



AVSTANDER/LENGDE

– EN ASTRONOMISK FREMSTILLING

BERGEN ASTRONOMISKE FORENING

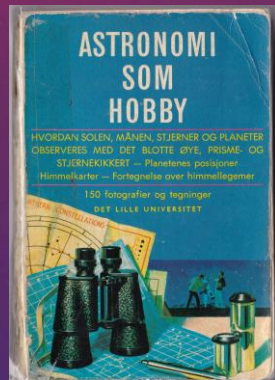
28.11.2023

ROAR INGE HANSEN

HVA ER «AVSTANDER»?

Mitt foredrag om avstander vil se nærmere på:

1. Hvor vanskelig det er å estimere avstander.
2. Ulike måter å måle/anslå lengde.
3. Instrumenter til å måle lengde.
4. Matematiske/fysiske metoder til å måle lengde.
5. Usikkerheten i målingene.



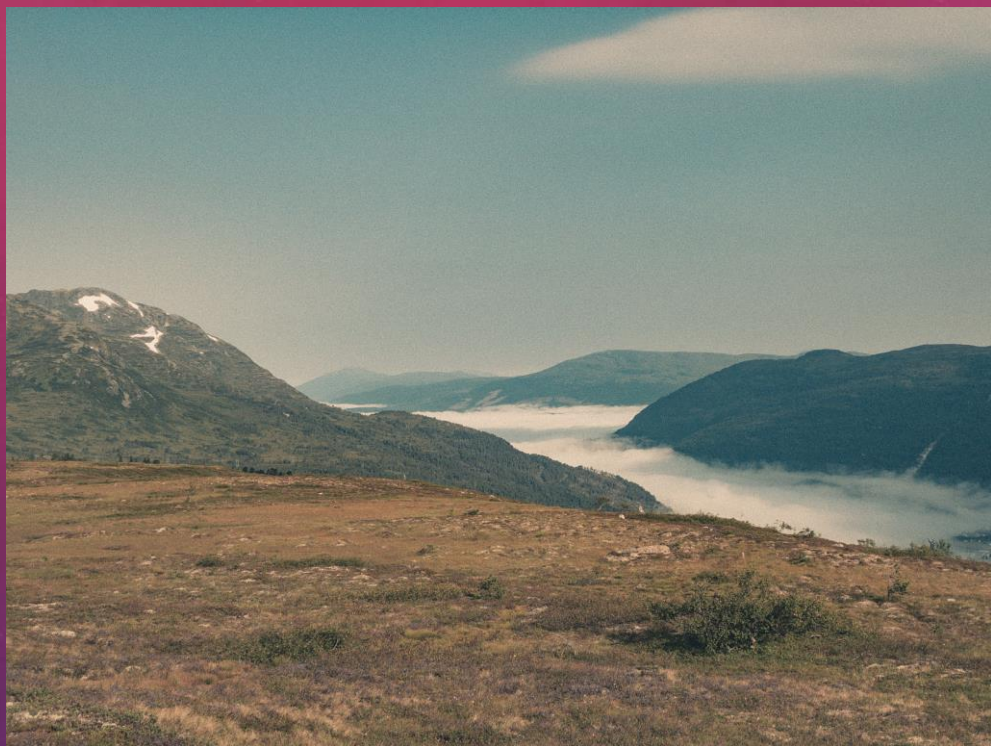
1965: 1,5 millioner lysår

2023: 2,5 millioner lysår

«I et flatt land tror en tue at den er et fjell. På avstand ser fjellene grønne ut. Fjelltoppen er nær, men veien til den er lang.»



HVORDAN BEDØMME OM ET OBJEKT ER LANGT UNNA - ELLER NÆR ?

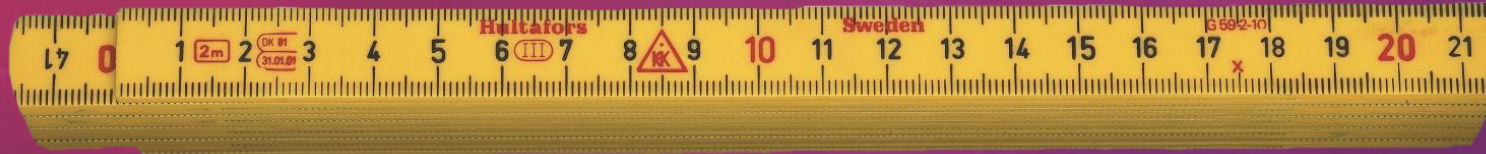


Nære objekter blir klare og tydelige, mens fjerntliggende objekter blir mer diffuse.



Når vi beveger oss ser vi at vi suser forbi de nære objektene. De langt borte flytter seg saktere og Månen forblir i ro i forhold til himmelretningene.

HVORDAN BEDØMME OM ET OBJEKT ER LANGT UNNA - ELLER NÆR ?



Meter

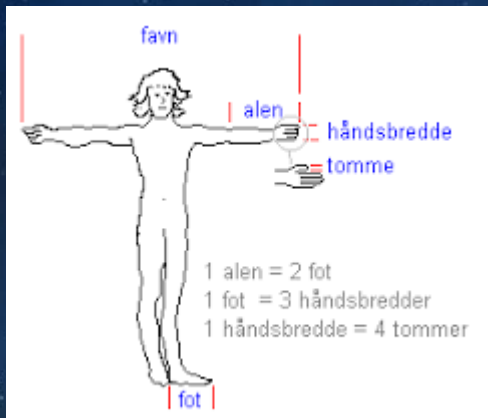
Meter kommer av fransk *mètre*, som igjen kommer av gresk *métron*, «mål».

1791: 1 meter = $\frac{1}{10\,000\,000}$ av meridianavstanden mellom ekvator og Nordpolen

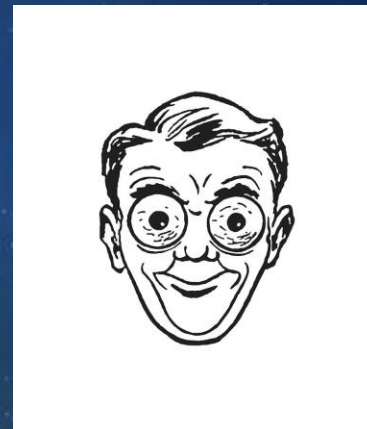
Meter er SI-enhet for lengde, men først innført i Norge i 1875.

1983: Strekingen lys forplanter seg i vakuum i løpet av nøyaktig $1/299\,792\,458$ sekund.

Gamle måleenheter for avstand

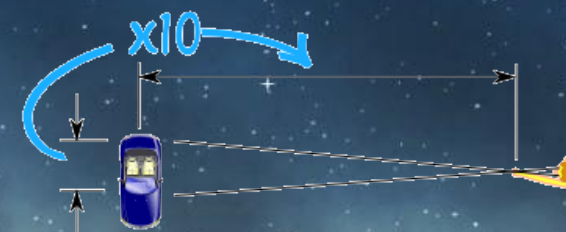


Tommelregel for å anslå avstander mindre enn 10 km



Ved å åpne og lukke høyre/venstre øye vil objektet flytte på seg.

Norske navn	Latinske navn	Romerske fot	Metersystemet
skruppel	scrupulus	1/12'''	0,171 mm
linje	linum	1/12"	2,06 mm
fingerbredd	digitus	1/16'	1,85 cm
tomme	uncia	1/12'	2,47 cm
palm	palmus	1/4'	7,4 cm
fot	pes	1	29,6 cm
alen	cubitus	1,5	44,4 cm
skritt	gradus	2,5	74 cm
pass	passus	5	1,48 m
stang	pertica	10	2,96 m
akt	actus	120	35,5 m
stadion	stadium	625	185 m
romersk mil	milliarium	5 000	1,48 km
legion	leuga	7 500	2,22 km



Forholdet mellom øyeavstand og armelengde er tilnærmet lik 1/10: 6 cm og 60 cm

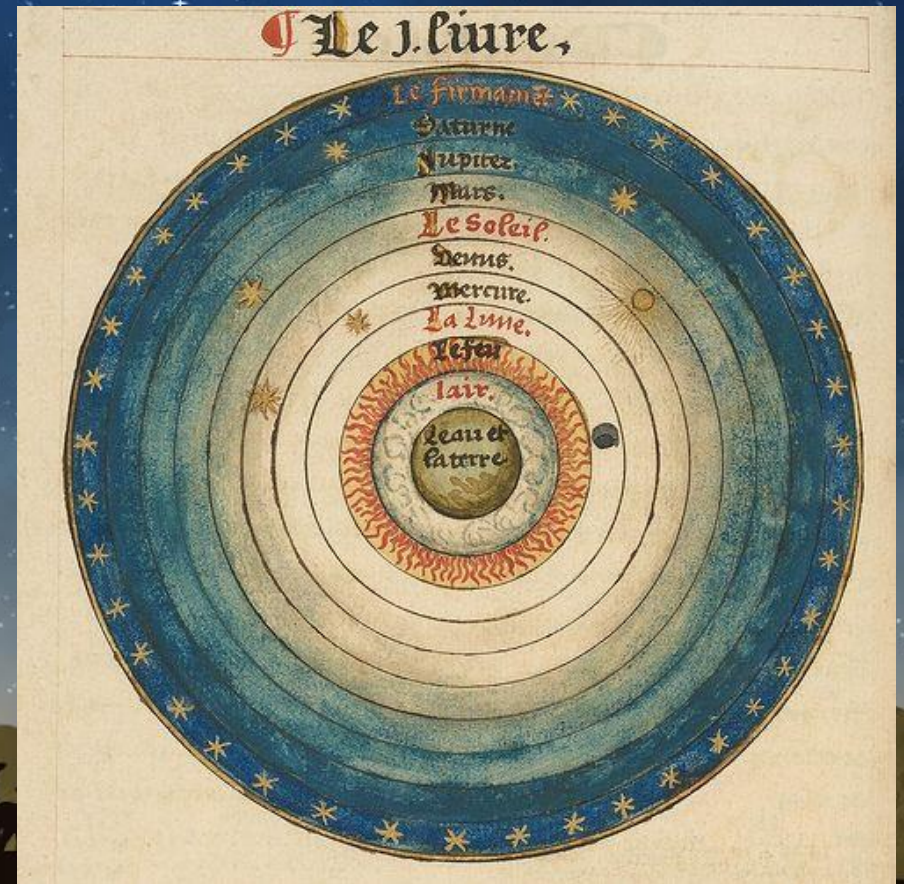
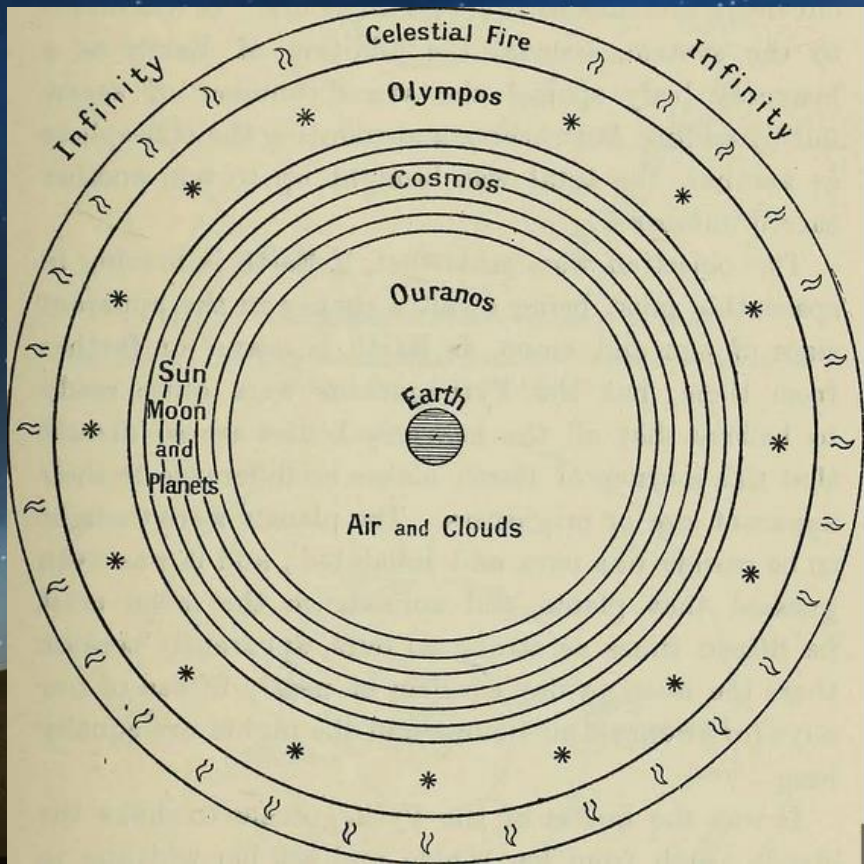
Avstanden = 10 ganger forflytningen.

Dagslengde: 150-200 stadion = 28-37 km



Oldtidens verdensbilde

I oldtiden trodde man at jorden var universets sentrum, og flat. Sola, planetene og stjernene sirklet rundt jorda, der stjernene var festet til himmelhvelvingen – derav fiksstjerner.



Flat Jord – Kuleformet Jord

- Pythagoras på 500 tallet f.Kr. var den første som trodde at jorda kunne være rund.
- Aristoteles trodde den var flat, men godtok jordens kuleform rundt 330 f.Kr.
- Det tok likevel lang tid før en kuleformet jord fikk skikkelig rotfeste,
- først med hellenismen på 1500-1600 tallet e.Kr.



HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA



Aristarchus fra Samos (310-230 f.Kr)

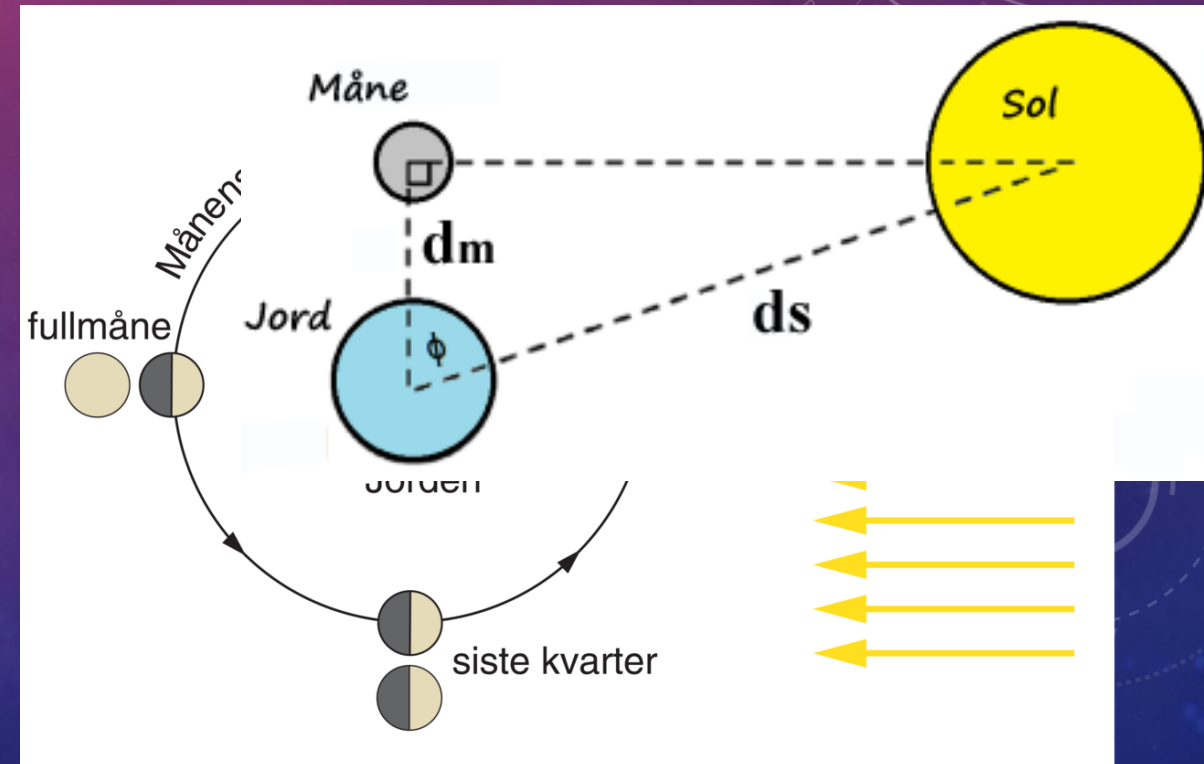
- antok at Jorda var rund, slik som Månen og Sola.

$$\cos \phi = \frac{dm}{ds}$$

Aristarchus fekk vinkelen 87 grader. Dette tilsvarer at Sola er 19 ganger lenger borte enn Månen.

Hadde han fått 89,53 grader, hadde regnestykket vært korrekt.

1. Månefaser - Halvmåne



HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA

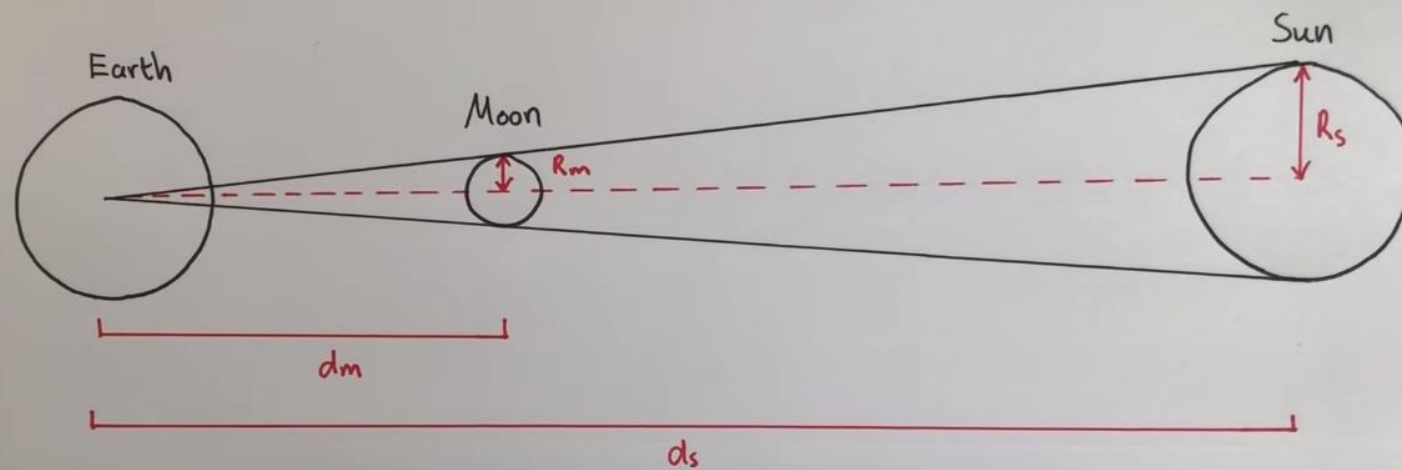
Aristarchus fra Samos (310-230 f.Kr)



2. Solformørkelser

Ved en solformørkelse ser en at vinkeldiameterer til Månen og Sola er tilnærmet det samme.

Part 2: Observation of a total solar eclipse



$$\frac{ds}{dm} = \frac{R_s}{R_m} = \boxed{\frac{D_s}{D_m} = 390}$$

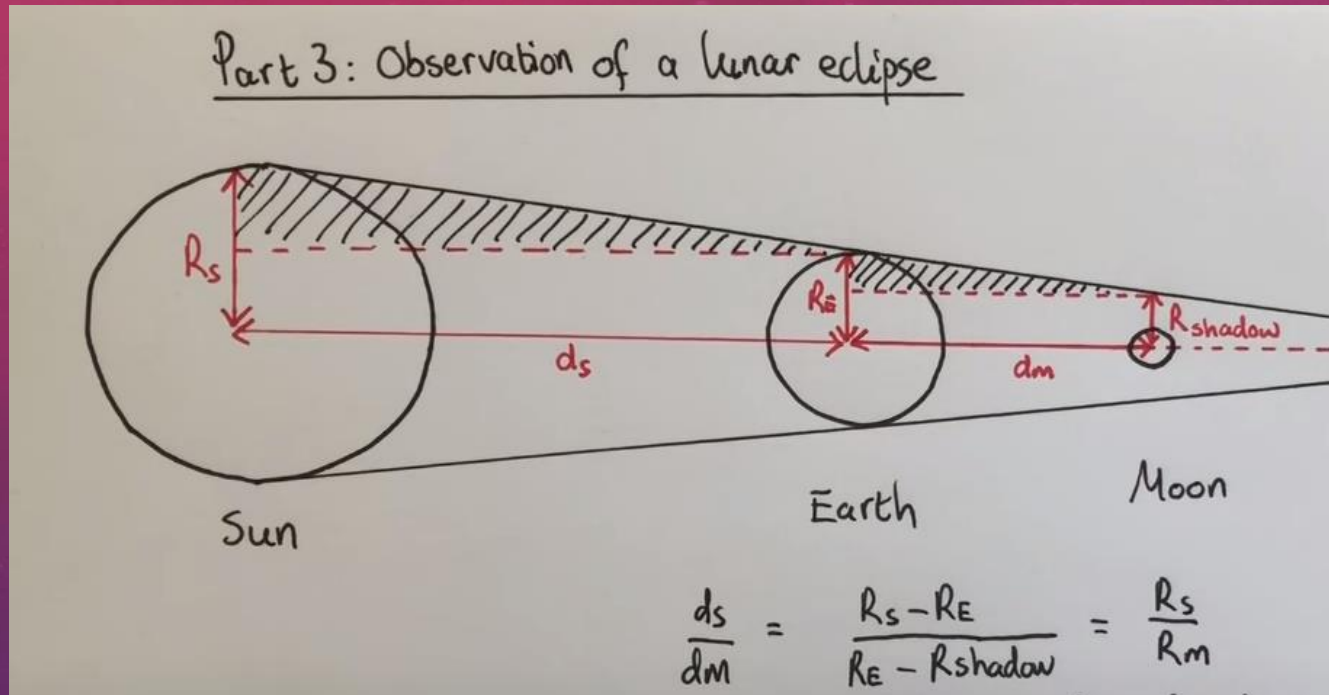
Forholdet mellom avstandene ds/dm er da det samme som forholdet mellom radiusene $R_s/R_m = 390$

-utifra $\phi = 89.53$ grader

HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA

3. Måneformørkelse

Aristarchus fra Samos (310-230 f.Kr)



Tar vi hensyn til at Sola er mye større enn Jorda, kan vi av regnestykket finne at:

Jorda sin radius er 3,6 ganger Månen's
Sola sin radius er 109 ganger Jorda's

Utifra krumningen på bildet er jordskyggen 2,0 ganger diameteren til Månen

Det korrekte er 2,6 ganger.



HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA

4. Fullmånen

Aristarchus fra Samos (310-230 f.Kr)

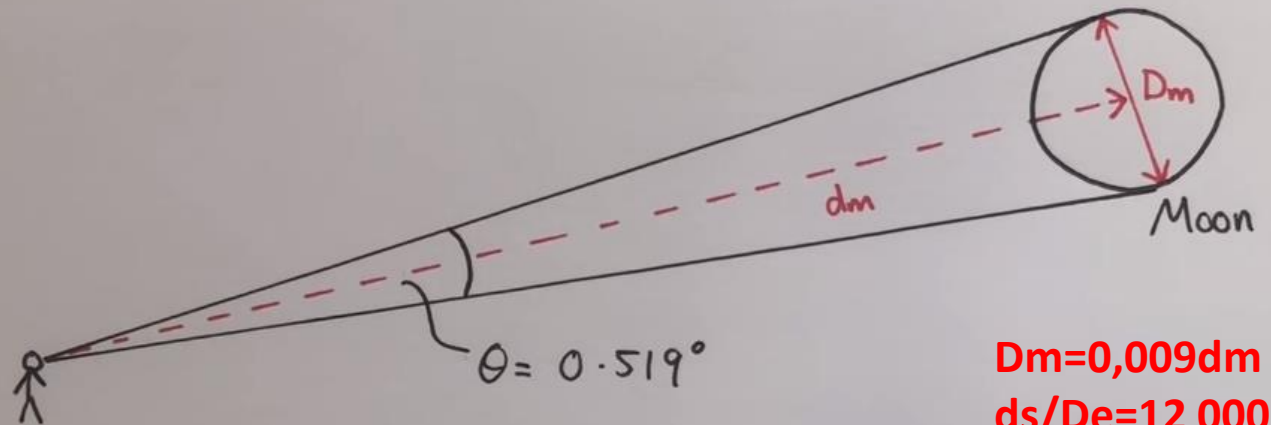
Månen

5. juni 2023 02:39

Deklinasjon: $-28^{\circ} 27'$



Part 4: Observation of a full moon



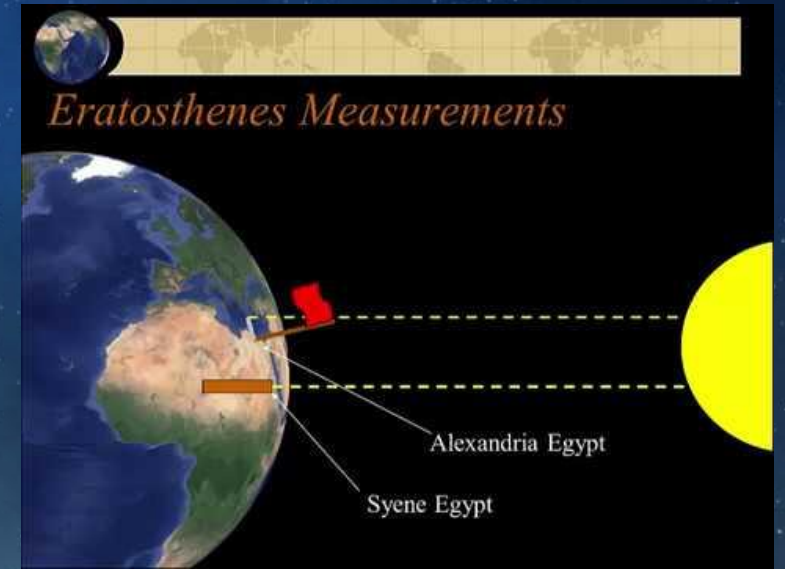
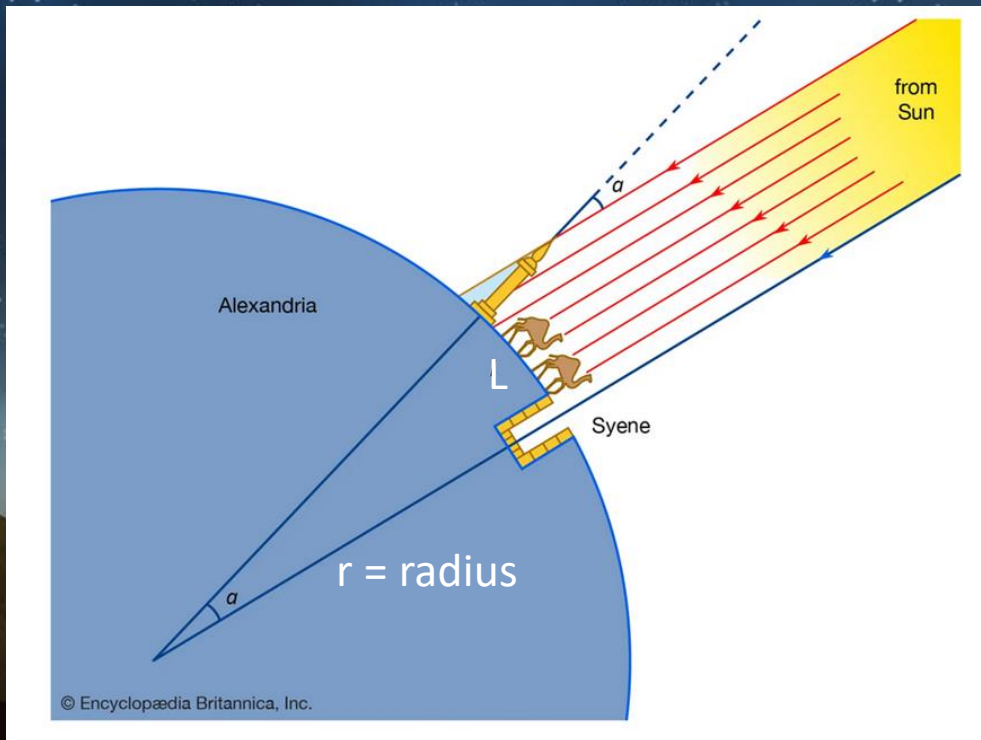
$$\frac{0.519}{360} = \frac{D_m}{2\pi d_m}$$

$D_m = 0,009 d_m$
 $d_s / D_e = 12\,000$
 $D_m / D_e = 30,9$

HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA

5. Solhøyden/solskyggen ved sommersolverv

Eratosthenes (240 f. Kr.) var den første som målte Jordens omkrins. Han så på skyggevinkelen til Sola ved sommersolverv i byene Syene (Aswan i Egypt, der sola står i senit) og Alexandria (lengst nord i Egypt). Forskjellen var 7,2 grader som gir en omkrins av Jorda på 40 000 km



Avstanden Syene til Alexandria $L = 800$ km
Omkrinsen til Jorda: $X = 2 \pi r = 360$ grader

$$\frac{7,2}{800} = \frac{360}{x} \quad \Rightarrow \quad X = 40\,000 \text{ km}$$

... eller $360/7,2 = 50$ ganger avstanden Syene til Alexandria

HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA

Step 6 : Putting it all together

Jorda – diameter

$$D_E \approx 12,730 \text{ km}$$

Sol – Jord avstand

$$d_s \approx 12,000 D_E \approx 12,000 \times 12,730 \approx 150 \text{ million km}$$

Månen - diameter

$$d_m \approx 30.9 D_E \approx 390,000 \text{ km}$$

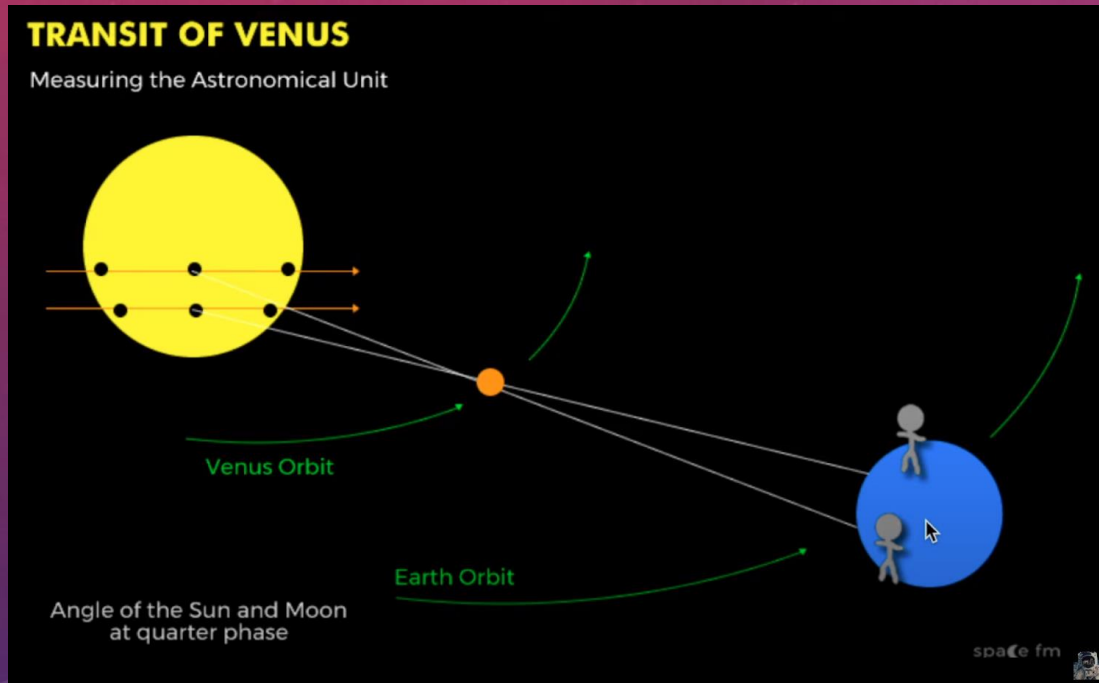
Likevel var usikkerheten i slike beregninger stor, og så sent som på 1700-tallet var avstanden til Sola fremdeles temmelig usikker.

HVORDAN BESTEMME AVSTANDEN TIL MÅNEN OG SOLA

6. Venus/Merkur passasjer over solskiva

Keplers 3. lov (1615):

«Forholdet mellom kvadratet av omløpstiden (T^2) og middelavstanden i tredje potens (a^3) - er lik for alle planeter»



Ved å observere slike passasjer fra ulike steder/tidspkt på Jorda, er det mulig fra «parallakse metoden» å finne nokså nøyaktig avstand mellom Jorda og Sola. Det man trenger å vite er tidslengden av passasjen.

I 1769 ble Venus-passasjen observert fra en rekke steder, blant annet Vardø og Tahiti. Avstanden fra Sola ble beregnet til å være **153 millioner** kilometer. Feilen er bare 2 % fra den vi kjenner i dag ut i fra **radarmålinger**.

1 astronomisk enhet /astronomical unit (AU)

= avstanden Sola - Jorda = 149.6 millioner km.



HVORDAN BEDØMME OM ET OBJEKT ER LANGT UNNA - ELLER NÆR ?

Påstand: Nære objekter er lyssterke, mens objektene blir mer og mer lyssvake desto lenger avstand.

1. Planetene:

- - Lysstyrken (sett fra jorda) - er bestemt av vinkeldiameteren, fasen, refleksjonsevnen (albedoen) og avstanden fra sola. -refleksjonsevnen er proporsjonal med kvadratet av avstanden til sola. Øker avstanden til det doble, reduseres lysstyrken til $\frac{1}{4}$.

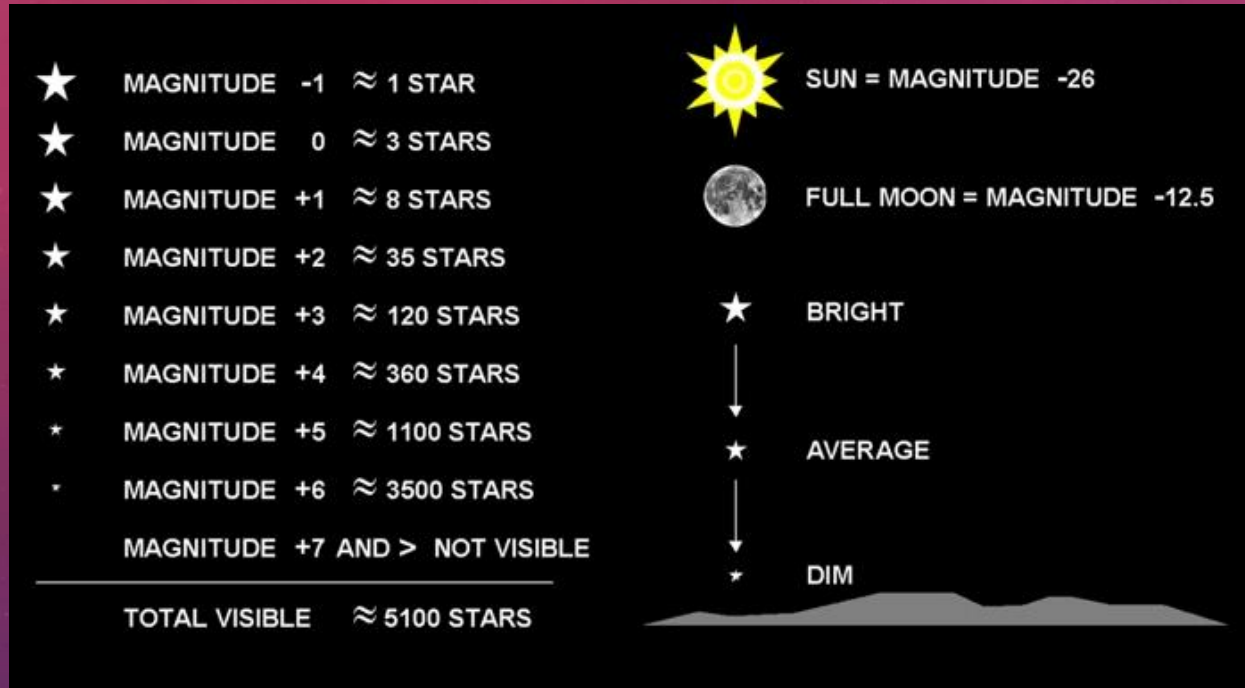
2. Stjerner:

- Lysstyrken (sett fra jorda) - er bestemt av lysstyrken (overflate og intensitet) til stjerna og avstanden stjerna til jorda.
- Lysstyrken til stjerna er proporsjonal med kvadratet av avstanden. Dobbel avstand (jord-stjerne) gir redusert lysstyrke til $\frac{1}{4}$.
- Visuell Magnitude = lysstyrke sett fra jorda
- Absolutt Magnitude = lysstyrke sett fra en fast avstand 10 parsec (32 lysår).

Ettersom den **absolutte lysstyrken** til stjerner varierer svært mye, avhengig av intensiteten til lyset og store/små stjerner, er det ikke en universell regel at de lyssterkeste stjernene er nærmest jorda og de lyssvakeste fjernest.

VISUELL- OG ABSOLUTT LYSSTYRKE

Visuell magnitude

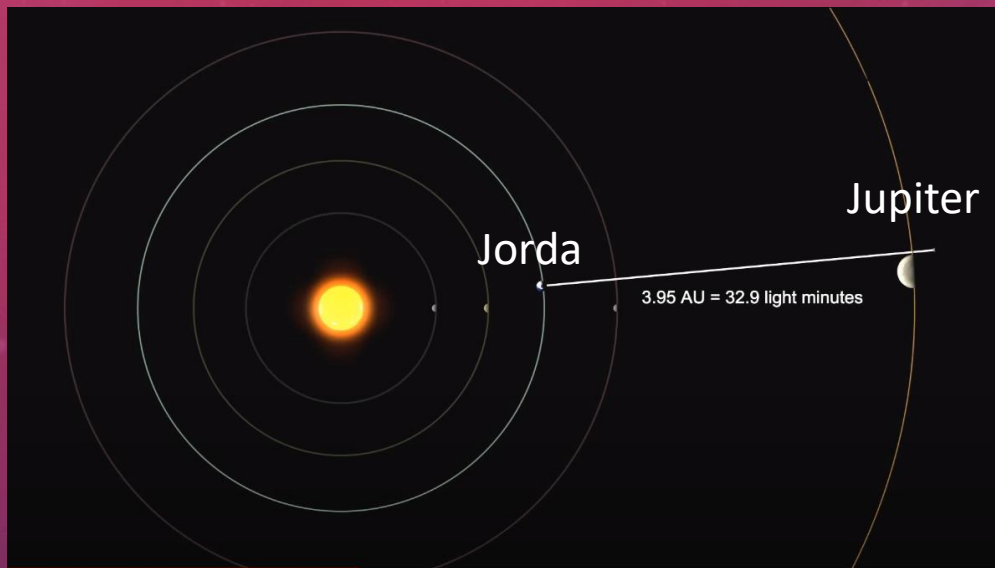


- Visuell Magnitude (V-Mag) = lysstyrke sett fra jorda
- Absolutt Magnitude (A-Mag) = lysstyrke sett fra en fast avstand 10 parsec (32 lysår).



<u>Stjerne</u>	<u>V-Mag</u>	<u>Avstand</u>	<u>A-Mag</u>
Sirius	-1,5	9 lysår	+1,4
Betelgeuse	+0,4	600	-6,0
Rigel	+0,1	800	-7,8

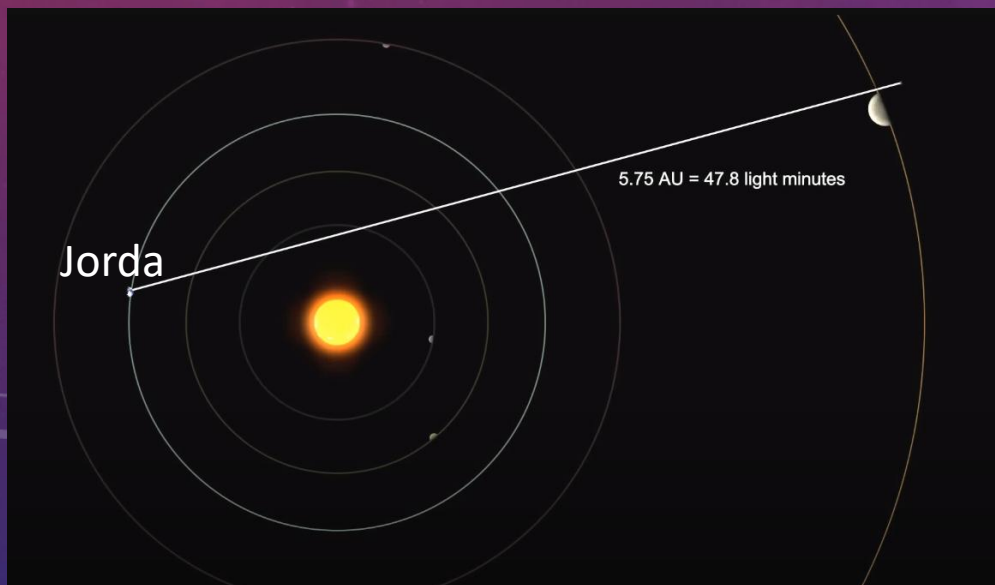
LYSHASTIGHETEN «C»



1676: Danske astronomen Ole Rømer beviste at lyshastigheten er endelig. Observerte omløpstiden til månen Io rundt Jupiter – basert på okkultasjoner. Omløpstiden var kortere når Jorda nærmet seg Jupiter enn når den fjernet seg. Lyshastigheten blir beregnet til ca. 220 000 km/s

1958: Laser med svært korte bølgelengder $c = 299\,792.50$ km/s

Dermed har vi en ny universell enhet: **Lyshastigheten = c**

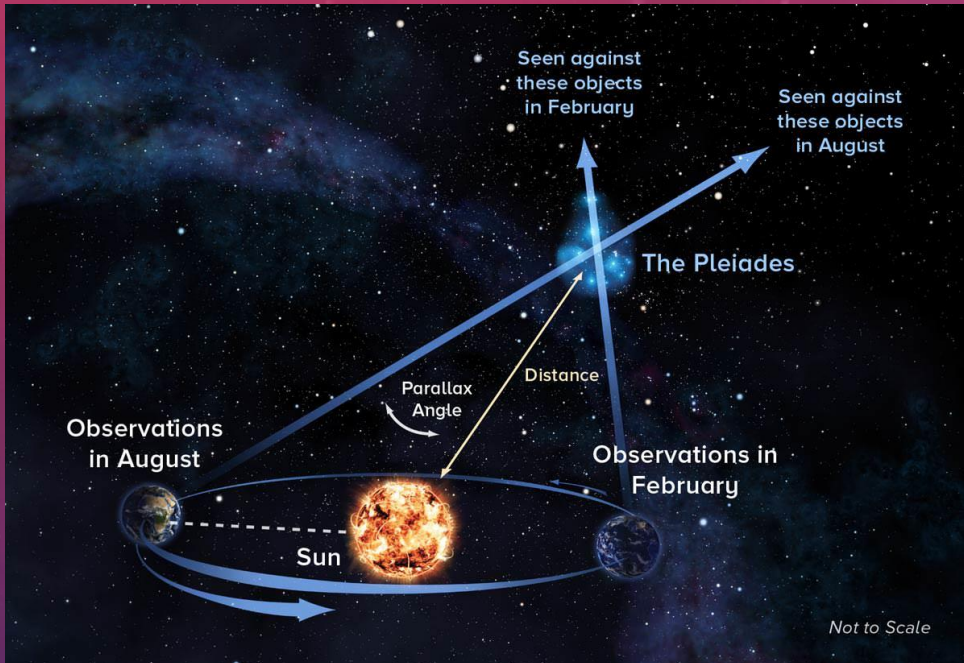


1 lysår = $300\,000\,000\text{ m} * 60 * 60 * 24 * 365,24$
= $9\,460\,730\,472\,580\,800\text{ m}$ (15. potens)
= 9,46 milliard meter

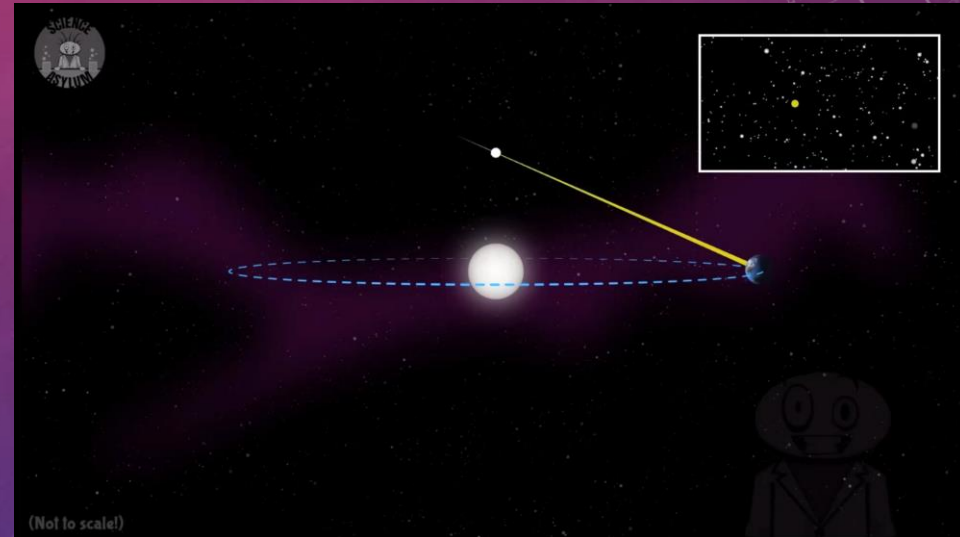
Med så store tall, både i meter og kilometer, er det mest hensiktsmessig å måle avstander til stjerner **i lysår**.

HVORDAN BESTEMME AVSTANDER TIL STJERNER

1. Parallakse metoden = jordens bane rundt sola



1 buesekund forflytning = 1 parsec = 3,26 lysår

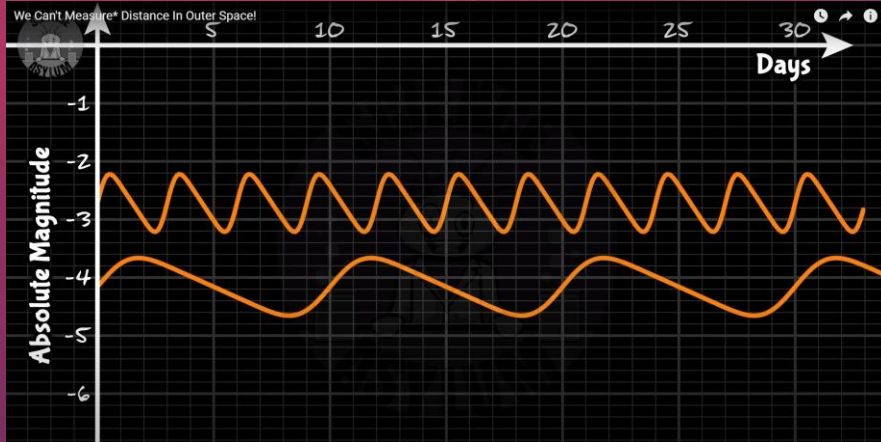


I 1838 ble stjerna 61 Cygni den første som fikk målt avstanden med denne teknikken – avstand 11,4 lysår. Med jordbaserte teleskoper kun målinger av avstander nærmere enn 200-300 lysår.

Med store romteleskoper og nye teknikker kan posisjonen til stjerner bestemmes mye mer nøyaktig. «Gaia» teleskopet kan beregne avstanden til stjerner helt ut til 30 000 lysår.

HVORDAN BESTEMME AVSTANDER TIL STJERNER

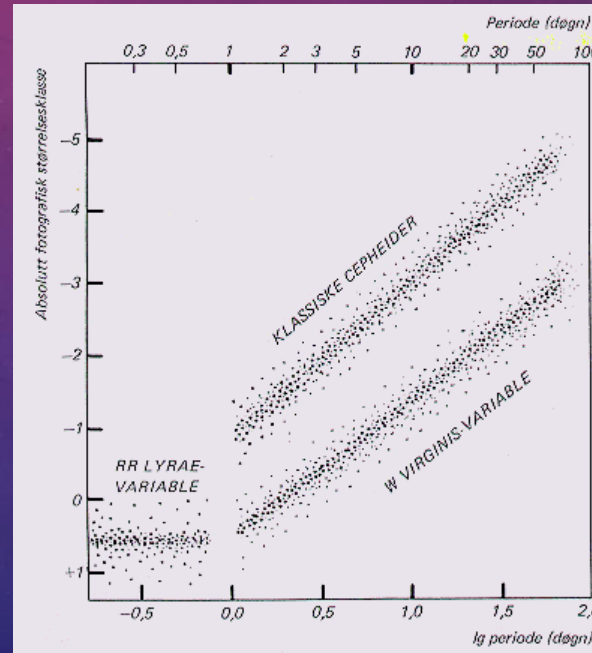
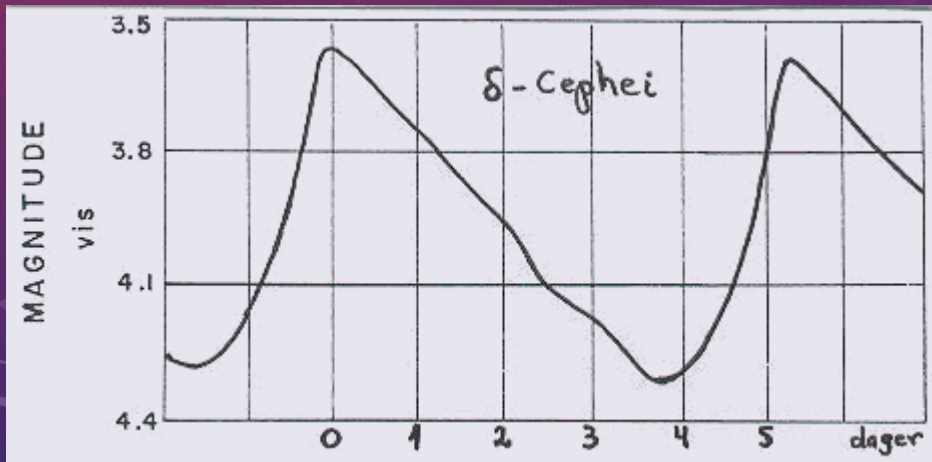
2. Variable stjerner – «Cepheider»



Stjerner som pulserer i størrelse og lysstyrke.

Perioden i dager mellom maksimum og neste maksimum, er direkte relatert til lysstyrken til stjerna – altså den «absolutte lysstyrken».

Måler vi perioden og den visuelle lysstyrken til stjerna, kan vi dermed finne avstanden.



Cepheider finnes i vår egen galakse nær nok til at avstanden kan måles med parallaksemetoden.

De fins også i fjerntliggende galakser. Med stadig større teleskoper kan vi nå se Cepheider i slike galakser - opp til 100 millioner lysår borte.

HVORDAN BESTEMME AVSTANDER TIL STJERNER

3. Super Novaer – type 1a



HVORDAN BESTEMME AVSTANDER TIL STJERNER

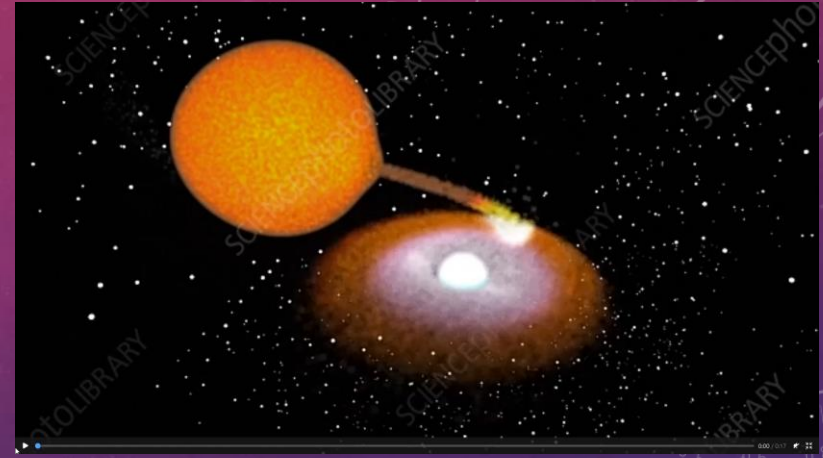


3. Super Novaer – type 1a

En type Ia-supernova oppstår når en hvit dverg drar til seg materie fra en nærliggende nabostjerne som har est opp til en rød kjempe. Når den hvite dvergens masse har vokst til grenseverdien 1,4 solmasser eksploderer den.

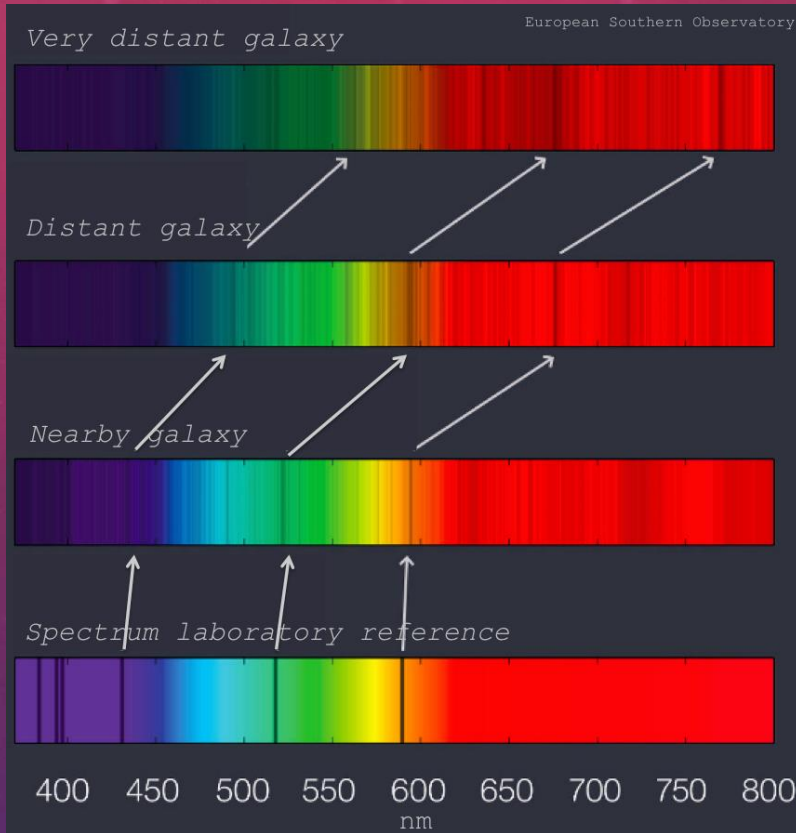
Lysstyrken blir da enorm, og alltid den samme, absolutte lysstyrke \sim minus 19,3 mag. Ettersom en kan måle den visuelle lysstyrken ved maksimum, og en kjenner den absolutte lysstyrken på -19,3 mag, kan avstanden regnes ut.

Med denne metoden kan en observere Super Novaer i avstand opp til 3 milliarder lysår.



HVORDAN BESTEMME AVSTANDER TIL STJERNER

4. Rødforskyvning



$$d = V / H_0$$

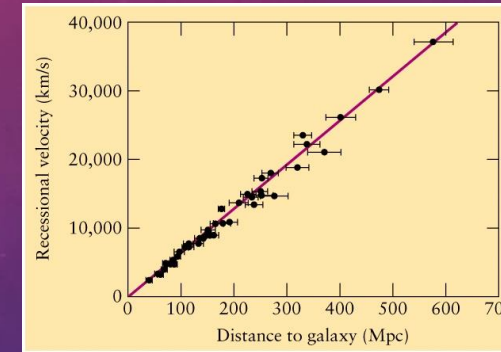
Setter vi enn $V=c$, får vi 4300 Mpc= 14 milliarder lysår
- altså objekter som er 14 milliarder lysår borte fjerner seg med lysets hastighet

Edmund Halley – 1923:

Absorpsjonslinjene i stjernespekteret blir forskjøvet mot den røde delen av spekteret – når objektet flytter seg bort fra oss.

$$V = H_0 * d$$

V = fart bort fra oss
 H_0 = Hubble konstant
 d = avstand i Mpc

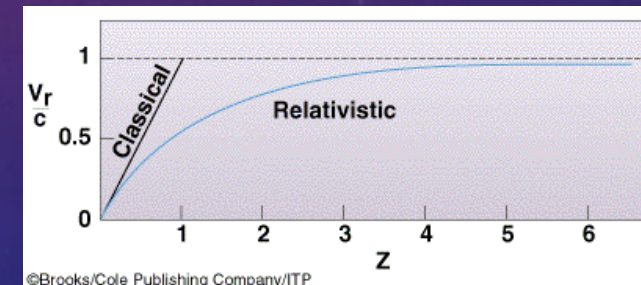


Hubble konstant:
 $H_0 = 70 \text{ km/s/Mpc}$

Fjerntliggende galakser flytter seg raskere bort fra oss enn nærmere galakser

$$V = c * Z$$

C = lyshastighet
 Z = rødforskyvning



HVORDAN BESTEMME AVSTANDER I UNIVERSET



Rødforskyvning

Super Novaer – type 1a

Variable stjerner – «Cepheider»

Parallakse metoden – jordbanen rundt sola

Fysiske lover – Keplers 3. lov

Trigonometri av jord-måne-sol