

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 θ , 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

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

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

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

$$\text{Mikrokulmasekunti (mikrokaarisekunti)} =$$

$$\frac{1 \text{ mas}}{1000} = 1 \mu\text{as}$$

Esimerkkimuunnoksia

Asteiksi (kahden desimaalin tarkkuudella):

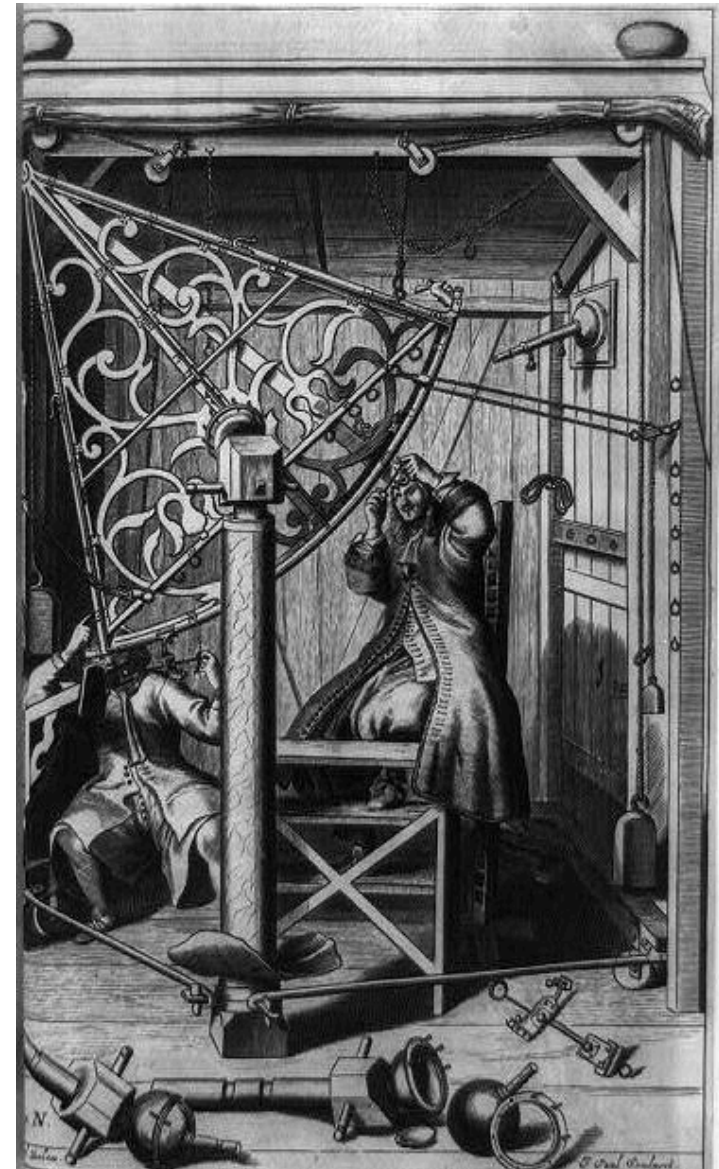
$$4^\circ 51' 17'' = 4^\circ + \frac{51'}{60} + \frac{17''}{3600} = 4,8547...^\circ \approx 4,85^\circ$$

Millikulmasekunneiksi (kolmen numeron tarkkuudella):

$$\begin{aligned} 4^\circ 51' 17'' &= 4 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1000 \text{ mas} \\ &\quad + 51 \cdot 60 \cdot 1000 \text{ mas} \\ &\quad + 17 \cdot 1000 \text{ mas} \\ &= 17\,477\,000 \text{ mas} \approx 17,5 \cdot 10^6 \text{ mas} \end{aligned}$$

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°
 - Kolme sormeä kiinni toisissaan → kulmaleveys 5°
 - Nyrkki → kulmaleveys 10°



Kuva yllä: puolalainen tähtitieteilijä Johannes Hevelius mittaamassa tähtien kulmaetäisyyksiä.

Lähde:

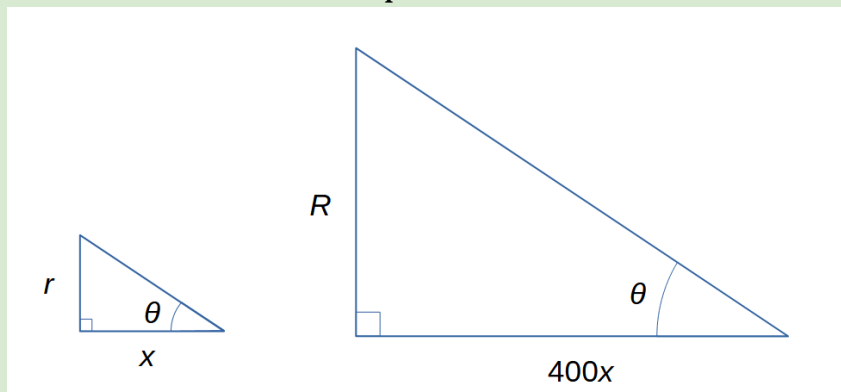
<https://loc.getarchive.net/media/johannes-hevelius-and-assistant-using-six-foot-sextant-to-measure-angular-distances>

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 θ .

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

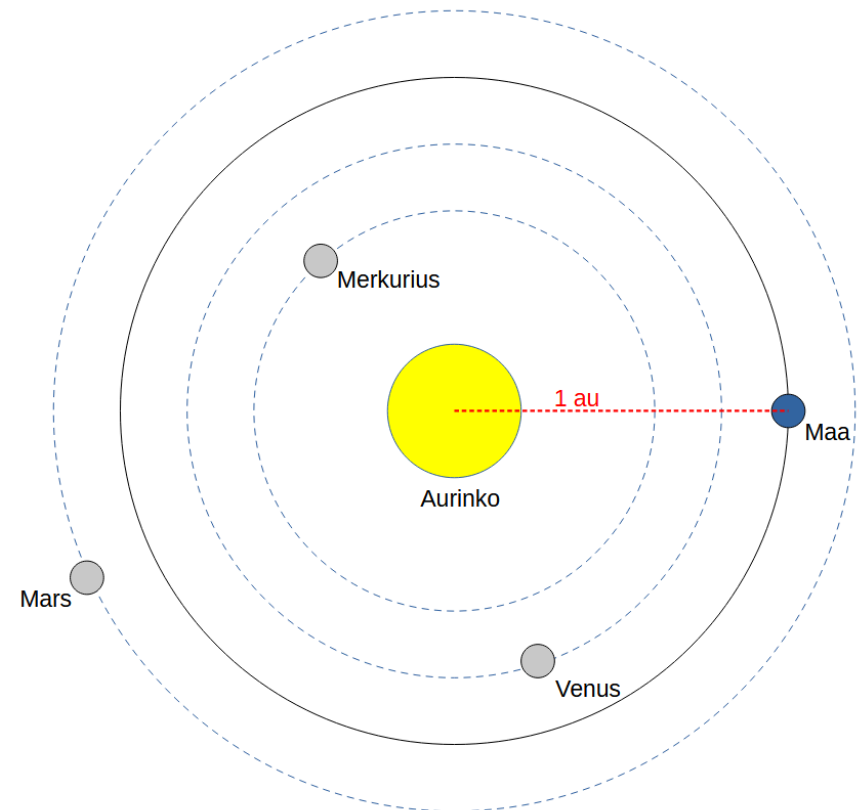
(Virallinen määritelmä 2012 alkaen)

Yksikkö vastaa suunnilleen Maan keskietäisyyttä Auringosta.

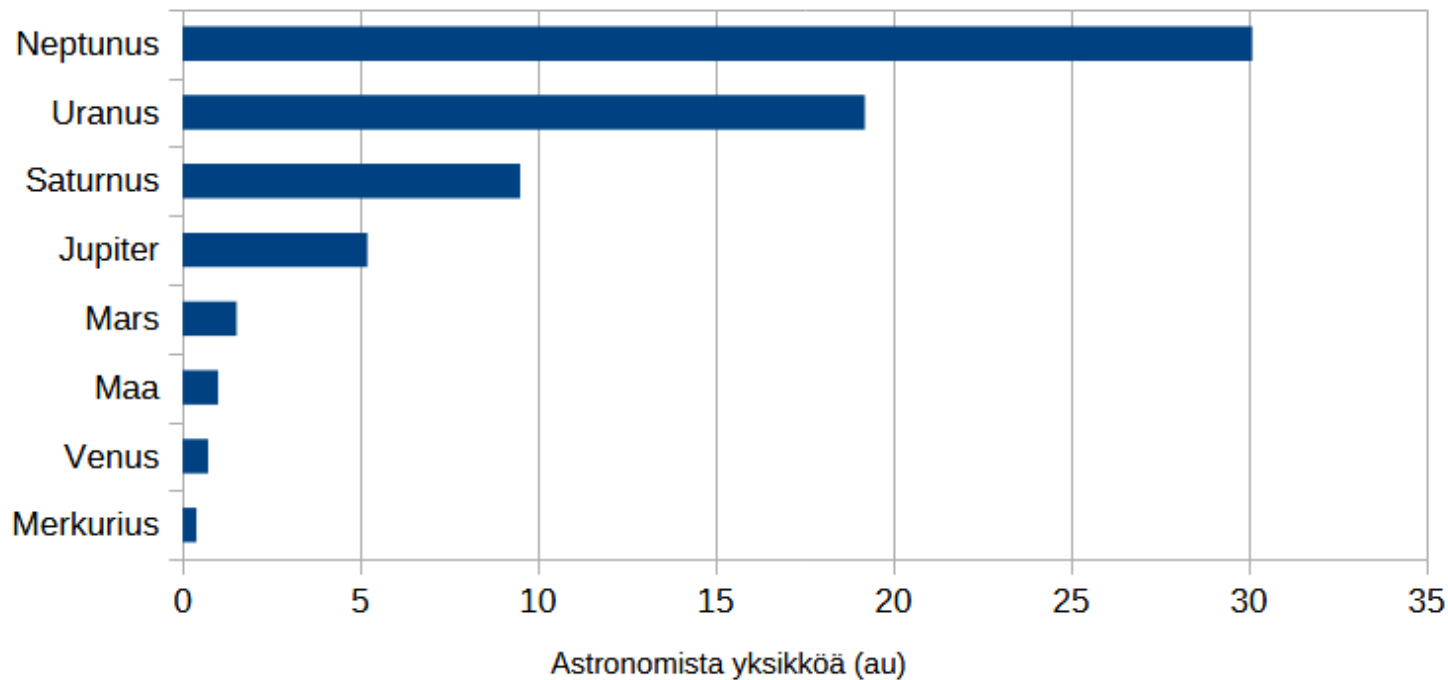
Miksi *keskietäisyys*?

→ 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

(kansainvälinen lyhenne 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.

Lasketaan valovuosi metreinä.

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

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

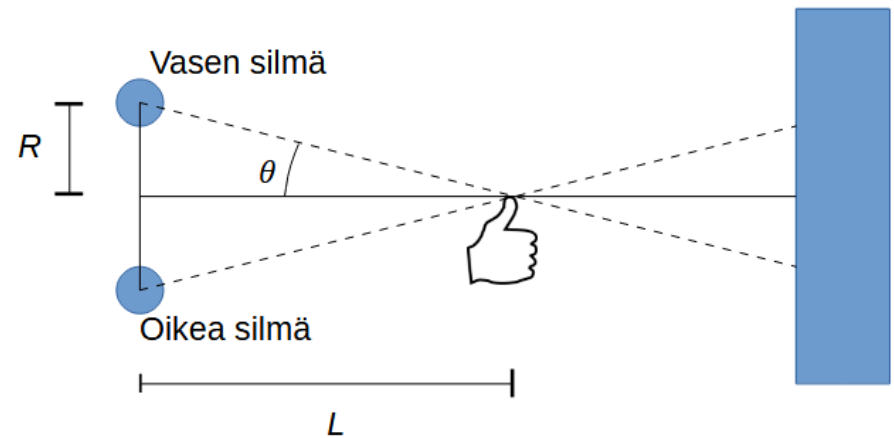
→ Näemme siis Proxima Centaurin sellaisena kuin se oli yli neljä vuotta sitten!

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



© Jarmo Penttilä

- Etäisyys tähden 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.

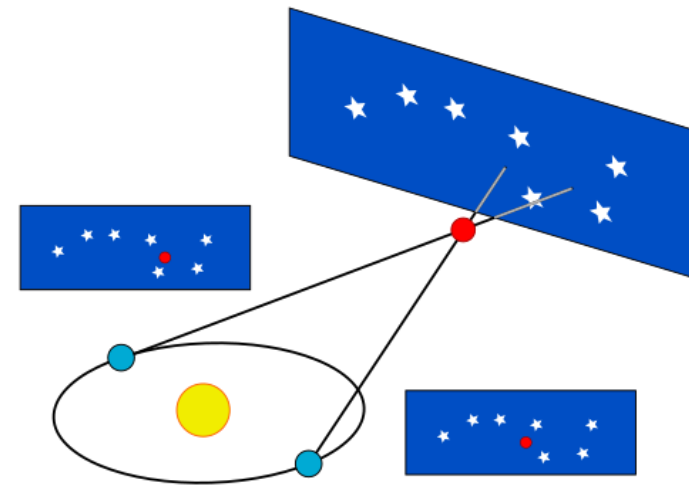
Parallaksi = kulma, jossa Maan radan säde näkyy tähdestä (kuvassa θ).

- Tähden kahden näennäisen paikan välinen etäisyys on 2θ .
- Nyt voidaan etäisyys laskea:

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

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

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

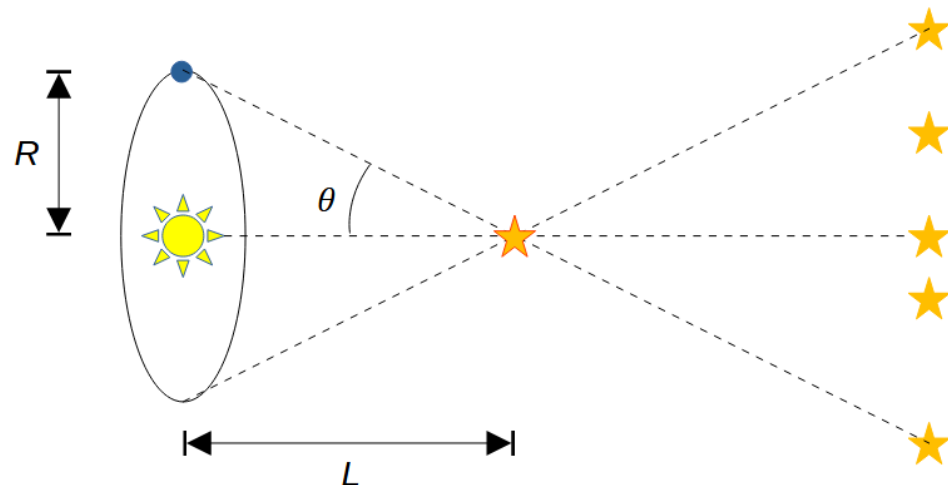


Kuva: Parallaksimittauksen perusidea.

Lähde: KES47 / Original version from German Wikipedia. By user:

WikiStefan. 28 Oct 2004, CC BY 3.0

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/ParallaxV2.svg>



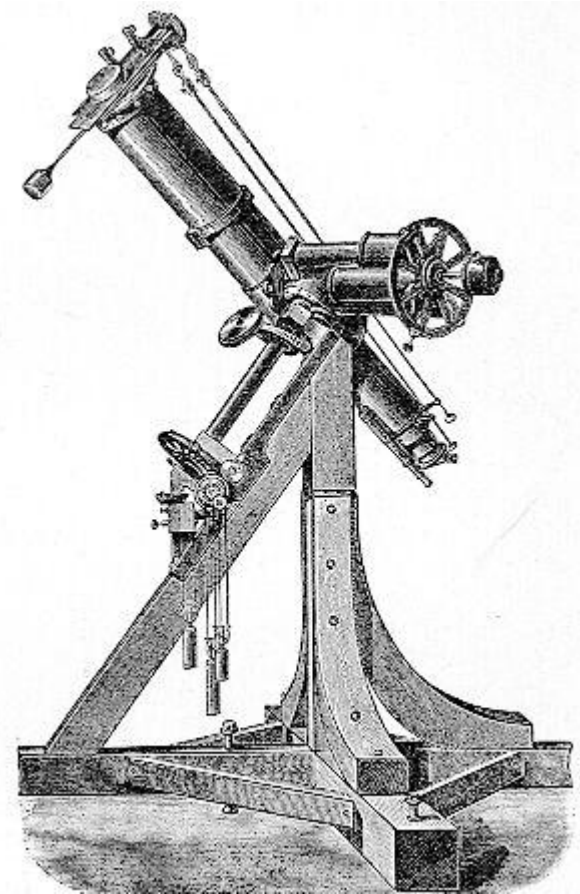
© Jarmo Penttilä

Lisätietoa

Käyttämällä parallaksimittausta saksalainen tähtitieteilijä Friedrich Bessel onnistui vuonna 1838 ensimmäisenä määrittämään jonkin aurinkokunnan ulkopuolisen tähden etäisyyden meistä. Tähti oli Joutsenen tähdistössä sijaitseva 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 $10 \mu\text{s}$, 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_helio.jpg

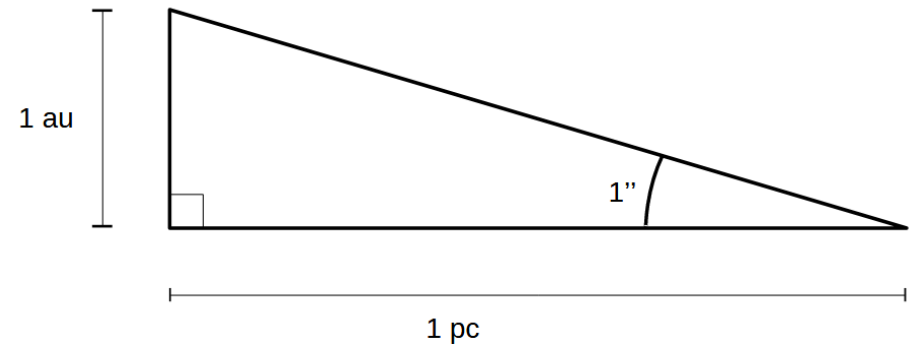
Parsek, pc

Parsek on etäisyys, jolta yksi astronominen yksikkö näkyy yhden kaarisekunnin kulmassa (parallaksisekunti).

Lasketaan parsekin arvo astronomisina yksikköinä ja metreinä.

$$\tan\left(\frac{1}{3600}\right) = \frac{1}{x} \Rightarrow x = \frac{1}{\tan\left(\frac{1}{3600}\right)} \approx 206\,265, \text{ joten}$$

$$1 \text{ pc} \approx 206\,265 \text{ au} = 206\,265 \cdot 149\,597\,870\,700 \text{ m} \\ \approx 3,1 \cdot 10^{16} \text{ m}.$$



Lisäksi kätevä nyrkkisääntö muistaa on

$$1 \text{ pc} \approx 3,3 \text{ vv} \Rightarrow 3 \text{ pc} \approx 10 \text{ vv}.$$

Esim. Proxima Centaurin etäisyys 4,22 vv
= 1,29 pc.

Tehtäviä

1.

On väitetty, että Star Wars -elokuvissa olisi tieteellinen virhe.

Han Solo pröystäilee ajaneensa Millennium Falconilla Kessel Run -nimisen reitin alle 12 parsekin.

Mikä virhe tässä väitteiden mukaan siis olisi?



2.

Muunna seuraavat etäisyydet pyydettyihin yksiköihin.

a) 5,9 pc \rightarrow valovuosina

b) 1,5 vv \rightarrow metreinä

c) $3,0 \cdot 10^{11}$ m \rightarrow astronomisina yksikköinä

3.

Muunna seuraavat kulmaetäisyydet haluttuun yksikköön.

a) 123'' kulmaminuutteina

b) 0,5° kulmasekunteinä

c) 0,001° mikrokulmasekunteinä

4.

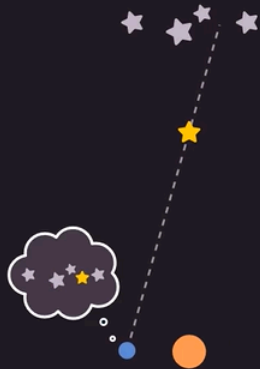
Viereinen kuva on sivulta <https://flatearth.ws>.
Sivustolla "debunkataan" Flat Earth -porukan väitteitä
(kyseinen porukka yrittää osoittaa Maan olevan litteä).

Kuvassa väitetään, että Aurinkoa lähimpänä olevan tähden
Proxima Centaurin parallaksi olisi $0,00021^\circ$.

Oppitunnilla väitettiin kuitenkin, että Proxima Centaurin
parallaksi olisikin noin $0,768''$.

Kumpi on oikeassa, joku netissä oleva random-kuva vai
arvostettu opettaja?

Stellar parallax is the **apparent shift of nearby stars** against the background of distant stars, caused by the different position of Earth due to its **orbital motion around the Sun**.




Stellar parallax has the **same cycle** as **Earth's orbiting motion**, which is **one year**.

Stellar parallax is **very small** and **difficult** to measure.

The star with the **largest parallax** is **Proxima Centauri**, with the parallax of **0.00021°** .

It is an angle equivalent to a **coin 5.3 km (3.3 miles) away**.

Flat-Earthers claim **stellar parallax** has never been successfully observed & they use it as "proof" Earth is stationary. In reality, **stellar parallax** was first measured in **1838** and is now used as the basis for **measuring stellar distances**.

 **FlatEarth.ws/stellar-parallax**
Debunking Flat Earth Misconceptions

5.

Maan ja muiden planeettojen etäisyydet Auringosta
voidaan esittää pienoismallina esimerkiksi koulun pihalla
tai kentällä.

Oletetaan, että Auringon ja Maan välinen etäisyys (1 AU)
esitetään 10 metrinä. Kuinka kaukana Mars ja Jupiter
olisivat Auringosta tässä mittakaavassa, jos niiden
etäisyydet ovat noin 1,52 AU ja 5,2 AU?

Kuinka kaukana Proxima Centauri olisi, jos sen etäisyys on
4,22 valovuotta? Mitä tämä kertoo tähtien etäisyyksistä
verrattuna planeettojen etäisyyksiin?

6.

Tähden parallaksikulma on 1,8 mas. Laske sen etäisyys Maasta.

7.

Vertaa parsekin, valovuoden ja astronomisen yksikön soveltuvuutta eri tähtitieteellisiin käyttötarkoituksiin.

- a) Missä tilanteessa on järkevintä käyttää kutakin yksikköä?
- b) Miksi parsek on usein käytössä ammattimaisessa tähtitieteessä?