

# 01 Tähtitieteen yksiköitä

## Vuorokausi ja vuosi

Vuorokausi (d) = 24 h = 24 · 60 min = 24 · 60 · 60 s = 86 400 s.

Juliaaninen vuosi (a) = 365,25 d.

Huomaa:

- SI-järjestelmässä vuorokausi ei riipu Maan liikkeestä Auringon ympäri.
  - Vuorokausi on eri yksikkö kuin sideerinen ja synodinen vuorokausi  
→ Näihin palataan myöhemmin.
- SI-järjestelmä ei sisällä lainkaan ajan yksikköä vuosi. Kuitenkin tähtitieteessä tätä yksikköä käytetään.
  - *Juliaanisessa kalenterissa* vuodessa on 365 vuorokautta, paitsi joka neljäs vuosi, jolloin siinä on 366 vuorokautta.  
→ Vuoden keskipituus on tällöin 365,25 vuorokautta.
  - Tähtitieteen käyttämässä *juliaanisessa vuodessa* on tasan 365,25 vuorokautta.
  - Nykyisin käytetyn gregoriaanisen kalenterin vuodessa on keskimäärin 365,2425 vuorokautta.

## Kulmasekunti ja kulmaminuutti

Kun osoitan kahta eri tähteä ojennetulla kädellä, käden asentojen väliin jää jokin kulma.

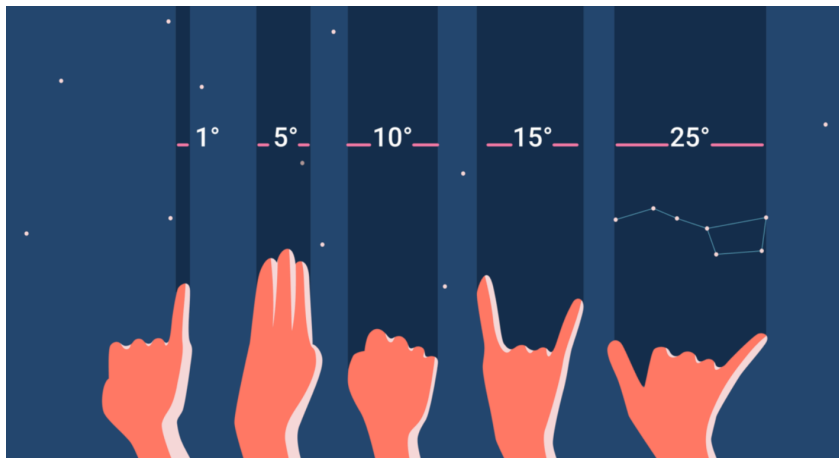
Taivaan kohteiden näennäiset etäisyydet eli kulmaetäisyydet monesti ilmoitetaan kulmasekuntien avulla.

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

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

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

- Hubble-avaruusteleskoopin erotuskyky on luokkaa 0,05 kaarisekuntia, mikä tarkoittaa, että se voi erottaa hyvin lähekkäin olevia kohteita.
- Kuun näennäinen kulmaleveys (eli kuun eri reunojen välinen kulmaetäisyys) on noin 0,5 astetta.
- Kulmaetäisyyksiä voi arvioida sormien avulla:



## Astronominen yksikkö

1 au = 149 597 870 700 m.

(Virallinen määritelmä 2012 lähtien)

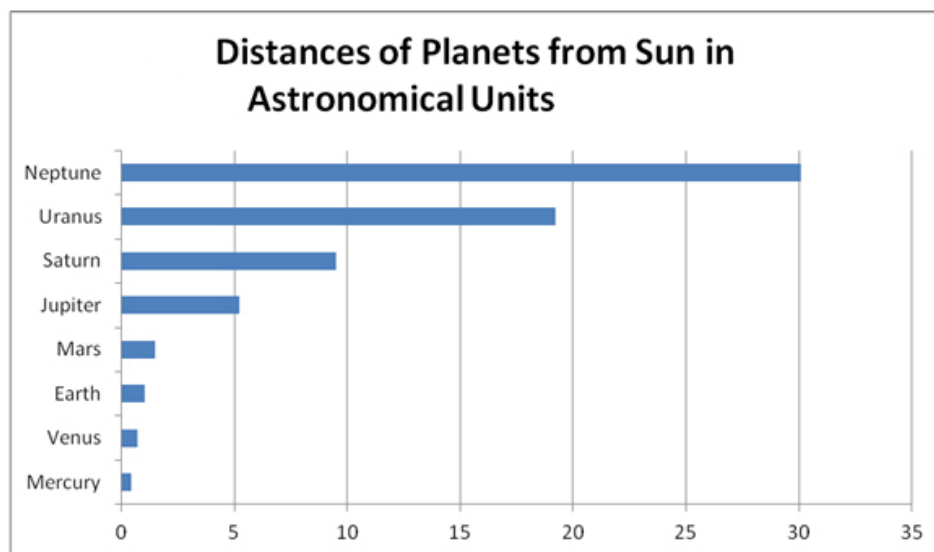
Vastaa suunnilleen Maan keskietäisyyttä Auringosta.

### Miksi keskietäisyys?

- Maan rata on ellipsi → miksi? Jos aluksi ympyrän muotoiseen rataan tulee kappaleen massa tai liikkeeseen häiriö, rata venyy ellipsiksi.
- Riippuuko rata Maan massasta? → ei jos yksinkertaistetaan laskuja siten, että Maa kiertää Auringon massakeskipistettä. Todellisuudessa Maa kuitenkin kiertää Aurinko-Maa-systeemin massakeskipistettä, joka riippuu Maan massasta.

### Mikä tarve on tällaiselle yksikölle?

- Planeettojen etäisyydet Auringosta ovat valtavia → ei järkeä käyttää metrejä.
- Planeettojen etäisyydet Auringosta kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin Maalla.
- Keplerin lait liittyvät planeettojen suhteellisiin etäisyyksiin Auringosta → kätevää, kun Maan etäisyys on 1.



# Valovuosi

Valovuosi (vv) = etäisyys, jonka valo kulkee syvässä avaruudessa yhden vuoden aikana.

Huomaa:

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

Valonnopeus on 299 792 458 m/s.

Valovuosi on siis

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

Mikä on Aurinkoa lähinnä oleva tähti?

→ Proxima Centauri: 4,22 vv.

## Parsek ja parallaksikulma

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

Voit laskea peukalon etäisyyden itsestäsi parallaksimittauksen avulla.

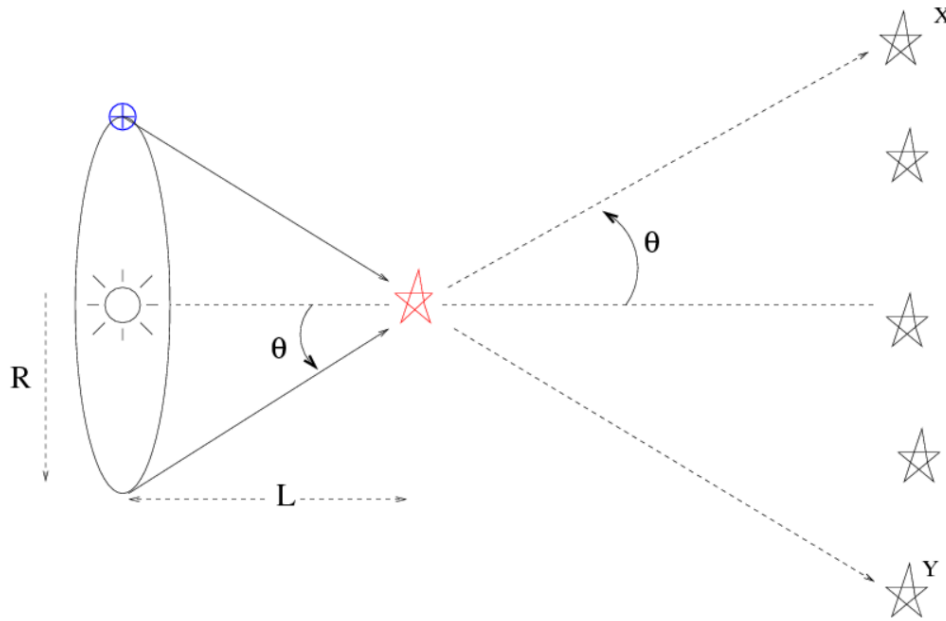
- Pidä peukaloa ojennetun käsivarren päässä itsestäsi
- Sulje vuoronperään vasen ja oikea silmä: peukalo näyttää liikkuvan

- 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  $L = \frac{R}{\tan \theta}$
  - Toisaalta, jos tiedät silmiesi etäisyyden peukaloosi, voit selvittää, mikä on parallaksikulma:  $\arctan \left( \frac{R}{L} \right)$

Etäisyys tähteen voidaan laskea samalla tavoin!

→ Tämä ei kuitenkaan onnistu katsomalla vuorotellen molemmilla silmillä, eikä edes katsomalla eri puolilta Maapalloa.

**Parallaksikulma** = (mikä tahansa) kulma, jossa Maan radan säde näkyy tähdestä.  
(Kuvassa  $\theta$ )



### Geogebra-simulaatio etäisyyden määrittämisestä

Etäisyys tähden voidaan laskea, kun parallaksikulma saadaan arvioitua:

- Havainnoidaan täsmälleen puolen vuoden välein tähden paikka taustatähtiin nähden.
  - Tällöin Maa on täsmälleen vastakkaisilla puolilla Aurinkoa.
- Näiden kahden paikan kulmaetäisyys =  $2 \cdot$  parallaksikulma ( $2\theta$ )

Tämän jälkeen voidaan laskea:

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

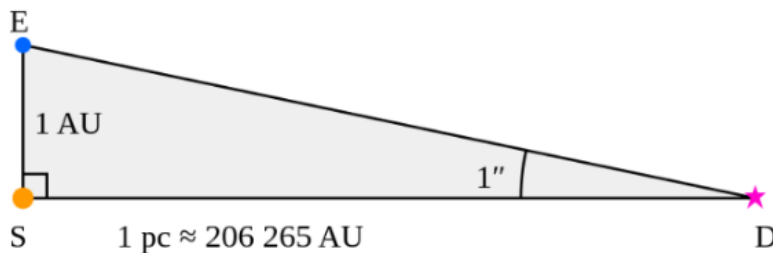
$$\tan \theta = \frac{1 \text{ au}}{L} \Rightarrow L = \frac{1 \text{ au}}{\tan \theta}$$

- Vuonna 1838 saksalainen tähtitieteilijä Friedrich Bessel onnistui ensimmäisenä määrittämään jonkin aurinkokunnan ulkopuolisen tähden etäisyyden meistä.

→ Tähti oli 61 Cygni, ja hänen saamansa etäisyys n. 10 vv päässä.

- 1800-luvun puolivälissä astronomit pystyivät mittaamaan muutaman aivan lähimmän tähden parallaksin.
- Meitä lähimmän tähden, Proxima Centaurin, parallaksikulma on noin  $0,768''$  eli 768 mas.
- Itse asiassa 1500- ja 1600-luvuilla havaitsematon parallaksi nähtiin tieteellisenä todisteena Kopernikaanista aurinkokuntamallia vastaan.
  - Niin pienet parallaksikulmat edellyttivät etäisyyksiä, joita monet pitivät liian suurina ja epäuskottavina.
  - Vasta 1900-luvun puolivälissä pystyimme mittaamaan parallaksin useammalle kuin muutamalle sadalle tähdelle.

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



Nyt voi laskea, kuinka monta au:ta on 1 pc.

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

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

Lisäksi  $1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ vv} \Rightarrow 3 \text{ pc} \approx 10 \text{ vv}$ .

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

---

**Tehtävä:** Valon nopeus on 300 000 km/s. Kuinka kauan valon kestää tulla Maahan

1. Kuusta (etäisyys 380 000 km)
2. Auringosta (etäisyys  $149 \times 10^6$  km)
3. Plutosta (etäisyys  $4500 \times 10^6$  km)

## Ratkaisu

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow t = \frac{s}{v}$$

Kuusta:

$$t = \frac{380\,000\text{ km}}{300\,000\text{ km/s}} \approx 1,3\text{ s}$$

Auringosta:

$$t = \frac{149 \cdot 10^6\text{ km}}{300\,000\text{ km/s}} \approx 497\text{ s} \approx 8\text{ min}$$

Plutosta:

$$t = \frac{4500 \cdot 10^6\text{ km}}{300\,000\text{ km/s}} \approx 15\,000\text{ s} \approx 250\text{ min} \approx 4\text{ h.}$$

---

## Tehtäviä

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





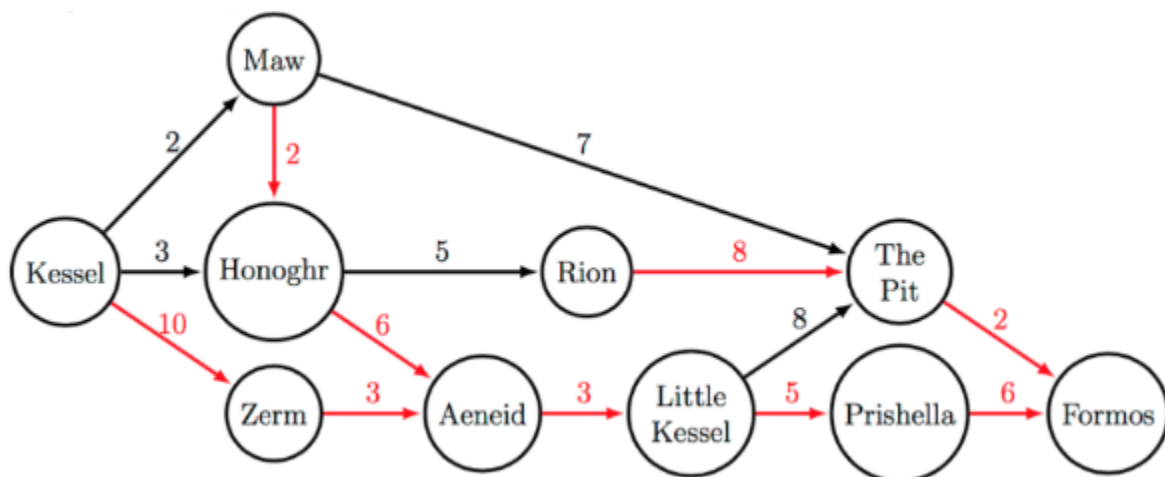
Han Solo pröystäilee ajaneensa Millennium Falconilla Kessel Run –nimisen reitin alle 12 parsekin.

Mikä virhe tässä väitteiden mukaan siis olisi?

Star Wars –fanit ovat kuitenkin esittäneet erilaisia ratkaisuja siihen, että kyseessä ei olisikaan virhe.

Alla yksi tällainen.

Han Solo has been tasked with navigating the Kessel Run to smuggle some spice from the spice mines of Kessel to Formos. The navigational computer on the Millennium Falcon has prepared the following navigational chart in which the distances noted on the arcs are provided in parsecs. The red paths are those suggested by the Millennium Falcon's navigational computer as those are the official trade routes.

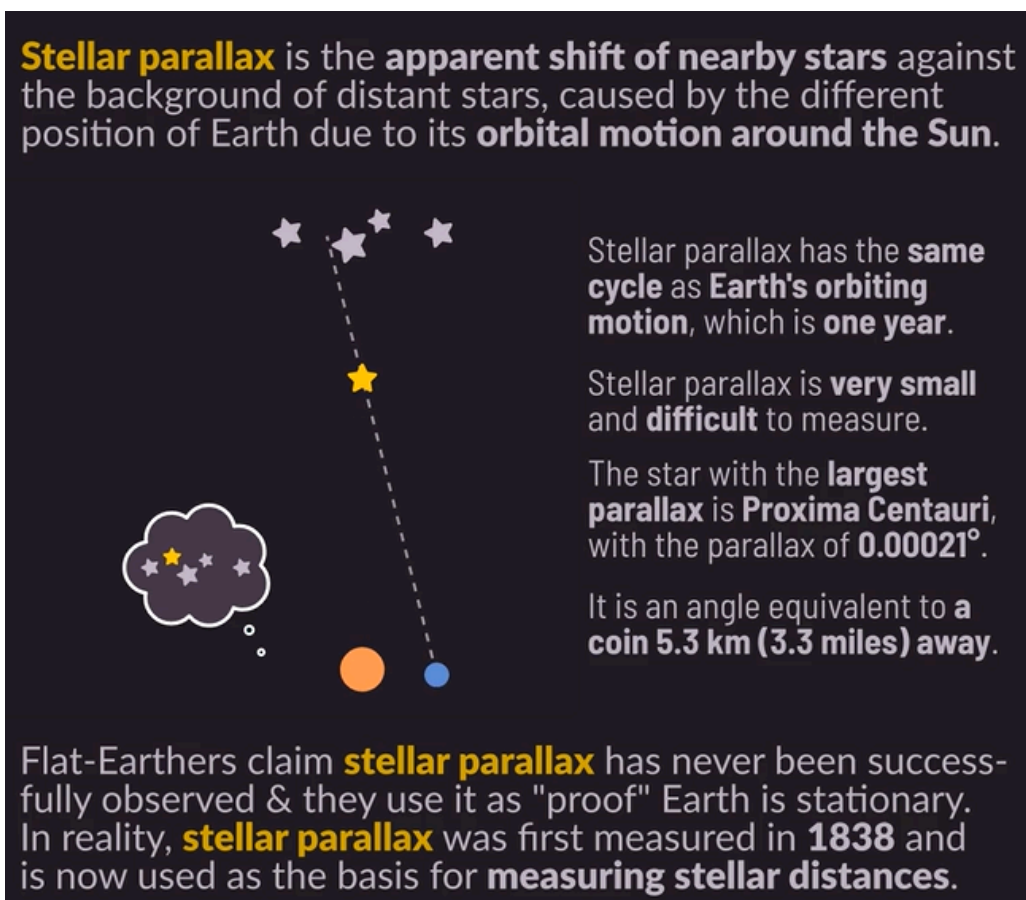


Onko mahdollista, että Han Solo olisikin ajanut reitin alle 12 parsekin, ja mikä näin ollen on fanien ratkaisu väitettyyn virheeseen?

## Ratkaisu

Virhe olisi siinä, että Han Solo näyttää luulevan parsekin olevan aikayksikkö – hän väittää aluksen selvinneen reitistä alle jonkin aikarajan. Kuitenkin todellisuudessa parsek on etäisyys- ei aikayksikkö.

Fanit ovat selittäneet ristiriidan pois sillä, että kyseisen kauppareitin pituus Kesseliltä Formokselle olisi normaalisti yli 12 parsekia, mutta Han Solo onkin löytänyt jonkin oikotien, jossa sen pituus lyhenee alle 12 parsekiin. Kyseinen reitti voisi olla: Kessel, Maw, The Pit, Formos; yhteensä  $2 + 7 + 2 = 11$  parsekia.



Kuvassa väitetään, että Aurinkoa lähimpänä olevan tähden Proxima Centaurin parallaksi olisi 0,00021°.

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

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

### Ratkaisu

Muutetaan 0,768" asteiksi.

$$1'' = \frac{1^\circ}{3600}, \text{ joten } 0,768'' \text{ on } 0,768 \cdot 1'' = 0,768 \cdot \frac{1^\circ}{3600} \approx 0,00021^\circ.$$

Molemmat ovat siis oikeassa.

---

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?

### Ratkaisu

Jos kerran 1 au  $\rightarrow$  10 m, niin 1,52 au  $\rightarrow$  1,52  $\cdot$  10 m = 15,2 m, ja 5,2 au  $\rightarrow$  5,2  $\cdot$  10 m = 52 m.

Taulukkokirjan mukaan 1 ly (valovuosi) = 9,460 73 Pm = 9,460 73  $\cdot$  10<sup>15</sup> m ja

1 au = 149,5979 Gm = 149,5979  $\cdot$  10<sup>9</sup> m. Näin ollen 1 ly =

$$\frac{9,460\,73 \cdot 10^{15} \text{ m}}{149,5979 \cdot 10^9 \text{ m/au}} \approx 63\,241 \text{ au, joten } 4,22 \text{ ly} = 4,22 \cdot 63\,241 \text{ au} \approx 266\,877 \text{ au}$$

$$\rightarrow 266\,877 \cdot 10 \text{ m} \approx 2\,669\,000 \text{ m} = 2\,669 \text{ km.}$$

Vastaus: Mars olisi noin 15 m päässä, Jupiter noin 52 m päässä ja Proxima Centauri jopa 2 669 km päässä. Tämä osoittaa, kuinka valtavat tähtienväliset etäisyydet ovat verrattuna planeettojen etäisyyksiin aurinkokunnassa.