

Havaitsevan tähtitieteen peruskurssi I

Astrometria

Jyri Lehtinen

Syksy 2023

Astrometria

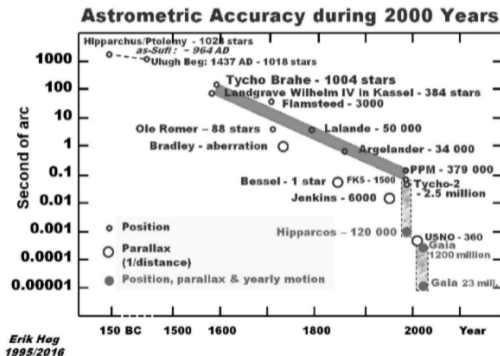
Kappaleen sisältö:

- Astrometria menetelmänä
- Meridiaanikone
- Suhteellinen astrometria
- Virheet ja tarkkuus
- Astrometriasatelliitit



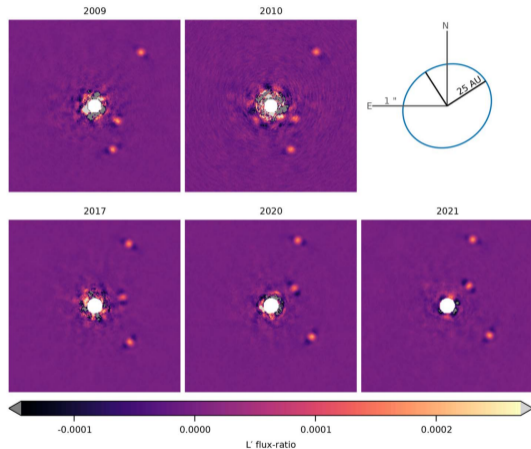
Astrometrian historiallinen merkitys

- Kohteiden sijaintien, nopeuksien ja etäisyyksien määrittäminen
- Vanhinta tähtitiedettä
 - ▶ Tähtikartat, navigointi
 - ▶ Ajan määrittäminen
- Nykyaikaiset havainnot hyvin automatisoituja
 - ▶ Laajat kartoitukset
⇒ etsitään liikkuvia kohteita eli asteroideja ja komeettoja
 - ▶ Satelliitit: Hipparcos, GAIA



Astrometrian käyttö

- Aurinkokunnan dynamiikka
- Eksoplaneettojen etsintä
 - ▶ Tähten liike
 - ▶ Suorat havainnot
- Tähtien dynamiikka
- Kosminen mitta-asteikko
 - ▶ Parallakseista etäisyydet
 - ⇒ Absoluuttiset magnitudit
 - ⇒ Astrofysiikan perusteet



Tähten HR 8799 planeettojen rataliike
(Thompson et al. 2023)

Meridiaanikone

- Teleskooppi, joka kääntyy vain vaakasuoran itä-länsiakselin ympäri
- Teleskoopilla mitataan tähden kulminaation aika eli hetki, jolloin tähti ohittaa meridiaanin
- Menetelmää kutsutaan *absoluuttiseksi astrometriaksi*
- Joitain meridiaanikoneita yhä käytössä lähinnä suhteellisen astrometrian tueksi

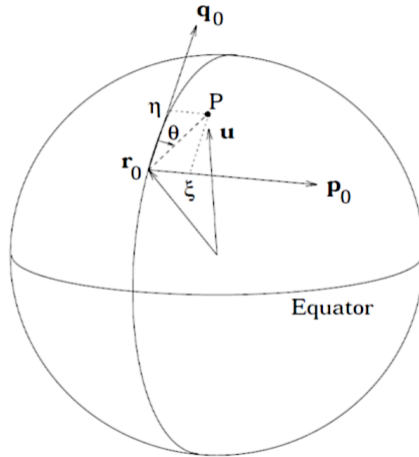


Carlsberg Meridian Telescope, La Palma
käytössä 1984 – 2013

Suhteellinen astrometria

- Astrometrisia havaintoja varten on kiinnitettävä koordinaatisto, jonka suhteen mittaukset tehdään
- Tämä tehdään kuvassa olevien vertailukohteiden avulla (CCD-havainnot)
- Vertailukohteiden mukaan muodostetaan kuvaus kuvakoordinaateista absoluuttiseen koordinaatistoon joko suoraan tai ns. *normaalikoordinaattien* kautta
- Kuvauksen määrittäminen on epälineaarinen optimointitehtävä, jonka ratkaisu vaatii numeerista iterointia

Normaalkoordinaatit



Kuva: CDS

Tähtien ominaisliike ja tangentialinopeus

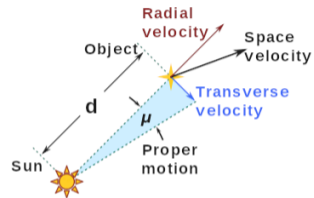
- Ominaisliike:

$$\mu = \sqrt{\mu_{\alpha}^2 \cos^2 \delta + \mu_{\delta}^2},$$

missä μ_{α} ja μ_{δ} ovat rektaskension ja deklinaation muutosnopeudet

- Tangentialinopeus etäisyydestä d :

$$v_t = \mu d$$



Barnardin tähti (Steve Quirk)

Parallaksi

- Tähdien paikka ajan funktiona:

$$\alpha = \alpha_0 + \mu_\alpha t + \pi F_\alpha(t)$$

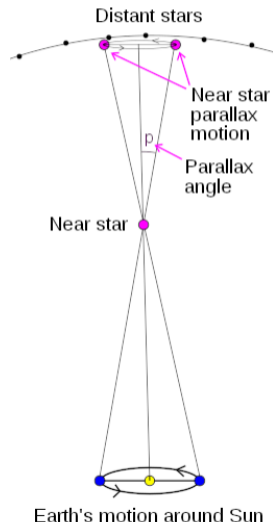
$$\delta = \delta_0 + \mu_\delta t + \pi F_\delta(t),$$

missä μ_α ja μ_δ ovat ominaisliikkeen komponentit, π on parallaksi ja F_α ja F_δ havaintogeometrian määräämät rektaskension ja deklinaation parallaksitekijät

- Mitataan paikka useaan kertaan vuoden mittaan
- Sovitetaan havaintoihin malli, josta saadaan johdettua μ_α , μ_δ ja π
- Tähdien etäisyys:

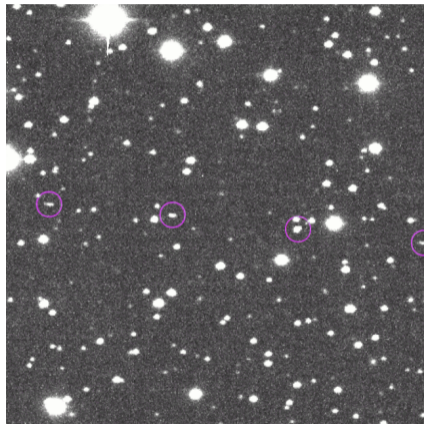
$$d = 1/\pi,$$

kun $[d] = \text{pc}$ ja $[\pi] = ''$



Aurinkokunnan kappaleen rata

- Mikäli rata on kartioleikkaus, voidaan se määrittää periaatteessa kolmesta havainnosta
- Käytännössä virheiden minimoiminen edellyttää useita havaintoja pitkällä aikavälillä
- Asteroidien etsintä nykyään automatisoitua
- Rataparametrien määrittäminen
 - ▶ Gaussin menetelmällä
 - ▶ Tilastollisin menetelmin – MCMC



Asteroidi 2014 AA
(NASA/JPL-Caltech/CSS-Univ. of Arizona)

Tehtävä

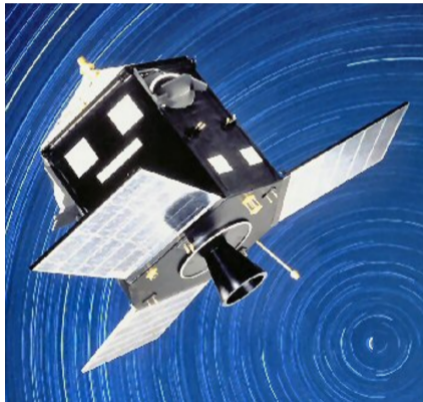
Mikä olisi optimaalinen vertailukohde astrometriassa?

Virhelähteitä

- Havaintoajan tarkkuus
- Kuvakentän koordinaattiakselien suunnan poikkeama absoluuttisesta koordinaatistosta
- Virheet teleskoopin suuntauksessa
- Kuvakentän vääristymät
 - ▶ Joko optiikasta tai teleskoopin vääntymistä
- Kuvataso ei täysin kohtisuorassa optisen akselin suhteen
- Ominaisliike ja parallaksi vaikuttavat vertailukohteiden paikkoihin
 - ▶ Vaikutusta voidaan pienentää käyttämällä suurta joukkoa vertailutähtiä tai hyvin kaukaisia kohteita

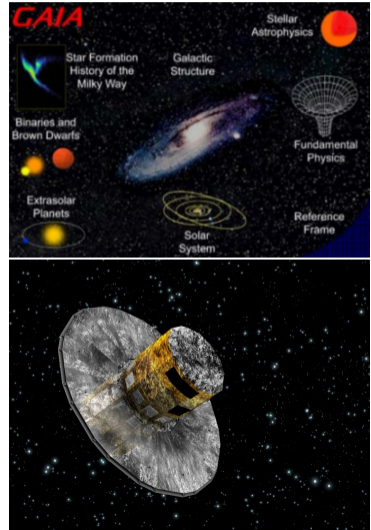
Astrometriasatelliitti Hipparcos

- Havainnot 1989 – 1993
- *Hipparcos*-luettelo
 - ▶ 120 000 tähteä 1 mas (millikaarisekunnin) tarkkuudella
 - ▶ Etäisyydet ~ 1600 pc päähän
- *Tycho*-luettelo
 - ▶ 2 500 000 tähteä 30 mas tarkkuudella
 - ▶ Parallaksit vain lähimmille kohteille



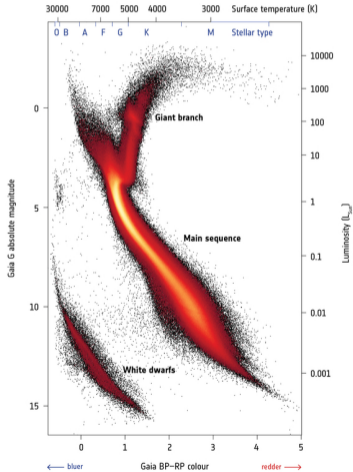
Astrometriasatelliitti GAIA

- Laukaistu 19.12.2013, havainnot 2014 – 2025
- Sijainnit $1.46 \cdot 10^9$ tähdelle magnitudivälillä $3 < G < 21$
 - ▶ $G < 3$ tähdille kehitteillä erityismenettely
- Tarkkuus $20 \mu\text{as}$ (mikrokaarisekuntia) $G = 15$ tähdille ja $200 \mu\text{as}$ $G = 20$ tähdille
 - ▶ Etäisyysarviot 5 – 50 kpc päähän
- Havainnoissa myös fotometriaa ja spektroskopiaa
 - ▶ Spektriluokka, säteisnopeus, absoluuttinen magnitudi
- Havainnoista uusia asteroideja ja eksoplaneettoja



GAIA:n tuloksia

→ GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



GAIA:n HR-diagramma kokonaisuudessaan sekä erikseen valkoisille kääpiöille (ESA/GAIA/DPAC)

