TAF

TRONDHEIM ASTRONOMISKE FORENING

STIFTET 1998

For berre nokre tusen år sidan budde menneska på den flate jorda. Elvane rann ut i det store havet. Fjella strekte seg mot himmelen.

Men i den same retninga vandra både blikket og tankane i dei myrke nettene … og litt etter litt vart stjerneskodarane tvinga til å innsjå at verda var noko meir komplisert enn dei hadde rekna med til då.

I dette føredraget skal me sjå på nokre av dei avgjerande augneblinkane då menneskja fekk nye kunnskapar om kvar me er.

Den guddomelege himmelen

Me moderne, urbane menneske hev nærast gløymt kva ei myrk, stjerneklår natt er for noko, bortsett frå når me er på ferie. Når vaksne og born i gamle tider var saman under himmelkvelven, vende blikket seg opp nærast av seg sjølv. Det er ein kreativ prosess å sjå på objekta på himmelen og førestilla seg livet der oppe. Den utilgjengelege himmelen vart eit «parallelt univers» for mytologiske personar og skapningar. Sola, månen og planetane var gjerne viktige guddomelege personar som gjorde sine ærende.

Brorparten av dei 88 «internasjonale» stjernebileta hev namn frå gresk og romarsk mytologi, og dei er gjerne ikkje fullt so viktige individ. Eit unnatak er dei områda av himmelen som ikkje kan sjåast frå Europa; der hev stjernebileta gjerne namn etter sjøfart og navigasjonsutstyr.

Praktisk nytte av kalender

Denne «himmelmytologien» var ikkje naturvitskapeleg, men han hadde mykje å seia for folk sitt tilhøve til livet. Den fyrste astronomien som hadde eit økonomisk føremål var knytt til å rekna ut tidspunkt for solsnu og jamdøger, slik at pålitelege almanakkar og kalendrar kunne setjast opp. Denne vitskapen vart utvikla m.a. i Mesopotamia og Egypt for om lag 6000 år sidan. Det var serleg landbruket som hadde nytte av å vita dei beste tidene for utsæd og hausting. Den årvisse seinsumarflaumen i Nilen kunne føreseiast ved å observera datoen då Sirius atter vart synleg før solrenninga. Ved den egyptiske hovudstaden Memfis var datoen 19. juli og det fall saman med byrjinga på flaumen der på staden.

Stonehenge i Sør-England er ein konstruksjon frå det tridje tusenåret f.v.t. Det vert hevda at det inneheldt m.a. eit observatorium for å fastsetja tidspunktet for vintersolsnu. Men det meste er berre spekulasjonar.

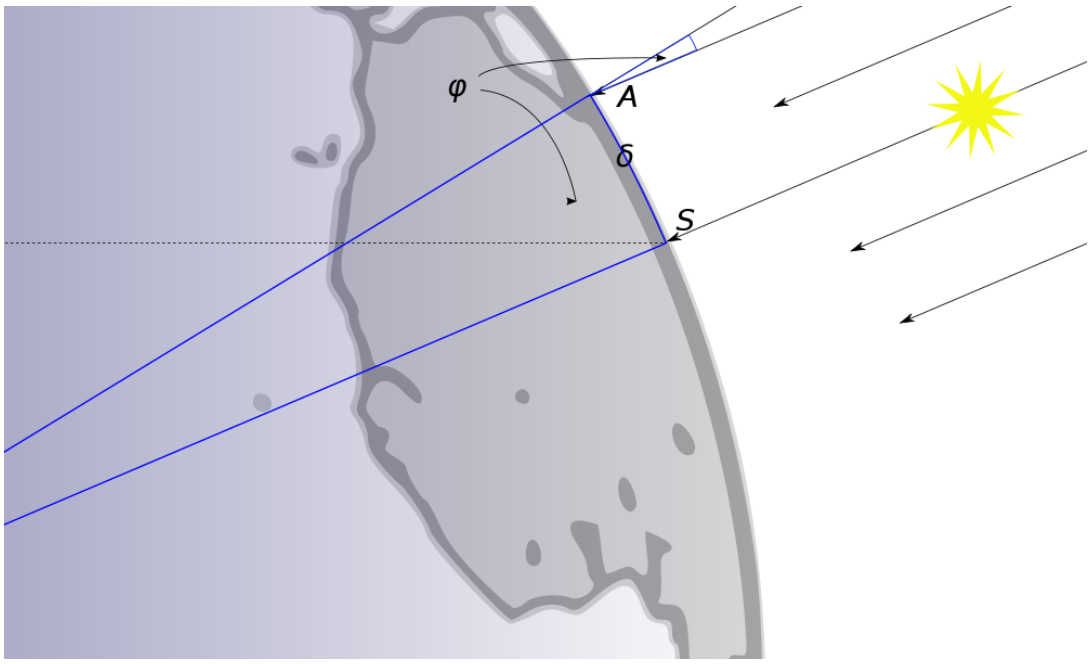
Verdsromet med den runde jorda i midten

Ideen om at det finst eit verdsrom som er ein del av eitt og same universet som jorda (rett nok ein vanskeleg tilgjengeleg stad langt borte) fekk etterkvart fotfeste, m.a. i Hellas i antikk tid. Rimeleg nok plasserte menneska jorda i midten av universet. Observasjon av sola og av fasane åt månen løyste ut tankar om at dei var kuleforma, og tanken om at jorda òg er eit sfærisk objekt fekk etter kvart solid fotfeste, ikkje minst pga. forma på skuggen ein kunne sjå under måneformørkingar.

På 300-talet f.v.t. tok Aristoteles til seg desse indisia og gjorde seg til talsmann for den runde jorda, men han heldt fast ved ei viss todeling ved å skilja mellom det imperfekte «kaotiske» jordiske romet på denne sida av månen, og det geometrisk perfekte himmelromet bortanføre månen.

Måling av omkrinsen åt jorda: Eratosthenes

Eratosthenes var ein mangefasettert matematikar og astronom. Han etablerte geografien som vitskapleg disiplin. Landmåling hadde lange tradisjonar i jordbruksområda langs Nilen. Kring 200 f.v.t. utnytta han skilnaden i middagssolhøgda på stader som ligg på ulike breidder. Det var kjent at i øvreegyptiske Assuan stod sola i senit ved sumarsolsnu. I nordegyptiske Aleksandria sette Eratosthenes opp ein gnomon, eit måleinstrument med vertikal søyle som kunne måla skuggelengder og finna vinklar. Ved solsnu fann han middagssolhøgda i Aleksandria til $83°48'$, altso ein differanse på $7°12'$. Ymse landmålingar og vurderingar av reisetider gav avstanden 5000 stadion mellom dei to stadene.



Dersom ein då gjer den tilnærminga at det innkomande solljoset er parallelt, kan ein rekna ut omkrinsen åt jorda:

$$360° / 7°12' \cdot 5000 \text{ stadion} = 250\,000 \text{ stadion}$$

Etter nokre tilleggsvurderingar sette Eratosthenes omkrinsen til 252 000 stadion.

Når me skal rekonstruera desse utrekningane i dag, er det mest nærliggjande problemet: Kor mykje er ein stadion? Den attiske eller «olympiske» stadion som var brukt m.a. i Aten er om lag 184,9 m , men det fanst òg ein egyptisk stadion på 157,5 m . Dersom ein vel den egyptiske stadion vert jordomkrinsen 39 690 km .

Det røynlege talet er 40 008 km . Men Eratosthenes sitt resultat slo aldri heilt i gjennom, og det gjekk til dels i gløymeboka.

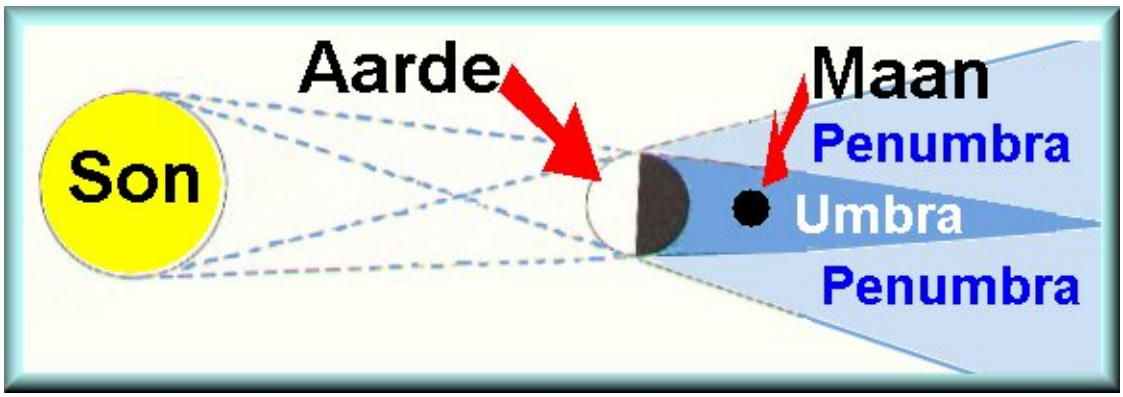
Måling av avstanden til månen: Aristarkhos

Astronomen, matematikaren og astronomen Aristarkhos vart fødd i 310 f.v.t. Han var opphavsmann til mange idear og teoriar som ikkje lét seg omsetja i praksis av di obesvasjons- måle- og rekneteknikkane ikkje fanst. M.a. skisserte Aristarkhos eit estimat for avstanden mellom jorda og månen:

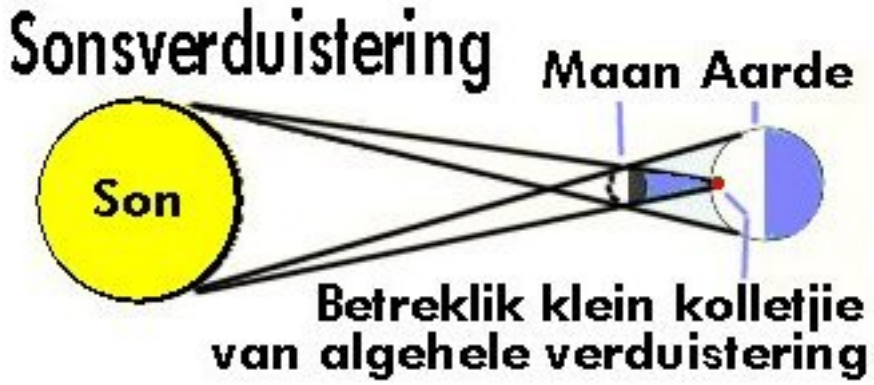
Avstandsmåling vha. formørkingar

På jorda observerer ein lokalt at td. ei kule hev ei fullskuggelengd som er om lag 108 gonger diameteren. Det talet heng direkte saman med at vinkeldiameteren åt sola er om lag $(180/\pi)/108 = 0{,}53°$

Jorda og månen hev òg slike skuggekonusar.

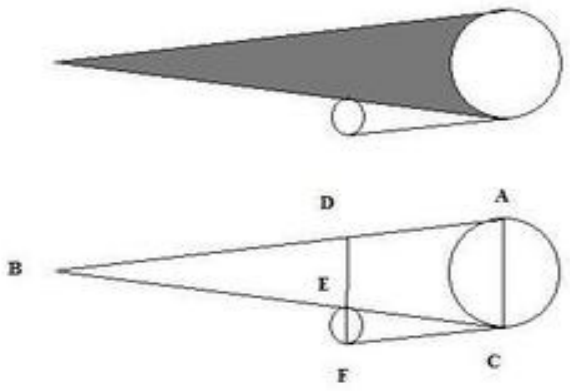


Ved total solformørking observerer ein at totalitetssonen er smal, og det indikerer at måneskuggekonusen er like lang som avstanden jorda–månen.



Ved partiell måneformørking observerer ein at jordskuggekonusen som fell på månen hev diameter lik 2,5 månediameterar.

Figuren framstiller måneskuggen snudd 180° og forskuvd, slik at han er ein mal for avstanden jorda–månen.



Dei to trikantane er formlike, slik at når DE = 2,5 EF må òg BE = 2,5 EC .

Då er avstanden BC = BE + EC = 2,5 EC + EC = 3,5 EC , dvs. EC = 1/3,5 BC .

Avstanden BC = 108 AC, dvs. BC = 108/3,5 AC = 31 AC; dvs. at avstanden til månen er 31 gonger jorddiameteren.

Aristarkhos sette opp denne løysinga lenge før enge før Eratosthenes rekna ut jorddiameteren. Hadde Aristarkhos hatt kjennskap til den verdien, kunne han ha rekna ut:

BC = 31 AC = 31 · 12 800 km = 397 000 km

Verdien ligg nært opp til den røynlege middelavstanden mellom jorda og månen, som er 384 000 km .

Måling av avstanden til månen: Hipparkhos

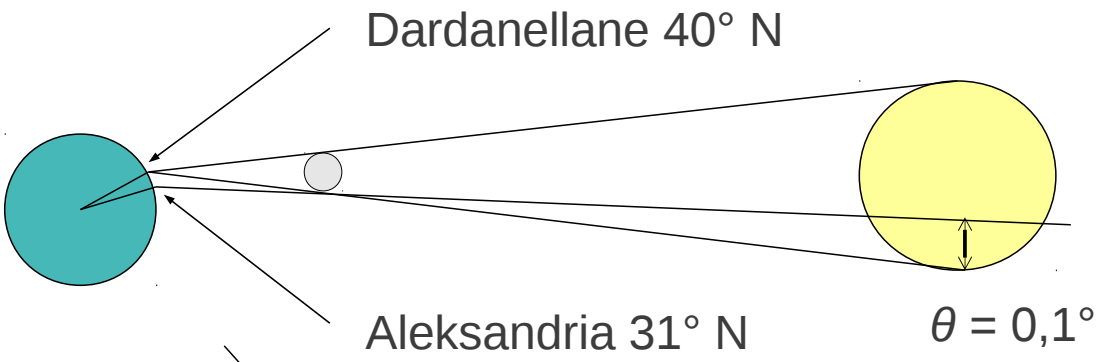
Det var mange andre astronomar som freista finna avstanden til sola opp gjennom hundreåra, men det slo utan unnatak feil pga. feil utgangspunkt og primitive måleinstrument. Men ein astronom lukkast i ein viss grad, og det med ein metode som eigentleg er ein variant av triangulerings- eller parallaksemetoden, som vart teken i bruk for alvor fyrst halvtanna tusenår etterpå.

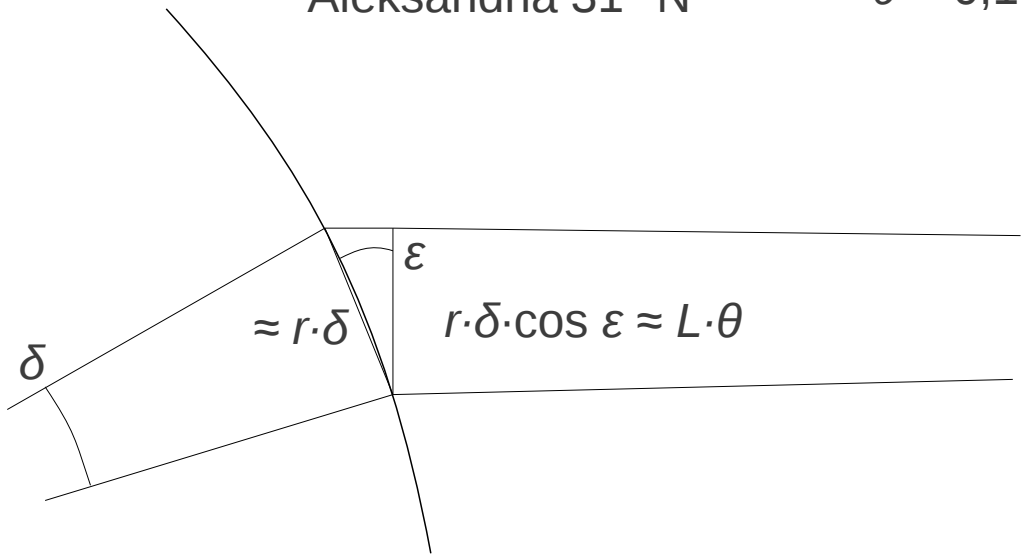
Hipparkhos vart fødd i 190 f.v.t. Han var ein allsidig astronom, matematikar og geograf. Han grunnla trigonometrien og oppdaga ved eit tilfelle jordpresesjonen, men i dag er han mest kjend for stjernekatalogen han sette opp, kan hende med so mange som 850 stjerner.

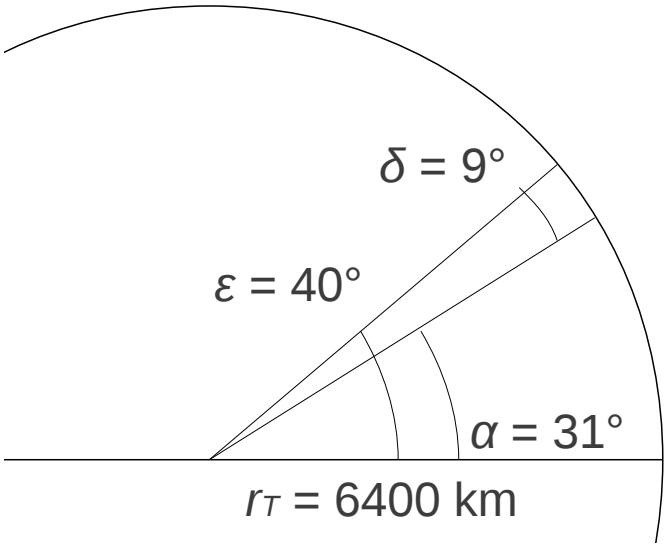
Hipparkhos arbeidde med avstanden til månen og sola, men det er berre meir eller mindre upresise sekundærkjelder som hev overlevt, det heng saman med storbrannen i biblioteket i Aleksandria.

Det året han vart fødd var det ei total solformørking ved Hellespont (Dardanellane). Me skal ikkje sjå bort frå at forteljingar om den hendinga var med på å inspirera honom til å arbeide mykje med formørkingar som observasjonsgrunnlag seinare.

Observasjonar viste at medan solformørkinga var total ved Hellespont, var ho 80 % djup ved Aleksandria. Avviket var 20 % av månevinkeldiameteren på 30′ , dvs. 6′ (0,1°).







Hadde Hipparkhos kjent jordradien (det er uvisst om han gjorde det), kunne han ha rekna ut måneavstanden:

$$D_m = \frac{r_T \cdot \delta \cdot \cos\varepsilon}{\theta} = 6380\,\text{km} \cdot \frac{9°}{0{,}1°} \cdot \cos 40° = 440\,000\,\text{km}$$

Ei meir noggrann utrekning av hypotenusen; me deler breiddedifferensen på to og fær to trikantar:

$$D_m = \frac{2 \cdot r_T \cdot \tan(\delta/2) \cdot \cos\varepsilon}{\theta} = \frac{2 \cdot 6380\,\text{km} \cdot \tan(9°/2) \cdot \cos 40°}{0{,}1° \cdot 180/\pi} = 441\,000\,\text{km}$$

Den ptolemeiske universmodellen

Kring 150 e.v.t. standardiserte Ptolemaios den geosentriske universmodellen som m.a. Platon,

Aristoteles, Apollonius og Hipparkhos hadde raffinert fram til då, og han presenterte resultatet i referanseverket *Almagest*. Jorda ligg i sentrum, der sola, månen og planetane krinsar kring jorda. Fiksstjernene var feste i eitt og same kuleskalet.

Rekkjefylgda var:

1: Månen

2: Merkur

3: Venus

4: Sola

5: Mars

6: Jupiter

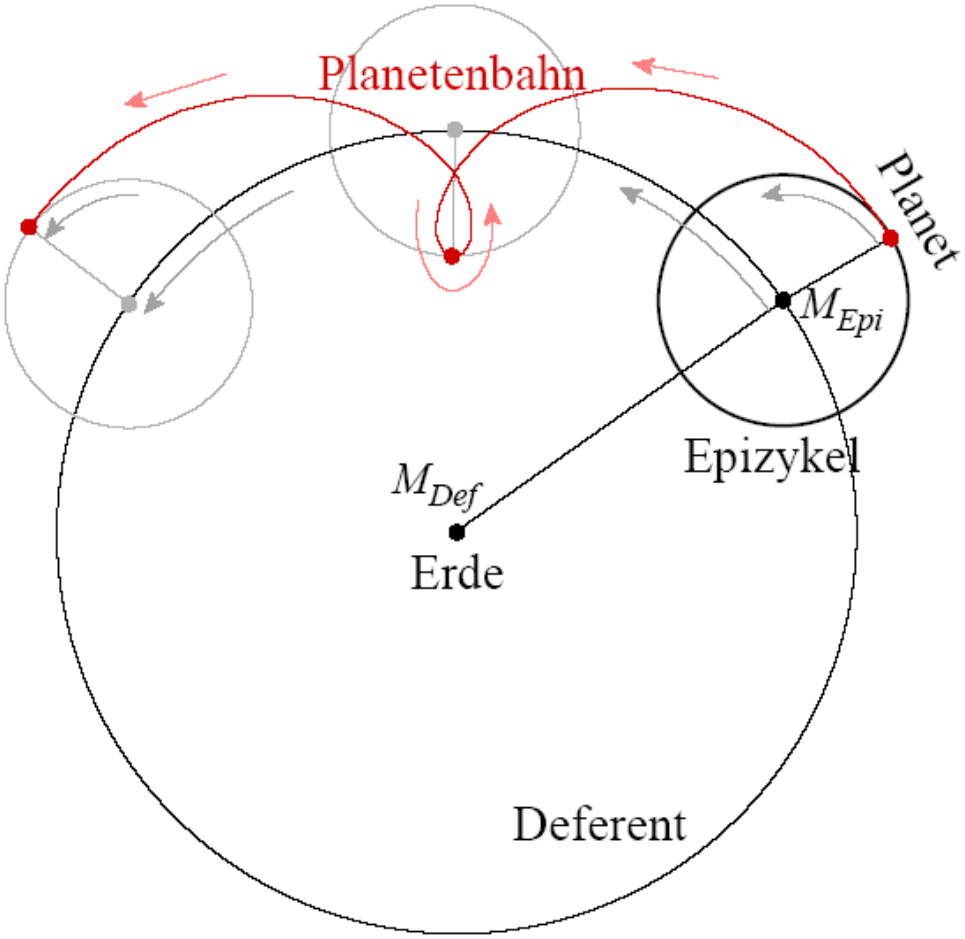
7: Saturn

8: Fiksstjernene

9: Guddomeleg kraftkjeldeskal

Ei stor utfordring i den heliosentriske modellen var dei retrograde planetrørslene. Ein observerer jo at planetane snur i bana og sig baklenges nokre månader før dei snur den rette vegen att. Løysinga var å konstruera «episyklusar» der planetane krinsar om eit punkt med kontinuerleg framdrift langsmed ein sirkel; ein «referent».

http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.html



Mellomalder i Europa

Den ptolemeiske modellen vart teken opp som eit dogme i den nye religionen kristendom (endeleg formalisert i den katolske kyrkja i 1616), og han skulle råda grunnen i Europa dei neste 1300 åra. På slutten av romartida og inn i mellomalderen kom fokuset bort frå vitskap og meir inn på astrologi.

Det var særleg arabarane som overtok dei greske boksamlingane, og Bagdad vart eit sentrum for vitskap. Som kjent hev fleirtalet av dei namnsette stjernene arabiske namn.

M.a. gjekk kunnskapen om jordstorleiken i stor grad tapt. Då Columbus la ut på ferda si nytta han data om jordstorleiken som ikkje kom frå Eratosthenes (og i alle fall ikkje frå arabarane). Han trudde som kjent at han skulle finna Asia på vestsida av Atlanten. Men det må leggjast til at på den tida kunne dei ikkje måla lengdegrad. Slike målingar er avhengig av rett klokkeslett (kronografisk tid, ikkje lokal soltid).

Renessansen

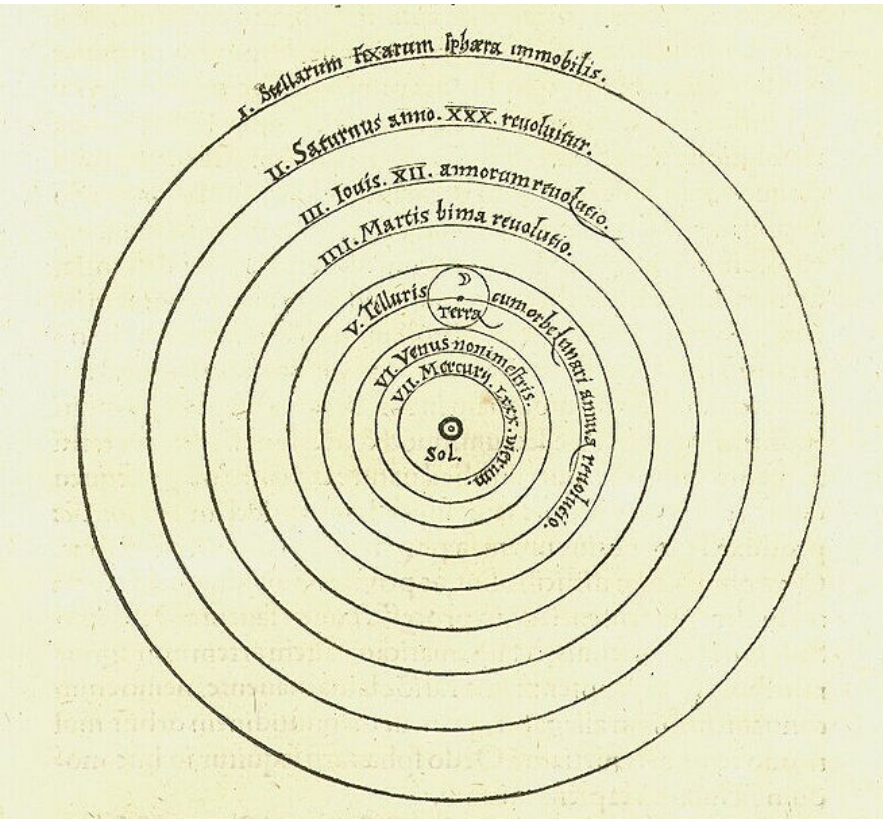
Etter kvart forvitra tilliten til (den vestlege/katolske) kyrkja, og nye tankar fekk større rom. Illegal litteratur fann vegen ut av klostra, og naturvitskapleg lære frå antikken byrja koma i «retur» frå arabarane, serleg gjennom den mauriske kulturen på den iberiske halvøya. (Ekstra tidleg ute med arabiske kontaktar var matematikaren Leonardo Fibonacci; han var i Algerie på slutten av 1100-talet og tok med seg indo-arabiske posisjonstalsystemet heimatt derifrå.)

Lengst gjekk omvandlinga i Nord-Europa, der reformasjonen sette inn på 1500-talet.

Kopernik degraderer jorda

Mikołaj Kopernik var m.a. kyrkjejurist og astronom i Toruń i Polen.

Han venta til han var ein gamal mann med å gå breitt ut med teorien om eit univers der sola er i sentrum, ikkje jorda. Desse tankane var ikkje heilt hans eigne. Dei fanst i Hellas, men vart avviste av Aristoteles og vann ikkje fram. Indisk og arabisk astronomi tok opp tankane seinare, og Kopernik tok m.a. dei avanserte episyklus-teoriane frå den kurdiske atronomen al-Urdi inn i universmodellen sin.



Eigentleg gav ikkje Kopernik-modellen noka serleg betre dekning for planetrørslene enn det Ptolemaios-modellen gjorde. Men det «kopernikanske prinsippet» handlar om noko djupare enn berre rotasjons i solsystemet. Menneskja er ikkje lenger det alt dreier seg om; kan henda er me heller ikkje so unike som me likar å tenkja oss …? Det revolusjonerande med Kopernik låg i at den heliosentriske modellen no vart (re)lansert midt i eit Europa som no var i støypeskeia.

Men enno kunne ein ikkje tillata seg kva som helst …:

Giordano Bruno – martyr for vitskapen?

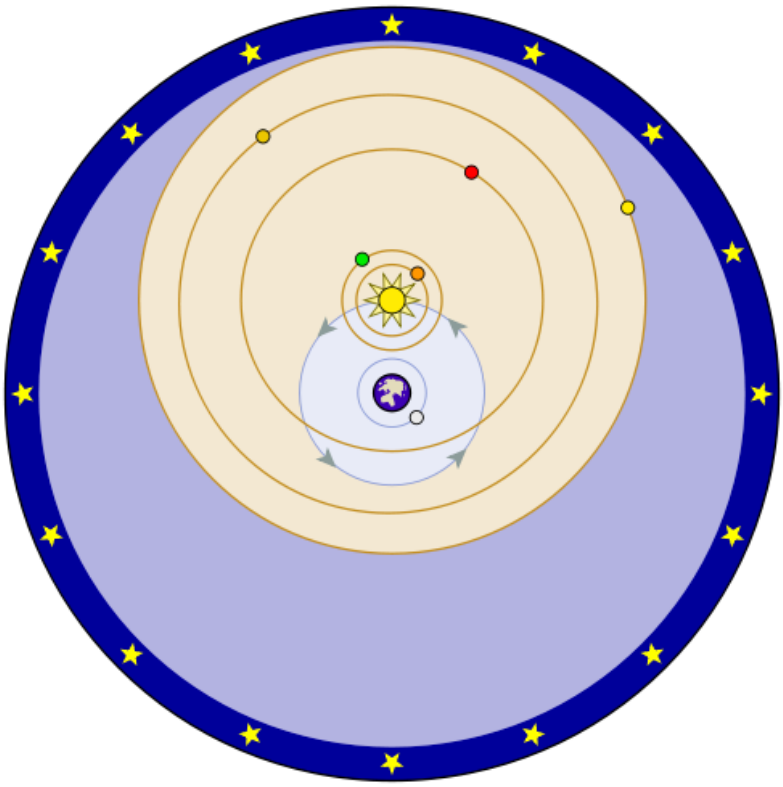
Han vart fødd fem år etter at Kopernik døydde, han hadde bakgrunn som fransiskanarmunk, og han reiste ikring i Europa og kom so langt nord som til England. Han saug opp idear frå mange kjelder og vart etter kvart ein fritenkjar. I dag likar me godt å få vita at Bruno braut med hierarkiske tenkjemåtar og at han hevda at jorda berre var ein av fleire planetar og at sola var ei av mange stjerner. Universet var bygt opp av uendeleg mange solsystem. Kometar var astronomiske objekt, ikkje sendebod frå åndelege makter. Men tankane hans om at materien er intelligent og at universet er fylt av eter fell vel ikkje i like god smak i dag – eller …?

Det var ikkje astronomi og universmodellar som var hovedgrunnen til at Bruno vart forfylgd av kyrkja og til slutt stilt for inkvisisjonen i Roma. Det var djupe teologiske konfliktar som førde til ein dom for kjettarskap og at han vart brend på bål i februar 1600.

Tycho Brahe

Denne danske astronomen vart fødd på same tida som Bruno, og han var den siste store observasjonastronomen før teleskopet kom i bruk. På 1500-talet var navigasjonsinstrument viktig teknologi, og Brahe spesialiserte seg på måling av vinkelavstandar og elevasjonar. Han greidde å oppnå måleavvik ned mot eitt bogeminutt!

Måleresultata gjorde at han kunne setja opp meir presise utrekningar av planetbanene. Brahe ville bryta med den ptolemeiske modellen, men han gjorde det på ein meir varsam måte enn Kopernik og Bruno: Jorda var framleis i sentrum, med månen og sola i sirkelbaner ikring, men alle planetane (Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn) krinsa om sola. Bortsett frå valet av referansepunkt tilsvarar dette i hovudsak den heliosentriske modellen!



Johannes Kepler – ut med episyklane, inn med fysikken

Han vart fødd i det sudvestlege Tyskland; vart astronom, matematikar og fysikar. I 1600 valde Brahe honom til assistent, og då fekk han tilgjenge til Brahe sine observasjonar. Kepler hadde ei matematisk/fysisk tilnærming til astronomien, og han var av dei fyrste som vreid astronomien bort frå den enkle geometrien i retning fysikk og matematisk analyse. Kepler valde å tru på Kopernik sin heliosentriske modell, og han utvikla teorien vidare.

Kepler-lovene:

1. Ei planetbane er elliptisk med sola i det eine fokuspunktet.

2. Baneradien sveipar over jamstor flate på jamlang tid.

3. Kvadratet av baneperioden (planet-året) og kuben av middel-baneradien* er proporsjonalt for alle planetar.

*Middelbaneradien er lik den store halvaksen i baneellipsen.

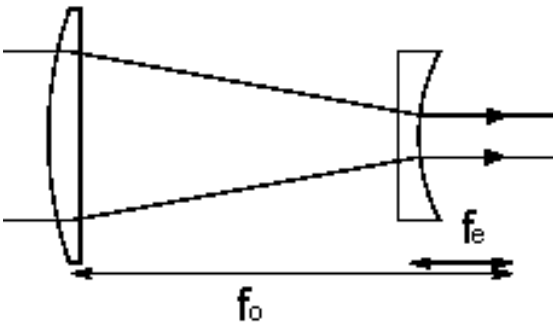
Modellen er meir elegant enn den kopernikanske, for episyklane trengst ikkje lenger.

http://www.physics.sjsu.edu/tomley/Kepler12.html

http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.html

Galileo Galilei

var aktiv i Toscana på den same tida. Refraktorteleskopet vart funne opp i Nederland, men Galilei utvikla det vidare, og han var den fyrste som utnytta teleskop til vitskapelege astronomiske observasjonar.



Det var serleg desse tri observasjonane som bidrog til å undergrava den geosentriske Ptolemeus-modellen:

– Venus hev fasar (som månen). Fasane kan gå gjennom alle gradar frå full til ny. Med det var det på det reine at Venus ikkje kunne krinsa om jorda utan å kryssa sola si «sfære».

– Jupiter hev månar som krinsar om planeten. Det inneber at månane ikkje krinsar om jorda, og ein viktig føresetnad i Ptolemeus-modellen ryk. Kan Jupiter halda på sine månar, kan òg sola halda på jorda og dei andre planetane.

– Soloverflata hev flekker. Solflekkene hev vilkårlege former, og viser med det at himmelromet

ikkje er bygt opp av perfekte geometriske former.

Galilei vart ein overtydd heliosentrikar, og han kom i konflikt med det kristne presteskapet. Fyrst vart han tvinga til å taka avstand frå den kopernikanske teorien, men i 1633 vart han stilt for den romarske inkvisisjonen og dømd til husarrest for kjettarskap. Han sat inne i ti år til han døydde i 1643.

Ei historie frå 1600-talet som ikkje lèt seg stadfesta fortel at Galilei då han vart dømd sa (eller mumla): *Eppur si muove* – «Ho rører seg okke som».

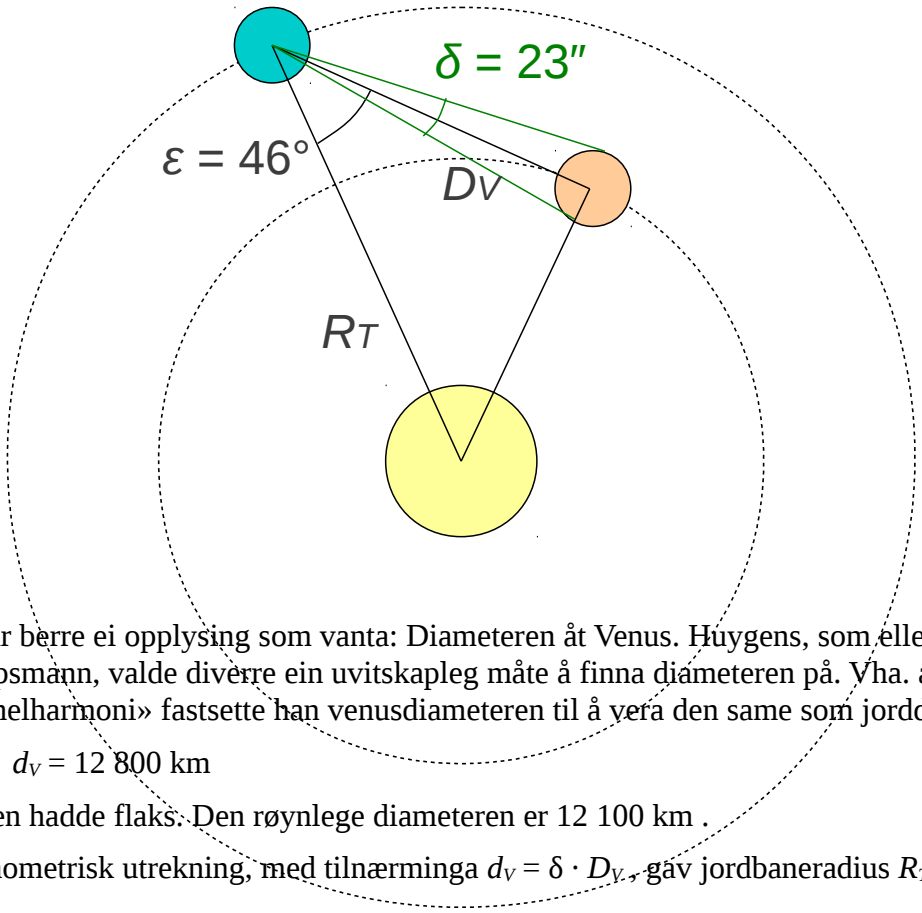
Avstandar til sola og planetane

Ein annan teleskoppioner var nederlendingen Christiaan Huygens.

Som nemnt hadde det vore mange mislukka freistnader på å måla avstanden til sola, men ingen var gode nok. «Halvmånemetoden» var kjend alt av Aristarkhos, men vinklane var vanskelege å måla, og metoden var i seg sjølv sensitiv for avvik.

Men til å måla på Venus kunne det sjå ut til at denne modellen var mykje betre eigna, og med teleskop for handa kunne Huygens observera når venusfasen var 50 % . Samstundes observerte han at vinkeldiameteren var 23″ . Elongasjonen kunne målast med tradisjonelle instrument; sei at verdien var 46° .

Huygens sette opp ein modell med Venus, sola og jorda i ein rettvinkla trikant. No kunne solbaneradien finnast vha. trigonometri.



Det var berre ei opplysing som vanta: Diameteren åt Venus. Huygens, som elles var ein stor vitskapsmann, valde diverre ein uvitskapleg måte å finna diameteren på. Vha. astrologi og «himmelharmoni» fastsette han venusdiameteren til å vera den same som jorddiameteren:

d_V = 12 800 km

Mannen hadde flaks. Den røynlege diameteren er 12 100 km .

Trigonometrisk utrekning, med tilnærminga $d_V = \delta \cdot D_V$, gav jordbaneradius R_T , dvs. avstanden til sola:

$$R_T = \frac{d_V}{\delta \cdot \cos\varepsilon} = \frac{12\,800\,\text{km}}{23'' \cdot \pi/(180 \cdot 60 \cdot 60) \cdot \cos 46°} = 165\,000\,000\,\text{km}$$

og venusbaneradius R_V :

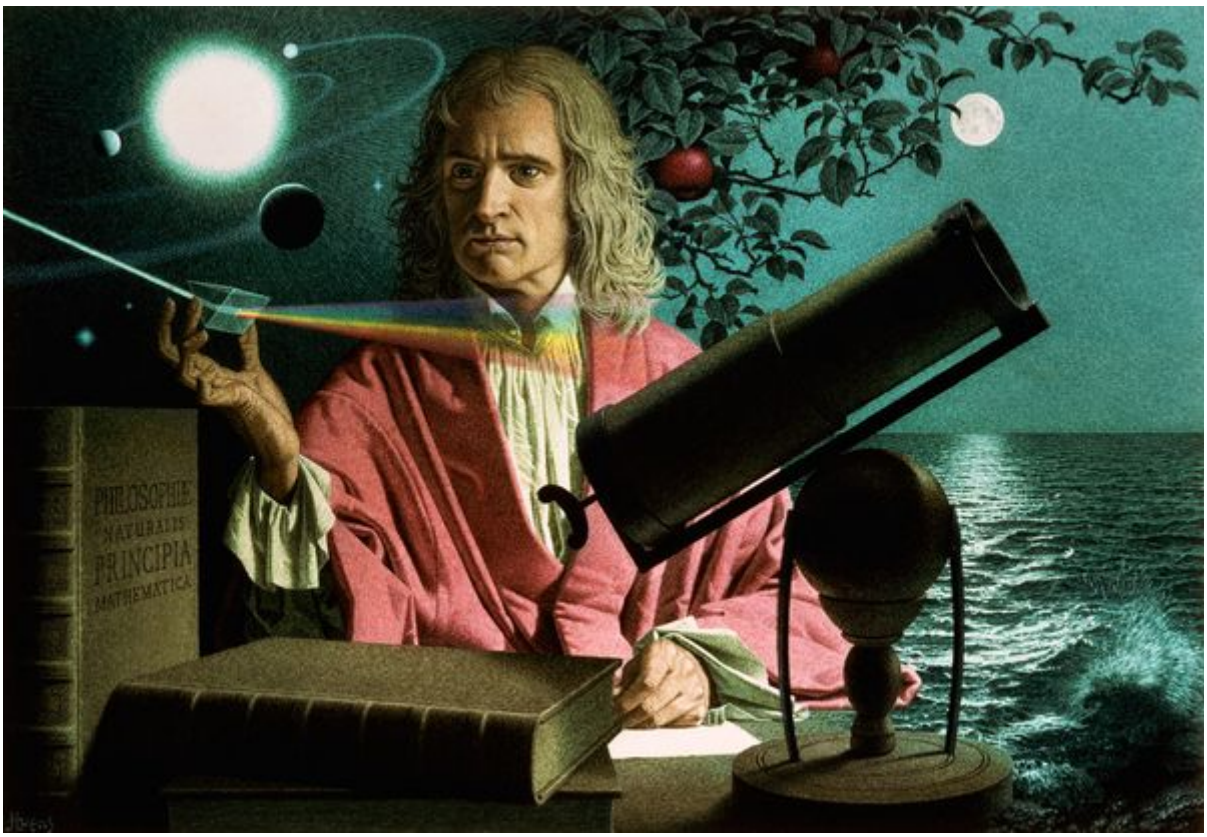
$$R_V = \frac{d_V \cdot \tan\varepsilon}{\delta} = \frac{12\,800\,\text{km} \cdot \tan 46°}{23'' \cdot \pi/(180 \cdot 60 \cdot 60)} = 119\,000\,000\,\text{km}$$

Men, som sagt, desse resultata kan ikkje reknast som vitskapelege. Om Huygens hadde nytta 12 100 km som venusdiameter, ville han ha funne R_T = 156 000 000 km og R_V = 112 000 000 km .

Middelbaneradien åt jorda er er 149 700 000 km ; for Venus er verdien 108 200 000 km .

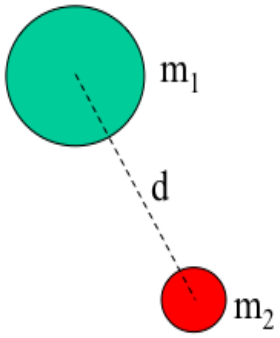
Isaac Newton

Han fann opp reflektorteleskopet, men utanføre astronomimiljøet er det ikkje fyrst og fremst som astronom denne engelske vitskapsmannen vert hugsa.



Like fullt var det med *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* at astrofysikken vart grunnlagd. Gravitasjonsteorien hans er viktig i framstillinga vår, for den bidrog til å auka forståinga av mennesket sin ståstad i universet: Den universelle gravitasjonslova knyter saman dei gravitasjonseffektane som me oberverer på jorda (jf. kulene åt Galilei) og dei som me observerer i verdsromet (jf. Kepler-lovene). Det jordiske og det kosmiske er eitt og same universet, styrt av dei same fysikalske lovene.

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{d^2}$$

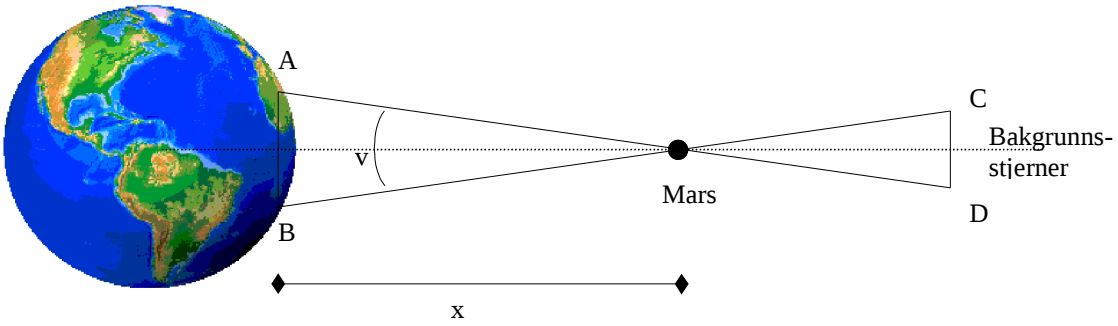


Giovanni (Jean) Cassini

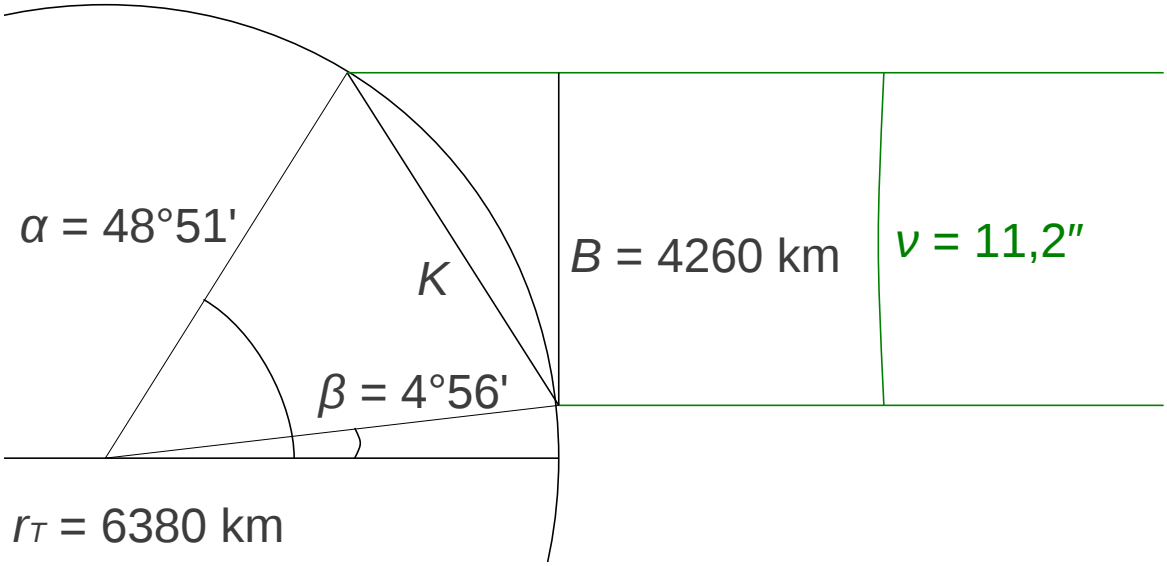
Denne astronomen var konservativ av natur, og han byrja karrieren sin med astrologi. Han avviste den heliosentriske universmodellen. Men astrologien fekk honom til i minsto å sjå opp på himmelen. Til alt hell var Cassini audmjuk òg, slik at han makta å leggja om synsmåtane sine etter kvart som observasjonane han gjorde tilsa det. I tur og orden støtte han Brahe-modellen, Kopernik-modellen, Kepler-modellen – og Newtons gravitasjonslære. Han enda opp som ein av dei store astronomane på 1600-talet.

Når det gjeld oppdagingar, var Cassini den fyrste som fann gode estimat på avstandane i

solsystemet. Han utnytta parallaksen, forskuvinga mot bakgrunnsstjernene. Det fortener nokre taleksempel.



I 1672 ville Cassini måla parallaksen til Mars. Sjølv heldt Cassini seg heime i Paris, $\alpha = 48°51'$ N , og til hjelp sende han kollegen Jean Richer til Cayenne, $\beta = 4°56'$ N , der Mars stod i opposisjon nær senit.



Vha. todeling av vinkelen finn ein kordelengda K mellom Paris-breidda og Cayenne-breidda:

$$K = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

og vha. supplement- og komplementvinklar finn ein grunnlina B for triangulering:

$$B = K \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2}$$

som vha. trigonometrisk identitet kan forenklast til

$$B = r \cdot (\sin \alpha - \sin \beta)$$

$$B = 6380\,\text{km} \cdot (\sin 48°51' - \sin 4°56') = 4260\,\text{km}$$

Då dei to astronomane møttest att, kunne dei jamføra karta med mars som passerer over stjernebakgrunnen, og dei fann parallaksen $v = 11{,}2''$.

Då kunne avstanden D_M til mars finnast vha. bogetilnærminga for småe vinklar:

$$D_M \approx \frac{B}{v} = \frac{4255\,\text{km}}{11{,}2'' \cdot \pi / (180 \cdot 60 \cdot 60)} = 78\,400\,000\,\text{km}$$

Dette resultatet er avstanden frå jorda til Mars, dvs. avstanden mellom jordbana og marsbana når mars stend i opposisjon).

No kan jordbaneradien R_T finnast med utgangspunkt i Keplers 3. lov:

$$R^2 = C \cdot T^3$$

T_T = 365,2 d og T_M = 687,0 d . Då kan den ukjende R_T reknast ut frå ei tridjegradslikning:

$$\left(\frac{78{,}3\ \text{Gm} + R_T}{R_T}\right)^3 = \left(\frac{687{,}0\ \text{d}}{365{,}2\ \text{d}}\right)^2$$

$$\left(\frac{78{,}3 + x}{x}\right)^3 = 3{,}5388$$

```
octave:1> function y = k(x)
> y = ((78.3+x)/x)^3-3.5388 ;
> endfunction
octave:2> fzero(@k,100)
ans =  149.46
octave:3>
```

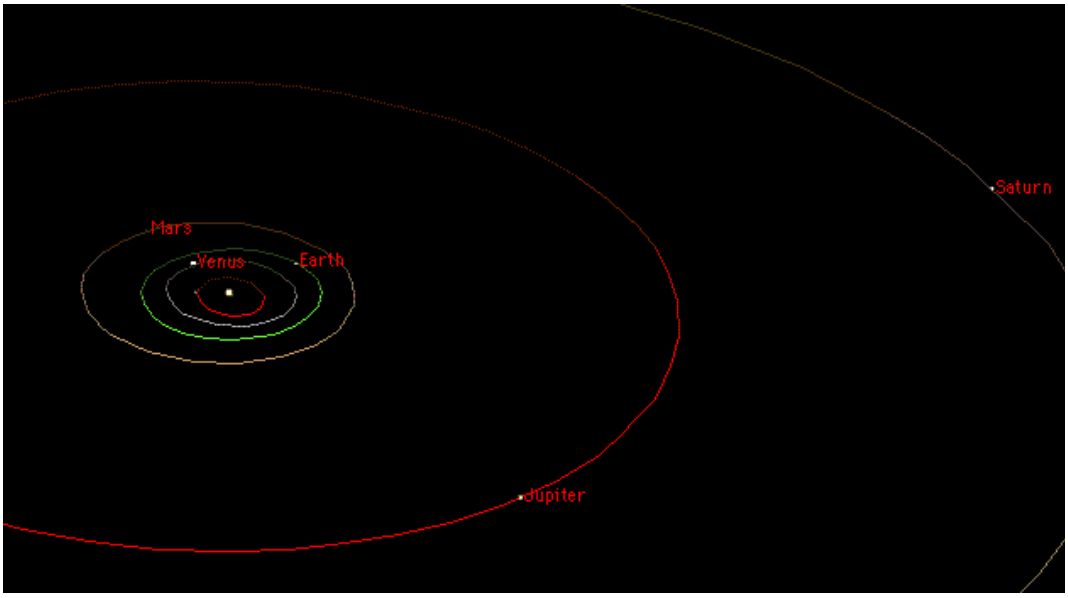
$$x = 149{,}6\,\text{Gm}$$

Jordbaneradien er R_T = 149 600 000 km .

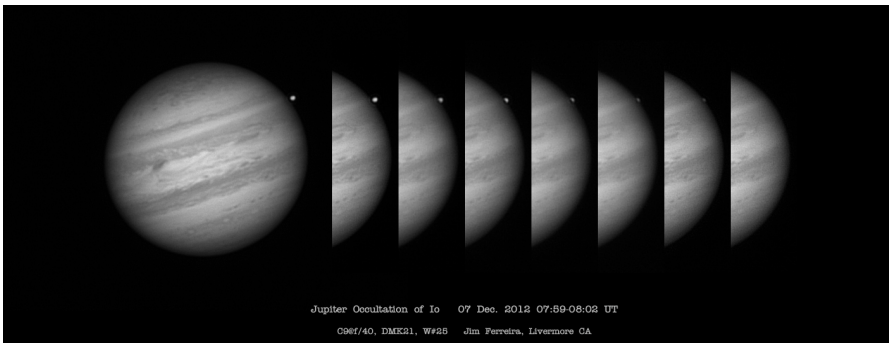
Med dette hadde Cassini funne eit vitskapeleg svar på det gamle tusenårsspørsmålet: Kor langt er det til sola?

Og det var ei smal sak å rekna ut baneradien åt dei andre planetane òg.

Endeleg hadde brikkene falle på plass i den heliosentriske universmodellen.



Lat meg til slutt leggja til at Cassini, inspirert av Galilei, utvikla ein metode til å måla lengdegrad. Han nytta okkultasjonar av jupitermånane som klokke.



Som ein kuriositet kan nemnast at denne måleteknikken vart nytta – av Giovanni sin son Jacques Cassini – til å teikna kart over Frankrike. Den vanlege oppfatninga til då hadde vore at landet var breiare enn det var høgt. Men det nye kartet framstilte eit meir kvadratisk territorium. Kong Louis XIV sa at «Aldri før hev nokon stole so mykje av territoriet vårt!»

Ole Rømer

Denne danske astronomen, som hospiterte hjå Cassini i 1672, bygde vidare på «jupitermåneklokka» åt Cassini og Galileo, og han målte systematisk gjennom åtte år kor mykje okkultasjonane av Io vart forseinka i høve til Jupiter- og jordposisjonen.

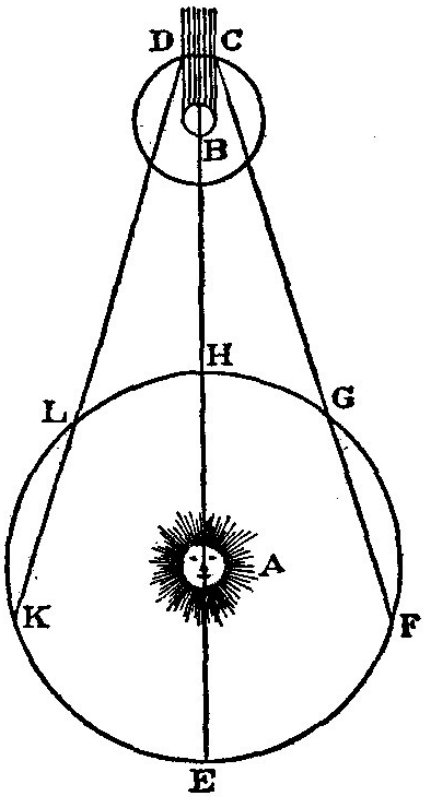


Fig. 70.

Fleire andre rekna på resultata, og t.d. konkluderte Huygens med at ljosfarten var 280 000 000 m/s . Dette var aller fyrste gongen ein naturkonstant vart målt (estimert).

Wilhelm (William) Herschel – ♅

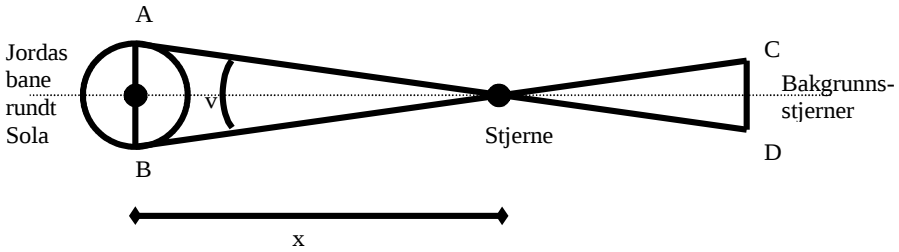
Inventaret i det klassiske universet vart for fyrste gongen utvida i 1781. Det året oppdaga tysk-engelske Wilhelm Herschel planeten Uranus. Nykomlingen fekk symbolet ♅ etter førebokstaven H.

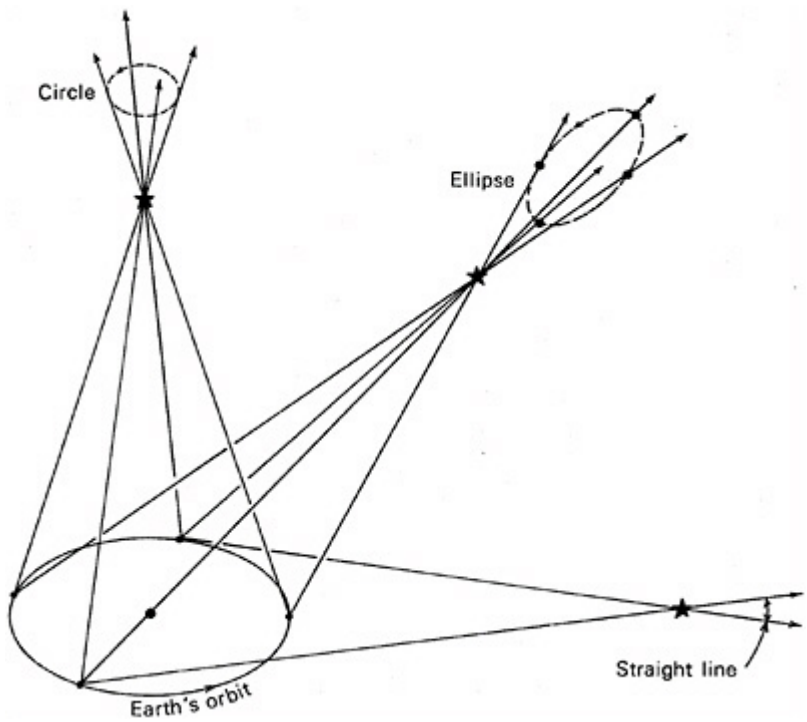
Før astronomien overtok livet hans var han musikar og symfonisk komponist.

Wilhelm Herschel oppdaga infraraud stråling ved å halda eit termometer attmed den raude delen av eit solspektrum.

Systera Caroline Herschel var den fyrste kvinnelege astronomen i moderne tid.

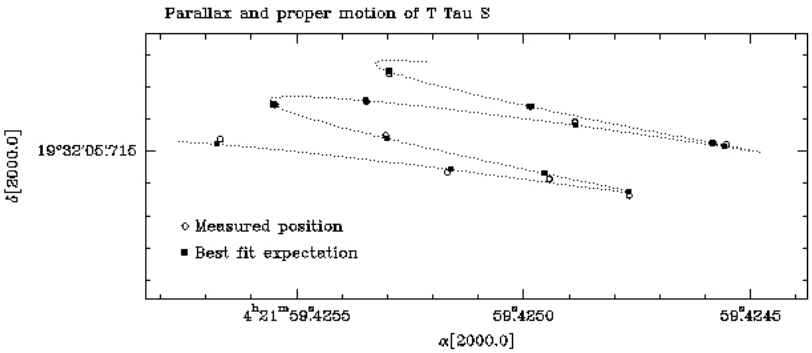
Avstandar til stjernene – parallaksemåling





Alt i den greske oldtida hadde Aristarkhos – som var ein tidleg heliosentrikar – skissert teknikken for parallaksemåling med jordbanediameteren som grunnline. Men med dei målemetodane dei rådde over kunne dei langt i frå observera nokon parallakse hjå stjerner. Det vart lenge nytta som eit argument mot den heliosentriske universmodellen.

Dei fyrste som fekk til å måla stjerneparallakse var tyskarane Wilhelm Struve og Friedrich Bessel på 1830-talet. På denne tida var det kjent at stjerner ikkje er «fikse»; dei hev eigenrørsle. Då låg tanken nært at dei stjernene som tilsynelatande rørde seg mest òg var dei næraste.



Ei kandidatstjerne med stor eigenrørsle som stod høveleg til for observasjon, var 61 Cygni. Med eit heliometer, eit instrument som kunne parallellforskuva doble bilete, målte Bessel parallaksen åt stjerna. Verdien av (dobbel)parallaksen er v = 0,572″ .

$$D_{Cyg61} = \frac{B}{v} = \frac{2 \cdot R_T}{v} = \frac{2 \cdot 149\,700\,000\,000\,\mathrm{m}}{0{,}572'' \cdot \pi / (180 \cdot 60 \cdot 60)} = 1{,}08 \cdot 10^{17}\,\mathrm{m}$$

Etter kvart måtte verda innsjå at universet er mykje større enn solsystemet. Det vart praktisk å rekna i ljosår; då ligg 61 Cygni i avstand

$$D_{Cyg61} = \frac{1{,}08 \cdot 10^{17}\ \mathrm{m}}{3{,}00 \cdot 10^{8}\ \mathrm{m/s} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365{,}25} = 11{,}4\ \mathrm{la}$$

Sola er ei av mange stjerner

Tanken ligg nært: Kor sterk (tilsynelatande storleiksklasse) ville 61 Cygni ha vore om ho lyste like sterkt (absolutt storleiksklasse) som sola?

$$m_{Cyg61}' = m_{Sol} + 5 \cdot \lg \frac{D_{Cyg61}}{D_{Sol}} = -26{,}74 + 5 \cdot \lg \frac{1{,}08 \cdot 10^{17}\ \mathrm{m}}{1{,}50 \cdot 10^{11}\ \mathrm{m}} = 3{,}43$$

No er ikkje 61 Cygni fullt so sterk som +3,43 ; den samla storleiksklassen till dobbelstjerna er +5,71 . Det tilsvarar ein faktor

$$10^{0{,}4 \cdot (5{,}71 - 3{,}43)} = 8{,}95$$

Men like fullt er denne utrekninga fyrste steget i ei indisiekjede for at sola er ei av mange stjerner.

Kvifor skal ein då innbilla seg at «vår» sol er sentrum i universet? Dette indisiet samsvarar med det kopernikanske prinsippet.

Vinterbrauta – meir enn eit diffust band

Då Galileo Galilei utforska himmelen med teleskop, oppdaga han at Vinterbrauta ikkje er kontinuerleg, men bygd opp av åtskilde ljospunkt. «Tåka» var mange småe stjerner, tenkte han. Ideen om dette var ikkje ny; Anaksagoras og Demokritos tenkte det måtte vera ei sky av mange fjerne stjerner, men at stjernene ikkje kunne skiljast med synet.

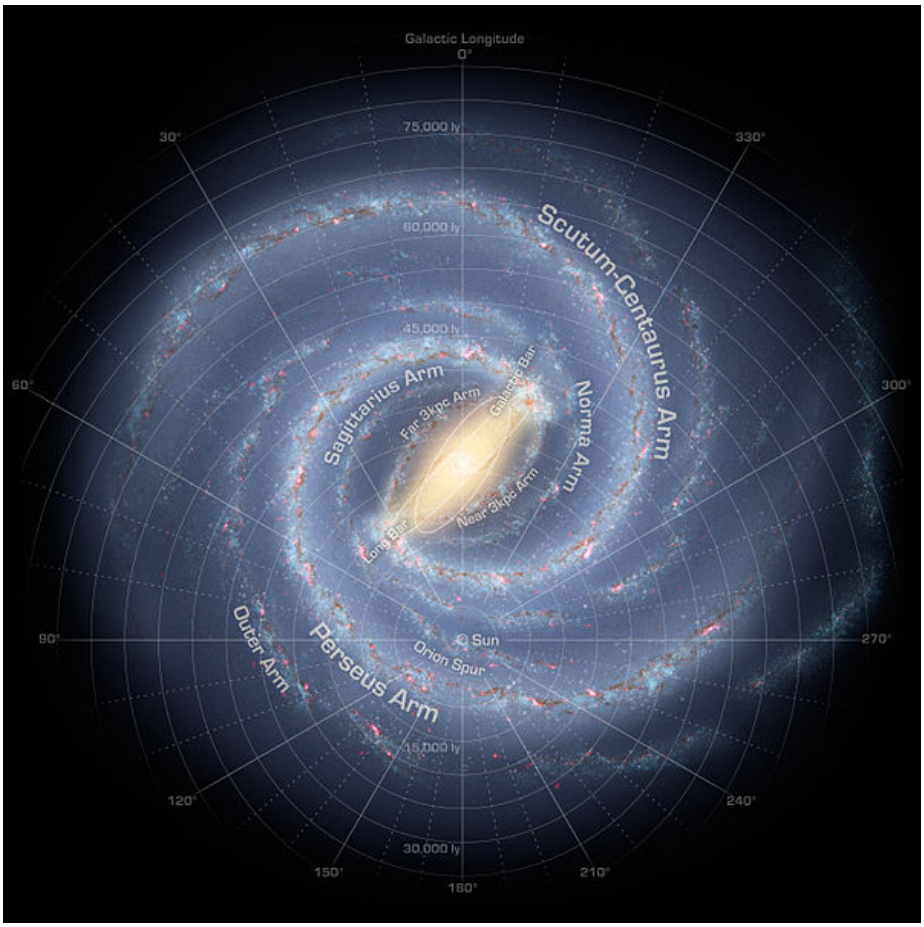
I 1750 meinte engelskmannen Thomas Wright at Vinterbrauta var ei roterande stjernesamling kontrollert av gravitasjonskrefter mellom stjernene, og at den observerte bandforma kom av at sola og alle stjernene – både dei nære og dei fjerne – låg i den tilnærma same plane flata. Wilhelm Herschel vurderte tettleiken av stjerner og skisserte skiveforma.

Harold Shapley – universet ikkje heliosentrisk

Den fyrste til å innsjå at solsystemet vårt ikkje ligg i sentrum av galaksen var Harold Shapley i USA på midten av 1910-talet. Det var eit viktig resultat når det gjeld menneskja sin ståstad i verda. Heller

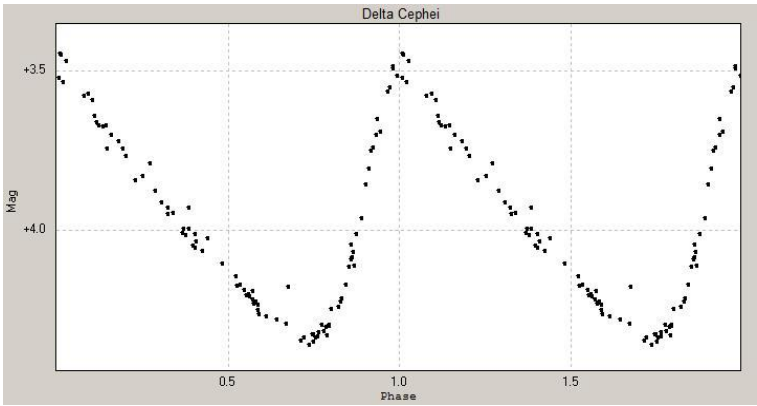
ikkje sola er sentrum i universet! Det kopernikanske prinsippet måtte utvidast frå solsystemnivået til galaksenivået. Men denne skjelsetjande konklusjonen fekk ikkje so mykje merksemd, for verda var i full gang med sin fyrste krig.

Harold Shapley var òg fyrst ute med eit vitskapeleg estimat på dimensjonane åt Vinterbrauta. Det var i storleiksorden hundretusentals ljosår. Han baserte seg m.a. på rørslene han observerte hjå dei to «satellittane» Magellan-skyene.



Henrietta Swan Leavitt – variable stjerner som avstandsmål

Som nyutdanna astronom i USA i 1893 fekk Henrietta Swan Leavitt som arbeid å samanlikna foto for å leita etter endringar over tid. Då ho undersøkte variable stjerner i den vesle magellanske skya gjorde ho ei viktig oppdaging: For sume av dei variable var det ein samanhang mellom magnitude og periodetida. Og med alle desse stjernene i tilnærma same avstanden er den (relative) magnituden proporsjonal med den absolutte luminositeten. Ljoskurva for desse stjernene var tydeleg lik kurva for den kjende variable stjerna δ Cephei:



Magnituden aukar bratt, medan fallet er slakare.

I 1912 kunne Leavitt konkludera med at denne samanhengen gjeld for alle (klassiske) kefeidestjerner (her med dei dagsaktuelle verdiane):

$$M = -(2{,}43 \pm 0{,}12)\cdot(\lg P - 1) - (4{,}05 \pm 0{,}02)$$

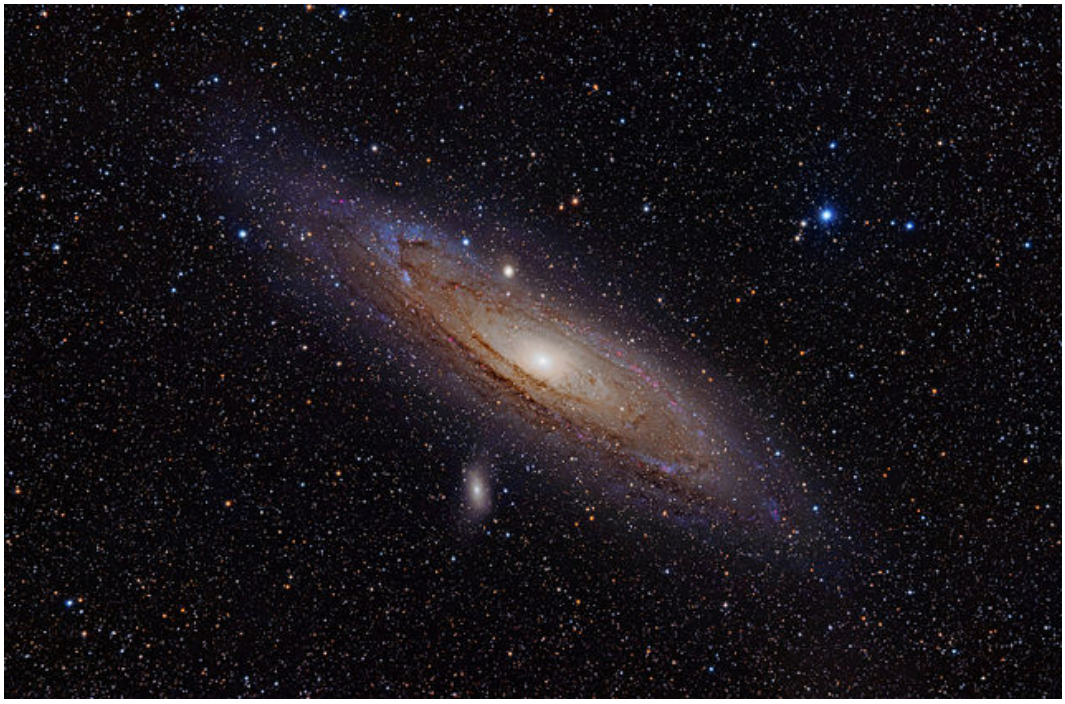
der M er absolutt magnitude og P er periodetida i døger.

Men det var eitt ikkje heilt lite problem som gjorde at kefeidemetoden ikkje kunne nyttast direkte: Diverre finst ikkje ei einaste kefeidestjerne som ligg nære nok jorda til at jordbaneparallakse kan brukast til å estimera avstanden.

Statistisk parallakse er ein relativt upresis målemetode. Det var i mange tiår den einaste som kunne nyttast for dei dei næraste kefeidane. Men då observasjonssatellitten Hipparcos vart teken i bruk på slutten av 1980-talet vart det mogeleg å måla jordbaneparallaksen direkte. δ Cephei ligg 887 ± 35 ljosår borte.

Heber Curtis

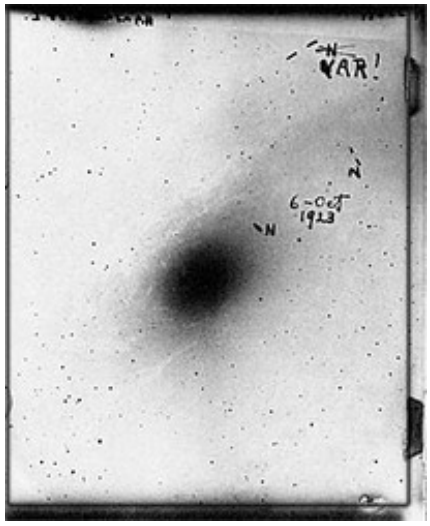
Det store spørsmålet på byrjinga av 1900-talet var om Vinterbrauta var den einaste galaksen i universet. Det hadde slege fleire astronomar, m.a. Heber Curtis (USA), at strukturane i Andromeda-tåka kunne minna om dei velkjende mørke støvbanda i Vinterbrauta.



Curtis observerte òg ljosvariasjonar i Andromeda som han meinte kunne vera nova-utbrot. Dei var gjennomgåande mindre ljossterke enn andre novaer, noko som kunne tyda på større avstandar. Kan henda låg Andromeda heilt i utkanten av Vinterbrauta – dvs. universet …?

Edwin Hubble

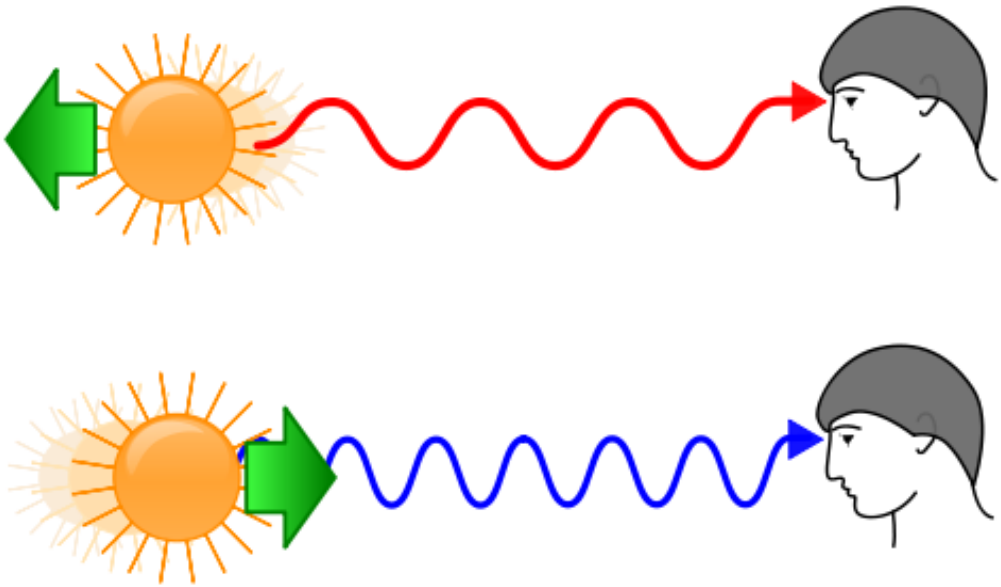
I 1917 tok Edwin Hubble doktorgraden på emnet «fotografisk undersøkjing av ljossvake tåker». Det gav honom eit godt utgangspunkt for å få ei stilling ved det nye Mount Wilson-observatoriet i California. I 1925 var det nye 250 cm Hooker-teleskopet ferdig. Det var det største i verda. Hubble var ein sterk tilhengjar av teorien om at spiraltåkene var galaksar, og han gjekk straks i gang med prosjektet. Gjennombrotet kom det same året. Hubble fotograferte Andromeda med Hooker-teleskopet, og på eksponeringane kom der myriadar av individuelle stjerner til synes.

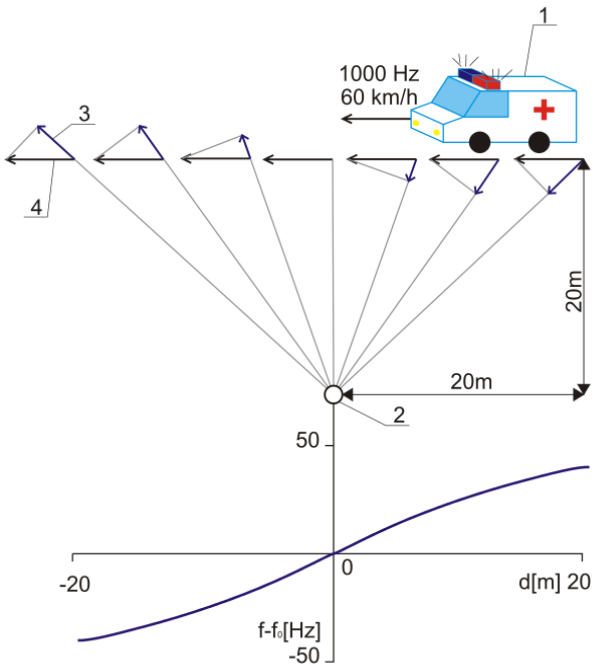


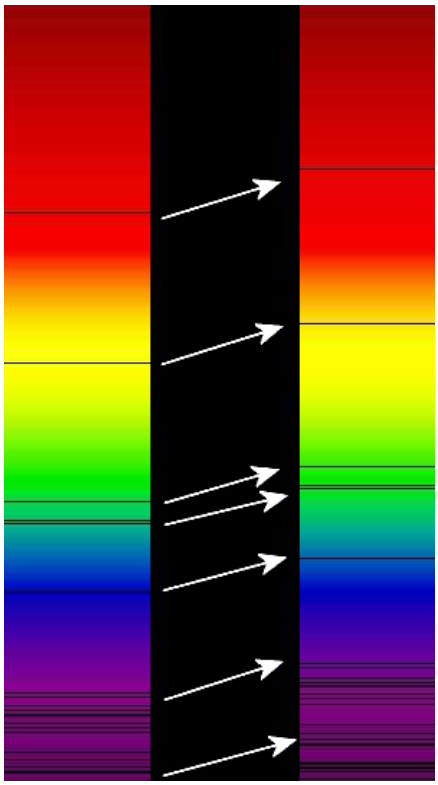
Ikkje nok med det, etter kvart greidde Hubble å identifisera fleire kefeidestjerner, og han estimerte avstanden til 1 500 000 ljosår. Berre ein konklusjon var mogeleg: Andromeda-tåka er ein galakse om lag like stor som Vinterbrauta. Det kopernikanske prinsippet slo atter til; heller ikkje galaksen «vår» er unik. Årsdagen for kunngjeringa, 30. desember 1925, vert markert over heile verda som Hubble-dagen.

Universet utvider seg – Hubbles lov

Det hadde vore kjent sidan slutten av 1800-talet hundreårsskiftet at Doppler-effekten òg kunne gjorde seg gjeldande for elektromagnetisk stråling – for synleg ljos.







I 1912 greidde Vesto Slipher å måla raudforskuvinga åt ein galakse. Ein observerer at fjerne galaksar hev større raudforskuving, og med det større fart enn dei nære.

I 1927 utleidde fysikaren Georges Lemaître at det fylgjer frå generell relativitetsteori. Hubble greip fatt i resultata og fann ein proporsjonalitet mellom avstanden og den observerte raudforskuvinga.

$$v = H_0 D$$

der H_0 er Hubbles konstant.

Denne enkle proporsjonaliteten gjeld mellom alle par av objekt.

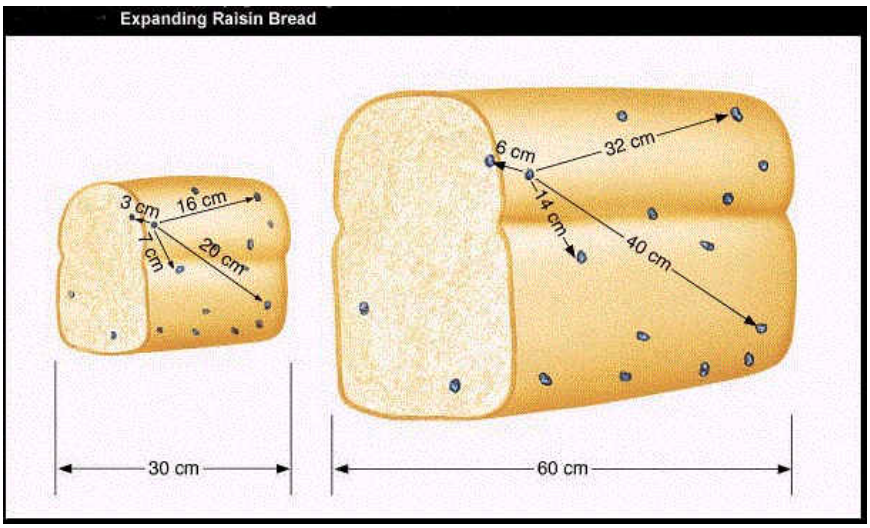
Då er det berre to mogelege konklusjonar:

– Universet utvidar seg ved at det divergerer ut frå vår ståstad

– Universet utvidar seg på same måten overalt

Ut frå det kopernikanske prinsippet kan den fyrste forklåringa neppe vera rett.

Universet utvidar seg som ein jolekakedeig:



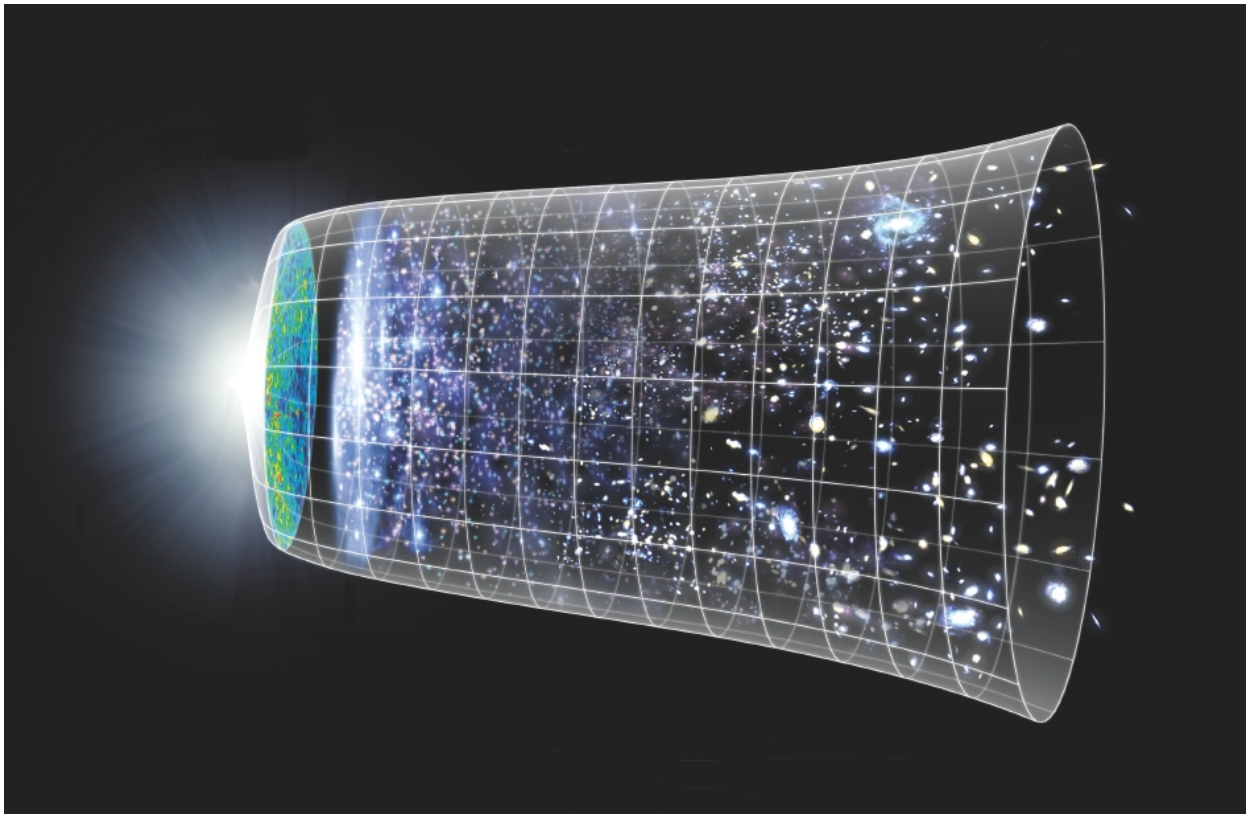
bortsett frå at det ikkje finst noka yttergrense; inga skorpe. Alt me observerer er «i midten».

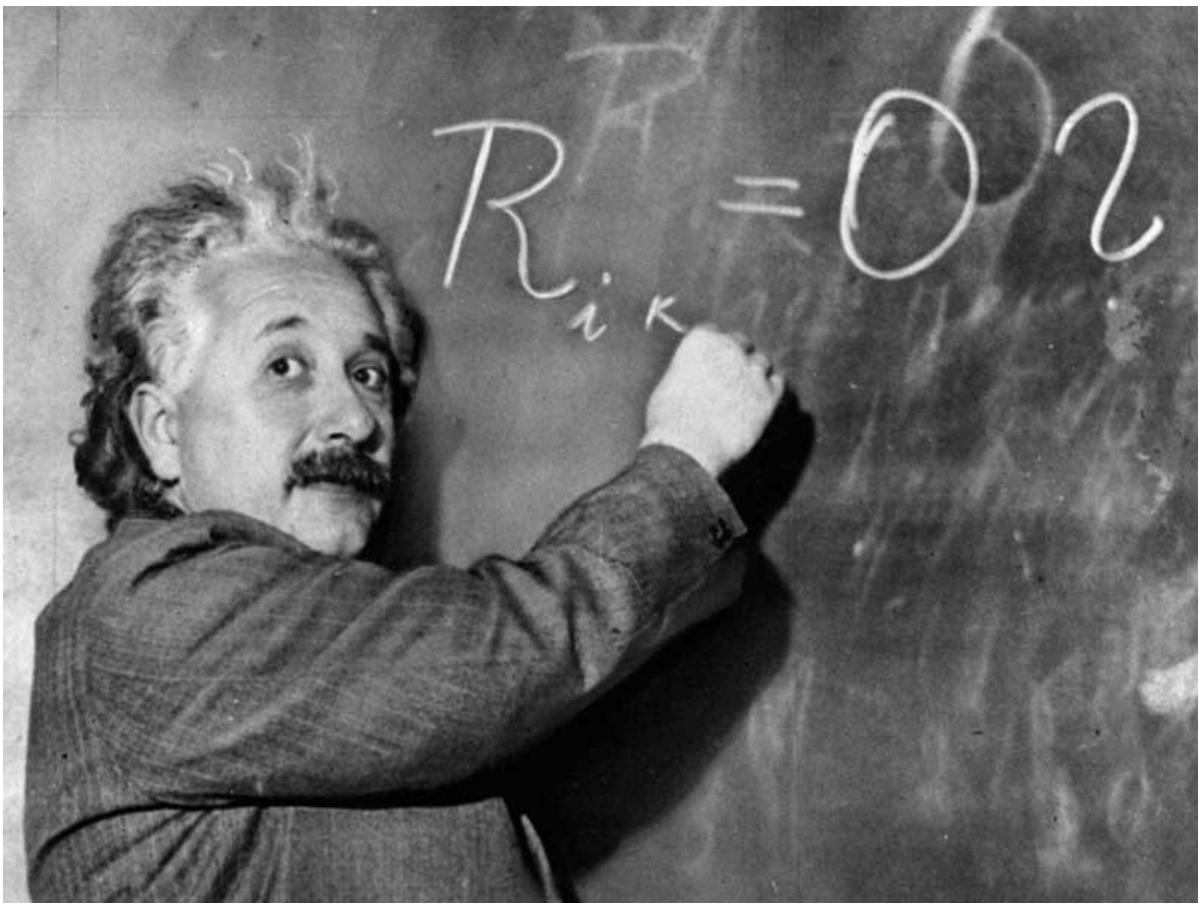
Me er ikkje i midten, men alt er i midten. Kopernikus sin filosofi heng ikkje på greip lenger. Han såg neppe føre seg fleire enn tri dimensjonar.

Dei fjernaste fenomena som ein greier å observera ligg 13,7 milliardar ljosår borte. Og det samsvarer bra med at jolekaka var uendeleg lita for 13,7 milliardar år sidan.

Kjempesmellen

I 1931 Gjekk Lemaître vidare og konkluderte med at denne utvidinga hadde byrja i eit «uratom», som brått hadde teke til å utvida seg. Denne «kjempesmell»-teorien var omstridd heilt til 1965, då den kosmiske bakgrunnsstrålinga i mikrobølgjeområdet vart påvist.




$R_{ik} = 0$