

# 1 Historien om det heliosentriske Univers

*Det er umulig for en observatør uten teleskop å observere om det er Jorden som roterer rundt Solen eller om det er Solen som roterer rundt Jorden. På Jorden opplever vi planetene roterer med forskjellig hastighet rundt Jorden. Det er derfor helt naturlig og forståelig å hevde som Aristoteles gjorde for over 2000 år siden at Solen, Månen, planetene og stjernene roterer rundt Jorden og at stjernehimmelen er uforanderlig. Ptolemy måtte forbedre modellen til Aristoteles slik at planetenes retrograde bevegelse kunne forklares.*

*Denne geosentriske modellen av Universet stod "spikret" fast i over 1000 år. Det var Copernicus startet revolusjonen mot den gamle geosentriske hypotesen, han plasserte Sola i sentrum av planetsystemet og samlet sine ideer og beregninger i en bok han kalte (på norsk): "Revolusjon på himmelkula", den ble publisert i 1543. Copernicus fikk ikke gjennomslag for sine beregninger. Den katolske kirken forbød boken i 1616, den ble først frigjort i 1835. Galilei Galileo tok i bruk teleskopet i 1609 og oppdaget at Venus hadde gibbus fase og at Jupiter var et lite solsystem. Disse oppdagelsene irriterte den katolske kirken, boken til Copernicus ble forbudt. Den katolske kirken ønsket å beholde dogmet om at Jorden var i sentrum av Universet.*



Figur 1(UiA/TP) viser Jupiter og de fire galileiske månene: Ganymede, Io, Europa og Callisto (fra venstre mot høyre). Går vi ett døgn fram, vil rekkefølgen være: IO, Europa, Ganymede og Callisto (fra venstre til høyre). Galileo Galilei hadde oppdaget (1610) et lite "solsystem". Perioden for disse månene varierte fra to døgn (Io) til 17 døgn for Callisto. Denne oppdagelsen vakte stor oppsikt, på den tiden skulle alt rotere rundt Jorden og det var utenkelig at planeter hadde måner.

## Universet er begripelig

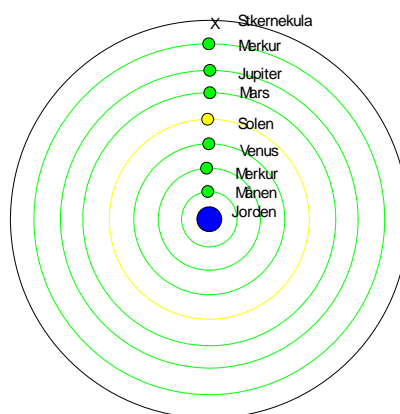
I mange tusen år har menneskene stirret på himmelen, blitt begeistret og undret seg over det de så. Astronomien har arvet mange myter og sagn om stjernehimmlen fra antikken. Det var ikke alle som trodde på disse fortellingene, enkelte greske pionerene for eksempel hadde i oldtiden en stor trang til å søke etter virkeligheten bak det som ble observert på den roterende himmelkule. Pythagoras kjenner vi fra skolematematikken. For mer enn 2500 år siden mente Pythagoras at matematikken er i stand til å beskrive naturen. Omtrent 200 år senere hevdet Aristoteles at universet ble styrt av fysiske lover og at himmelen er permanent og lar seg ikke forandre. Den greske astronomen Eratosthenes (200 BC) er et annet eksempel, han beregnet Jordens omkrets med en imponerende nøyaktighet (et avvik på 2000km). Aristarchus (280 BC) fra den greske øya Samos, fant at avstanden til Solen var 20 ganger større enn avstanden til Månen. I dag vet vi at dette avstandsforholdet er omtrent 400. Selv om målingene til Aristarchus ligger langt unna nåtidens målinger, var hans bidrag til utviklingen av den vitenskapelige metode importerende.

Astronomien i dag kan takke sine antikke greske pionerer for den trangten de hadde til å finne årsaken til (begripe) det de observerte. Den antikke greske holdningen at **universet er begripelig** og at observasjoner, logikk og matematikk gir ny viten er en stor arv til deres etterkommere. I dag er vi inne i astronomens gullalder, astronomene observerer med ny teknologi. Modellene testes ved hjelp store datamaskiner. Resultatene publiseres, kritiseres og astronomene forbedrer modellene og finner nye konsekvenser som må undersøkes.

## Fire universmodeller

I dette avsnittet skal vi kort beskrive fire modeller av universet, tre av disse baserer seg på hypotesen: "Jorden i sentrum". Den fjerde modellen er heliosentrisk med "Solen i sentrum". Denne geosentriske modellen av Universet stod "spikret" fast i over 1000 år. Det var Copernicus startet revolusjon mot den gamle geosentriske hypotesen, han plasserte Sola i sentrum av planetsystemet. Denne endringen ble publisert i en bok som kom ut i 1543, her forklarte han planetenes retrograde bevegelse på enklere måte enn Ptolemy".

1. **Universmodellen** til Aristoteles (300 år BC) består av 8 konsentriske kuler (7 planetariske kuler og en stjerneku) med Jorden i sentrum. Månen, Merkur, Venus, Solen, Mars, Jupiter og Saturn er festet på hver sin kule, kulene roterer rundt Jorden med forskjellig vinkelhastighet. Sett fra Jorden beveger alle planetene seg med ulik konstant vinkelhastighet

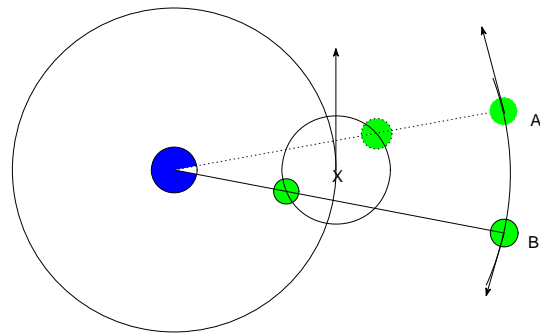


Figur 2 viser universmodellen til Aristoteles, vi ser de syv planetariske kulene. Disse roterer med ulik hastighet rundt Jorden østover i forhold til den ytterste stjerneku.

østover i forhold til stjernene. Det er denne bevegelsen mellom stjernene som har objektene er opprinnelsen til ordet plant, planet betyr bevegelse på gresk. Månen for eksempel har en østlig vinkelhastighet på 12 grader pr døgn, fordi månekula skal rotere 360 grader på 29 døgn. Solkulen har en østlig vinkelhastighet på omtrent en grad pr døgn. Venus har en østlig vinkelhastighet på omtrent 40 minutter i døgnet, denne vinkelhastigheten er liten fordi perioden er lang, hele 584 døgn. På den åttende kulen sitter stjernene fast, disse er ubevegelig i forhold til hverandre og roterer rundt Jorden en gang i døgnet. Modellen til Aristoteles kan ikke forklare planetenes retrograde bevegelse. Planetene har retrograd bevegelse når de beveger seg mot vest i forhold til stjernene.

2. **Den geosentriske universmodellen** til Ptolemy (90-168 AC), en av de siste store greske astronomer. Vi har sett at hypotesen: "de åtte himmelkulene" ikke holder mål fordi retrograde planetbevegelse er ingen konsekvens av modellen. Ptolemy tok utgangspunkt modellen til Aristoteles og innførte "sirkel på sirkel" hypotesen. Han plasserte en ny sirkulær planetbane som beveget seg på omkretsen til en annen sirkel, denne hadde Jorden i sentrum. Denne hypotesen forklarte planetenes retrograd bevegelse.

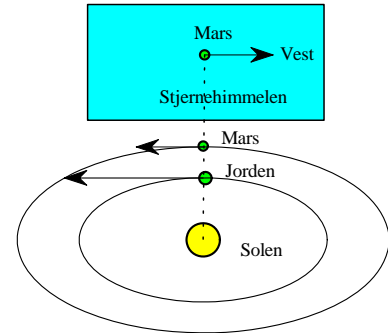
Sirkelsystemet til Ptolemy ble et komplisert system. Hans beregninger ble samlet i 13 bøker, boksamlingen ble en suksess og fikk navnet *Almagest* ("biblen til oldtiden astronomer"). Modellen til Ptolemy utviklet seg til å bli en teori som kunne forklare og forutsi bevegelsen til de 5 planetene og stod "spikret" fast i over 1000 år. Etter hvert som nye observasjoner strømmet inn måtte modellen korrigeres. Det var mange som hevdet at systemet til Ptolemy ble for komplisert. Naturen må være bygd opp på en enklere måte hevdet de. Det er en regel som kalles på engelsk "Occam razor". På norsk kan vi si at denne regelen uttrykker følgende: "Noe må være galt dersom forklaringen blir veldig komplisert".



Figur 3 viser "sirkel på sirkel" modellen til Ptolemy, sentrum av planetsirkelen roterer rundt Jorden. Sett fra Jorden vil planeten gå mot øst i forhold til stjernene i posisjon A og mot vest i posisjon B (retrograd bevegelse)

3. **Den heliosentriske modellen til Copernicus (1473-1543).** Copernicus tok utgangspunkt i den geosentriske modellen til Ptolemy, Jorden ble en planet og Solen fikk plass i sentrum av sirkelsystemet. Det tok nesten 2000 år før den heliosentriske modellen ble allment akseptert, en av grunnene kan være at Jordens bevegelse ikke oppleves i det dagelige, Jorden er tilsynelatende i ro og i sentrum av universet.

Copernicus var den første personen som beskrev det heliosentriske verdensbilde i detalj, men han var ikke den første som kom på tanken om at Solen måtte være i sentrum og planetene i baner rundt Solen. Den greske astronomen Aristarchus var også opptatt av relativ bevegelse mellom to systemer, han tenkte på en rytter som rir hurtig forbi en fotgjenger. I det rytteren passerer fotgjengeren vil rytteren se fotgjengeren bevege seg bakover i forhold til bakgrunnen. Denne observasjonen inspirerte Aristarchus til å lage den heliosentriske modellen. Mars vil for eksempel bevege seg vestover i forhold til stjernene når Jorden tar igjen Mars.



Figur 4 viser Mars beveger seg mot vest på stjernehimmelen (retrograd bevegelse) når Jorden tar igjen Mars på vei rundt Solen.

Copernicus forstod at Merkur og Venus (de indre planeter) gikk i bane rundt Solen innefor Jordbanen fordi disse planetene alltid ble observert i nærheten av Solen. De andre synlige planetene ble observert om natten i stor avstand fra horisonten på et tidspunkt solen var langt under horisonten. Når dette skjer må Jorden ligge innenfor planetene Mars, Jupiter og Saturn. Disse ble kalt de ytre planeter. Planetene Uranus og Neptun ble først observert etter teleskopet ble oppdaget i 1609, disse er også ytre planeter. Copernicus observerte tiden det tok planetene å rotere rundt himmelekula mellom stjernene en gang. Han tok utgangspunkt i disse beregningene og fant planetens omløps tid i banen rundt Sola. Copernicus fant også den relative størrelsen på planetbanene.

Copernicus samlet sine ideer og beregninger i en bok han kalte (på norsk): ”Revolusjon på himmelkula”, den ble publisert i 1543 (samme året som han døde). Copernicus fikk ikke gjennomslag for sine beregninger. Den katolske kirken forbød boken i 1616, den ble først frigjort i 1835.

Den heliosentriske universmodellen er ingen fysisk teori men en god modell som bygger på hypoteser som kan observeres, men den gir ingen forklaring på hvorfor den er riktig. Modellen må derfor undersøkes nærmere. Det var Tycho Brahe, Kepler, Galilei og Newton som fullførte dette arbeidet.

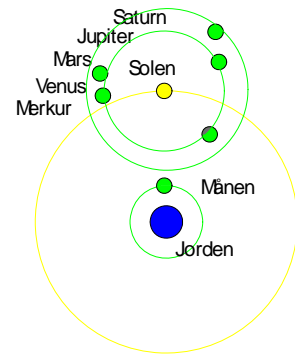
#### 4. Den hybride universmodellen til Tycho Brahe (1546-1601)

11. november 1572 oppdaget Tycho Brahe en ny stjerne i Cassiopeia. Han fant etter noen dagers observasjoner at stjernen ikke beveget seg i forhold til de andre stjernene i Cassiopeia, det var ingen komet han hadde oppdaget. Den nye stjernen måtte ligge utenfor de planetariske kulene fordi rotasjonen av Jorden hadde ingen innflytelse på stjernes posisjon. 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 Aristotles baserte seg på. Den lyste sterkere enn Venus og 18 måneder senere forsvant den.

Denne oppdagelse førte til endring av den tradisjonelle forståelsen av Universet, oppdagelsen slo sprekker i teorien til Aristoteles, han mente at stjernekulene vil til alle tider være uforanderlig. Tycho Brahe satt i gang parallaksemålinger av den nye stjernen, han

fant ikke **parallakseskift** og konkluderte at stjernen måtte ligge på stjerneekula utenfor de planetariske kulene. Det var denne oppdagelsen som førte til at Kongen av Danmark gav penger til et nytt observatorium på Øya Ven utenfor København. Tycho Brahe forsøkte å bekrefte teorien til Copernicus ved å måle parallakseskift for stjernene i løpet av Jordens sideriske periode, han fant ikke det han søkte etter og var derfor fortsatt overbevist om at Jorden måtte være sentrum i universet.

Tycho Brahe kom fram til at planetene gikk rundt Solen og at Solen beveget seg rundt Jorden, en blanding av den heliosentriske- og den geosentriske modellen. I ettertid vet vi at det var fysisk umulig for Tycho Brahe å finne det parallakseskiftet han søkte etter fordi øyets oppløsningsevne er for lite, teleskopet var ennå ikke oppfunnet. De første nøyaktige stjerneparallakser ble utført først i 1838, disse var mindre enn ett buesekund. Fra 1576 til 1597 målte Tycho Brahe planetposisjoner med en nøyaktighet på 1 bueminutt, bedre posisjonsbestemmelser uten teleskop er det ikke mulig å oppnå.

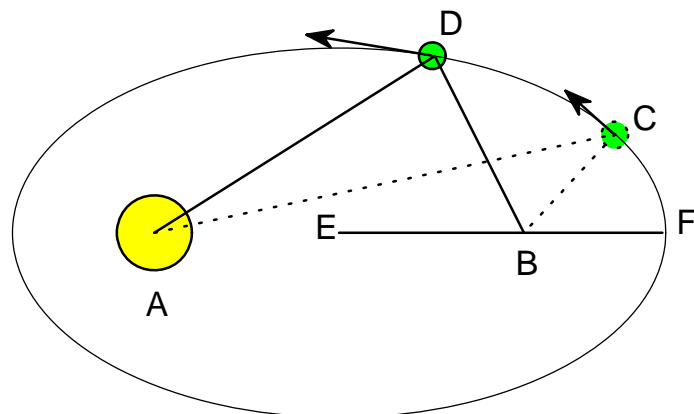


Figur 5 viser den hybride universmodellen til Tycho Brahe. Planetene går rundt Solen og Solen går rundt Jorden. Stjernehimlen er en kule utenfor planetene med Jorden i sentrum

## Keplers lover

Johannes Kepler (1571-1630) var en tysk matematiker som ble assistent hos Tycho Brahes i Prag, ett år før den store stjerneforskeren døde i 1601. Kepler overtok observasjonsmaterialet til Brahe, han tok utgangspunkt i de nøyaktige observasjonene av planeten Mars og fant lovene som beskriver planetenes bevegelse rundt Solen.

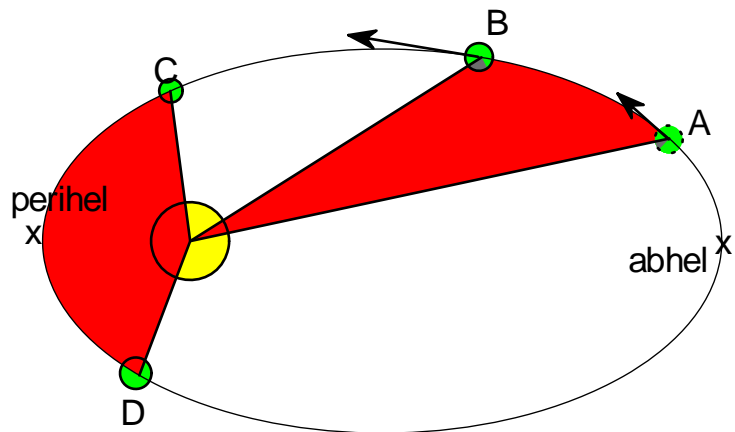
Kepler var den første (1609) som mente at planetbanen er ellipsebane med Solen i det ene brennpunktet. Vi har tidligere sett Aristotles, Ptolemy, Copernicus og Tycho Brahe mente at sirkelen var den geometriske figuren som beskrev planetbanene. Det var derfor veldig radikalt å hevde at planetene skulle følge ellipsebaner fordi sirkelen ble oppfattet av mange astronomer som den harmoniske og perfekte geometriske figur. Det var også mange som mente at dersom Gud oppholder seg i himmelen blant stjerner og planeter vil planetbanene også være perfekte, deres baner vil være sirkler. I dag vet vi at Kepler hadde rett og vi lærer i matematikktimene at sirkelen er en ellipse med brennpunktene samlet i et punkt, altså er sirkelen et spesialtilfelle av ellipsen.



Figur 5 viser ellipsebanen til en av planetene. Solen er i det ene brennpunktet (A), det andre brennpunktet er B. Summen av lengdene fra planeten til de to brennpunktene er under rotasjonen konstant. Størrelsen på ellipsen er gitt av avstanden EF som vanligvis gis symbolet  $a$  (se Keplers 3. lov.)

Kepler oppdaget at planeten under studiet av tallene til Tycho

Brahe at planetene beveger seg raskest når avstanden til Solen er minst (perihel). Hastigheten i banen er minst når avstanden til Solen er størst (aphel). Kepler tenkte seg en imaginær linje gjennom planeten og Solen, denne linjen “feier” over samme areal i samme tidsintervall. Det tar med andre ord like lang tid for planeten å bevege seg fra A til B som fra C til D når de to røde arealene er like store. Dette er flateloven eller Keplers 2. lov, denne loven ble også publisert i 1609, altså for 400 år siden.



Figur 6 viser Keplers 2 lov: de to røde flatene er like store dersom tiden planeten bruker fra A til B er lik tiden den bruker fra C til D.

Først 10 år senere ble tredje loven til Kepler publisert, denne loven viser at det er en matematisk sammenheng mellom planetens omløpstid i banen (perioden) og størrelsen på ellipsebanen den går i. Planetens periode ( $P$ ) kvadrert er lik halvparten av ellipseaksen ( $a$ ) opphøyet i tredje potens.

Denne loven blir ofte kalt for periodeloven til Kepler ( $P^2 = a^3$ )

## Newton's lover

Det er viktig å legge merke til at modellene til Ptolemy, Copernicus og Kepler et resultat av prøving og feiling. De justerte sine modeller slik at de passet til observasjonene. Isaak Newton (1642-1727) tenkte helt nytt, han fant ut at årsaken til akselerasjonen var en kraft (Newtons 2. lov) og at et legeme kunne fortsette med konstant fart uten at det virket krefter på legemet (Newtons 1. lov). Han forstod også at en kraft kunne aldri opptre alene, den har alltid en motkraft som virker på et annet system (Newtons 3. lov). Newton konkluderte med at der måtte være en kraft som holdt planetene i sin bane rundt Solen og at denne kraften var gitt av gravitasjonsloven. Newton tok utgangspunkt i Keplers 3. lov og fant gravitasjonsloven, et resultat som viser at Tycho Brahes observasjoner av planetbevegelsene har blitt utført med stor og tilstrekkelig nøyaktighet.

I dag vet at Newtons mekanikk har sine begrensninger, den kan ikke brukes i atomene og i atomkjernene. Den kommer også tilkort i systemer med hastighet opp mot lyshastigheten og i systemer med ekstrem stort tyngdefelt. Lovene gjelder ikke for systemer som er i akselerasjon.

## Den vitenskapelige metode

De greske astronomer i antikken og deres etterkommere på 1600 tallet har hatt en ukuelig trang til å finne fram til modeller som beskriver Universet som vi er en del av. Modellene ble hele tiden korrigert i takt med nye observasjoner. Nye forklaringer (hypoteser) ble lansert. Utvikling av ny

kunnskap er tidkrevende og krever utvikling av ny teknologi. Vi har sett at Tycho Brahe klarte å posisjonsbestemme planeten med en nøyaktighet litt under ett bueminutt, han benyttet det blotte øyet og gode sekstanter. Historien har vist at hans målinger var gode og at lovene til Kepler baserer seg på disse målingene. Newtons lover og Keplers lover har mye til felles, Newton tok utgangspunkt i Keplers lover og fant gravitasjonsteorien.

Skal i det følgende gi en kort generell beskrivelse av hva som ligger den vitenskaplige metode, denne metoden skal prege formatet til de artiklene som legges ut på nettet.

**Den vitenskaplige metode** tar utgangspunkt **hypoteser**. En hypotese er en forklaring på et fenomen eller en sammenheng i naturen. Hypotesene må alltid være i samsvar med observasjonene, den står på fast grunn dersom den kan forutsi et naturfenomen som kan observeres.

Vitenskapsmannen kaller hypotesen for en **modell** dersom hypotesen holder mål. Modellen gir informasjon om det vi observerer og forklarer det vi observerer. Et godt eksempel er den heliosentriske modellen og Keplers lover som beskriver på en enkel måte det heliosentriske verdensbilde.

En **fysisk teori eller de fysiske lovene** derimot forklarer hvorfor modellen er riktig. Vi kan si det slik at uten modeller og teorier er der ingen forståelse, ingen vitenskap er bare en samling av fakta. Et godt eksempel på en fysisk teori er gravitasjonsteorien til Newton, denne teorien er universell, den gjelder på Jorden og i hele Universet. Newton tok utgangspunkt i Keplers lover og fant gravitasjonsloven.

I mekanikkdelen av fysikken står Newtons lover sentralt, lovene kan forklare og forutsi store astronomiske begivenheter som skal komme.

Edmund Halley var en venn av Newton, han undersøkte fire historiske observasjoner (1456, 1531, 1607 og 1682) av en komet som hadde vist seg i intervall på 76 år. Halley antok det var den samme kometen og benyttet Newtons mekanikk og fant at den skulle komme tilsyne på et bestemt sted i 1758. På julaften 1757 dukket den opp på samme dag som Newton hadde gebursdag. Den ble kalt Halley komet. Hverken Halley eller Newton fikk oppleve denne store begivenheten på himmelen. En begivenhet som bekreftet Newtons lover.

Den syvende planet Uranus ble oppdaget tilfeldig av William Herschel i 1781. Oppdagelsen av den åttende planet var også en suksess for teorien til Newton. Femti år senere oppdaget to astronomer at Uranus ikke fulgte banen den skulle følge etter teorien og de konkluderte med at der måtte være en ukjent planet utenfor. Denne ukjente planeten (Neptun) ble oppdaget 23. september 1846 i en posisjon som avvek ca 1 grad fra beregnet posisjon.

## **Galileo Galilei (1564-1642)**

En annen stor vitenskapsmann som har betydd mye for astronomien og den kunnskapen vi har om Universet i dag er Galileo Galilei (Galilei døde samme året Newton ble født). Han så gjennom sitt teleskop fire ”stjerner” som beveget seg i forhold til Jupiter. Galilei hadde oppdaget et kopernikansk ”solsystem” i miniatyr. Galilei blir ofte kalt for grunnleggeren av naturvitenskapen fordi han var først til å benytte teleskopet, det han så kunne gi svar på om hypotesene han undersøkte var riktige. Copernicus og andre astronomer som observerte med det blotte øye observerte at Venus beveget seg fra den ene siden av Solen til den andre siden, men de kunne ikke observere om Venus roterte rundt Solen. Med sitt nye instrument kunne Galilei observere fasene på Venus på samme måten som vi kan se Månefasene med det blotte øyet. Vi kan oppleve at Månen kan bli mer enn 50% belyst (gibbusfasen).



Figur 7 (Universe). Venus i gibbusfasen, en observasjon som skapte en astronomisk revolusjon

Galilei så Venus i gibbusfasen for første gang i 1609, en observasjon som skapte en astronomisk revolusjon. For første gang i historien ble hypotesen om det heliosentriske verdensbildet bekreftet ved observasjon. Den geosentriske modellen kan kun forklare en belsningsprosent opp til 50%, hypotesen om at Jorden er i sentrum av Universet må være feil