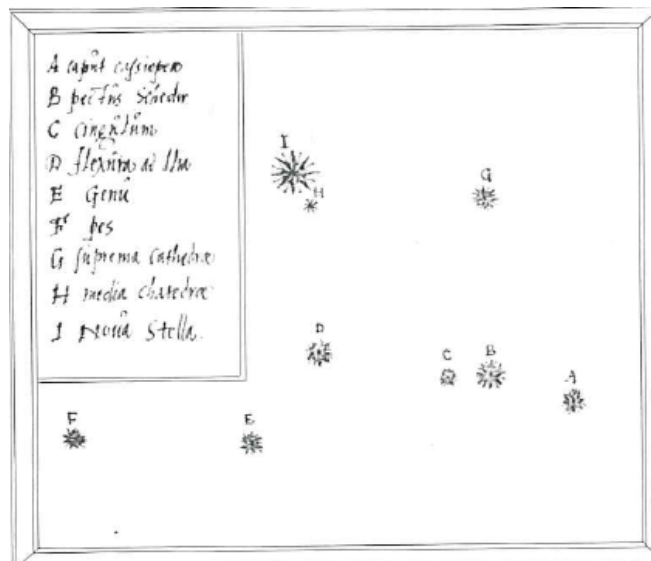


# Leksjon 1: Avstander i Universet

## 1 Stjerneforskeren Tycho Brahe

I dette avsnittet skal vi gå helt tilbake til 11. november 1572, stedet er Herrevads kloster i Skåne. Her bodde en dansk adelsmann, han oppdaget en ny stjerne i Kassiopeia ved sekstiden om kvelden 11. november 1572, han drog straks til observatoriet i den gamle klosterbygningen og startet observasjoner med sekstanten. Han fant etter noen dagers observasjoner at stjernen ikke beveget seg i forhold til de andre stjernene i Kassiopeia, det var altså ingen komet han hadde oppdaget.



Bildet er hentet fra boken "De nova stella" (1573). Tegningen som Tycho Brahe har laget viser posisjonen til den nye stjernen i forhold til de åtte stjernene i Kassiopeia. Den nye stjernen dukket opp rett syd for stjernen **kappa Kassiopeia**. Tycho Brahe har antagelig tegnet stjernene i Kassiopeia etter midnatt, stjernebildet stod da høyt på himmelen, ca. 57 grader over horisonten. Skissen baserer seg på målingene med Herrevads sekstanten. Denne sekstanten gikk fort ut på dato, Tychos vurdering av sekstanten var den var enkel og billig.

Den nye stjernen måtte befinne på stjernekuila utenfor Månekuila og planetkulene fordi han oppdaget **ingen parallakse i løpet av ett døgn**. Parallaxen er stjernens bevegelse på himmelen i løpet av tiden det tar himmelkuila å rotere en gang rundt Jorda. Tycho var forsiktig i sin tolkning av sin oppdagelse, han mente at den nye stjernen var et guddommelig tegn uten innflytelse på de 8 himmelkulene som teorien til Aristoteles baserte seg på.

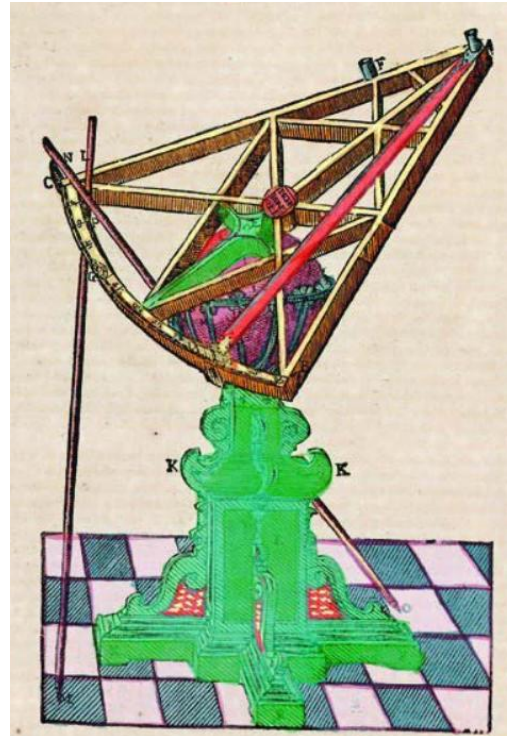
**Oppdagelsen av den nye stjernen i Kassiopeia førte til endring av den tradisjonelle forståelsen av Universet**, den slo sprekker i teorien til Aristoteles som mente at stjernekuila vil til alle tider være uforanderlig. Denne teorien hadde dominert den vestlige tenkningen i nesten 2000 år.

Tycho Brahe fortalte om den nye stjernen til den danske professor Johannes Pratensis. Tycho ble oppfordret av professoren til å publisere sine oppdagelser. Vitenskapsmannen fra Skåne avslo fordi bokskrivning ikke var en aktivitet for adelsmenn. Våren 1573 fikk professoren stjerneforskeren på andre tanker, han sendte Tycho noen artikler skrevet av observatører i Europa. Ved gjennomlesning

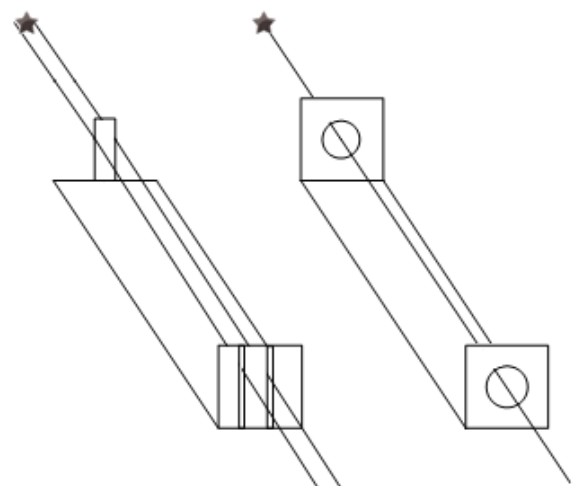
fant Tycho Brahe så mange feil at han bestemte seg for å skrive en bok om den nye stjernen. Boken ”de nova stella” vakte stor oppsikt i de astronomiske kretsene i Europa. Han var ønsket som foreleser i astronomi ved universitet i København. Astronomen avslo i første omgang fordi det var under en adelsmanns verdighet å undervise ved et universitet. Tycho Brahe dro til København 23. september 1574 og gjennomførte sin første forelesning. Dette kunne han gjøre fordi Fredrik II hadde godtatt at adelskap og forskning kunne forenes.



Adelsmannen Tycho Brahe, 26 år gammel



Den astronomiske sekstanten

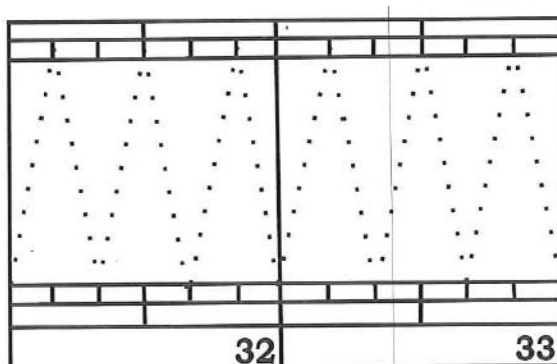


Ny og gammel sikteandordning

Tycho Brahe mottok et **viktig brev 11. februar 1576**, avsenderen var kong Fredrik 2. Brevet var en invitasjon, kongen hadde et ønske om å treffe stjerneforskeren umiddelbart. Tycho dro med en gang fra gården Knutstrup i Skåne til kongens jaktstøtte (Ibstrup) på Sjælland, her fortalte han om sin flytteplan til Basel. Kongen likte ikke planen til stjerneforskeren og ville at vitenskapsmannen skulle slå seg ned i Danmark. Han fikk tilbud om å slå seg ned på øya Ven i Øresund. Kongen hadde øya Ven og Tycho Brahe i tankene da han besøkte Kronborg slott (1574-1585) i byggeperioden. Fra Kronborg kunne kongen se øya Ven i horisonten rett syd for slottet. På denne øya kunne vitenskapsmannen observere i fred og ro tenkte kongen.

Tycho Brahe slo seg ned på øya Ven i 1576 og satt i gang å bygge et observatorium som det tok 4 år å bygge. **Det var Kong Fredrik 2 som finansierte observatoriet og alle instrumentene som kunne måle vinkelen mellom stjernene og plantene med en nøyaktighet som ingen andre astronomer i Europa på den tiden kunne matche.**

Den astronomiske sekstanten ble primært brukt til å måle vinkelavstanden mellom stjernene, men ble også brukt til å måle planethøydene. Planetene sett fra Ven fikk aldri en større høyde enn 60 grader. Tycho var veldig fornøyd med denne sekstanten, ”den løste Opgaven eksakt uden Usikkerhed” som han selv uttrykker det i sin bok ”Mechanic”. Transversalinndelingen og sikteanordningen førte til **en usikkerhet på mindre enn ett bueminutt**. Buen og sikteanordningen var lagt i messing. Sekstantens sider var 155cm. Sekstanten var festet til en globus laget av kopper (diameter 52cm). Globusen kunne dreies i alle retninger, det var nødvendig når observatørene (to stykker) skulle finne planet mellom de to stjernene.



32° 23.5'

*Alle skalaene hadde Tychos transversalsystem. Transversalsystemet hadde en avlesningsnøyaktighet på 1 bueminutt (en prikk for hvert bueminutt)*

Tycho Brahe utviklet et helt spesielt siktesystem. Plata nærmest øyet hadde to parallelle spalter. Avstanden mellom spaltene var lik diameteren på sylindere. Denne sylindere ble plassert i sentrum av sekstanten retningen til stjernen ble avlest når samme stjerne ble sett gjennom begge spaltene.

I boken ”Mechanica” skriver Tycho Brahe følgende:

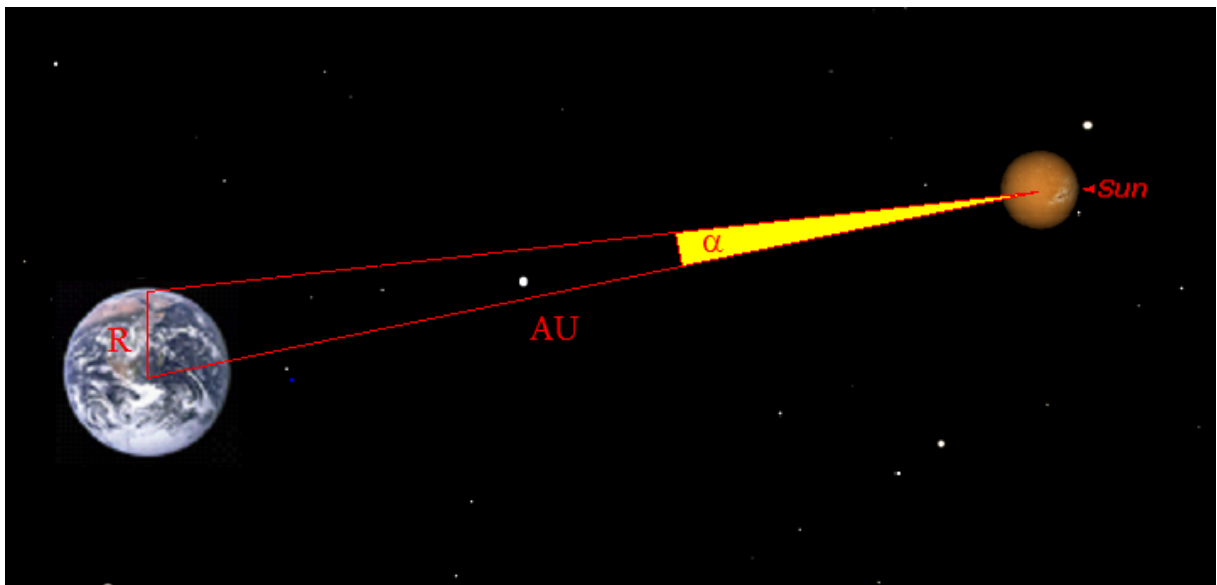
”Og det undrer jeg mig virkelig over, at de tidligere Astronomer ikke har lagt Mærke til, saa at de ikke paa anden Maade har raadet Bod paa denne Ulempe. Da en udmærket Astronom [Paul Wittich] for nogle Aar siden for at se paa mine Instrumenter efter en lang Rejse var kommet paa Besøg hos

mig og havde gjort sig bekendt med denne saare bekvemme Metode til at iagttage Stjerner gennem Sprækker anordnede paa denne Maade, udstødte han et jubelraab og forsikrede, at han nu havde lært en Ting at kende, som han tidligere i mange Aar forgæves havde sukset efter, og han lykønskede sig selv til, at han alene af den Grund ikke var kommet forgæves til Danmark, og senere, da han kom til Kassel, anvendte han, saa godt det lod sig gøre, denne Metode paa Landgrevens Instrumenter...”

Dette var litt om stjerneforskeren Tycho Brahe, han målte vinklene mellom stjernen og planetene, fant deres posisjoner. **I dag vet vi at observasjonsresultatene til den danske stjerneforskeren førte til Keplers lover og Newtons lover** (eller Newtons lover førte til Keplers lover).

## 2 Jakten på Solens parallakse (ikke pensum)

Over 400 år har astronomene jaktet på Solens parallakse fordi det er den som gir avstanden mellom Jord og Sol, når Jordens radius er kjent. Romteknologien førte til at IAU (den Internasjonale astronomiske unionen) i 1976 bestemte verdien på Solens parallakse (8,794148 buesekunder). Denne parallaksen førte til en AU-verdi på 149 597 870 km. Denne leksjonen vil gi en kronologisk oversikt over utviklingen i forskningsmetoder for å bestemme Solens parallakse. Leksjonen bidrar med en tabell som presenterer hvordan historiske observasjoner og beregninger gjennom tiden har ført astronomene stadig nærmere den riktige størrelsen på Solsystemet.



Figur 1: **Solens parallakse er definert som vinkelavstanden  $\alpha$  for Jordens radius  $R$ , sett fra Solen.** Den astronomiske enheten AU er lik radius  $R$  dividert på sinus til parallaksen  $\alpha$ .

Årstall	Metode	Solparallaksen	Koordinator	AU
1631	Venusparallaksen	Intet resultat	Ingen observasjon	
1639	Venusparallaksen	Intet resultat	Horrocks/Captree	
1761	Venusparallaksen	8,28" - 10,10" / 9,19"	James Bradely	ca. 144 000 000 km
1769	Venusparallaksen	8,43" - 8,80" / 8,65"	Joseph J Lalande	ca. 153 000 000 km
1771	Venusparallaksen	8,78"	Hornsby (1769)	150 700 000 km
1825	Venusparallaksen	8,58"	Encke (1761/1769)	ca. 154 000 000 km
1874	Venusparallaksen	Ingen forbedring		
1877	Marsparallaksen	8,78"	David Gill	150 700 000 km
1888	Venusparallaksen	Ingen forbedring		
1891	Venusparallaksen	8,79"	Newcomb(1769)	149 600 000 km
1942	Erosparallaksen	8,790"	Spencer Jones	149 600 000 km
1964	Radarmålinger	8,794"	Victor/Stevens	149 599 000 km
1976	Romteknologi	8,794148"	IAU	149 597 870 km
2004	Venusparallaksen	Ingen forbedring		
2012	Venusparallaksen	Ingen forbedring		

Tabell 1: Måleresultater for Solparallaksen (i buesekunder), og beregnet avstand mellom Jorden og Solen (i kilometer), gjennom 400 år med astronomihistorie. Målemetoden står i 2. kolonne. Historien viser at spredningen i målingsresultatene i 1769 var mye mindre sammenliknet med passasjen i 1761. Dersom vi antar at den sanne parallaksen ligger midt i intervallet, vil den astronomiske enheten være 153 millioner km. I 1771 vurderte Professor Thomas Hornsby ved Oxford kvaliteten på rapportene etter 1769 passasjen, han stod igjen med fem rapporter som gav en parallakse på 8,78 buesekunder. Seks år senere endret urmakeren David Gill observasjonsmetode, han benyttet Marsparallaksen og fikk samme resultat Hornsby. De to Venus passasjene på 1800 tallet gav ingen forbedret verdi for solparallaksen. I 1891 publiserte Simon Newcomb resultatet av sine studier av de gamle rapportene fra 1700 tallet, han kom fram til at Solens parallakse var 8,79 buesekunder, en verdi som nesten var den samme som parallaksen som Hornby og Gill fant i henholdsvis 1771 og 1774. Måling av solparallaksen basert på parallaksen av asteroiden Eros bekreftet de tre første snifferne i parallakseverdien 8,79 buesekunder. Radarmålingene i 1964 førte til en parallakseverdi med tre desimaler (8,794). Den Internasjonale Astronomiske Union (IAU) definerte verdien på den astronomiske enhet på ny i 2014 (Ø Elgarøy) til 149 597 870 700 meter. Det betyr at den store halvaksen i Jordens ellipsebane er litt lenger sammenliknet med IAU definisjonen fra 1976 og 2014.

## Venuspassasjen 2012 – [en historisk begivenhet på toppen av UiAs tak](#)



Det var mange mennesker som fikk oppleve Venuspassasjen i 2004 og 2012. Universitetet i Agder åpnet sitt nye observatorium for publikum. Observatoriet har fått navnet Tycho Brahe observatoriet fordi det var [på øya Ven i Øresund det hele startet](#), observasjonsstedet til Tycho Brahe.

**Historien om Venuspassasjen startet på øya Ven i Øresund**, stjerneforskeren Tycho Brahe observerte planetenes posisjoner med en imponerende nøyaktighet uten teleskop (usikkerheten var ett bueminutt). Planetposisjonene ble bearbejdet, samlet i tabeller og publisert av Johannes Kepler i 1627. Tabellene kalte han for Rudolphine tabellene. De la grunnlaget for en artikkel publisert i 1629, [der han annonserte at Venus ville passere foran Solen i desember 1631](#). Ingen har observert denne passasjen fordi begivenheten foregikk etter Solen var gått ned.

**Kepler klarte ikke å forutsi Venuspassasjen i 1639, men det gjorde den unge britiske selvært astronomen Jeremiah Horrocks**. Han tok utgangspunkt i tabellene til Kepler og Philip Van Landsberg (1632), egne observasjoner og beregnet seg fram til neste passasje som vil skje 4. desember 1639. De neste passasjene vil skje i 1761/69 og deretter i 1874/1882 skal vi tro på Horrocks. Historien har vist at han fikk rett. Horrocks skriver: «En guddommelig kraft rev skyene vekk, jeg kunne fortsette mine observasjoner. Jeg fikk se det jeg ønsket aller mest, en perfekt sirkulær mørk flekk. Ikke i tvil, det var skyggen av planeten jeg har brukt alle mine krefter på å finne». Horrocks og William Crabtree, en nær venn av Horrocks, var de eneste som fikk oppleve skyggen av Venus på solskiven 4. desember 1639.

**Edmund Halley tok utgangspunkt i notatene etter Horrocks** og fant en metode som kunne bestemme Solens parallakse. Metoden krevde tidspunktet for både 2. og 3. kontakt, Venus måtte være synlig både i start- og slutfasen. **Overgangen fra solparallaksen til AU krever at Jordens radius er kjent.** Allerede 100 år før Venuspassasjen i 1769 fant franskmannen Jean Picard radien med en nøyaktighet på 0,2% (6363km). Han forbedret metoden til den greske astronomen Eratosthenes (avsnitt 3 eller Ø Elgarøy side 38), Solen ble erstattet med deltastjernen i Kassiopeia.

**Halley publiserte i 1716 en anmodning til framtidens generasjoner:** «[Observer Venuspassasjen 6. juni 1761](#), berømmelse venter dem som bestemmer den sanne størrelsen på planetbanene!». Han var også opptatt av at mange astronomer måtte ta del i dette arbeidet fordi parallaksemetoden var avhengig av at passasjen ble observert fra ulike steder på Jorden. Venuspassasjen i 1761 førte til at England og Frankrike startet et samarbeid selv om Syvårskrigen (1756-1763) herjet mellom de to nasjonene. Over 120 astronomer fra minst 8 land fulgte oppfordringen til Halley. Det viste seg at resultatene stemte dårlig overens. Solens parallakse varierte i området fra 8,28" til 10,60". Dersom vi antar at sann parallakse verdi ligger midt i dette intervallet, vil den astronomiske enheten være 144 millioner km. Den engelske astronomen Nevil Maskelyne, sendt til St. Helena av den tredje kongelige astronomen i Greenwich, mente at vi måtte vente til neste venuspassasje i 1769 før Solen parallakse kunne bli bestemt med tilstrekkelig nøyaktighet.

**[Astronomene var bedre forberedt på passasjen i 1769 sammenliknet med passasjen i 1761.](#)** Teleskopene var blitt bedre, men den største usikkerheten var bestemmelsen av lengdegraden og bestemmelsen av tidspunktet for 2. og 3. kontakt. Over 600 rapporter ble registrert. Resultatene ble grundig analysert, og ikke alle kom med i "det gode selskap" som dannet grunnlaget for beregningene av avstanden mellom Solen og Jorden. Solparallaksen lå i intervallet fra 8,43" til 8,80". Spredningen i målingsresultatene var denne gangen mye mindre. Dersom vi antar at sann parallakse verdi ligger midt i dette intervallet, vil den astronomiske enheten være 153 millioner km.

**Professor Thomas Hornsby ved Oxford vurderte kvaliteten på rapportene etter 1769 passasjen, han stod igjen med fem rapporter.** De fem observasjonsstedene var Vardø (Hell), Kola Halvøya (Stepan Rumovsky), Hudson Bay (Joseph Dymond og William Wales), California/Mexico (Jean Chappe) og Tahiti (James Cook og Charles Green). Hornsby leverte et resultat til Royal Society i desember 1771, resultatet baserer seg på disse fem observasjonene. Han skriver: "... the mean parallax will be found to be = 8,78"; and if the semi-diameter of the Earth be supposed = 3985 English miles (6413 km), the mean distance of the Earth from the Sun will be 93 726 900 English miles (150,8 millioner km)". Legg merke til at Hornsby stolte på resultatene som Hell publiserte i november i 1769 at de inngikk i beregningene til Hornsby.

**Også etter 1769 passasjen var astronomene uenige om størrelsen på den astronomiske enheten.** Den tyske astronomen Johann Franz Encke, leder av Seeberg-observatoriet i Tyskland, studerte de gamle rapportene fra begge venuspassasjene på 17-hundretallet. **I 1825 publiserte han beregninger og konkluderte med at avstanden fra Jord til Sol er 153 millioner kilometer.** Denne verdien ble oppfattet som en naturkonstant og som ungdommen i Tyskland lærte på skolen som astronomisk enhet på 1800-tallet. Den skotske astronomen Robert Grant som i 1852 utga boken "History of Physical Astronomy", beskriver parallaksemetoden som en genial observasjonsmetode. I sitt omfattende bokverk gir han Encke anerkjennelse og støtter hans resultat, mens han vurderer verdien for avstanden Jord-Sol som Hornsby kom fram til å være i minste laget. Hvem har rett, Encke eller Hornsby?

At Encke (1825) og Hornsby (1771) kom fram til forskjellig resultat, viser at målingene og usikkerheten i målingene er vanskelig å vurdere. Hvem har rett, Encke eller Hornsby? Vil venuspassasjene i 1874 og 1882 gi svar på dette spørsmålet?

**Astronomene begynte å tvile på parallaksemetoden til Halley.** Mange mente at det er ikke mulig å bestemme parallaksen med en nøyaktighet på 0,01 buesekund. Til tross for denne tvilen dro flere ekspedisjoner av sted også de stasjonære observatoriene forberedte seg på observasjoner av passasjen. Fotografiet var en ny teknisk oppfinnelse. I 1874-passasjen tok observatørene bilder av passasjen i håp om å finne tidspunktet for kontakt med forbedret nøyaktighet. Denne fotografiske metoden gav ingen gevinst. Bildene måtte "legges i skuffen" på grunn av at Solens rand ble uskarp på bildet.

**Urmakeren David Gill dro sammen med Lord Lindsay til Mauritius i 1874.** Stedets lengdegrad ble bestemt ved hjelp av ny teknologi. Greenwich-tid ble overført pr telegrafi på en linje fra Greenwich over Berlin, Malta, Alexandria, Suez og til Aden. Riktig tid ble til slutt sendt fra Aden til Mauritius ved hjelp av kronometre. I alt brukte Gill 50 kronometre. Gill og Lindsay opplevde at Venuspassasjen ikke kunne gi parallaksemålinger med tilstrekkelig nøyaktighet. Derfor fokuserte de på marsparallaksen tre år senere.

**I 1877 målte urmakeren David Gill (1843-1914) marsparallaksen på øya Ascension.** Ascension er en øy som stiger opp av det sør atlantiske hav, midt mellom Brasil og Afrika. Gill fant at avstanden måtte ligge et sted mellom 149,6 millioner km og 150,0 millioner km, tilsvarer en parallakse på 8,78 buesekunder. Marsparallaksen gav avstand fra Jorden til Solen i området fra 149,6 millioner km til 150 millioner km, denne avstanden tilsvarer Solparallaksen på 8,78 buesekunder (usikkerhet på 0,012 buesekunder). De to astronomene var ikke like entusiastiske under Venuspassasjen i 1882, de mente at denne metoden var "gått ut på dato".

**I 1883 dro Simon Newcomb til Vienna observatoriet i Østerrike,** han var interessert observatoriets nye teleskop, men på grunn av dårlig vær tilbrakte han mange timer i observatoriets bibliotek. Newcomb kjente til at den tidligere lederen av observatoriet Carl Ludvik Littrow hadde kritisert Maximilian Hell og beskyldt han for forskningsjuks og manipulering av observasjonsdataene. Newcomb hadde et strekt ønske om å undersøke om observasjonene som Hell utførte i Vardø under 1769 passasjen var til å stole på. Newcomb fikk tilgang til observasjonsloggen til Hell, han fant ingen spor etter tall som var blitt visket ut eller tall som var skrevet med en annen blekktype. Newcomb sørget for at Hell fikk oppreisning 72 år etter sin død. Etter besøket på Vienna observatoriet startet Newcomb et nytt forskningsprosjekt, han ønsket å foreta en ny vitenskapelig analyse av over 200 rapporter som hadde ligget arkivert i over 114 år. At Hell ble urettmessig nedvurdert og ekskludert av "det gode selskap" viser at andre observatører kan ha lidd samme skjebne. I 1891 publiserte Simon Newcomb resultatet av sine studier av de gamle rapportene fra 1700 tallet, han kom fram til at Solens parallakse var 8,79 buesekunder, en verdi som nesten var den samme som parallaksen som Hornby og Gill fant i henholdsvis 1771 og 1774.

Hvem hadde publisert den riktige avstanden mellom Jorden og Solen, var det Hornsby og Gill, begge fikk 149,7 millioner km, Encke (153 millioner km) eller Newcomb (149,6 millioner km)?

**Den tyske astronomen Gustav Witt oppdaget i 14. august 1898 et svakt objekt på en fotografisk plate.** Objektet var en ukjent asteroide som fikk navnet Eros. Newcomb observerte Eros og beregnet seg fram til at Eros vil komme i opposisjon i januar 1931. I november 1898 skrev Simon Newcomb skrev en artikkel i The Astronomical Journal november 1898. I artikkelen oppfordret Newcomb sine



kolleger over hele verden: «Benytt heliometer og bestem posisjonen av Eros i forhold til stjernene, kombiner observasjonene fra den vestlige og østlige himmelkula og bestem Solens parallakse». I 1931 observerte mange astronomer Eros. Observatoriene som deltok i prosjektet hadde det beste utstyret for posisjonsmåling av Eros i forhold til nærliggende stjerner. Nesten 3000 fotografier ble tatt av asteroiden fra 25 ulike steder på Jorden.

**Harold Spencer Jones som koordinerte det globale Eros prosjektet**, han beregnet Solens parallakse til 8,790 buesekunder, som gir en midler avstanden på 149,675 millioner kilometere. Resultatet ble publisert i 1942. Jones mente at Eros parallaksen gav dimensjonen på solsystemet med tilstrekkelig nøyaktighet. Men den dramatiske historien om Solen parallakse slutter ikke her. Etter andre verdenskrig ble metoden endret. Radarpulser ble sendt mot Venus, ekkoet ble fanget opp og parallaksen ble bestemt til 8,794 buesekunder som gir en astronomisk enhet på 149,6 millioner km. Radarmålingene førte til at tredje desimale i Eros parallaksen ble i 1964 endret fra 0 til 4.

Mange astronomer mente at det hadde ingen hensikt å bestemme fjerde desimale i solparallaksen fordi solparallaksen med 5 gjeldende siffer hadde ingen praktisk betydning. Men - baneberegninger for romfartøyer krevde at solparallaksen hadde flere gjeldende siffer enn 5. I dag (fram til 2012) benyttes parallakseverdien 8,794148 buesekunder som tilsvarer 149,597870 km. Denne verdien ble akseptert av den Internasjonale Astronomiske Union (IAU) i 1976. Mange romferder etter 1976 har vist at astronomiske enheten fra 1976 holder mål. I denne sammenhengen kan nevnes romfartøyet Galileo brukte 6 år på reisen til Jupiter og ble ødelagt 21. desember 2003. På veien til Jupiter passerte den Venus og to asteroider, uten en nøyaktig verdi for den astronomiske enheten hadde det ikke vært mulig å treffe [asteroiden Ida 243](#). Denne begivenheten skjedde 28. august 1993, avstanden fra romfartøyet til Ida er 10 500 km. Om en astronomisk enhet med 9 gjeldende siffer er tilstrekkelig vil bare framtiden vise. I følge Ø Elgarøy kom IAU med en ny definisjon i 2012:

1 AU er 149 597 870 700 meter

Bakgrunnsstoffet og referansene er tilgjengelig på nettstedet <http://www.verdensrommet.org>.

[Det var på øya Ven i Øresund det begynte](#)

[Venuspassasjen 7. desember 1661](#)

[Venuspassasjen 4. desember 1639](#)

[Venusparallaksen – Hva?](#)

[Åtte Venuspassasjer i løpet av de siste 381 årene \(1631-29129\)](#)

[Urmakeren kjempet og seiret over astronomene](#)

[Venuspassasjen 6. juni 1761](#)

[Venuspassasjen 3. juni 1769](#)

[Venuspassasjen 9. desember 1874](#)

[Venuspassasjen 6. desember 1882](#)

[Eros i opposisjon januar 1931 - parallaksemålinger](#)

[Radaren - den nye observasjonsmetoden \(1964\)](#)

### 3 Jordens størrelse (ikke pensum)

#### Lengden av en nautisk mil

Størrelsen på Jorden ble første gang bestemt av den greske astronomen **Eratosthenes**, allerede ca. 200 år før Kristus. Han målte Solens høyde over horisonten på to steder på årets lengste dag (sommersolverv). De to stedene var Syene og Alexandria i Egypt. Han fant at Solen stod ca. 7 grader lavere i Alexandria. Problemet på den tiden var å finne avstanden mellom Syene og

Alexandria. I dag vet vi at metoden var korrekt, men avstanden mellom de to stedene var ikke lett å bestemme presist nok.

Richard Norwood (1590 - 1675), en engelsk fisker, dro til sjøs for å lære navigasjon. Norwood satt seg grundig inn metoden til Eratosthenes og hadde som mål å finne Jordens radius med mindre usikkerhet. På årets lengste dag i 1635 fant han solhøyden i York. Han benyttet en stor sekstant med en radius på 1,5 meter. To år tidligere målte han solhøyden i London. Forskjellen i solhøyden på de to stedene var 2 grader og 28 minutter er lik forskjellen i stedenes breddegrad. Også for Norwood var det en stor utfordring å bestemme avstanden mellom to observasjonssteder. Etter mye arbeid fant han at York lå 171,5 miles ? (275,9 km) rett nord for London. Det vil si 111,85 km pr breddegrad eller 1864 meter pr. bueminutt.

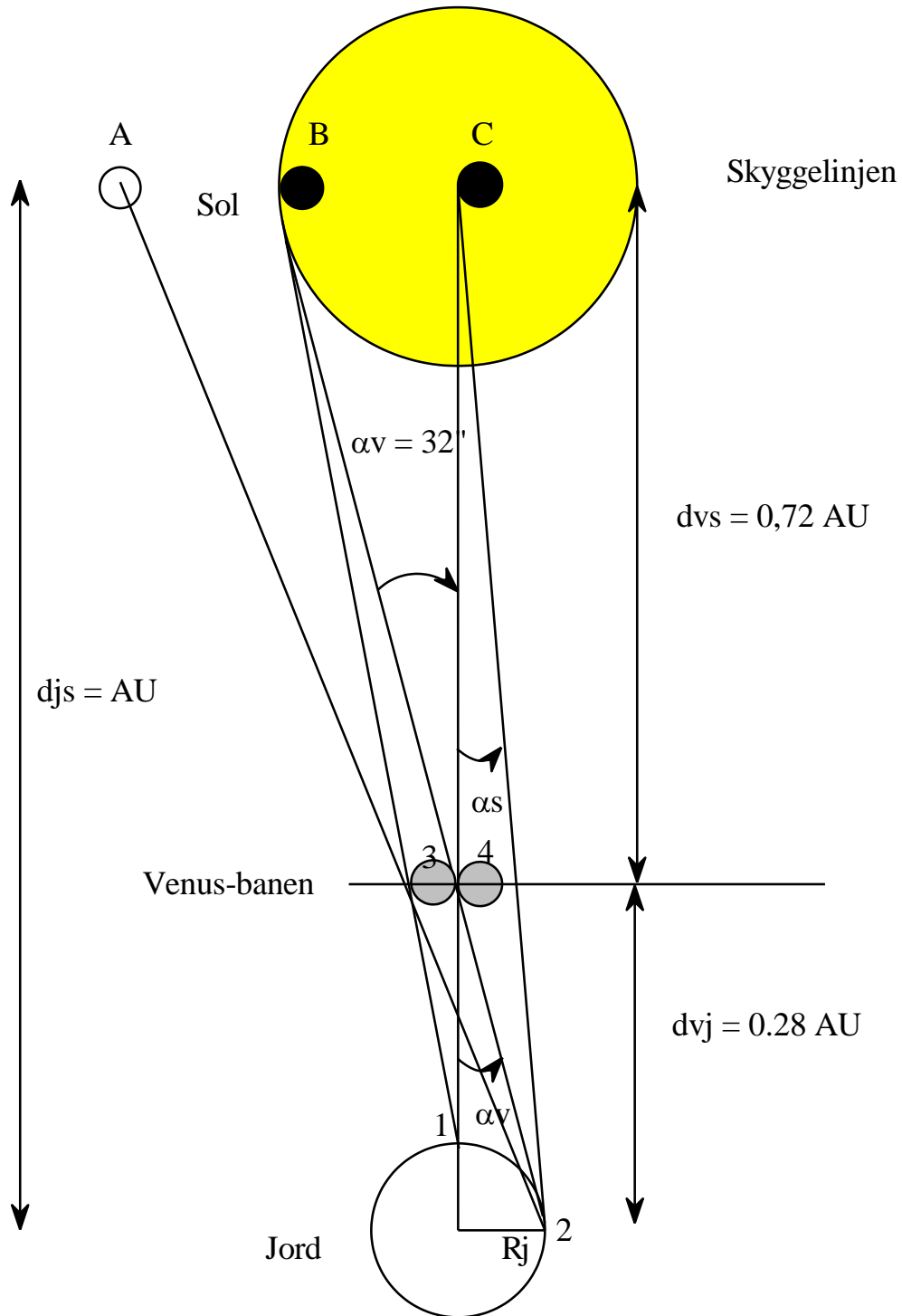
En nautisk mil er lengden av ett bueminutt på Jordens overflate, altså 1852 meter. Norwood hadde en feilprosent på 0,6 % i forhold til dagens verdi. Dette resultatet ble publisert i 1635 (The Seaman's Practice). Spørsmålet på den tiden var: Kan vi stole på resultatet til fiskeren? Norwood målte avstanden mellom York og London langs landeveien og korrigererte veien for svinger og høydeforskjeller. En annen usikkerhetsfaktor var Solens diameter, det var vanskelig å bestemme sentrum for Solen.

I 1669 fant franskmannen Jean Picard (1620-1682) at en nautisk mil var 1850m. Et flott resultat. Picard erstattet Solen med en stjerne i Cassiopeia (delta) og fant avstanden mellom de to observasjonsstedene ved hjelp av triangulering.

Den engelske kongen Charles II (1630-1685) ønsket å utfordre franskmennene. Han ville forbedre den franske nautiske milen. Men The Royal Society var ikke i stand til å ta utfordringen fra kongen. Ett år etter kongens død ble Halley utfordret, men han avsto til slutt fordi trianguleringen av England var en for stor oppgave som andre måtte ta seg av. Halley ville heller fortsette med "trianguleringen" av Venus.

### **Venuspassasjen gir Solens parallakse - Delisle metoden.**

Astronomene har i flere hundre år vært opptatt finne størrelsen på Solsystemet. En mulighet de hadde var å måle parallaksen for Venus når den passerte foran Solskiven. Astronomene hadde to tilgjengelige metoder. Metoden til engelskmannen Halley krever at hele passasjen observeres fra to steder på Jorden. Metoden til franskmannen Delisle krever tidspunktet for 2. kontakt **eller** 3. kontakt fra to steder på Jorden



Skissen viser prinsippet bak metoden til franskmannen Delisle. Venus parallaksen ( $\alpha_v$ ) og Sol parallaksen ( $\alpha_s$ ) er markert i tegningen. Vinkelhastigheten til Venus over solskiven er 4,0 buesekunder pr. minutt (relativt til Jordens sentrum), det vil si at Venus beveger seg 4,0'' pr minutt fortere på himmelen (mot vest) sammenliknet med Sola sett fra Jorda. Etter passasjen har Venus fått vestlig elongasjon, planeten er blitt en morgenstjerne.

Tegningen viser to observatører, den ene står i posisjon 1 og den andre i posisjon 2. Observatør 1 ser skyggen av Venus i posisjon B (2. kontakt). I dette øyeblikk vil Venus ikke være synlig fra posisjon 2 fordi planeten er i posisjon A på skyggelinjen. Skyggen vil ikke treffe Sola (siktelinjen fra 2 til A). Etter 8 minutter vil Venus flytte seg fra posisjon 3 til posisjon 4, i denne posisjonen vil observatør 2 se skyggen av Venus i posisjon B på solskiva (2. kontakt). Når Venus er i posisjon 4 vil observatør 1 se skyggebildet i posisjon C på solskiva. Vinkelavstanden BC er 32 buesekunder

$$\alpha_v = \frac{4 \text{ buesek}}{\text{min}} \cdot 8 \cdot \text{min} = 32 \text{ buesek}$$

**Oppgave:** Benytt SkyMap eller et annet stjerneprogram og undersøk hvor mye timevinkelen for Venus endrer seg i løpet av en time og sammenlikn denne endringen i Solens timevinkel i løpet av en time.

### Eksempel

Finn den astronomiske enheten (AU) når Jordens radius ( $R_j = 6378 \text{ km}$ ) og Venus parallaksen ( $\alpha_j = 32$  buesekunder) er gitt.

Keplers 3. lov gir oss avstanden fra Venus til Solen ( $d_{vs}$ ) når enheten er en astronomisk enhet (AU). Vi kopierer Keplers lov fra formelsamlingen:

Keplers 3. lov (Periodeloven): Kvadratet av planetens sideriske periode (P: enhet ett år) er proporsjonal med tredje potens av ellipsens halve storakse (a: enhet en AU).  $P^2 = a^3$

Venus har en periode som er 61 % av et år:  $P_v = 0.61 \cdot \text{yr}$   $P_v := 0.61$

Keplers lov  $P_v^2 = d_{vs}^3$   $d_{vs} = P_v^{\frac{2}{3}}$   $d_{vs} = 0.72$   $d_{vs} = 0.72 \text{ AU}$

Avstanden mellom Venus og Jorden er 72 % av en AU eller:

Avstanden mellom Venus og Jorden er:  $d_{vj} = \text{AU} - 0.72 \text{ AU}$   $d_{vj} = 0.28 \text{ AU}$

Venus parallaksen gir avstanden mellom Venus og Jorden, vi benytter formelen for de små vinkler (Se neste avsnitt):

$$R_j := 6378 \text{ km}$$

$$\alpha_v := 32$$

$$\alpha_{\text{bues}} = 206265 \frac{D}{d}$$

$$\alpha_v = 206265 \frac{R_j}{d_{vj}}$$

$$d_{vj} := \frac{206265 R_j}{\alpha_v}$$

$$d_{vj} = 4.1 \times 10^7 \text{ km}$$

Denne avstanden er 28 % av den astronomiske enheten, da kan vi finne den astronomiske enheten:

$$d_{vj} = 0.28 \cdot \text{AU} \qquad \text{AU} = \frac{d_{vj}}{0.28} \qquad \text{AU} = 146 \cdot 10^6 \cdot \text{km}$$

Solens parallakse:  $\alpha_s := 206265 \frac{R_J}{146 \cdot 10^6 \cdot \text{km}} \qquad \alpha_s = 9.011$

#### 4 Vinkelavstanden og formelen for de små vinkler (pensum)

Vinkelavstand er en viktig størrelse i astronomien.. Tycho Brahe konstruerte store sekstanter som målte **vinkelavstander** med en nøyaktighet på 1 minutter (eller 1 bueminutter).

##### Sekstant og navigasjon

Sekstanten er et instrument som måler vinkelavstanden mellom stjernen og horisonten med stor nøyaktighet når observasjonsforholdene er gode. Solhøyden ved middagstid bestemmer stedets breddegrad, lengdegraden er gitt av tidspunktet for meridianpassasjen. Er vinkelavstanden mellom to punkter på Jordens overflate ett bueminutt sett fra Jordens sentrum, vil avstanden mellom punktene være en nautisk mil (1852m).

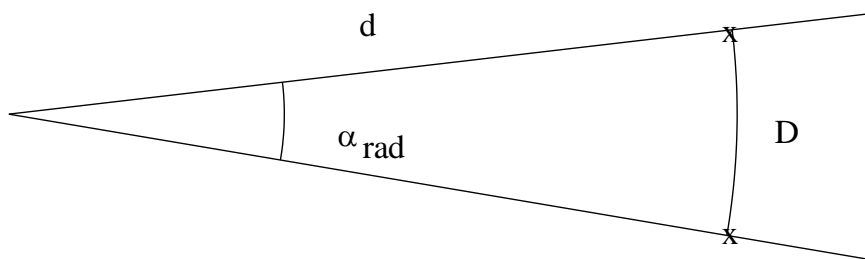
##### Vinkelavstander, noen eksempler

Vinkelavstanden mellom øst og vestsiden av Månen er 0,5 grader. Vi kan også benytte ordet vinkeldiameteren i denne sammenhengen. Månens vinkeldiameter er sett Jorden er 0,5 grader. Mellom de to bakerste stjernene i den store Karlsvogna (Big Dipper) er der plass til 10 fullmåner. Vinkelavstanden mellom disse stjernene er 5 grader. Jupiter har 4. mai 2005 en vinkeldiameter på 43" (buesekunder). Saturn har en vinkeldiameter på 18" denne dagen, denne vinkelen er så liten at Saturn sees som et lyspunkt uten teleskop.

##### Pekefinger regel

Hold armen strak og pekefingeren rett opp. Pekefingeren vil dekke ca. 1 grad av himmelkula. Håndflaten vil dekke ca. 10 grader

##### “Formelen for de små vinkler”



Tegningen viser en sirkelbue (D) som går gjennom to stjerner (x). Sirkelen har en radius (d). Vinkelen mellom de to vinkelbeina er  $\alpha_{\text{rad}}$ .

Definisjonsformelen når vinkelen har enheten radianer

$$\alpha_{\text{rad}} = \frac{\text{buen}}{\text{radien}} = \frac{D}{d}$$

I astronomien benytter vi vinkelenheten grader, minutter og sekunder. I formelen “**For de små vinkler**” har vinkelen  $\alpha$  enheten buesekunder ( $\alpha''$ ). I det følgende skal vi innføre vinkelenheten buesekunder i definisjonen over, resultat gir følgende formel

$$\alpha_{\text{bues}} = 206265 \frac{D}{d}$$

Vi endrer vinkelenheten fra radianer til buesekunder:

$$\frac{\alpha_{\text{grad}}}{\alpha_{\text{rad}}} = \frac{360}{2 \cdot \pi} \quad \alpha_{\text{grader}} = \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \alpha_{\text{rad}} \quad \alpha_{\text{bues}} = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{2 \cdot \pi} \cdot \alpha_{\text{rad}} \quad \alpha_{\text{bues}} = 206365 \alpha_{\text{rad}}$$

**Vi erstatter  $\alpha_{\text{rad}}$  med  $\frac{D}{d}$ , da får vi  $\alpha_{\text{bues}} = 206265 \cdot \frac{D}{d}$**

D: objektets lineære størrelse, objektet kan være en planet, interstellar tåke eller en galakse.

$\alpha_{\text{bues}}$ : objektets vinkeldiameter eller vinkelavstanden, enheten er buesekunder

d: avstanden til objektet

Når vi bruker formelen må D og d ha samme enhet.

### Eksempel:

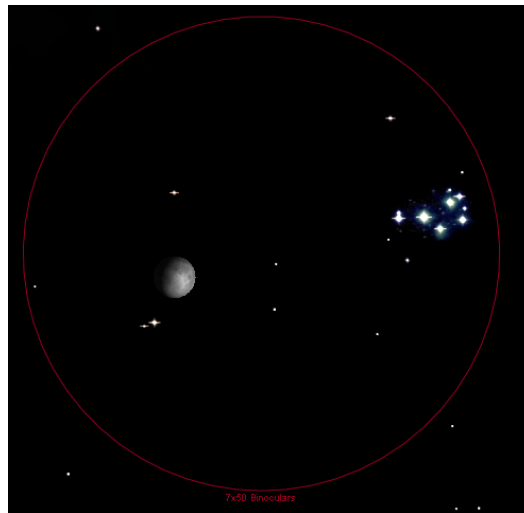
Benytt formelen “Formelen for de små vinkler” og finn Månens diameter. Avstanden til Månen og Månens vinkeldiameter er henholdsvis  $d = 384\,400$  km og  $\alpha = 0,5$  grader eller  $\alpha'' = 1800$  buesekunder.

Svar:

$$0.56060 = 206265 \frac{D}{384400 \text{ km}} \quad D = 3355 \text{ km}$$

Tabellverdien for Månens diameter er 3476 km, resultatet er tilfredsstillende når vi tenker på at vinkeldiameteren er kun gitt med ett siffer

## 5 Observasjon av Pleiadene



Bildet viser synsfeltet for en vanlig kikkert (7x 50) er 7 grader eller 122m i en avstand på 1000m.

Til orientering:

Pleiadene er en åpen stjernehop som holdes sammen av gravitasjonskreftene. Avstanden ut til stjernehopen er 380 lysår. Pleiadene ligger i stjernebildet Taurus og kan sees ved det blotte øyet. De blåe B stjernene i Pleiadene har forlatt hovedserien, de er lyssterke fordi helium brenner i kjerne og hydrogen brenner i skallet utenfor kjernen. Magnituden for de 5 sterkeste stjernene varierer fra 2.85 til 4.14. De 5 sterkeste stjernene har en snittavstand på 362 lysår og ligger innenfor en radius på 22 lysår. Pleiadene er også en refleksjonståke. Det vil si gass og støv som ligger mellom stjernene reflekterer lyset fra B-stjernene, denne spredningsprosessen har størst virkning på bølgelengder rundt 500nm (blått lys). Vi kommer tilbake til begrepene hovedserien og magnituden.

## 6 Standard formatet - Nyttig tallformat i astronomi

I dette kurset trenger vi et tallformat som på en enkel måte viser store og små tall. Standard formatet er et anvendelig tallformat som på en enkel måte kan beskrive små og store tall:

$$k \cdot 10^n$$

Faktoren (k) kan ha både positiv og negativ verdi og ligge mellom 1 og 10. Eksponenten (n) kan være alle hele tall, både positive og negative.

Avstanden til Solen er  $1.496 \cdot 10^{11}$  m, et stort tall. Diameteren på hydrogenatomet er  $5.3 \cdot 10^{-11}$  m, et lite tall.

## 7 Avstander i Universet

### Kilometer

Det er ikke vanlig i astronomien å benytte SI-enheten meter (m) for avstand, derimot benyttes avstandsenheten kilometer når diameteren månen og jorden skal formidles i gjennom tekst og tale. Avstanden mellom Jord og Sol har som regel **kilometer** som enhet i astronomisk litteratur, det samme har avstanden mellom Månen og Jorden

Månens diameter: 3 476 km

Jordens diameter: 12 756 km

Avstand Sol – Jord: 150 millioner km

Avstand Jord - Måne: 0,384 millioner km

Legg merke til at avstanden til Solen er omtrent 400 ganger større enn avstanden til Månen. Solens diameter er omtrent 400 ganger større enn Månens diameter.

På jorden er vi vant til å tilbakelegge store avstander med bil, på motorveier kan vi holde en gjennomsnittsfart på 120 km pr time over lang tid. Jordens omkrets er 40 000 km. Det vil ta ca. 330 timer eller 14 døgn å komme jorden rundt. Dette eksemplet gir oss en visualisering av avstanden 40 000 km fordi vi tar utgangspunkt erfaringer vi har tilegnet oss i hverdagen. Skal vi til Månen vil det ta ca. 3200 timer eller 130 døgn. Til Solen vil det ta 14 år.

### Den astronomiske enheten

På grunn av de enorme avstandene har astronomene funnet opp enheter som er tilpasset avstandene i Solsystemet, avstandene ut til stjernene/galaksene

Den astronomiske enheten (forkortet: AU) er lik den midlere avstanden mellom Jorden og Solen:

$$1 \cdot \text{AU} = 1.496 \cdot 10^8 \cdot \text{km}$$

Den midlere avstanden mellom Solen og Jupiter er 5,2 AU, fra Solen og ut til Mars er avstanden 1,5 AU.

### Lysår



Det er for eksempel 4,2 lysår (forkortet: ly) ut til nærmeste stjerne, denne stjernen har fått navnet Proxima Centauri (proximate: umiddelbar nærhet). Proxima Centauri befinner seg på den sydlige himmelkula, den er for lyssvak til å kunne sees med det blotte øye. Skal vi gi avstanden ut til nærmeste galakse benytter vi enheten en million lysår (Mly) Avstanden ut til Andromeda galaksen er for eksempel 2,5 Mly (2,5 millioner lysår)

Et lysår er strekningen lyset tilbakelegger i løpet av ett år (lyset fart i verdensrommet er konstant):

$$d = c \cdot t = 2.9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (365.25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \cdot \text{s} = 9.4607 \cdot 10^{15} \cdot \text{m} = 9.4607 \cdot 10^{12} \cdot \text{km}$$

Hvor mange astronomiske enheter er et lysår?

$$1\text{y} = \left( \frac{9.460710^{12} \cdot \text{km}}{1.49610^8 \cdot \text{km}} \right) \cdot \text{AU} = 63240\text{AU}$$

### Parsec (pc)

En **parsec** defineres som avstanden ( $d = \text{pc}$ ) til det punktet i universet som gir vinkelavstanden til den astronomiske enheten ( $D = \text{AU}$ ) på ett buesekund ( $\alpha = 1''$ ). "Formelen for de små vinkler" gir sammenhengen mellom en parsec (pc) og en astronomisk enhet (AU).

Hvor mange astronomiske enheter er en parsec?

$$\text{pc} = \frac{206265 \cdot D}{\alpha} = \frac{206265 \cdot \text{AU}}{1} = 206265 \cdot \text{AU}$$

Relasjonen mellom parsec og lysår:

$$\frac{\text{pc}}{\text{ly}} = \frac{206265 \cdot \text{AU}}{63240 \cdot \text{AU}} = 3.26$$

### Sammenhengen mellom stjerneavstanden (pc) og parallaksen (p)

I 1989 sendte den europeiske romfarts organisasjon ESA opp satellitten Hipparcos i bane rundt Jorden. Hipparcos er et ledd ord for "High Precision Parallac Collecting Satellite", ledd ordet ble valgt til minne om Hipparchus, en gresk astronom fra oldtiden som laget et av de første stjernekartene. I løpet av en treårsperiode observerte Hipparcos 118000 stjerner og målte stjernenes parallakse med en nøyaktig het på 0,002 buesekund. En parallakse på 0,002 buesekund tilsvarer en avstand på 500 pc (1/0.002). Den største avstanden Hipparcos teleskopet kan måle er 500 pc eller 1630 lysår.

I 2013 vil ESA sende opp romskip ESA, romskipet vil måle parallaksen for en milliard stjerner med en nøyaktighet på 0,00005 buesekund (0,002/40). En parallakse på 50 mikrosekund tilsvarer en avstand på 20kpc. NASA planlegger et nytt romskip, romskipets teleskop skal måle parallaksevinkelen med en nøyaktighet på 0,000004", tilsvarer en avstand på 250kpc.

Astronomene benytter ofte enheten kpc når avstander i vår galakse skal oppgis. Avstanden fra Jorden og til sentrum av vår galakse er 8 kpc. Avstanden til galaksen M65 er 10Mpc eller 33Mly, hvordan astronomene kan bestemme avstanden ut til galaksene skal vi komme tilbake til.

Parallaksen for Proxima Centauri er 0,78". Finn avstanden til stjernen?

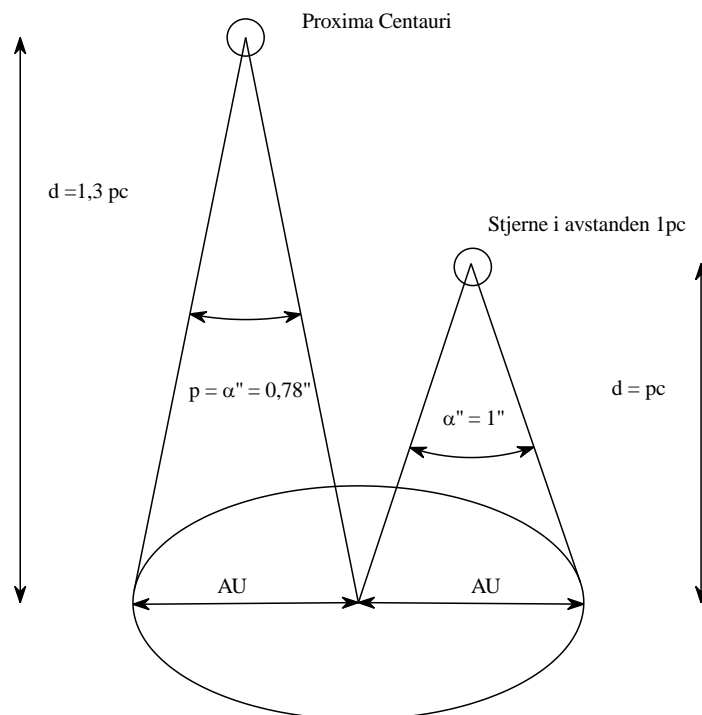
“Formelen for de små vinkler” bestemmer parallaksen for Proxima Centauri når avstanden er til stjernen er kjent. Sett fra Jorden vil Proxima Centauri i løpet av ett år følge en ellipsebane. Vinkelavstanden mellom de to ytterpunktene i banen er 1,56”. Stjernens parallakse er 0,78

$$\alpha = 206265 \cdot \frac{D}{d} \quad 0.78 = \frac{206265 \cdot \text{AU}}{d} \quad 0.78 = \frac{\text{pc}}{d} \quad d = \frac{\text{pc}}{0.78} \quad d = 1.3 \cdot \text{pc}$$

Sammenhengen mellom parallaksen (p) og avstanden (d) er gitt av uttrykket:

$$d = \frac{1}{p} \cdot \text{pc}$$

Formelen forutsetter at parallaksen p har enheten buesekund



Figuren viser en stjerne i avstanden en parsec og en stjerne i avstanden 1,3 parsec. Trekanten til høyre definerer avstadsenheten en parsec. De to trekantene har samme grunnlinje, derfor kan vi skrive:

$$AU = p \cdot d = 1 \cdot pc \quad \text{eller} \quad d = \frac{1}{p} \cdot pc$$

De to geometriske figurene gir sammenhengen mellom parallaksen og avstanden.

Alle stjernene på himmelen har mindre parallaksen enn 0,78", under gode forhold kunne Tycho Brahe måle en parallakse på 30". Tycho Brahe forsøkte å måle posisjonen av samme stjerne i løpet av et år, han fant ingen parallakse. Det hybride verdensbilde han konstruerte baserte seg på legemer som beveget seg mellom stjernene (planeter og kometer), men han tvilte på om sin modell var riktig.

## 8 Oppgaver , Oppgave 13 er innsendingsoppgave

1. Benytt tier potensnutasjon på kalkulatoren og skriv inn tallet  $9,4607 \exp(12)$ .
2. Kjør animasjonen: ["Astronomical Distances – The Light-Year"](#)
3. [Romskipet Voyager 2 passerte Neptun i 1989](#). Romskipet tok bilder av Neptun og sendte dem til Jorden. Finn avstanden til romskipet når det tok de elektromagnetiske signalene 4 timer å nå Jorden. Lyshastighetene er 300 000 km/s. Gi svaret i km og benytt tier potensnutasjonen i svaret. ( $4,3 \exp 9$  km)
4. Stjernen Procyon ligger 11,4ly fra Jorden. Finn avstanden til Procyon når du endrer enheten fra lysår til kilometer. Benytt tier potensnutasjonen i svaret ( $1,08 \exp 14$  km)
5. Sett kameraet på et stativ og ta bilde av jordrotasjonen.
6. Stjernen Procyon ligger 3,50 pc fra Jorden.
  - a) Finn avstanden til Procyon når du endrer enheten fra parsec til kilometer. Benytt tier potensnutasjonen i svaret.
  - b) Hvor lang tid tar det lyset å komme fra Procyon til Jorden?
7. Finn diameteren på det minste krateret du kan observere på Månen dersom teleskopet har en oppløsningsevne på 2 buesekunder.
8. 11. januar 2003 var avstanden til Venus til Jorden 0,719 AU. Venus har en diameter på 12104km. Finn planetens vinkeldiameter når enheten er bueminutter.
9. Finn fram den nødvendige informasjon og bestem vinkeldiameteren for Orion tåka. Bruk grader som enhet. Hvor stor er vinkeldiameteren for Orion tåka sammenliknet med Månens vinkeldiameter.
10. Avstanden ut til universets ytre grense er 13,7 milliarder lysår. Finn størrelsen på det observerte univers, benytt enheten meter
11. Jupiter har 4. mai 2005 en vinkeldiameter på 43" (buesekunder). Saturn har en vinkeldiameter på 18" denne dagen. Benytt formelen for de små vinkler og kontroller de to vinkeldiameterne.
12. Hvor stor er de [dekadiske prefiksene](#): kilo, mega, giga, tera.
13. I 1838 fant den tyske matematikeren og astronomen Fredrich Wilhelm Bessel (1784-1846) parallaksen for 61 Cygni, den ble målt til 0,316". Finn avstanden til 61 Cygni, benytt enheten lysår og parsec.

Vi anbefaler læreboken [Universe, 9e](#) (link til <http://bcs.whfreeman.com/universe9e/>) med tilhørende DVD: “Starry Night Enthusiast version 6.3”. Undervisningsmaterieell fra stjerneprogrammene: “SkyMap 11” og “Starry Night Astrophoto”.

En oppdatering av leksjonene i dette kurset finner du på nettstedet <http://verdensrommet.org> , leksjonene vil også bli lagt ut på Fronter (UiA).