

# Tähtitieteen yksiköitä



## Opittava sisältö:

Aluksi on tarpeellista käydä läpi erilaisia mittayksiköitä. Suurin osa tässä luvussa käytävistä asioista ovat melko helppoja sisäistää, koska ne ovat ainakin jossain määrin jo ennestään tuttuja tai muuten suhteellisen yksinkertaisia. Ainoastaan parallaksikulman käsite on haasteellisempi, joten siihen kannattaa käyttää enemmän aikaa.

- Ajan yksiköt ja käsitteet
  - Vuorokausi ja vuosi
- Kulmayksiköt ja käsitteet
  - Aste, kulmaminuutti, kulmasekunti
  - Parallaksikulma
- Etäisyyden yksiköt
  - Astronominen yksikkö
  - Valovuosi
  - Parsek

## Ajan yksiköitä

- SI-järjestelmässä vuorokausi ei riipu Maan kiertoajasta Auringon ympäri!

Vuorokausi ( $d$ )

$$= 24 \text{ h} = 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 86\,400 \text{ s.}$$

Maan ja Kuun  
kiertoliikkeisiin ja  
kiertoaikoihin palataan  
myöhemmin tällä kurssilla.

- SI-järjestelmä ei tunne lainkaan ajan yksikköä vuosi.
- Tähtitieteessä kuitenkin on käytössä useampia määritelmiä vuodelle (mm. sideerinen vuosi, trooppinen vuosi, juliaaninen vuosi).
- Tässä luvussa myöhemmin määriteltävää mittayksikköä *valovuosi* varten määritellään tässä juliaaninen vuosi.

Juliaaninen vuosi ( $a$ ) = 365,25 d.

### Lisätietoa

Juliaanisessa kalenterissa (joka otettiin käyttöön antiikin Roomassa Julius Caesarin toimesta) kalenterivuosi on 365 vuorokautta, paitsi joka neljäs vuosi, jolloin on karkausvuosi, ja jolloin siinä on 366 vuorokautta. Vuoden keskimääräinen pituus on tällöin 365,25 vuorokautta. (Koska vuoden oikea pituus on noin 365,2422 vuorokautta, tästä aiheutuu noin kahdeksan päivän virhe tuhannessa vuodessa.) Tähtitieteen käyttämässä juliaanisessa vuodessa, joka siis on eri kuin juliaanisen kalenterin kalenterivuosi, on määritelty olevan *tasan* 365,25 vuorokautta. Nykyisin länsimaaisessa ajanlaskussa käytetään gregoriaanista kalenteria, joka syrjäytti juliaanisen kalenterin vähin erin keskiajalta alkaen. Sen mukaan vuodessa on keskimäärin 365,2425 vuorokautta, joten virhettä kertyy tuhannessa vuodessa vain noin 0,3 päivää.

# Kulmaetäisyys

- Kun osoitetaan ojennetulla kädellä ensin yhtä tähteä ja sitten toista, käden asentojen väliin jää jokin kulma  $\theta$ , joka voidaan ilmaista asteina.
- Mitä kauempana tähdet ovat taivaanpallolla toisistaan, sitä suurempi kulma on.
- Tähtien näennäistä etäisyyttä taivaalla, joka määritetään tällä tavoin niihin osoittavien suorien välisen kulman avulla, kutsutaan kulmaetäisyydeksi.
- Taivaankohteiden näennäiset etäisyydet eli kulmaetäisyydet monesti ilmoitetaan asteiden, kulmaminuuttien ja kulmasekuntien avulla



## Kulmaetäisyyden yksiköitä

$$\text{Kulmaminuutti (kaariminuutti)} = \frac{1^\circ}{60} = 1'.$$

$$\text{Kulmasekunti (kaarisekunti)} = \frac{1'}{60} = \frac{1^\circ}{3600} = 1''.$$

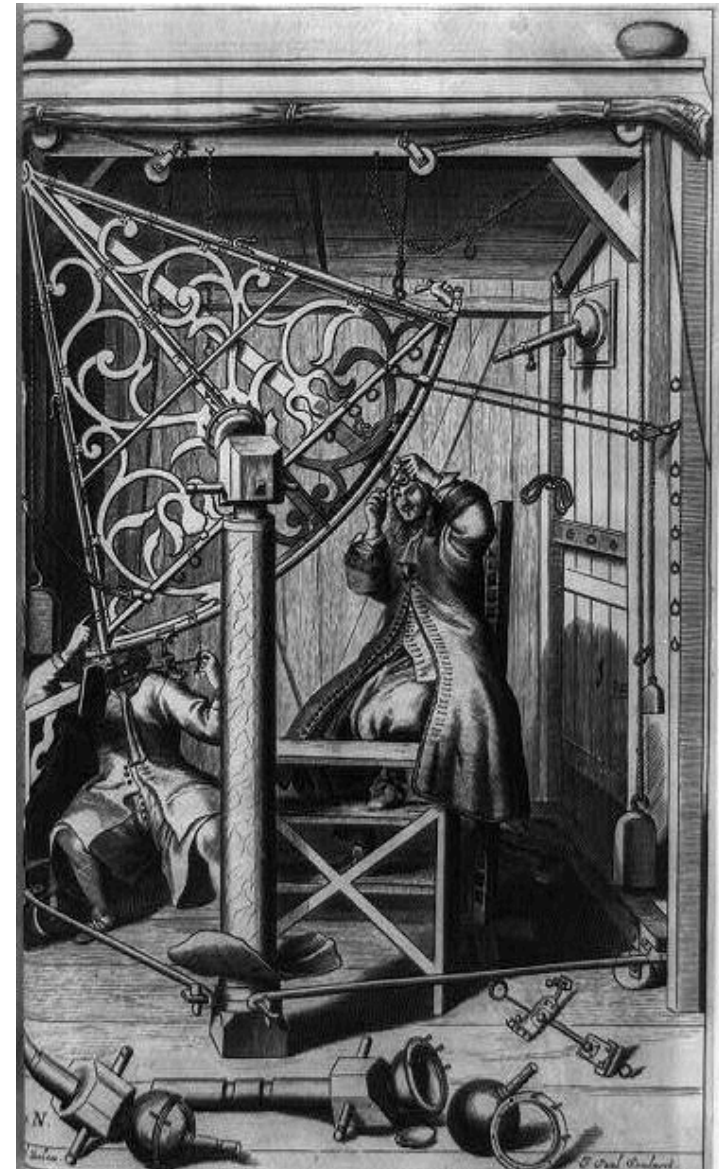
$$\text{Millikulmasekunti (millikaarisekunti)} = \frac{1''}{1000} = 1 \text{ mas.}$$

$$\text{Mikrokulmasekunti (mikrokaarisekunti)} = \frac{1 \text{ mas}}{1000} = 1 \mu\text{as.}$$



## Lisätietoa

- Kuun näennäinen kulmaleveys (eli kuun eri reunojen välinen kulmaetäisyys) on noin 0,5 astetta. Auringon kulmaleveys on sama, ja siksi auringonpimennys on mahdollinen.
- James Webb -avaruusteleskoopin erotuskyky on luokkaa 0,03 kaarisekuntia.
- Kulmaetäisyyksiä voi arvioida sormien leveyden avulla. Kun käsivarsi on suorana edessä ja sormet ojennettuina:
  - Pikkusormi → kulmaleveys  $1^\circ$
  - Kolme sormea kiinni toisissaan → kulmaleveys  $5^\circ$
  - Nyrkki → kulmaleveys  $10^\circ$



Kuva yllä: puolalainen tähtitieteilijä Johannes Hevelius mittaamassa tähtien kulmaetäisyyksiä.

Lähde:

<https://loc.getarchive.net/media/johannes-hevelius-and-assistant-using-six-foot-sextant-to-measure-angular-distances>

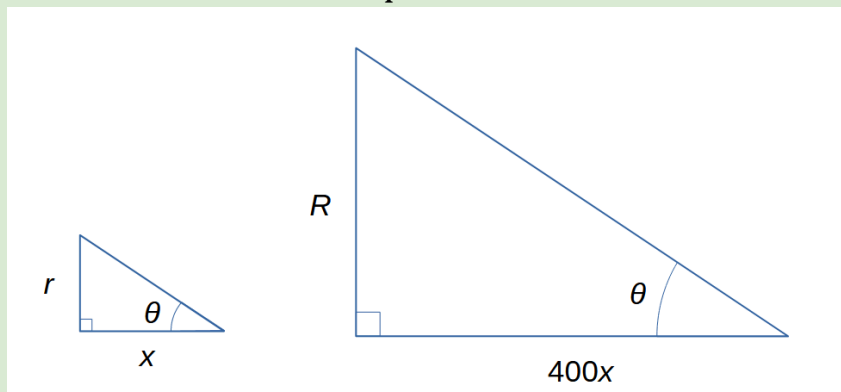


## Esimerkkitehtävä

Kuun ja Auringon näennäiset kulmaleveydet ovat samat. Määritä tämän perusteella Auringon todellinen halkaisija Kuun halkaisijaan verrattuna, kun Aurinko on 400 kertaa kauempana kuin Kuu.

## Ratkaisu

Mallinnetaan tilannetta piirtämällä suorakulmaiset kolmiot.



Kuvassa

- Kolmion kanta on katsojan etäisyys Auringon/Kuun keskipisteestä.
- Kolmion hypotenuusa on katsojan etäisyys Auringon/Kuun reunasta.
- Näin ollen kolmion korkeus on Auringon/Kuun säde.
- Sekä Aurinko että Kuu näkyvät samassa kulmassa  $\theta$ .

Vasemman puoleisesta kuvasta saadaan  $\tan \theta = \frac{r}{x}$ .

Ratkaistaan oikean puoleisesta kuvasta  $R$ .

$\tan \theta = \frac{R}{400x}$ , jolloin

$$R = 400x \cdot \tan \theta = 400x \cdot \frac{r}{x} = 400r.$$

Koska säde on suoraan verrannollinen halkaisijaan (leveyteen), niin Auringon leveys on 400 kertaa Kuun leveys.

Vastaus: Auringon todellinen halkaisija on 400 Kuun halkaisijaa.

# Etäisyyksien yksiköitä

- Avaruuden etäisyydet ovat valtavia verrattuna tavallisiin metrin tai kilometrin kokoluokkaa oleviin etäisyyksiin.
- Tähtitieteessä ei siis ole järkevää eikä kovin kätevää käyttää etäisyyden yksikkönä metriä tai edes kilometriä.
- Siksi tähtitieteessä on käytössä useampia suuren mittakaavan etäisyyden yksiköitä, joista sitten käytetään tilanteen mukaan sopivinta.

## Astronominen yksikkö, au

1 au = 149 597 870 700 m

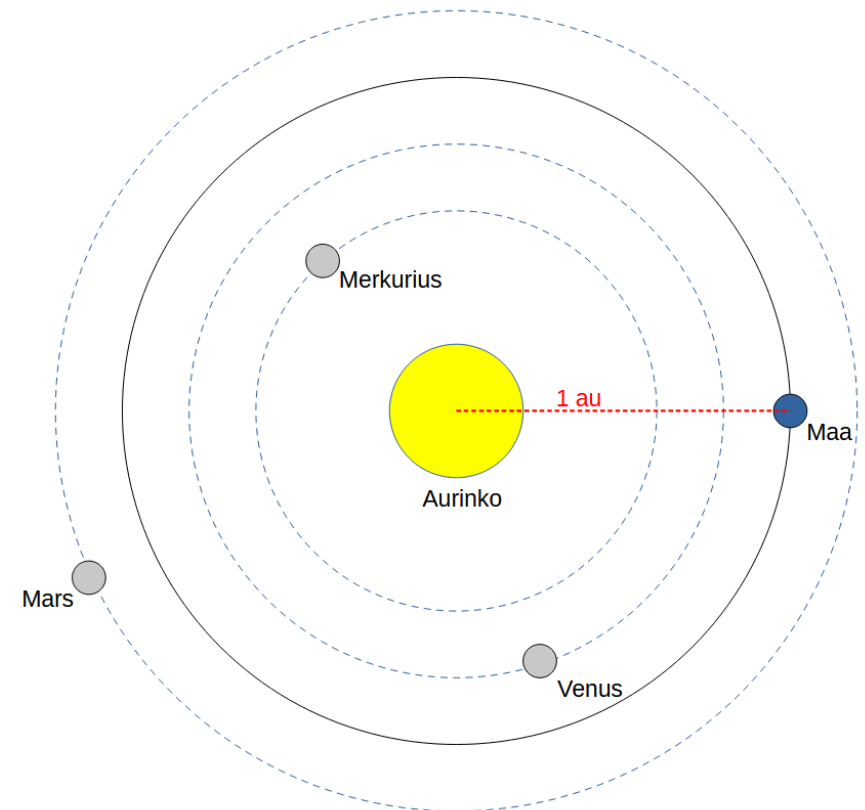
(Virallinen määritelmä 2012 alkaen)

Yksikkö vastaa suunnilleen Maan keskietäisyyttä Auringosta.

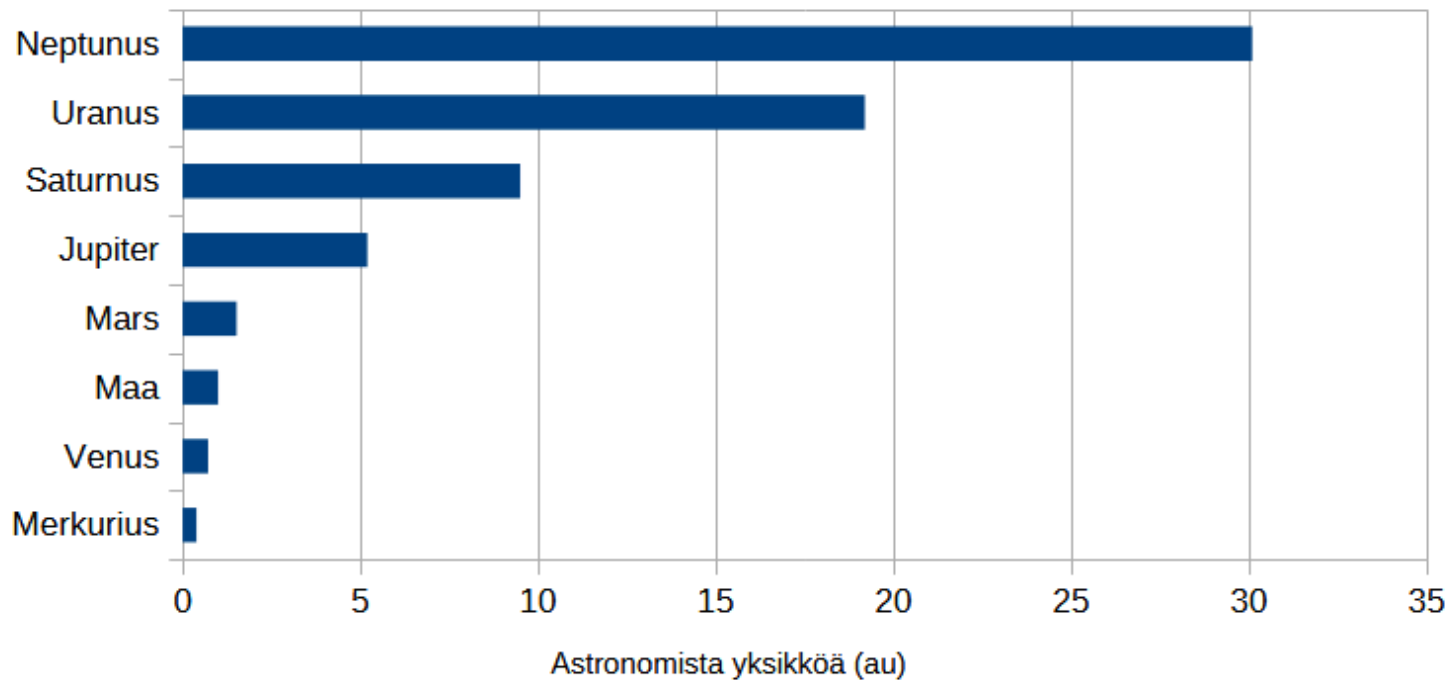
Miksi *keskietäisyys*?

→ Maan rata on todellisuudessa ellipsi, jolloin Maan etäisyys Auringosta vaihtelee jatkuvasti.

→ Jos aluksi ympyrän muotoiseen rataan tulee kappaleen massa tai liikkeeseen häiriö, rata venyy ellipsiksi. On erittäin epätodennäköistä, että häiriöitä ei vuosimiljardien aikana tulisi.



## Planeettojen keskitäisyydet Auringosta

**Lisätietoa**

Astronominen yksikkö ei ole täsmälleen Maan keskitäisyys Auringosta, sillä jopa keskitäisyys vaihtelee hieman. Tämä johtuu siitä, että muiden planeettojen gravitaatiohäiriöt muuttavat hitaasti Maan kiertoradan kokoa. Kuitenkin yksikkö on tarkoituksellisesti määritelty siten, että se vastaa Maan keskitäisyyttä melko tarkasti.

Yksikkö on määritelty uusiksi useaan otteeseen 1900-luvulla, kunnes vuonna 2012 Kansainvälinen tähtitieteellinen unioni (IAU) määritteli sille kiinteän arvon. Samalla yksikön lyhenne muutettiin muotoon au (aikaisemmin AU).



Valovuosi, vv(englanniksi *light year*, lyhennetään ly tai lyr)

1 vv = etäisyys, jonka valo kulkee syvässä avaruudessa yhden juliaanisen vuoden aikana.

Miksi “syvässä avaruudessa”?

→ Tällöin valo on kaukana mistään sellaisesta (painovoima- tai sähkömagneettiset kentät), joka voisi häiritä sen suoraviivaista kulkua.

Nimestään huolimatta valovuosi on etäisyyden mitta!

Valonnopeus on 299 792 458 m/s.

Valovuosi on

$$\begin{aligned}s &= vt = 299\,792\,458 \text{ m/s} \cdot 365,25 \cdot 86\,400 \text{ s} \\ &= 9\,460\,730\,472\,580\,800 \text{ m} \\ &\approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}.\end{aligned}$$

Aurinkoa lähinnä oleva tähti on Proxima Centauri, ja se on noin 4,22 vv päässä meistä.

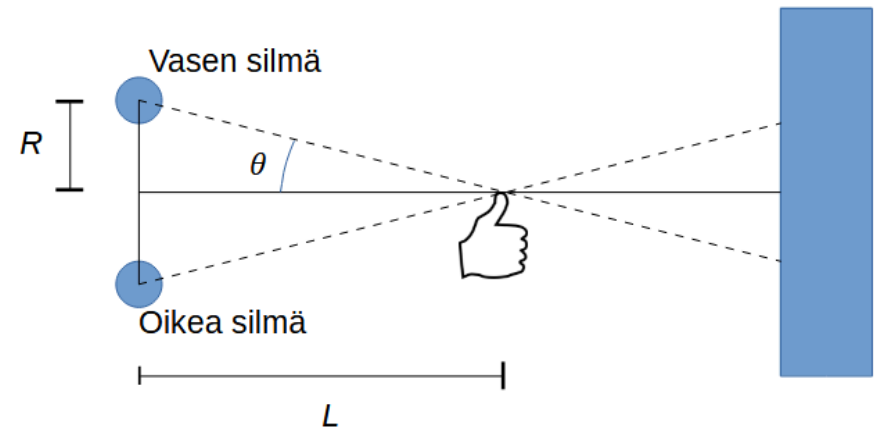
→ Näemme siis Proxima Centaurin sellaisena kuin se oli yli neljä vuotta sitten!

- Ennen parsekin määrittelemistä on hyvä tietää, miten etäisyys tähden voidaan määrittää.

### Toiminnallinen tehtävä oppitunnille

Voit laskea peukalon etäisyyden itsestäsi parallaksimittauksen avulla.

- Pidä peukaloa ojennetun käsivarren päässä itsestäsi
- Sulje vuoronperään vasen ja oikea silmä: peukalo näyttää liikkuvan
- Etsi seinältä kaksi kiintopistettä, joiden avulla voit arvioida peukalon etäisyydet toisistaan, ja arvioi, montako kaariastetta on peukalon näennäinen liike.
- Laske tämän perusteella peukalon etäisyys sinusta
  - $\tan \theta = \frac{R}{L}$ , kun  $2R$  on silmiesi välinen etäisyys ja  $L$  on etäisyytesi peukaloon.
  - Näin ollen  $L = \frac{R}{\tan \theta}$



- Etäisyys tähteen voidaan laskea samalla tavoin kuin yllä olevassa tehtävässä!
- Pitää vain havainnoida tähden sijaintia taivaalla taustatähtiin nähden.
- Tämä ei kuitenkaan onnistu katsomalla vuorotellen molemmilla silmillä, eikä edes katsomalla eri puolilta Maapalloa, koska tähdet ovat valtavan kaukana.
- Pisin välimatka, jolta tähteä voidaan Maasta katsoa, on katsoa sitä puolen vuoden välein.  
→ Tällöin Maa on täsmälleen vastakkaisilla puolilla Aurinkoa.

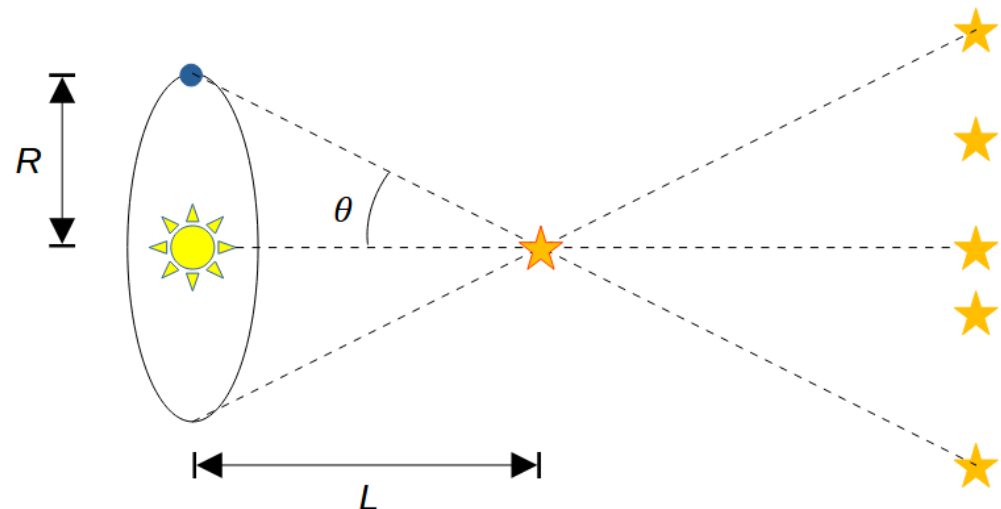
Parallaksi = (mikä tahansa) kulma, jossa Maan radan säde näkyy tähdestä (kuvassa  $\theta$ ).

- Tähten kahden näennäisen paikan välinen etäisyys on  $2\theta$ .
- Nyt voidaan etäisyys laskea:

$$\tan \theta = \frac{R}{L}$$

$$\tan \theta = \frac{1 \text{ au}}{L}$$

$$L = \frac{1 \text{ au}}{\tan \theta}$$

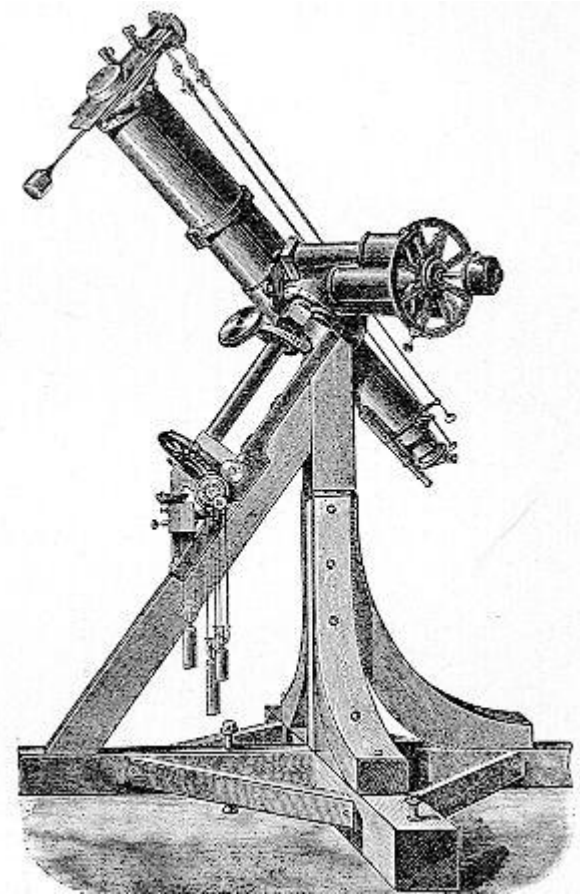


## Lisätietoa

Käyttämällä parallaksimittausta saksalainen tähtitieteilijä Friedrich Bessel onnistui vuonna 1838 ensimmäisenä määrittämään jonkin aurinkokunnan ulkopuolisen tähden etäisyyden meistä. Tähti oli 61 Cygni, ja hänen laskemansa etäisyys noin 10 vv (nykyinen arvio 61 Cygnin etäisyydestä on noin 11,4 vv). 1800-luvun puolivälissä astronomit pystyivät mittaamaan muutaman aivan lähimmän tähden parallaksin.

61 Cygnin parallaksikulma on noin  $0,286''$  ja meitä lähimmän tähden, Proxima Centaurin, parallaksikulma on noin  $0,768''$ . Nämä ovat niin pieniä kulmia, että niiden näkeminen paljaalla silmällä on mahdotonta. Bessel käyttikin mittaamiseen heliometri-nimistä tarkkaa mittalaitetta. Itse asiassa 1500- ja 1600-luvuilla havaitseman parallaksi nähtiin tieteellisenä todisteena Kopernikaanista aurinkokuntamallia vastaan. Niin pienet parallaksikulmat edellyttivät etäisyyksiä, joita monet pitivät liian suurina ja epäuskottavina.

Vasta 1900-luvun puolivälissä onnistuttiin mittaamaan parallaksi useammalle kuin muutamalle sadalle tähdelle. Nykyään tarkimpiin mittauksiin päästään Gaia-avaruusteleskoopin avulla, jonka parallaksin erottelukyky kirkkaille tähdille on noin  $10 \mu\text{as}$ , mikä tarkoittaa, että se kykenee määrittämään jopa noin 33 000 vv päässä olevan kirkkaan tähden etäisyyden parallaksin avulla.



Kuva: Besselin käyttämä heliometri.

Lähde:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koenigsberg\\_heliometer.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koenigsberg_heliometer.jpg)

