

## Himmelrummets dybde gennem 2500 år

Erik Høg

Astronomisk Observatorium ved Københavns Universitet

Vi ser Sol, Måne og stjerner på himlen, som om de sidder indvendig på en himmelkugle. Men meget tidligt har mennesker haft forestillinger om dybden i himmelrummet. Grækeren Anaxagoras levede for 2500 år siden, og han påstod, at Solen er en rødglødende sten større end hele halvøen Peloponnes. Det betyder en afstand til Solen på mere end 20 000 km. Anaxagoras blev derfor anklaget for gudsbespottelse og måtte forlade Athen, hvor han havde boet i 30 år. Det var vel en rimelig anklage, når alle

jo vidste, at solguden Helios hver dag kører fra øst til vest over himmelhvælvet i sin ildsprudende vogn og om natten færger tilbage i et gyldent skib. For den troende kristne som fx Johannes Kepler (1571–1630) havde Gud skabt universet efter geometriske og harmoniske principper, at udforske disse var derfor at tilbede Gud (Figur 1).



**Bildo 1:** Dio kiel arkitekto: ilustraĵo el mezepoka Biblio

**Figur 1:** Gud som arkitekten: illustration i en bibel fra middelalderen

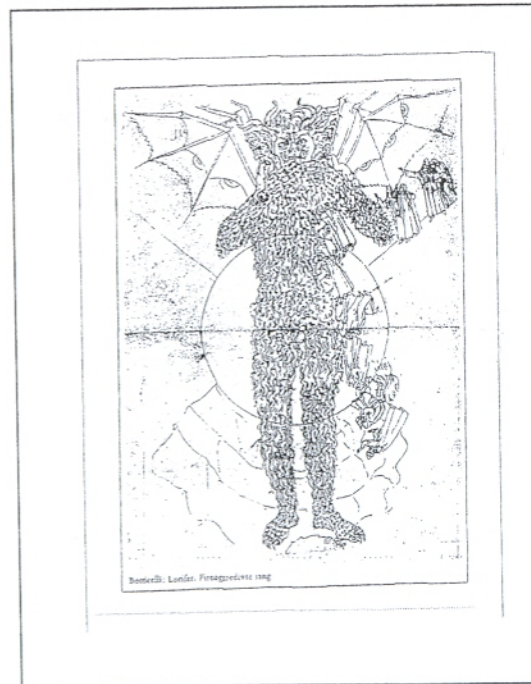
## Grandeco de la universo laŭ astronomoj dum 2500 jaroj

Erik HOG

Kopenhaga Universitata Observatorio

Ni vidas la Sunon, la Lunon kaj la stelojn sur la ĉielo kvazaŭ metitaj sur la interno de iu sfero. Sed eĉ la frua homo havis ideojn pri la distanco ĝis ĉielaj objektoj. La greka filozofa Anaksagoro (ĉ. 500-428 a.K.), kiu vivis en Ateno antaŭ 2500 jaroj, diris, ke la Suno estas fajra roko tiom granda kiom la duoninsulo Peloponezo formanta la sudan parton de Grekujo. Tio

donas distancon de la Suno pli granda ol 20 000 km. Anaksagoro tial estis akuzita pro blasfemado kaj devis forlasi Atenon. Liaj samtempuloj kredis, ke Apolono, la Dio de la Lumo, iras en sia fajra ĉaro kun la Suno trans la ĉielon dum la tago, kaj reiras dum la nokto dormante en sia ŝipo. Laŭ la kristanoj, Dio kreis la universon laŭ geometriaj kaj harmoniaj principoj (ankaŭ Keplero kredis tion); akcepto de tiu principo do estas adorado de Dio (Bildo 1).



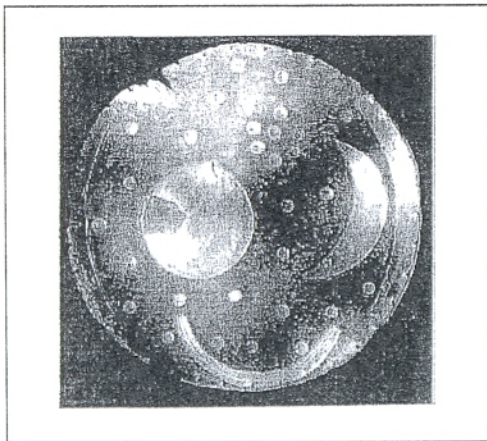
**Bildo 2:** Lucifero en la centro de la Tero: desegnaĵo de Sandro Botticelli, ĉ.1500 p.K.

**Figur 2:** Lucifer i Jordens centrum: tegning af Sandro Botticelli, ca. 1500

Grækerne var imidlertid de første mennesker, som udviklede en forståelse af naturen på grundlag af rationelle forklaringer i stedet for en tro på guder med meget menneskelige følelser. Særlig fremtrædende er Ptolemæus, som levede i Alexandria omkring 150 e.v.t. Han er ikke den første, som taler om afstande til planeter og stjerner, men hans beregninger fik den højeste anerkendelse i de følgende 1500 år.

Værdierne for Jordens radius og afstandene til Solen og Månen havde han fået fra græske astronomer, der virkede mellem 300 og 100 f.v.t. Afstanden til sfæren med fiksstjernerne var 20000 gange Jordens radius eller 14 milliontedel af et lysår. (Et lysår er 1,49 milliarder jordradier).

I middelalderen troede man, fx Dante (1265-1321) i hans berømte "Guddommelige Komædie", at Gud og englene bor uden for fiksstjernerens sfære. Denne naive og populære opfattelse deltes ikke af teologerne, som mente, at Gud er alle steder til alle tider. I Jordens centrum, hvor Lucifer står, vender alt jo om. Virgil med Dante på ryggen klatrer nedan og vender "på hovedet", da han når Jordens centrum (Figur 2).



**Bildo 3:** La "Ĉiela Disko" de *Nebra*, Germanujo

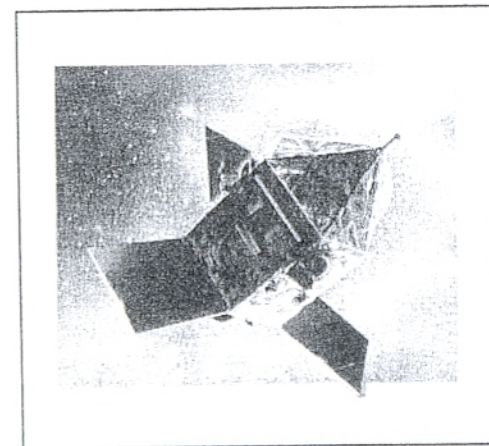
**Figur 3:** Himmelskiven fra *Nebra* i Tyskland

Den græske værdi for Solens afstand var tyve gange for lille, og ikke engang Tycho Brahe tvivlede på denne afstand. Johannes Kepler var den første der udtrykte tvivl i 1617, Men det varede 150 år inden afstanden blev slået fast gennem nye målinger, da Venus passerede hen over Solens skive. Det skete igen den 8. juni 2004, som man kunne se fra Europa.

La grekoj tamen estis la unuaj homoj kiuj evoluigis komprenadon de la naturo laŭ raciaj ekkonoj, kontraŭe al la kredo je diversaj dioj kun iliaj homaj sentemoj. Plej elstara estis Ptolemeo, kiu vivis en Aleksandrio ĉirkaŭ 150 p.K. Li ne estas la unua kiu parolis pri distancoj al planedoj kaj steloj, sed liaj distanc-kalkuloj ricevis plej altan estimon dum la sekvaj 1500 jaroj.

Liaj valoroj pri la tera radiuso kaj distancoj de Luno kaj Suno venis de grekaj astronomoj, kiuj vivis inter 300 kaj 100 a.K. Lia distanco al la sfero de la fiksaĵ steloj estis 20 000 radiusoj de la Tero aŭ 14 milion-onoj da lumjaroj. (Unu lumjaro estas 1,49 miliardoj da terradiusoj.)

Dum la Mezepoko, kiel ekz. ankaŭ Danto (1265-1321) en sia fama "Dia Komædio", oni pensis, ke Dio kaj la anĝeloj vivas pli malproksime ol la sfero de la fiksaĵ astroj. Tiu naiva kaj popola vidpunkto pri la kosmo ne harmoniis kun tiu de la teologoj kiuj pensis, ke Dio estas ĉie ajn je ĉiu tempo. En la tera centro, kie loĝas Lucifero, ĉio ja renversiĝas. Vergilio, kun Danto surdorse, rampas malsupren kaj "inversas" alveninte al la tercentro (Bildo 2).



**Bildo 4:** *Hipparcos*, la unua satelito por mezurado de distancoj de steloj

**Figur 4:** *Hipparcos*, den første satellit til måling af stjernerne afstande

La greka prikalkulo de la distanco ĝis la Suno estis 20-oble tro malgranda, kaj eĉ *Tycho Brahe* ne pridubis tiun distancon. Johano Keplero (1571-1630) kiel la unua esprimis dubon pri tio en 1617. Sed daŭris ankorau 150 jarojn ĝis la distanco estis bone mezurita per novaj observoj, nome kiam Venuso transiris la Sunon. Tio denove okazis la 8-an de junio 2004, kaj oni povis vidi tion de Eŭropo.

Det allerførste kendte billede af Kosmos er "Himmelskiven fra Nebra" (Figur 3). Denne arkæologiske og kulturhistoriske sensation blev kendt i 2002. Den stammer fra ca. 1600 f.v.t., altså fra den ældre bronzealder. Ingen kann tvivle om at den viser et astronomisk emne: Solen, Månen og stjernerne.

Tabel 1 indeholder afstandene i universet, som Ptolemæus og helt op til Tycho Brahe mente de var, og desuden de sande værdier i astronomiens følgende udvikling. F.W. Bessel målte den første pålidelige afstand til en stjerne i 1838, og denne stjerne, nummer 61 i Svanen, havde afstanden 11,2 lysår, eller over en million gange Ptolemæus's afstand til stjernerne.

Afstand til	Ptolemæus (ca. 150 e.Kr.)	Sand værdi
Jordens centrum	1 jordradius = ca. 6000 km	1 jordradius = 6400 km
Månen	33 – 64 jordradier	60 jordradier
Solen	1210 jordradier	20 000 jordradier
Stjernerne	20 000 jordradier = 0.000 014 lysår	= over 10 lysår siden år 1838
Fjerneste stjerner i Mælkevejen	–	30 000 lysår i år 1900
Fjerneste galakser observeret i 1960	–	2 milliarder lysår i år 1960
Yderste af det synlige univers	Stjernerne: 20 000 jordradier = 0.000 014 lysår	13.7 milliarder lysår i år 2003
Gud og englene	–	–

**Tabel 1:** Historiske og moderne afstande. (Det synlige univers er en million milliarder gange større end Tycho Brahe troede.)

Eble la plej frua bilda imago pri la kosmo estas la "Ĉiela Disko" de *Nebra*, (Bildo 3). Tiu ĉi arĥeologia kaj kultura sensaciaĵo iĝis konata nur en la jaro 2002. Ĝia aĝo estas taksata de ĉ. 1600 a.K., el la frua bronzoperiodo. Estas bone videble, ke ĝi enhavas astronomian temon: Sunon, Lunon kaj stelojn.

Tabelo 1 entenas la distancojn en la universo, kiel donitajn de Ptolemeo, kaj la verajn valorojn je diversaj tempoj en la evoluo de astronomio. *F.W. Bessel* mezuris la unuan konfidindan distancon al iu stelo en 1838, kaj tiu stelo, numero 61 en Cigno, havis la distancon de 11,2 lumjaroj – pli ol milionoble pli granda ol la Ptolemea distanco al la steloj.

Distanco al	Ptolemeo ~150 p. Kr.	Vera distanco
Centro de la Tero	1 terradio ~ 6000 km	1 terradio = 6370 km
Luno	33 – 64 terradioj	60 terradioj
Suno	1 210 terradioj	20 000 terradioj
Steloj	20 000 terradioj = 0, 000 014 lumjaroj	Pli ol 10 lumjaroj ekde 1838
Plej foraj steloj en la Lakta Vojo	–	30 000 lumjaroj En la jaro 1900
Plej foraj galaksioj observeblaj en 1960	–	2 miliardoj da lumjaroj En la jaro 1960
Ekstremo de la Observebla universo	Steloj: 20 000 terradioj = 0, 000 014 lumjaroj	13,7 miliardoj da lumjaroj En la jaro 2003
Dio kaj la anĝeloj	–	–

**Tabelo 1:** Historiaj kaj modernaj distancoj (La observebla universo estas unu milionmiliardoble pli granda ol *Tycho Brahe* kredis)

Afstanden til randen af det kendte univers er vokset hurtigst i de sidste 100 år. Den voksede til 30000 lysår for vores Mælkevej, som astronomer for 100 år siden anså for at være hele universet. Men nu ved man, at horisonten for det observerbare univers ligger i en afstand af 14 milliarder lysår. I 1960 havde man allerede med fem-meter teleskopet på Mount Palomar fotograferet lyssvage galakser i en afstand af 2 milliarder lysår. Den første satellit til måling af stjerners afstande, Hipparcos (Figur 4), blev opsendt af det Europæiske Rumagentur (ESA) i 1989. På tre år målte Hipparcos afstande til 120 000 stjerner ud til en afstand af 1000 lysår. Den målte desuden 2,5 millioner stjerner til Tycho-2 kataloget, indeholdende positioner, bevægelser og farver for hver stjerne.

Man må jo spørge: kan universet fortsætte med at vokse sådan? Svaret er NEJ, fordi vi har stor tillid til at universets alder er omkring 14 milliarder år. Dermed er den kosmiske horisont defineret: lyset fra objekter uden for den kosmiske horisont kan ikke have nået til Jorden i det tidsrum, der er gået, siden universet begyndte.

Til slut, uden for den kosmiske horisont findes den ikke-observerbare, "usynlige", del af universet, som er meget større end den synlige del, men sandsynligvis af endelig størrelse, og hele universet udvider sig hele tiden i følge den såkaldte "Hubble ekspansion", der blev opdaget af Edwin Hubble i 1929.

## Bibliografio

- Dreyer, J.L.E. (1953). *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover, Publications, Inc.
- Høg, Erik (2001). *The depths of the Heavens – Belief and knowledge during 2500 years*. *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Macmillan Publ.Ltd.
- Høg, Erik (2003). *The depths of the Heavens – Belief and knowledge during 2500 years*. *Baltic Astronomy*, 12, 451-453
- Pedersen, Olaf (1992). *The Book of Nature*, Vatican Observatory Publications
- Pedersen, Olaf (1993). *Early Physics and Astronomy, A Historical Introduction*, Cambridge University Press
- Stephenson, Bruce (1994). *The Music of the Heavens, Kepler's Harmonic Astronomy*, Princeton University Press
- Van Helden, Albert (1985). *Measuring the Universe, Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley*, The University of Chicago Press
- WMAP (2003). *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*, <http://map.gsfc.nasa.gov>

**Noto:** La artikolo baziĝas sur la citita publikigaĵo de la aŭtoro kaj fakte estas mallongigo de alia.

La distanco ĝislime de la konata universo plej rapide kreskis dum la ĵus pasintaj 100 jaroj. Ĝi kreskis ĝis 30 000 lumjaroj por nia Lakta Vojo, kiun astronomoj antaŭ 100 jaroj konsideris la tuta universo. Sed nun oni scias, ke la horizonto de la observebla universo estas je distanco de 14 miliardoj da lumjaroj. En 1960 la *Palomar*-kvinmetra teleskopo jam fotis mallumajn galaksiojn je distanco de du miliardoj da lumjaroj. La unua satelito por mezuri distancojn de steloj, *Hipparcos* (Bildo 4), estis sendita en la spacon fare de la Eŭropa Spaca Agentejo en 1989. Dum tri jaroj *Hipparcos* mezuris la distancojn de 120 000 steloj ĝis mil-lumjara distanco. Ĝi ankaŭ donis 2,5 milionojn stelojn por la *Tycho-2* Katalogo, inkluzive de pozicioj, moviĝoj kaj koloroj.

La urĝa demando estas: ĉu tia rapida kreskado de la universo povas daŭri? La respondo estas "ne", ĉar ni havas grandan konfidon, ke la aĝo de la universo estas proksimume 14 miliardoj da jaroj, kaj tio difinas la kosman horizonton: la lumo de objektoj ekstere de la kosma horizonto ne povis atingi niajn instrumentojn dum la tempo ekde la komenco de la universo.

Fine, ekstere de la kosma horizonta estas la neobservebla parto de la universo kiu estas multe pli granda ol la observebla parto. Sed verŝajne ĝi havas finan grandecon, kaj la tuta universo daŭre kreskas laŭ la t.n. "*Hubble Flow*", kiun *Edwin Hubble* trovis en la jaro 1929.

## Adreso de la aŭtoro

Prof. Dr. Erik Høg  
 Skovsøen 23  
 DK – 2880 – Bagsværd  
 DANLANDO  
 <erik.hoeg@get2net.dk>

## Priaŭtoro informo

La aŭtoro kunlaboris, kadre de la Kopenhaga Universitata Observatorio, en la Eŭropa projekto *Hipparcos* pri Spaca Astrometrio (t.e. mezurado de la pozicioj kaj distancoj de steloj) ekde la unuaj studoj en 1975. Profesoro Høg ricevis en la jaro 1999 "Medalon de la Direktoro de Scienco" pro elstara kontribuado al la scienca programo de la Eŭropa Spaca Agentejo. Li eklernis Esperanton antaŭ 50 jaroj kaj okaze uzis la lingvon ĉie en la mondo.