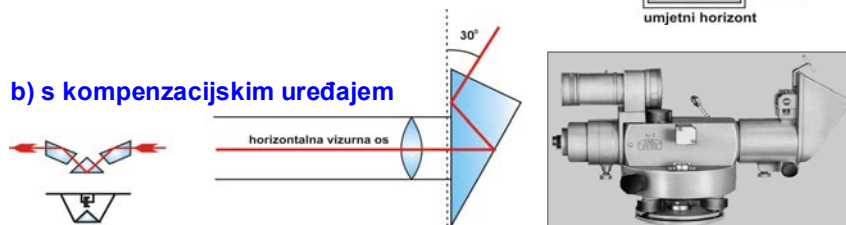
### ASTROLAB S PRIZMOM (Zeiss Ni2)

horizontalnost osi postignuta:

a) s umjetnim horizontom



b) s kompenzacijskim uređajem

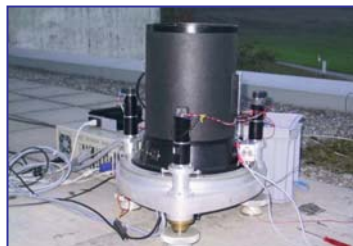


- istodobno određivanje astronomske (geografske) širine ( $\Phi$ ) i duljine ( $\Delta$ ) stajališta iz mjerenja vremena prolaza zvijezda istim (instrumentalno određenim) almukantaratom (npr.  $z = 30^\circ$ )

## INSTRUMENTI U ASTRONOMSKO- GEODETSKOJ ASTROMETRIJI

### FOTO I CCD ZENIT KAMERA

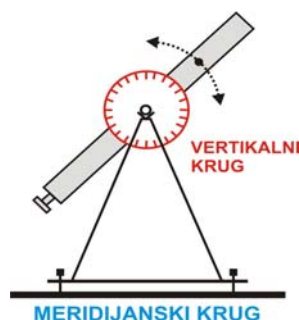
- u 1960-im uvedeni su automatizirani postupci mjerenja i snimanja na fotografske ploče (analogno)
- u 1980-im uvode se CCD kamere (digitalno)



- istodobno određivanje astronomske (geografske) širine ( $\Phi$ ) i duljine ( $\Lambda$ ) stajališta iz mjerenja trenutka opažanja blizuzenitnih zvijezda (impersonalne tehnike: klasična fotografska i/ili digitalna CCD snimanja)

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

### MERIDIJANSKI (PASAŽNI, TRANZITNI) INSTRUMENT

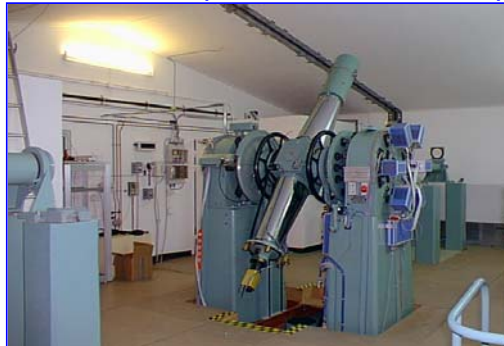


- određivanje astronomske (geografske) duljine stajališta ( $\Lambda$ ) iz mjerenja vremena prolaza zvijezda stajališnim meridianom (određivanje točnog vremena i neravnomjernosti Zemljine rotacije)
- apsolutna i relativna određivanja rektascenzija ( $\alpha$ ) i deklinacija zvijezda ( $\delta$ ) iz određivanja vremena prolaza i mjerenja visina u stajališnom meridianu



## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

### MERIDIJANSKI (PASAŽNI, TRANZITNI) INSTRUMENT



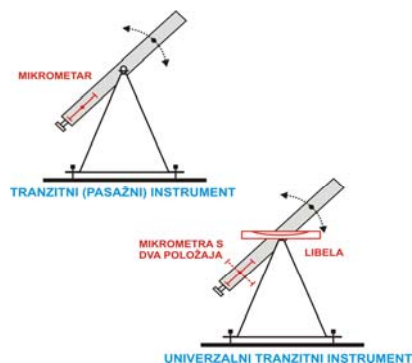
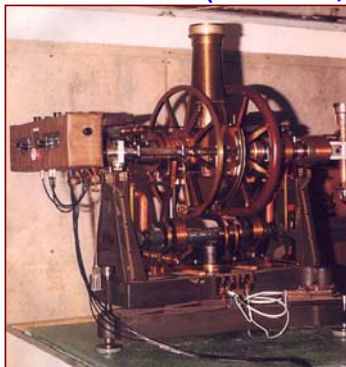
impersonalne tehnike:

fotoelektrična, klasična fotografska i/ili digitalna CCD snimanja

- određivanje točnog vremena i neravnomjernosti Zemljine rotacije
- apsolutna i relativna određivanja rektascenzija ( $\alpha$ ) i deklinacija zvijezda ( $\delta$ )

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

### MERIDIJANSKI (PASAŽNI, TRANZITNI) INSTRUMENT

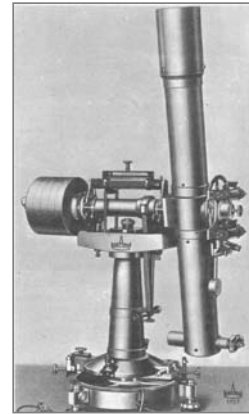


- određivanje astronomske (geografske) duljine stajališta ( $\Delta$ ) iz mjerenja vremena prolaza zvijezda stajališnim meridijanom (određivanje točnog vremena, neravnomjernost Zemljine rotacije)
- određivanje astronomske (geografske) širine stajališta ( $\Phi$ ) iz mjerenja razlika zenitnih daljina zvijezda u stajališnom meridijanu (gibanje polova)



## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

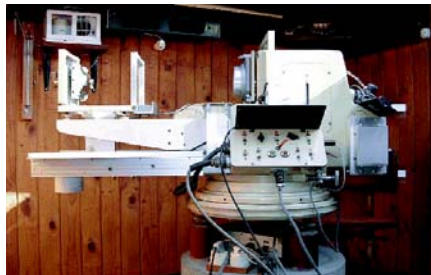
### VERTIKAL, ZENIT TELESKOP



- određivanje astronomske (geografske) duljine ( $\Delta$ ) i širine ( $\Phi$ ) stajališta iz mjerenja vremena prolaza zvijezda stajališnim meridijanom i prvim vertikalom
- istodobno određivanje astronomske (geografske) širine ( $\Phi$ ) i duljine ( $\Delta$ ) stajališta iz mjerenja trenutka opažanja blizuzenitnih zvijezda

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

### IMPERSONALNI ASTROLAB (Danjonov astrolab)

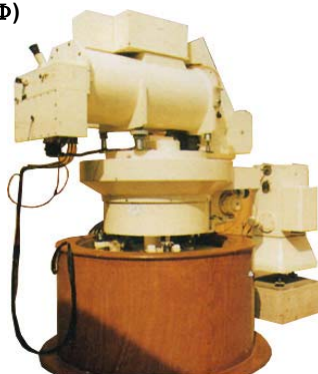


- istodobno određivanje astronomske širine ( $\Phi$ ) i duljine ( $\Delta$ ) stajališta iz mjerenja vremena prolaza zvijezda istim (instrumentalno određenim) almukantaratom (impersonalna opažanja s pomoću Wollastonove prizme, klasična fotografska ili digitalna CCD snimanja)
- određivanje točnog vremena (neravnomjernost Zemljine rotacije), gibanje polova (varijacije širine), određivanje koordinata zvijezda za izradu kataloga

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

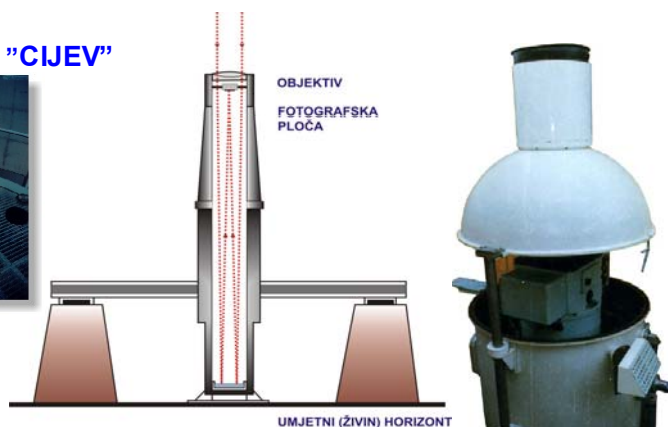
### IMPERSONALNI ASTROLAB (fotoelektrični astrolab)

- istodobno određivanje astronomske širine ( $\Phi$ ) i duljine ( $\Delta$ ) stajališta iz mjerenja vremena prolaza zvijezda istim (instrumentalno određenim) almukantaratom (fotoelektrična i digitalna CCD snimanja)
- određivanje točnog vremena (neravnomjernost Zemljine rotacije), gibanje polova (varijacije širine), određivanje koordinata zvijezda za izradu kataloga



## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

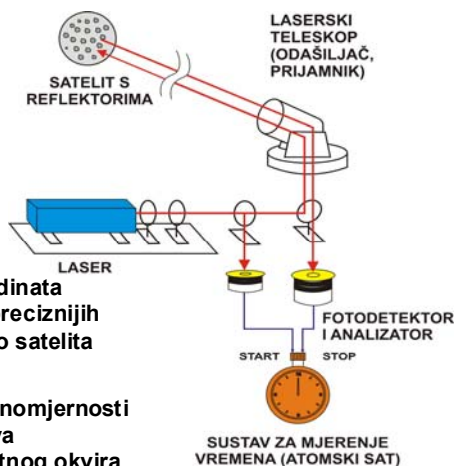
### FOTO ZENIT "CIJEV"



- istodobno određivanje astronomske (geografske) širine ( $\Phi$ ) i duljine ( $\Delta$ ) stajališta iz mjerenja trenutka opažanja blizzenitnih zvijezda (impersonalne tehnike: fotografska i digitalna CCD snimanja)
- određivanje točnog vremena (neravnomjernost Zemljine rotacije), gibanje polova (varijacije širine)

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

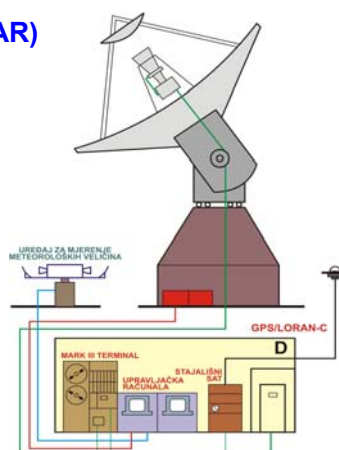
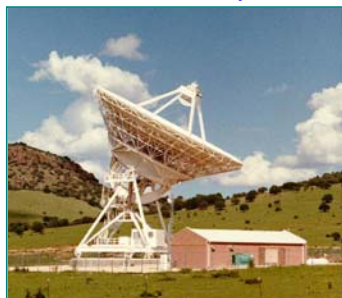
### LASERSKI TELESKOP



- određivanje geocentričkih koordinata ( $\Phi$ ,  $\Lambda$ ) laserskih stajališta iz najpreciznijih laserskih mjerenja udaljenost do satelita i Mjeseca (SLR, LLR)
- određivanje duljine dana (neravnomjernosti Zemljine rotacije), gibanje polova
- utvrđivanje terestričkog referentnog okvira
- određivanje/kontrola precesije i nutacije

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

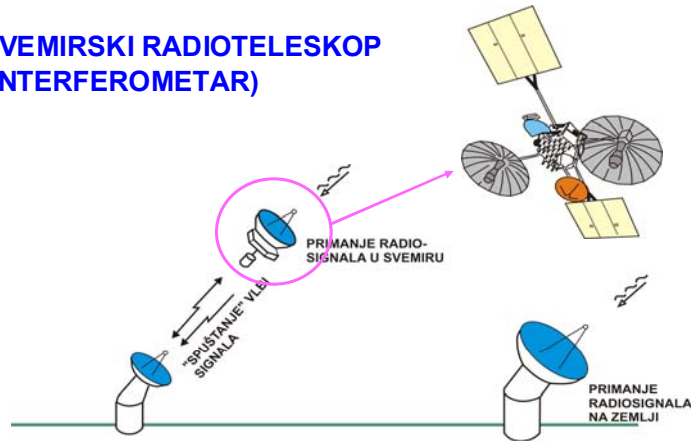
### RADIOTELESKOP (INTERFEROMETAR)



- određivanje i praćenje duljine i orijentacije baze vrlo udaljenih radioteleskopa interferometrijskim mjerenjima zaostajanja primljenog valnog fronta izvangalaktičkog radioizvora na dva radioteleskopa
- određivanje neravnomjernosti Zemljine rotacije, gibanje polova (promjene širine)
- određivanje/utvrđivanje terestričkog i nebeskog referentnog sustava i okvira
- određivanje/kontrola precesije i nutacije

## INSTRUMENTI U FUNDAMENTALNOJ ASTROMETRIJI

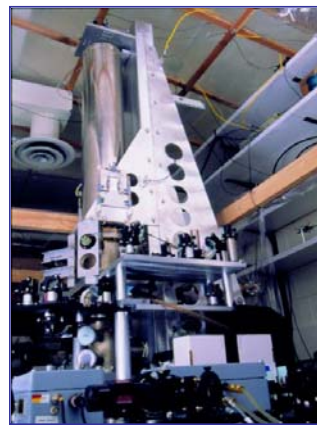
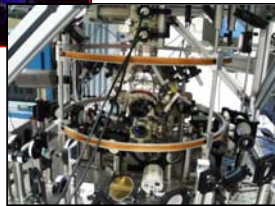
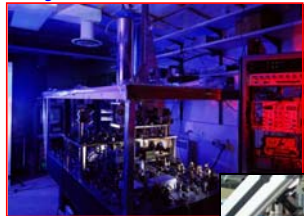
### SVEMIRSKI RADIOTELESKOP (INTERFEROMETAR)



- interferometrijska mjerenja zaostajanja primljenog valnog fronta ekstragalaktičkog radio izvora na dvije vrlo udaljene radio antene, od kojih se jedna nalazi u svemiru (značajno produljenje baze)

## TREKVENCIJSKI I ATOMSKI STANDARDI - ATOMSKE URE

### NIST-F1 PRIMARY FREQUENCY STANDARDS (Boulder, SAD), mlazni (snopni) cezijev atomski sat



- najpreciznije mjerenje i održavanje frekvencije i vremena