

**UENDELIGHEDER  
OG  
VERDENSBILLEDER  
KEMI OG FYSIK**



x-klasserne

Gammel Hellerup Gymnasium

## INDHOLDSFORTEGNELSE

9. STOFFET .....	3
Atomteorier .....	5
10. MULIGHEDEN FOR BEVÆGELSE .....	8
11. VERDENSBILLEDER .....	12
Babylonsk astronomi .....	13
Græsk astronomi .....	16
12. ARISTOTELES' VERDENSBILLEDE .....	20
Platons retningslinje .....	23
Eudoxos (410 - 355 fvt.) og de 27 sfærer .....	23
Apollonius (ca. 262 - 190 fvt.) og epicyklerne .....	25
13. PTOLEMAIOS' VERDENSBILLEDE (ca. 150 evt.) .....	28
14. KOPERNIKUS' VERDENSBILLEDE .....	32
15. TYCHO BRAHES VERDENSBILLEDE .....	36
16. KEPLER OG GALILEI .....	41
Galileo Galilei (1564-1642) .....	45
17. DE MANGLENDE OPDAGELSER .....	50
APPENDIKS: Introduktion til verdensbilleder .....	53

## 9. STOFFET

Vi skal nu se på, hvor uendelighedsbegrebet spiller en rolle i kemi. Og her er svaret faktisk ret enkelt: Det spiller overhovedet ingen rolle. Der eksisterer eller opstår ikke uendeligheder, når man arbejder inden for kemi, og hermed kunne vi jo sådan set stoppe her og lade dette kapitel være forløbets korteste kapitel.

MEN ... det gør vi ikke. For godt nok opstår der ikke uendeligheder, men det er faktisk ikke en selvfølge. I mere end 2000 år var den dominerende opfattelse af stoffet (der er kemiens arbejdsområde) faktisk af en sådan karakter, at man ikke kunne have undgået diskussioner omkring uendeligheder, da matematikken omkring år 1900 begynde at få styr på begrebet.

Det hele drejer sig om atomet.

Det græske ord 'atom' betyder 'udelelig', og selvom man senere har opdaget, at atomer faktisk godt kan deles, så ændrer det ikke ved det essentielle i teorien, nemlig at der findes nogle mindste dele, der altså ikke kan deles, og som stoffet er opbygget af.

Vi har alle lært om atomer og er blevet så vant til at tænke på verden som opbygget af atomer, at vi måske aldrig har tænkt på alternativet. Men den videnskabelige atomteori opstod først for godt 200 år siden, og det er kun godt 100 år siden, at det takket være Albert Einstein (1879-1955) lykkedes eksperimentelt at eftervise eksistensen af atomer. Einstein modtog nobelprisen i fysik i 1921, men det var hverken for udviklingen af relativitetsteorien eller opdagelsen af atomerne. I 1905 havde han udgivet 3-4 artikler, der hver især kunne have indbragt ham nobelprisen, så han burde nok have modtaget nobelprisen tre gange. Hvorfor han ikke gjorde det, har man diskuteret mange gange. Han modtog den for sin beskrivelse af den såkaldt fotoelektriske effekt, som I skal lære om i fysik.

Så hvad er alternativet til en atomteori? Eller hvad er det modsatte af en atomteori?

**Øvelse 9.1:** Besvar ovenstående spørgsmål (der egentlig er ét spørgsmål i to formuleringer).

Konklusionen på ovenstående øvelse skulle gerne være noget i retning af, at alternativet til en atomteori er en teori, hvor der ikke findes udelelige størrelser, hvilket vil sige, at man kan blive ved med at dele stoffet (uden at det ændrer karakter). Sådanne teorier kaldes *kontinuerte stofteorier*, og de var fremherskende fra 585 fvt. (det år filosofien er fastsat til at være startet) og indtil langt ind i det 18. århundrede.

Vi skal i dette kapitel se på, hvordan atomteoriene og de kontinuerte stofteorier har været omtalt gennem tiderne, og hvordan kun atomteorien formåede at udvikle sig fra en filosofisk til en videnskabelig teori, der kunne afprøves. Fokus vil altså være forskellen mellem filosofi og videnskab.

Det, der er karakteristisk ved kontinuerte stofteorier, er som sagt, at man kan blive ved med at dele stoffet, uden at det ændrer karakter. Dette er i modstrid med atomteorier, hvor man på et tidspunkt når til en mindste udelelig størrelse (atomet), og hvor nogle af stoffets karakteristiske egenskaber opstår ved sammensætning af atomer (det vi kalder molekyler eller atomgitre), hvorfor en del egenskaber faktisk forsvinder, når vi når helt ned til de enkelte atomer (f.eks. kan man ikke tale om et smeltepunkt for et jernatom, da smeltepunktet - og selve den faste eller flydende tilstandsform - er knyttet til en samling af atomer).

En af de væsentligste forskelle mellem de kontinuerte stofteorier er, **hvad** stoffet er. Der har været rigtig mange bud.

Thales fra Milet (ca. 624 - 546 fvt.), der regnes for Europas første filosof og grundlæggeren af kontinuerte stofteorier, menes at have hævdet, at alt bestod af vand (man har ikke noget skriftligt overleveret fra Thales selv, men kun en række forskellige omtaler og referater af hans filosofi). Aristoteles skriver, at det er baseret på idéen om, at Jorden hviler på vand, men at denne tankegang ser ud til at overse, at noget lavet af vand ikke umiddelbart flyder på noget andet lavet af vand.

Anaximander (ca. 610 - 546 fvt.) hævdede, at der var ét grundelement, Apeiron, der hverken var vand eller noget andet kendt stof fra hverdagen. Han skulle efter sigende have hævdet, at *Det, hvoraf de værende ting opstår, er det samme som det, hvori de forgår efter nødvendighedens lov; for de lider straf og betaler erstatning til hinanden for den uret, de begår, ifølge tidens forordning.* Anaximander skulle desuden blandt en masse andre ting have hævdet, at levende væsener opstår fra fugt, der fordamper under påvirkning af solen, og at mennesket oprindeligt lignede et andet dyr, nemlig en fisk.

Anaximenes (ca. 585 -525 fvt.) mente, at den uendelige luft er altings princip; herfra opstår både det der opstår, det der er opstået, og det der vil opstå, guder såvel som alt guddommeligt.

Heraklit (ca. 535 - 475 fvt.) er en af de tidlige filosoffer, fra hvem flest fragmenter (citerer eller referater) er bevaret. Langt over 100 fragmenter har man til rådighed, herunder bl.a. *Alt kan omsættes til ild og ild til alt, ligesom varer kan omsættes til guld og guld til varer* og: *For sjæle er det død at blive vand, for vand er det død at blive jord; af jord opstår vand, af vand opstår sjæl* og: *Heraklit mener også, at sjælen dvs. den dampudskillelse, hvoraf alt andet består, er verdens Arche; ild er nemlig mere ulegeligt end noget andet og altid i bevægelse.*

Empedokles (ca. 490 - 430 fvt.) fandt på teorien om de fire elementer ild, luft, vand og jord.

Aristoteles videreførte Empedokles' teori om de fire elementer og inddrog desuden det femte element *æter*, som vi skal støde på flere gange i fysikkapitlerne.

Alt det ovenstående er naturligvis meget overfladisk, da det kun er et lille udvalg af tanker fra et lille udvalg af filosoffer.

Filosofi og naturvidenskab adskiller sig fra "primitiv" tankegang ved at forsøge at forklare konkrete fænomener ved almene regler, mens en primitiv tankegang forklarer konkrete fænomener ved noget konkret. F.eks. er det en primitiv forklaring på tordenvejr, at Thor ridder over himlen (her forklares det konkrete fænomen "torden" ved den konkrete erfaring med larmen fra en vogn), mens en filosofisk forklaring kunne være noget med overskud af ild og den naturvidenskabelige forklaring involverer ophobning af elektriske ladninger og det heraf forårsagede spændingsfald (begge forsøg på forklaringer ud fra de almene begreber "ild", "ladning" og "spændingsfald").

Når man skal adskille filosofien og naturvidenskaben fra hinanden, bliver det lidt mere kompliceret, da naturvidenskaben egentlig er vokset ud af filosofien.

Alt det ovenstående er filosofi. Inden for filosofien hersker fornuften (Aristoteles blev af sin lærer Platon kaldt "Fornuften"), og den læner sig op ad observationer og simple eksperimenter.

Inden for naturvidenskaben hersker Eksperimentet. Og eksperimenter skal helst være kvantitative (dvs. der skal kunne sættes tal på de størrelser, der måles). Desuden skal eksperimenterne fortolkes, og her læner eksperimentet sig op ad matematikken, logikken og fornuften.

Dette er en meget kort forklaring. Den lange forklaring kommer under forløbet "Videnskabsteori og Eksperimentelt arbejde").

Når atomteorien i modsætning til de kontinuerte stofteorier formåede at bevæge sig fra en filosofisk teori til en videnskabelig teori, så hænger det i hvert fald delvis sammen med, at det er den "rigtige" teori. Hvis en kontinuert stofteori var blevet formuleret videnskabeligt, så ville det sandsynligvis forholdsvis hurtigt være lykkedes at modbevise den.

## Atomteorier

Vi skal nu se på, hvordan atomteorien udviklede sig fra filosofi til videnskab.

Normalt siger man, at det var Demokrit, der udviklede den første atomteori, men man ved ikke, om det var ham eller hans lærer Leukippos (eller en helt ukendt tredje). Demokrit og Leukippos blev ofte bare omtalt som "atomisterne", og man ved ikke altid hvem af dem, der har sagt hvad.

Men lad os bare tage udgangspunkt i Demokrit. Han levede ca. 460 - 370 fvt. og blev også kaldt "Den leende filosof" (i modsætning til Heraklit, der var "Den grædende filosof"). Et fragment fra Demokrit lyder: *Efter skik og brug findes der farve, efter skik og brug sødt, efter skik og brug bittert, men egentlig kun atomer og det tomme rum; hvorpå sanserne siger 'Stakkels forstand, fra os tog du beviserne og vil nu forkaste os? Et fald vil den forkastelse blive dig.'*

Det er jo noget af en trussel sanserne sender af sted mod fornuften, men hvis vi ser bort fra selve truslen, så siger Demokrit altså, at vi opfatter ting med vores sanser, som vi har valgt at benævne på forskellig vis (farve, sødt, bittert), men alt dette, som kan sanses, er opbygget af atomer, der ikke kan sanses (og som vi kun kan tænke på ved at forkaste sanserne). Alt er altså opbygget af atomer, der er for små til at kunne sanses.

Læg mærke til, hvordan dette er filosofi. For hvilket eksperiment vil kunne bruges til at teste formuleringen? Vi forkaster sanserne, men har ikke sat noget i stedet.

En videnskabsmand ville have sat måleudstyr ind som erstatning for sanserne.

Epikur (341 - 270 fvt.) er kendt for flere forskellige filosofiske holdninger, men specielt hans atomteori er kendt, fordi romeren Lukrets (ca. 98-55 fvt.) udgav et stort værk *De Rerum Natura* (Den danske oversættelse fra 1998 hedder: Om verdens natur). Heri hævder han på sine 7415 vers at gennemgå Epikurs atomteori, som han bruger til at forklare bl.a. sanseindtryk og naturfænomener.

Men på trods af værkets omfang er det stadig "kun" et filosofisk værk. Fornuften anvendes til at beskrive fænomenerne ud fra en idé om, at verden er opbygget af atomer, dvs. fornuften besvarer spørgsmål af typen: "Hvordan kan man ud fra atomteorien forklare, at nogle ting smager sødt, mens andre smager surt?"

Den første videnskabelige - og dermed den første 'moderne' - atomteori skyldes John Dalton (1766-1844). Det er *loven om de multiple proportioner* fra 1808:

*Hvis to kemiske stoffer kan kombineres til at danne mere end én kemisk forbindelse, så vil forholdene mellem de masser af det ene stof, der reagerer med en fast mængde af det andet stof, når de forskellige kemiske forbindelser dannes, være forhold mellem (små) hele tal.*

**Eksempel:**

1,33 g ilt danner sammen med 1,00 g kulstof 2,33 g af en giftig gas.

2,66 g ilt danner sammen med 1,00 g kulstof 3,66 g af en ikke-giftig gas.

Bemærk formuleringen "forhold mellem hele tal". Det er lige præcis hér, at atomteorien bliver videnskabelig. Nu er der noget at tage fat på. Nu kan der udføres eksperimenter, hvor man kan teste denne hypotese.

**Øvelse 9.2:** Der står ikke noget om atomer i loven om multiple proportioner. Hvorfor kalder man det så en atomteori?

Der var nogle problemer med John Daltons arbejder, hvilket skyldtes, at han oprindeligt havde en idé om, at f.eks. et vandmolekyle bestod af ét iltatom og ét brintatom. Men det blev snart rettet til, og Amedeo Avogadro (1776-1856) kunne i 1811 fremsætte en teori for gasser, hvor han både forholdt sig til John Daltons problemer og andre franskmænds arbejder inden for området. På dette tidspunkt var atomteorien altså ved at slå igennem, da en hel del videnskabsfolk udførte eksperimenter baseret på en idé om eksistensen af atomer og molekyler.

En engelsk version af Avogadros artikel fra 1811 kan læses på:

<http://web.lemoyne.edu/~giunta/avogadro.html>

Avogadro formulerer her sin hypotese (nu kendt som en lov):

*Antallet af hele molekyler i en gas er altid det samme, når voluminet er det samme; eller: Antallet af hele molekyler er proportionalt med voluminet af gassen.*

(Der mangler lige en kommentar om, at trykket og temperaturen skal holdes konstant).

**Øvelse 9.3:** Kan denne hypotese anvendes til at vise, at et vandmolekyle består af to brintatomer og ét iltatom?

I 1869 fremlagde Dmitrij Mendelejev sin version af Det Periodiske System.

**Øvelse 9.4:** Hvor ses det, at grundlaget for Det Periodiske System er en atomteori?

I slutningen af det 19. århundrede begyndte fysikerne at tage fat på atomet, og i løbet af knap 40 år opdagede man bl.a.:

At atomet indeholder elektroner, der kan løsriveres fra dette (hvorfor det egentlig ikke er et 'atom').

At atomer har positive kerner.

At disse kerner indeholder forskellige antal protoner.

At disse kerner også indeholder forskellige antal af nogle neutrale partikler kaldet neutroner.

Men midt i alt dette lykkedes det også at komme med det første "bevis" på eksistensen af molekyler (og dermed atomer).

I 1827 havde Robert Brown opdaget, at små pollen i vand hele tiden bevægede sig (de såkaldt Brownske bevægelser). I 1905 udregnede Albert Einstein rent matematisk, hvordan disse bevægelser måtte være, hvis de skyldtes, at de små pollen hele tiden blev ramt af vandmolekyler. Allerede i 1908 lykkedes det for Jean Perrin at eftervise, at Einsteins forudsigelse/hypotese stemte med det, der kunne observeres.

Som sagt var det ikke for denne opdagelse, at Einstein modtog sin nobelpris, men det var til gengæld en af de ting, eksperimentalfysikeren Jean Perrin modtog nobelprisen for i 1926.

Dette er et eksempel på, hvordan Einstein anvendte matematikken til at udlede, hvordan nogle ting ville opføre sig i "virkeligheden". Relativitetsteoriene er andre eksempler på dette.

Så for at slutte kapitlet, hvor vi begyndte, kan man sige, at da stoffet er opbygget af atomer, optræder der ikke uendeligheder inden for kemien. Man kan kun spekulere på, hvad der ville være sket, hvis ikke atomteorien havde slået igennem inden for naturvidenskaberne, inden mængdelæren og uendelighedsbegrebet blev behandlet inden for matematikken.

Hvordan ville man have forholdt sig til den matematiker, der på baggrund af nogle klare matematiske beviser kunne hævde, at man i teorien ud fra én appelsin kunne lave to appelsiner præcis magen til den ene (se evt. afsnit 8 i matematikdelen)?

## 10. MULIGHEDEN FOR BEVÆGELSE

Aristoteles skriver i værket, der har fået titlen *Fysikken*:

*Da jo naturen er udgangspunkt for bevægelse og forandring og vor undersøgelse drejer sig om naturen, så må vi ikke være i uklarerhed om, hvad bevægelse er. For ukendskab til den medfører nødvendigvis ukendskab til naturen. Men når vi har givet besked om bevægelsen, så må vi forsøge på samme måde at gå ind på hvad der følger af den.*

*Bevægelsen menes jo at høre til det kontinuerlige, men det ubegrænsede viser sig først og fremmest i det kontinuerlige; derfor kommer også de der søger en definition på det kontinuerlige ofte til desuden at gøre brug af uendelighedsbegrebet, for så vidt som det der lader sig dele i det uendelige er noget kontinuerligt. Men desuden hævdes det, at bevægelse er umulig uden rum, tomhed og tid. Det er altså klart både af disse grunde og fordi de nævnte begreber er fælles almenbestemmelser for alle fænomener at vi først må tage fat på en undersøgelse af hvert af dem. For undersøgelsen af specialbestemmelserne kommer efter behandlingen af de almene.*

Derfor begynder vi med bevægelse...

... og vi begynder med at hævde, at bevægelse er en umulighed.

Således hævdede i hvert fald Zenon i sine paradokser. Der er to kendte Zenon'er inden for filosofien.

Zenon fra Elea og Zenon fra Kition. Sidstnævnte er grundlæggeren af den filosofiske retning *stoicismen*, som du måske kender fra udtrykket "stoisk ro", mens det er Zenon fra Elea, der hævdes at have formuleret nogle paradokser, der skulle vise, at bevægelse er et sansebedrag. Paradokserne menes at være et forsvar for Zenons lærer Parmenides, der bl.a. hævdede, at vores sanser bedrog os, når der så ud til at forekomme forandringer (herunder bevægelse), da fornuften fortalte ham, at forandringer ikke kunne finde sted (jf. forskellen mellem filosofi og videnskab omtalt i afsnit 9). Paradokserne kendes fra Aristoteles' *Fysikken*, hvor han gennemgår dem grundigt.

Zenon lægger sig ikke fast på, om rummet og tiden er kontinua eller ej (dvs. om de kan deles i det uendelige eller er opbygget af nogle mindste dele). Han overvejer alle de forskellige muligheder og finder paradokser for dem, således at ingen bagefter bare kan redde sig ud af kniben ved at hævde "Jamen, tiden er da ikke et kontinuum" eller "Rummet er da et kontinuum".

Det første og mest kendte paradoks kaldes ofte "Achilleus og skildpadden". Achilleus - med tilnavnet 'Den rappedede' - var den største af de græske helte under den trojanske krig. Det var bl.a. pga. af hans død, at Odysseus var nødt til at få ideen om den trojanske hest (måske har nogle billedet af Brad Pitt inden i den trojanske hest, men det skyldes Wolfgang Petersens lemfældige omgang med Homer).

Achilleus kan altså løbe meget stærkt, og det kan en skildpadde ikke. Så nu lader vi de to løbe om kap.



**Achilleus og skildpadden:** Antager, at tiden og rummet er kontinuua.

Achilleus vil gerne have lidt ud af konkurrencen, så i sit overmod (græsk: Hybris) giver han skildpadden et forspring. Og nu begynder kapløbet. Achilleus og skildpadden løber begge to - Achilleus meget hurtigere end skildpadden - og han når da også hurtigt frem til det punkt, hvor skildpadden startede. Det har ikke taget Achilleus ret lang tid at komme derhen, men skildpadden har trods alt nået at bevæge sig et stykke i dette tidsrum - ikke meget, men dog et stykke - og den befinder sig nu lidt længere fremme end Achilleus. Achilleus løber nu frem til dette punkt, og bruger endnu mindre tid end før på det, men i dette endnu mindre tidsrum, har skildpadden bevæget sig endnu et stykke fremad. Achilleus skal nu løbe frem til dette punkt, og i det tidsrum, han bruger på det, bevæger skildpadden sig lidt fremad. Og sådan vil det fortsætte i det uendelige. Achilleus skal hele tiden nå hen til det punkt, hvor skildpadden lige har været, og selvom han skal bruge mindre og mindre tid på dette, fordi skildpadden har bevæget sig kortere og kortere stykker, så er det stadig uendeligt mange tidsrum, Achilleus skal bruge på det. Og Achilleus kan altså ikke indhente skildpadden, da han skal gennemløbe uendeligt mange strækninger og hertil bruge uendeligt mange tidsrum.

**Øvelse 10.1:** Hvor anvendes det i fortællingen, at tiden og rummet er kontinuua?

Egentlig siger dette paradoks ikke noget om, at bevægelse er umuligt (det kommer senere). Det skal bare fortælle os, at når vi jo med vores øjne kan se, at Achilleus indhenter skildpadden, så tager vi fejl, for vi kan jo tænke os til (med ovenstående argument), at det ikke kan lade sig gøre. For tiden kan ikke gennemløbe uendeligt mange tidsrum... eller kan den?

**Øvelse 10.2:** Hvad vil en matematiker sige? Dvs. hvordan omformes problemstillingen til en matematisk problemstilling, som vi kan løse?

Achilleus løber med farten 10 m/s og skildpadden med 0,1 m/s. Skildpaddens forspring er 10 m. Lad os se på de tidsrum Achilleus skal bruge på at gennemløbe de mindre og mindre strækninger.

1. strækning: De 10 m hen til det punkt, hvor skildpadden var fra start, løbes på 1 s.
2. strækning: På det ene sekund nåede skildpadden 0,1 m, og Achilleus skal altså nu løbe 0,1 m. Det tager ham 0,01 s.
3. strækning: På 0,01 s når skildpadden 0,001 m. De 0,001 m løber Achilleus på 0,0001 s.
4. strækning: På 0,0001 s når skildpadden 0,00001 m. Achilleus løber på 0,000001 s.

...

Hvis vi ser på disse tidsrum (uden enhed) som en talfølge, så vil den tid, Achilleus bruger, være rækkesummen for rækken:

$$1 + \frac{1}{100} + \frac{1}{10000} + \frac{1}{10^6} + \frac{1}{10^8} + \frac{1}{10^{10}} + \dots$$

Dette er med betegnelserne fra afsnit 2 en uendelig række med  $a = 1$  og  $q = \frac{1}{100}$ . Og her vil en matematiker jo sige: Ja, rækken indeholder uendeligt mange led, men da  $q < 1$ , er rækken

konvergent med rækkesummen  $\frac{a}{1-q} = \frac{1}{1-\frac{1}{100}} = \frac{1}{\frac{100}{100}-\frac{1}{100}} = \frac{1}{\frac{100-1}{100}} = \frac{100}{99} = 1,0\bar{1}$

En matematiker vil altså sige, at Achilleus indhenter skildpadden efter 1,01010101... s

Pointen er altså, at det såkaldte paradoks slet ikke er et paradoks, når det behandles med den matematik, der blev præciseret i 1800-tallet. Og denne matematik er ikke baseret på sanserne.

Men lad os nu se på endnu et af Zenons paradokser. Igen er rummet og tiden kontinuua.

### **Dikotomiparadokset (Halveringsparadokset):**

Du vil gerne bevæge dig fra ét sted  $A$  til et andet sted  $B$ . Først tilbagelægger du den halve afstand og mangler altså nu kun halvdelen. Derefter tilbagelægger du det halve af den manglende halvdel og mangler således nu kun en fjerdedel af stykket. Du tilbagelægger igen halvdelen af dette stykke og mangler nu kun en ottendedel af stykket. Men selvom du kommer nærmere og nærmere på  $B$ , begynder angsten at melde sig, for nu kan du godt mærke, hvor det bærer hen. Du skal jo næste gang tilbagelægge  $\frac{1}{16}$  af stykket og så  $\frac{1}{32}$  osv., dvs. du vil skulle tilbagelægge uendeligt mange strækninger, hvilket ikke kan lade sig gøre.

Og da  $B$  kan lægges vilkårligt tæt på  $A$  fra start, kan man hermed konkludere, at man rent faktisk slet ikke kan bevæge sig.

**Øvelse 10.3:** Hvordan vil en matematiker forholde sig til dette problem? Løs det først med afstanden 1 mellem  $A$  og  $B$ , og løs det derefter generelt med afstanden  $a$  mellem  $A$  og  $B$ .

Egentlig er dette paradoks indeholdt i paradokset om Achilleus og skildpadden (hvilket Aristoteles også bemærker).

**Øvelse 10.4:** Under hvilke betingelse får man paradokset med Achilleus og skildpadden til at svare til dikotomiparadokset?

Et tredje paradoks, hvor Zenon muligvis er gået ud fra, at tiden ikke er et kontinuum, men består af tidspunkter, er følgende paradoks:

### **Den flyvende pil:**

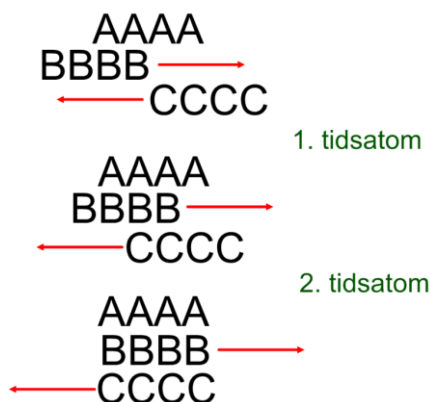
En flyvende pil må til ethvert tidspunkt være et bestemt sted. Men når den er på dette sted, kan den jo på dette tidspunkt ikke være i bevægelse. Dvs. bevægelse er umulig.

**Øvelse 10.5:** Man kan måske hurtigt affeje det ved at sige "sort snak". Men er der flere måder at afvise det på?

Lad os som afslutning se på et fjerde paradoks, hvor hverken rummet eller tiden antages ikke at være kontinuua, men opdelt i mindste "rumatomer" og "tidsatomer" (dvs. udelelige strækninger og udelelige tidsrum).

### Stadionparadokset (et stadion er en måleenhed):

Vi ser på tre legemer AAAA, BBBB og CCCC, der alle fylder 4 rumatomer. BBBB bevæger sig mod højre med en fart på 1 rumatom pr. tidsatom. CCCC bevæger sig mod venstre med samme fart:



Dvs. et B har flyttet sig fra ét A til det næste for hvert tidsatom, og det samme gælder for et C. Men så har et B jo passeret to C'er for hvert tidsatom (se figur) eller 1 C for hvert halve tidsatom (men så er det jo ikke et atom!).

En indvending mod dette argument kunne være, at så må man bare bruge dette "halve tidsatom" som det "rigtige" tidsatom. Men det løser ikke problemet, for så kan man gentage argumentet med dette "rigtige" tidsatom og igen komme frem til, at det kan halveres. Og hvis man kan blive ved med at halvere tidsatomerne, arbejder man jo med et kontinuum, hvilket er i modstrid med antagelsen fra start.

### Øvelse 10.6: Hvordan kan man med nogenlunde samme argument halvere rumatomerne?

Selvom Zenon forsøgte at argumentere for, at bevægelse ikke var mulig, var det ikke noget, der blev alment accepteret. Så vi går altså i det følgende ud fra, at bevægelse ikke er nogen umulighed.

Efter at have behandlet uendelighedsbegrebet matematisk og anvendt det i forbindelse med stof og bevægelse, træder det nu væk fra rampelyset og indgår kun som et af flere væsentlige begreber, når vi skal gennemgå udviklingen af verdensbilleder fra de første spredte ideer til vores nuværende verdensbillede.

# 11. VERDENSBILLEDER

Ordet "verdensbillede" kan sikkert bruges i mange sammenhænge, så det skal lige præciseres, hvordan vi bruger det i fysikdelen. Med et verdensbillede mener vi en forståelse af Jordens placering i Universet - herunder hvordan Jorden, Månen, Solen, stjernerne og alle de andre himmelobjekter forholder sig til hinanden, hvad de består af og hvilke principper – om nogle – der styrer alting.

De første afsnit i fysikdelen er lidt atypiske, da det meste af indholdet vil være **forkerte** ideer. Hovedpointen er at vise, hvordan man med forkerte antagelser ofte tvinges ud i mere eller mindre obskure forklaringer på nye fænomener, indtil hele systemet bryder sammen, og man må acceptere nogle nye antagelser at arbejde ud fra.

Vi skal altså se på, hvordan man langsomt fik luget ud i de forkerte idéer, der har gennemsyret verdensbillederne op gennem historien.

**Øvelse 11.1:** Repetér først det "rigtige"/moderne verdensbillede. Hvad er centrum for Solsystemet? Hvilke baner bevæger objekter sig i? Hvad består objekterne af? Gælder de samme love på Jorden som i resten af Universet? Findes der tomrum? Er der noget uden for Solsystemet? Hvor langt væk befinder de forskellige objekter sig fra Jorden? Hvorfor har vi stjernebilleder, dvs. hvorfor bevæger stjernerne sig på nattehimlen på en måde, så mønstrene bevares?

Når man arbejder med verdensbilleder, er det meget vigtigt at gøre sig klart, at de forskellige idéer ikke opstår ud af ingenting. Man kan gøre en lang række af observationer, når man kigger op på (hovedsagelig) nattehimlen. Og det er disse observationer, som de enkelte verdensbilleder forsøger at forklare eller kunne forudsige. Nogle observationer kræver systematiske og nøjagtige iagttagelser, mens andre bare kræver, at man en gang imellem kigger op på stjernerne. Endelig er der stor forskel på, om man har en kikkert til rådighed eller ej. En hel del ideer faldt til jorden, da Galileo Galilei (1564-1642) i 1609 rettede sin kikkert mod nattehimlen.

Men husk altså: **Udgangspunktet for alle verdensbilleder er observationer foretaget fra Jorden.** Det er disse observationer, du skal arbejde med i øvelse 11.2.

**Øvelse 11.2:** Udfør gruppeøvelsen i appendikset.

**Øvelse 11.3:** Opsamling på ovenstående. Hvor meget observation kræves der for at opdage:

- 1) Stjernebillede
- 2) Planeter
- 3) Nordstjernen
- 4) Retrograd bevægelse

Vi begynder med et meget primitivt verdensbillede. I øvelse 11.4 nedenfor ses luften Shu afbilledet sammen med de to børn, jorden Geb og himlen Nut, som han fik med sin søster, duggen Tefnut. Shu holder Nut oppe, og på Nuts krop sidder stjernerne. Hen over kroppen på Nut bevæger solen sig i sit skib.

## Øvelse 11.4: Oldtidens Ægypten



Dette ægyptiske verdensbillede er en model, men en totalt uvidenskabelig model. Det konkrete forklares med det konkrete. Stjernerne sidder i et fast mønster, fordi de sidder på en krop. Solen transporteres i en båd. Himlen er adskilt fra Jorden, fordi Shu holder den oppe, osv.

Manglen på videnskabelighed i denne model betyder dog ikke nødvendigvis, at der ikke blev foretaget egentlige astronomiske observationer i oldtidens Ægypten. Man har i hvert fald fundet konstruktioner – hvor pyramiderne er de mest berømte og mest iøjefaldende – der tyder på systematiske observationer. Der er linjer i disse konstruktioner, der peger på Nordstjernen (som vi fra Øvelse 11.2 ved, på det tidspunkt var Thuban i Dragen) eller solopgangspunktet ved vintersolhverv.

Problemet med sådanne linjer er dog, at der er enormt mange linjer, der kan tegnes i sådanne konstruktioner, og der er mange interessante punkter, der kan peges mod, og derfor er der ret stor sandsynlighed for, at man godt kan få et eller andet til at passe. Derfor opstår der løbende en masse forskellige teorier, baseret på mere eller mindre søgte sammenfald.

## Babylonsk astronomi

Oldtidens babylonske astronomi er særegen på den måde, at den tilsyneladende udelukkende fokuserer på observationer og aritmetiske behandlinger af disse med henblik på at finde mønstre/systemer. I hvert fald har man aldrig fundet beskrivelser af modeller. Muligvis blev der foretaget astronomiske observationer i området allerede omkring 2800 fvt. (næsten 1000 år før byen Babylon voksede sig stor og lagde navn til kulturen). Men det ved man ikke med sikkerhed. Kendskabet til babylonsk astronomi (og matematik og religion og kongerækker osv.) stammer fra lertavler. Man har fundet lertavler omhandlende matematiske opgaver fra omkring 1800 fvt., og de ældste, bevarede astronomiske optegnelser er nogle hundrede år yngre.

De astronomiske lertavler indeholder angivelser af placeringen af adskillige stjerner samt planeternes placeringer i forhold til stjernerne på forskellige tidspunkter. Der er også noteret sol- og måneformørkelser.

Og – og her er en interessant pointe – der er noteret jordskælv og græshoppeinvasioner og andre voldsomme eller usædvanlige hændelser (f.eks. passagen af Halleys komet – se figuren til højre).

For os er det jo vidt forskellige ting at søge efter et system i sol- og måneformørkelser og i f.eks. jordskælv og græshoppesværme. Vi er vant til, hvor systemerne findes, da vi altid oplyses om, hvornår der kommer en solformørkelse, men aldrig hvornår det næste store jordskælv kommer.



Babylonsk lertavle. Den er dateret ret præcist til 164 fvt., fordi den beskriver en passage af Halleys komet.

Men på dette tidspunkt eksisterede ikke nogen klar skelnen mellem himmelske- og jordiske fænomener. Og når nu det rent faktisk lykkedes at finde systemer i nogle af hændelserne – og det endda nogle komplicerede systemer – er det muligt at forstå, at de også forsøgte at finde systemer, hvor disse ikke eksisterede. På dette punkt har mennesket ikke ændret sig. Der er stadig økonomer, der tror, at de kan forudsige et lands BNP flere år frem i tiden, hvis bare deres modeller bliver tilpas store og komplicerede.

På den anden side er det selvfølgelig også vigtigt, at man forsøger at udfordre gængse teorier og tankegange.

Men for babylonierne, der som sagt tilsyneladende ikke arbejdede med astronomiske modeller, var pointen med observationerne at kunne komme med forudsigelser, så man kunne tage højde for voldsomme hændelser. For babylonierne var planeterne guder, og f.eks. var planeten Jupiter også selve byen Babylon, så det var temmelig vigtigt at kunne forudsige Jupiters bevægelser.

De babylonske målinger var ikke synderlig præcise, men til gengæld blev de foretaget systematisk i mere end 2000 år, og det gjorde det muligt for babylonierne at finde et system i sol- og måneformørkelser, så disse kunne forudsiges mange hundreder år ud i fremtiden, og i den forbindelse opdagede de *Saros* (en periode på 18 år, 11 dage og 8 timer), der er tiden mellem to (næsten) identiske indbyrdes placeringer af Solen, Månen og Jorden.

**Øvelse 11.5:** Hvad har Saros med sol- og måneformørkelser at gøre?

*Saros* er et eksempel på et fænomen med tilpas kort periode til, at det kan opdages selv uden præcise målinger, når der blot måles over tilpas lang tid. Jordens præcession (jf. Øvelse 11.2) er med en periode på 25800 år straks en helt anden sag, og babYLONIERNES målinger var ikke præcise nok til, at de opdagede denne. Det var grækeren Hipparchos (ca. 190- 120 fvt.), der opdagede præcessionen ved at sammenligne egne målinger af en masse stjerners placeringer med tidligere tiders målinger.

Men babYLONIERNES målinger fik alligevel stor betydning for udviklingen af astronomien, da deres observationer blev kendt af grækerne. Det skete i forbindelse med Alexander den Stores (356 – 323 fvt.) togter. Filosofen Aristoteles (384-322 fvt.) havde været huslærer for Alexander den Store, og Aristoteles' nevø Kallisthenes (360 – 328 fvt.) var blandt de videnskabsfolk og historikere, der drog ud med Alexander. Da Alexander erobrede Babylon, fik man kendskab til observationerne, og Kallisthenes sendte informationer hjem til Aristoteles.

Og det var vigtige informationer, da grækerne – som vi snart skal se – i modsætning til babYLONIERNE var langt fremme med hensyn til at konstruere geometriske modeller af universet, og babYLONIERNES målinger førte så til, at man måtte forkaste disse modeller og opfinde nogle nye, da de gamle modeller ikke kunne bringes i overensstemmelse med observationerne.

Grækernes og babYLONIERNES forhold til astronomi - og videnskab i det hele taget - var så forskelligt, som noget vel nærmest kan være. Begrebet *videnskab* og hele den videnskabelige tankegang, hvor man forsøger at finde principper, begreber og modeller, der kan forklare omverdenen, var tilsyneladende helt fraværende hos babYLONIERNE, der godt nok udviklede matematiske metoder, der gjorde dem i stand til at finde systemer i deres astronomiske observationer og løse praktiske, administrative opgaver, men som – igen tilsyneladende! – ikke søgte at forstå matematikkens natur. Grækerne ”opfandt” og udviklede det, der endte med at blive (natur-)videnskabelig tankegang. Når det ikke lykkedes for dem at gå hele vejen og udvikle det, der nu kaldes *den naturvidenskabelige metode*, skyldes det kort sagt, at det krævede for store fremskridt inden for både matematik og naturvidenskab, før det kunne lykkes.

Vi kender kun enkelte navne på babyloniske astronomer fra de mere end 2000 års observationer, der udgør babYLONIERNES vigtigste bidrag til astronomien. Og vi ved stort set intet om disse astronomer. Astronomiske observationer var en del af samfundsstrukturen, og når de kunne finde sted over så lang en periode, tyder det på en meget stabil samfundsstruktur, og at det blev anset for uhyre vigtigt med disse observationer.

I en periode på mindre end 300 år begyndende omkring 600 fvt. udvikles i Grækenland (hvilket inkluderer de græske kolonier på Tyrkiets vestkyst og i Syditalien) demokratiet, dramaet, historieskrivningen, talekunsten, zoologien, botanikken, billedhugningen, matematikken, naturvidenskaben og filosofien, og det sker af enkeltpersoner og deres elever/skoler, hvor vi kender navnene på de fleste.

Ovenstående skal ikke forstås på den måde, at man ikke andre steder i verden har arbejdet med områder inden for matematik eller ikke har udhugget en figur i sten eller træ, men den græske tilgang til tingene viste sig bare at være den, man fulgte, og som viste sig frugtbar. Grækerne ”opfandt” f.eks. det matematiske bevis, hvilket er en helt anden tilgang til matematik end blot at udvikle metoder til at løse problemer.

Det græske samfund var meget anderledes end det babyloniske. Det bestod af små, overskuelige, handlende bystater, hver med sit særpræg. Det babyloniske rige var ét kæmpestort rige styret af én konge.

## Græsk astronomi

Vi er tidligere stødt på nogle af de græske filosoffer i forbindelse med stofteorier, og det er ikke underligt, at vi også møder dem i forbindelse med verdensbilleder. Den europæiske filosofi begyndte med naturfilosofferne, og de beskæftigede sig med alt det, som naturvidenskaben nu beskæftiger sig med.

I 585 fvt. indtraf en solformørkelse, som Thales fra Milet havde forudset, og som senere blev anvendt til at fastsætte filosofiens begyndelse. Diogenes Laërtios (ca. 300 evt.), der skrev en – ret anekdotepræget - oversigt over filosofers liv og meninger, skrev bl.a. om Thales: *Nogle mener, at Thales har været den første til at studere astronomi og forudsige solformørkelser og jævndøgn, ...*

Og hos Herodot, der levede ca. 484 - 425 fvt. og dermed levede noget tættere på begivenhederne, hedder det et af de steder, hvor han nævner Thales: *Da lyderne og ionerne engang efter fem års uafgjort krigsførelse udkæmpede et slag, hændte det midt under kampen, at dagen pludselig blev forvandlet til nat. Thales fra Milet havde forudsagt ionerne, at denne ændring af dag og nat ville finde sted, og fastsat den til det år, i hvilket forandringen virkelig fandt sted.*

En af de ting, man kan lægge mærke til i ovenstående, er den magt, der ligger i at have en viden om naturen, som andre ikke har.

Thales leverede startskuddet til en masse tanker om Jordens form og placering i Universet. Disse tanker forløb sideløbende med tanker om stoffet, som vi tidligere stiftede bekendtskab med.

Vi skal nu se på en hel række tanker. Det væsentlige er ikke, at du husker navne og årstal, men at du får en fornemmelse af hvor mange tanker, der faktisk blev tænkt på et tidligt tidspunkt. En masse ideer er helt forkerte, mens enkelte er rigtige. Bemærk også, at det ikke er nok, at man får en rigtig idé. Der skal være nogle argumenter og observationer til stede, der kan begrunde, at det lige netop er denne idé og ikke alle de andre, der er den "rigtige".

Anaximander (ca. 610-546 fvt) - ham med grundelementet Apeiron - skulle bl.a. være kommet frem til følgende:

- 1) *Jorden svæver frit i verdensrummet uden at være behersket af noget og forbliver på sin plads, fordi den har lige stor afstand til alt.*
- 2) *Jorden har en buet, rund form, ligesom en søjletromle; den ene af dens overflader er den, vi går på, den anden er den modsatte side.*
- 3) *Jorden har form som en cylinder, der er 3 gange så bred som dyb.*
- 4) *Himmellegemerne er en ring af ild, udskilt af ilden i verdensrummet og omgivet af luft; på denne ring findes der åndehuller, rør lignende passager, hvorigennem himmellegemerne kommer til syne; når passagerne bliver tilstoppet, finder der derfor formørkelse sted. Månen fremtræder snart som tiltagende, snart som aftagende alt efter passagerens tilstopning eller åbning.*
- 5) *Solen er lige så stor som Jorden, og den ring, hvorpå dens åndehul befinder sig, og hvori den føres rundt, er 27 gange så stor som Jorden.*
- 6) *Månen er en ring, 19 gange Jordens størrelse; den ligner et vognhjul med en hul fælg, der er fyldt med ild, ligesom solens; ...*
- 7) *Solen er øverst, dernæst Månen og under dem fiksstjernerne og planeterne.*



Kunne man mene, når man læser punkt 1, at Anaximander havde fornemmelse for tyngdeloven? Og prøv lige engang at se punkt 5. Solen er lige så stor som Jorden! Manden må da være vanvittig. Kig på Solen og kig så på Jorden. Jorden er da klart størst!

**Øvelse 11.6:** Kan I finde argumenter/observationer, der kan bruges til at forkaste disse ideer?

**Øvelse 11.7:** Er det filosofi eller videnskab?

Anaximenes (ca. 585 - 528 fvt.):

- 1) *Jorden er flad og holdes oppe af luften; også sol, måne og alle de øvrige himmellegemer, som består af ild, holdes oppe af luften pga. deres fladhed.*
- 2) *Himmellegemerne er opstået af jorden som følge af den fordampning, der finder sted fra den; når dampen fortyndes, bliver den til ild, som stiger op fra jorden; stjernerne består af denne ild.*
- 3) *Vi kan ikke mærke stjernernes varme pga. deres store afstand fra Jorden.*

**Øvelse 11.8:** Argumentér imod punkt 2).

Anaxagoras (ca. 510-428 fvt.):

- 1) *Solen består af rødglødende metal [Dette kostede ham en anklage for ugudelighed].*
- 2) *Jorden er flad og forbliver svævende i verdensrummet pga. sin størrelse, fordi der ikke findes noget tomrum, og fordi luften, der har stor styrke, understøtter jorden.*
- 3) *Solen, månen og alle stjernerne er glødende sten, som bliver ført med rundt af Aither's rotation.*
- 4) *Månen befinder sig længere nede end Solen og er nærmere os. Solen er større end Peloponnes [område i Grækenland]. Månen har ikke selv noget lys, men får det fra Solen.*
- 5) *Måneformørkelse finder sted, når jorden eller undertiden himmellegemerne neden under månen afskærer sollyset; solformørkelse finder sted, når månen ved nymåne afskærer sollyset.*

**Opsamling:** Prøv at bemærke, hvordan rigtige og forkerte idéer vælter rundt mellem hinanden. Hvordan finder man hoved og hale i det?

**Og nu lige en opremsning af nogle væsentlige, (næsten) rigtige idéer:**

Parmenides hævdede omkring 500 fvt: *Jorden er rund.*

Pythagoræerne Hiketas (ca. 400 - 335 fvt.) og Ekfantus samt akademikeren Heraklides Pontikus (ca. 387-312 fvt.) hævdede: *Jorden roterer.*

Eratosthenes bestemte omkring 200 fvt. en meget præcis værdi for Jordens radius.

Aristarchos (ca. 310 -230 fvt.), som I nok husker fra nogle afstandsbestemmelser i rummet, skrev i et tabt værk: *Solen er centrum i Universet.*

Men alle disse ting er jo svære at forholde sig til, da det bare er brudstykker, der slynges omkring i ét stort virvar. Det er kun tanker, og de er nærmest umulige at forholde sig til på anden måde end ved at bruge vores nuværende viden og sige "Det er rigtigt" og "Det er forkert".

Nogle af punkterne blev dog hurtigere accepteret end andre. At Jorden er rund, blev man forholdsvis hurtigt enige om (og Aristoteles har en masse argumenter for dette, hvoraf nogle henviser til forskellige observationer og altså ikke bare er filosofiske).

Man kender en hel del til Parmenides fra Elea, hvis verdensbillede blev fremstillet i et digt, hvoraf man gennem fragmenter kender omkring 160 af de ca. 800 vers. Blandt disse 160 vers er stort set hele hans metafysik, der er overleveret takket være Simplicius fra Cilicia, der levede godt 1000 år efter Parmenides, og som i et værk omhandlende Aristoteles vælger at afskrive hele delen med Parmenides' metafysik, fordi Parmenides' værk efterhånden er så sjældent, at læseren ikke kan forventes at kende det. Så Parmenides er en af de få tidlige filosoffer, af hvem man kender nogle sammenhængende tanker, og blandt disse er altså en beskrivelse af universet, hvor det ser ud til, at Parmenides regner Jorden for at være rund.

Parmenides er mest kendt for sine tanker omkring forandring ”*Det, som er, er. Det som ikke er, er ikke.*”, og vi er tidligere stødt på en elev fra hans skole, nemlig Zenon, der med sine paradokser forsøgte at støtte sin lærers idéer om umuligheden af forandring.

Pythagoræerne tilhørte skolen grundlagt af Pythagoras, hvor man arbejdede ud fra idéen om, at tal er grundlaget for alt i Universet. Akademikerne tilhørte skolen grundlagt af Platon, og her spillede matematikken – og i høj grad geometrien – også en stor rolle. Heraklides Pontikus studerede under Platon og var tæt på at blive skolens tredje leder.

**Øvelse 11.9:** a) Hvordan kunne Hiketas, Ekfantus og Heraklides få den idé, at Jorden roterer? Dvs. hvad er fordelene ved denne teori frem for teorien om, at Jorden står stille?  
b) Hvorfor blev denne idé ikke accepteret? Dvs. hvad taler imod teorien, og hvorfor har argumenterne imod været stærkere end argumenterne for på den tid?

I det eneste bevarede værk af Aristarchos fra Samos, bestemmer han afstande i solsystemet med et geocentrisk udgangspunkt. Men fra Archimedes (287-212 fvt.), der levede på samme tid, ved man, at Aristarchos fremsatte en heliocentrisk teori. Archimedes skriver:

*Som du ved, benytter de fleste astronomer betegnelsen kosmos om den sfære, som har sit centrum i Jorden, og hvis radius er lig med afstanden mellem Jordens og Solens centrum; dette har man set i astronomiske afhandlinger. Men Aristarchos fra Samos offentliggjorde en bog med teorier, hvori hans grundlæggende antagelse fører til den slutning, at hele universet er langt, langt større, end det vi nu kalder kosmos. Han antager, at fiksstjernerne og Solen er stationære, at Jorden vandrer rundt om Solen på en cirkelomkreds, hvor Solen ligger midt på fladen, og at fiksstjernernes sfære har en så uhyre udstrækning, at Jordens antagne cirkelformede bane i forhold hertil i virkeligheden ikke er større end en sfæres midtpunkt sammenlignet med dens overflade.*

Som det ses, har Aristarchos ikke blot sagt, at Solen ligger stille, og at Jorden bevæger sig omkring Solen. Han har sagt flere ting.

**Øvelse 11.10:** Hvilke konsekvenser har Aristarchos draget af at gøre Solen stationær, og hvorfor er han nødt til det?

Hvilke fordele har den heliocentriske model, når man skal forklare astronomiske observationer?

Vi ved nu, at Aristarchos' idé med at ombytte Jordens og Solens roller var rigtig. Og astronomerne efter ham har kendt til denne teori. Men den blev ikke accepteret som den bedste teori på det tidspunkt, for datidens observationer og fysik talte imod den. Fysikken, fordi den i sig selv var forkert, og observationerne, fordi de simpelthen ikke var præcise nok (det krævede gode kikkerter at foretage de observationer, der kunne have støttet Aristarchos).

Så den rigtige teori var på det tidspunkt bare ikke den bedste teori.

Indtil videre har vi slet ikke set på fysikken og dens rolle i forbindelse med verdensbilleder, men det kommer nu, da vi tager fat på Aristoteles. Aristoteles krævede, at et verdensbillede skulle give mening rent fysisk, dvs. mekanisk. Det skulle gerne virke helt åbenlyst for os, at det skal være sådan. Men denne oplevelse får man ofte, når man læser Aristoteles. Han skriver ting, der for os er så banale og åbenlyse, at det er nemt at overse, at grunden til, at de er dette, er, at Aristoteles' idéer, begreber og tankegange har haft enorm indflydelse på vores kultur og videnskab. Faktisk er der næppe nogen, der kommer i nærheden af at have påvirket vestlig (videnskabelig) tankegang så meget som Aristoteles (alias Filosoffen).

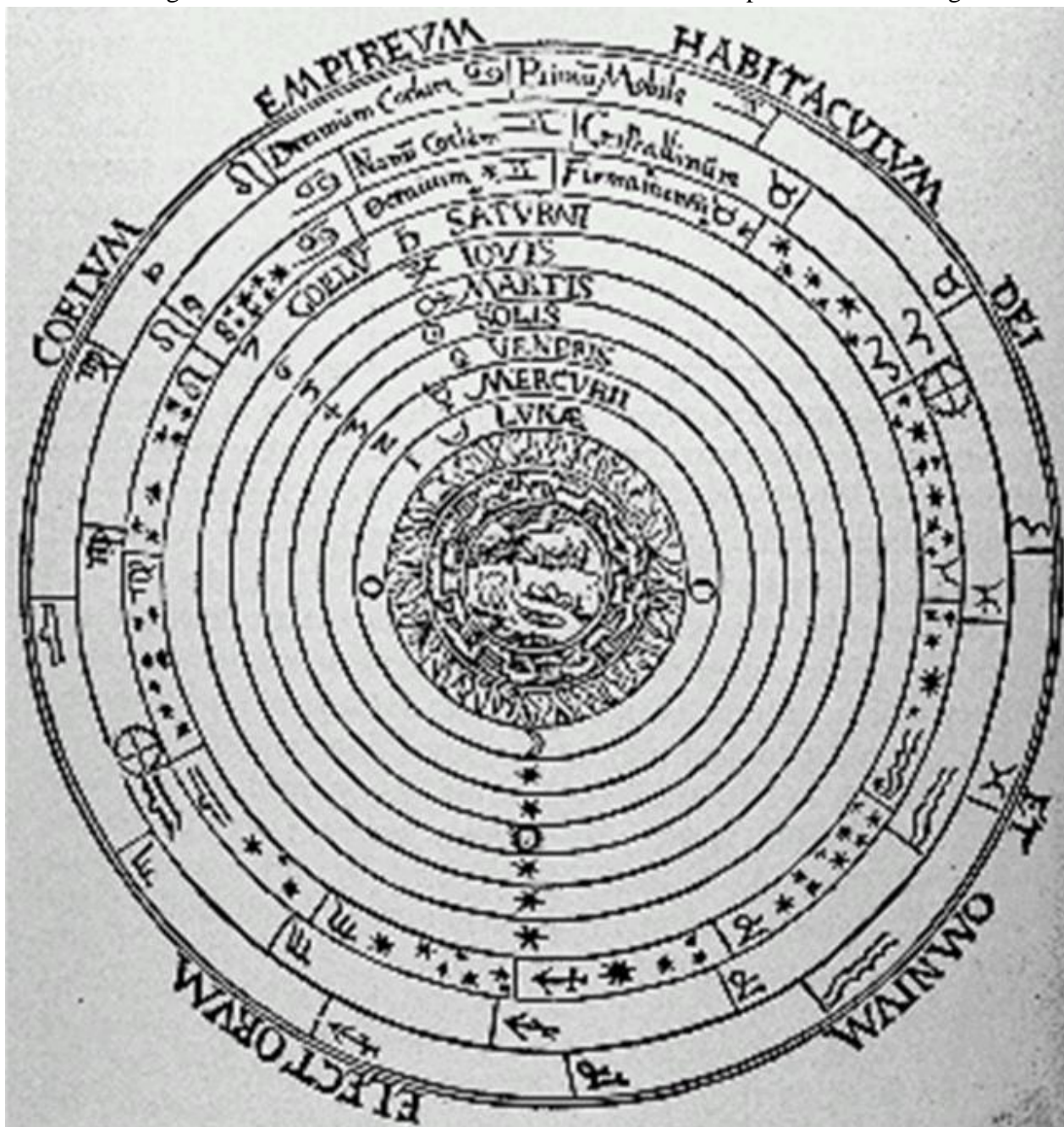
I de følgende kapitler skal du lægge mærke til, hvordan forkerte grundantagelser ofte fører til, at man senere får et forklaringsproblem, og læg også mærke til sammenhængen mellem teori og observationer.

## 12. ARISTOTELES' VERDENSBILLEDE

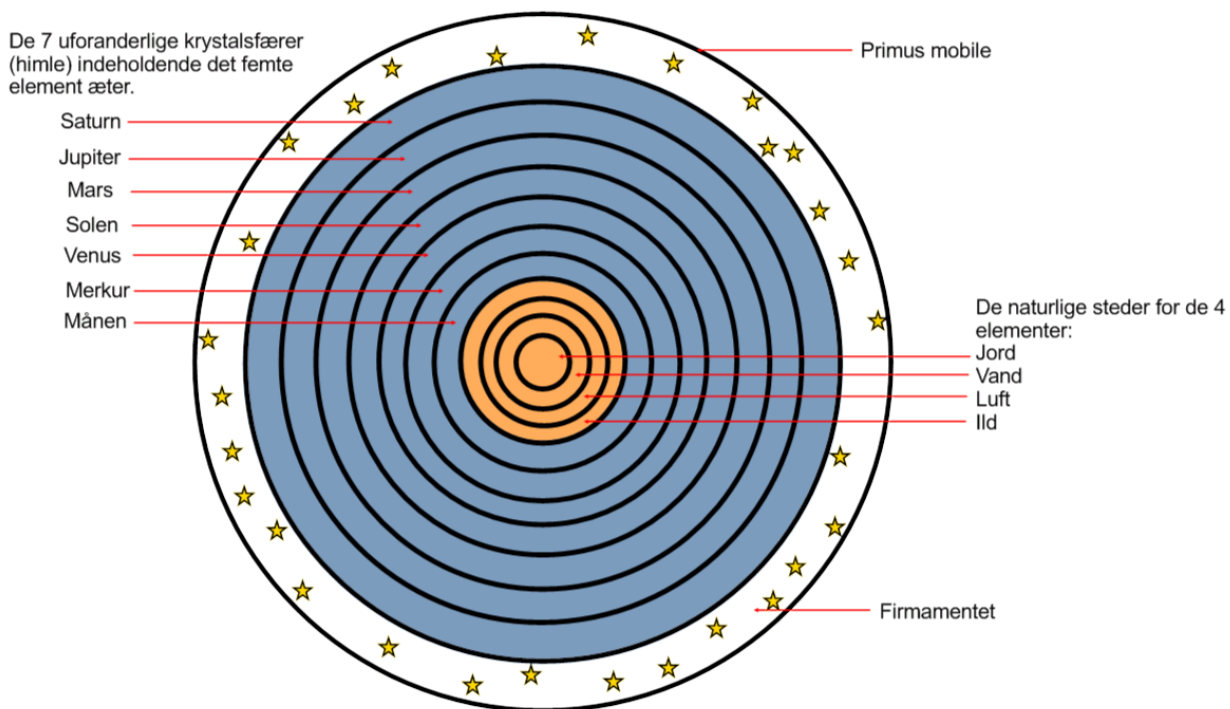
Aristoteles' verdensbillede er det første, hvor filosofiske, matematiske og fysiske principper samt observationer sammenkædes, dvs. grundlæggende er det sådan set et verdensbillede, der lever op til moderne krav. Efter Aristoteles bevægede astronomien sig igen væk fra fysikken, og først med Isaac Newton 2000 år senere vendte fysikken med et brag tilbage til astronomien.

Men stort set alt er forkert i Aristoteles' verdensbillede, og da det skyldes en forkert fysik, kan man sige, at de senere astronomer gjorde det rigtige, når de undlod at inddrage fysikken i deres verdensbillede.

En fremstilling fra middelalderen af Aristoteles' verdensbillede ses på nedenstående figur:



Det kan være svært at tyde denne figur, så på næste side ses en kommenteret skitse:



Jorden (ikke elementet, men den kugle vi går på) svarer omtrent til den næst inderste cirkel (vandets ring).

Pointerne med verdensbilledet er nu som følger:

- 1) Jorden er placeret i Universets centrum, dvs. det er et geocentrisk verdensbillede. Den står stille og roterer ikke.
- 2) Området ud til - men ikke med - Månen udfyldes af de fire elementer jord, vand, luft og ild. Disse elementer har deres "naturlige sted", som de vil søge hen imod, med mindre de tvinges til noget andet. I dette område er de naturlige bevægelser rette linjer (op/ned), og ingen bevægelser varer evigt. Det er det forgængeliges og foranderliges område. De fire elementer kan kombineres på alle mulige forskellige måder, så tingene forandres.
- 3) De næste 7 cirkler er fundamentalt anderledes. Her er der kun ét element, nemlig æteren. Det er ikke Aristoteles, der opfinder dette element, men det er ham, der giver det en betydning, der varedede lige til Einstein afskaffede æteren, og som stadig findes i vores sprog, når radioudsendelser "går i æteren". Æteren var oprindeligt den luft, som de græske guder indåndede, og selvom Aristoteles ikke opererer med personificerede guder, så beholder han det "guddommelige". For æterens område er det uforanderliges område (æteren har ikke andre elementer at blande sig med). Alle bevægelser i dette område er cirkler, og de har varet - og vil fortsætte - i det uendelige (Aristoteles arbejder ikke med en skabelse af verden). Alle objekter i disse sfærer er perfekte kugler (mon ikke Aristoteles har tænkt, at det var fortætninger af æteren?). Krystalfærerne er uigennemtrængelige.
- 4) Firmamentet (stjernehimlen) ligger lige efter Saturns krystalfære og har en roterende bevægelse.
- 5) Hver eneste krystalfære har sin egen (roterende) bevægelse, men er også koblet til firmamentet.
- 6) Der er intet tomrum nogen steder. Alt er fyldt op af ét af de fem elementer (eller i jordområdet tilfælde: blandinger af de 4 elementer). Universet stopper ved primus mobile.
- 7) Bemærk endnu en gang: Hos Aristoteles er Universet delt op i 2 forskellige områder med vidt forskellige "regler". Hos os gælder "fysikken" med forandringer. Fra Månen og udefter hersker det uforanderlige.

Opstillingen af de 7 pointer i Aristoteles' verdensbillede kan godt give et helt forkert billede af Aristoteles. Der eksisterer ikke 7 sådanne pointer, og opstillingen er kun valgt i et forsøg på at gøre Aristoteles' tanker bare lidt overskuelige.

Opstillingen kan give et indtryk af, at Aristoteles' lære var dogmatisk, dvs. baseret på nogle principper og udsagn, der anses som sande, og som man ikke må tvivle på. Man forbinder ofte dogmatik med religioner, hvor der er værker eller udsagn, der blandt de troende anses for hellige og ukrænkelige, og som det på ingen måde er tilladt at stille spørgsmålstejn ved. Men man kan også forestille sig et "videnskabeligt" miljø, hvor en person (f.eks. Einstein eller Aristoteles) har så stor autoritet, at deres ord er lov. Sådant miljø omkring Aristoteles eksisterede ikke. Aristoteles var forsker og argumenterede for sine konklusioner, og hans efterfølgere (*peripatikerne*, opkaldt efter en søjlehal i Aristoteles' skole Lykeion) kunne sagtens modsige deres lærermester. Det var først 1500 år senere, da det ved hårdt arbejde var lykkedes for skolastikerne at få Aristoteles' lære inkorporeret i den kristne lære, at hans lære blev dogmatisk.

Aristoteles bemærker *naturlige* og *tvungne* forandringer i naturen. Et frø kan ved en naturlig forandring udvikle sig til en plante, der ved en tvungen forandring kan få klippet sit blad af.

Forandringer i sted (bevægelse) må således også kunne være naturlige og tvungne. Han iagttager, at en sten (et eksempel på jordelement) af sig selv falder ind mod Jordens centrum i en retlinet bane, hvis den slippes (dette bruger han også som et af sine argumenter for, at Jorden er rund), men at man også kan tvinge den til at bevæge sig anderledes ved at kaste den.

I den naturlige bevægelse mod Jordens centrum, vil stenen møde noget modstand, som den skal overvinde, i form af det medium (luft, vand, olie, ...), som den bevæger sig igennem. Jo tungere stenen er (højere massefylde), jo nemmere vil den kunne overvinde modstanden og derfor bevæge sig hurtigere, og jo tættere mediet er, jo sværere vil det være for stenen at overvinde modstanden, og den vil derfor bevæge sig langsommere. Aristoteles omtaler i den forbindelse en masse proportionaliteter, så hans formuleringer kommer til at lyde som det, vi nu kender som Stokes' lov, der beskriver et objekts bevægelse gennem væske under bestemte forudsætninger.

Men hans formuleringer passer ikke med bevægelse gennem luft (det har han simpelthen ikke været i stand til at måle eller observere), og – hvilket er et centralt punkt – de fører til, at Aristoteles kommer frem til, at tomrum ikke eksisterer. For det ville med hans argumenter føre til uendelige hastigheder for den sten, der bevægede sig gennem tomrum, og vi ved fra matematikdelen, at Aristoteles ikke accepterer den slags uendeligheder (det er jo en aktuelt, og ikke en potentiel – uendelighed).

Den manglende accept af tomrum er også et af hovedargumenterne, når Aristoteles forkaster atomteoriene efter først at have rost atomisternes for at argumentere langt bedre end tilhængerne af kontinuerte stofteorier.

Men lad os prøve at se lidt på styrker og svagheder i Aristoteles' verdensbillede:

### Øvelse 12.1:

- Kig på den første figur (ikke skitsen). Hvor mange planeter er der i Aristoteles' verdensbillede?
- Hvor er Uranus og Neptun? Hvorfor er de ikke med?
- I både Bibelen og Koranen hævdes det, at der er 7 himle. Hvorfor skrev man ikke disse værker om, da man opdagede Uranus og Neptun?
- Hvad betyder *Primus mobile*?
- Er rækkefølgen af de 7 himmelobjekter rigtig?
- Kan Aristoteles' verdensbillede forklare forekomsten af stjernebilleder?
- Kan Aristoteles' verdensbillede forklare forekomsten af planeter (dvs. at nogle 'stjerner' vandrer)?
- Kan Aristoteles' verdensbillede forklare forekomsten af solformørkelser?
- Kan Aristoteles' verdensbillede forklare forekomsten af måneformørkelser?
- Kan Aristoteles' verdensbillede forklare retrograd bevægelse (sløjfebevægelse)?

På Aristoteles' tid havde man iagttaget stjernehimlen godt nok til at kende den retrograde bevægelse. Så Aristoteles ville aldrig have fremlagt et verdensbillede, der ikke kunne forklare den retrograde bevægelse. Så nej-svaret på spørgsmål j) skyldes, at vores figurer har været for simple. Aristoteles' verdensbillede var faktisk noget mere kompliceret.

For at få Aristoteles' forklaring på sløjfebevægelsen, skal vi gå tilbage i tiden og begynde med Platon.

## Platons retningslinje

Platon (428-348 fvt.) grundlagde Akademiet, hvor Aristoteles studerede i mange år og nok var blevet Platons efterfølger som leder af skolen, hvis den politiske situation havde været anderledes (Aristoteles' far havde været læge for den makedonske konge, og Makedonien havde under Filip II – Alexander den Stores far – erobret store græske områder i perioden op til Platons død).

Platon beskrev – gennem sit talerør Sokrates - i sit værk *Staten* i en myte, hvordan universet virkede med ”nødvendighedens ten” yderst. Et kort uddrag er:

*Otte skiver var der nemlig i det hele, liggende inden i hverandre, således at man kunne se deres rande foroven i form af cirkler, og de dannede en sammenhængende flade i form af én skive uden om skaftet; og det var boret midt igennem den ottende. Den første og den yderste skive havde nu den bredeste cirkelformede rand, den sjettes rand var den næst bredeste [...] Og tenen drejede sig nu rundt, i sin helhed med den samme fart, men inden for helheden som drejede sig rundt, bevægede de syv indre kredse sig langsomt rundt i modsat retning af helheden ...*

Platon havde altså skitseret en – ret mangelfuld – model, men udover det udstak han også retningslinjer for, hvordan tilgangen til astronomi skulle være:

*”Derfor skal vores tilgang til astronomi være som vores tilgang til geometri,” sagde jeg. ”Hvis vi vil studere ægte astronomi og gøre den naturligt rationelle del af sjælen nyttig i stedet for unyttig, så skal vi se bort fra himmellegemerne og i stedet gøre brug af problemer.”*

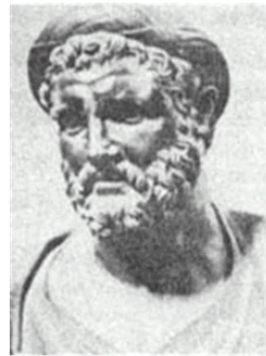
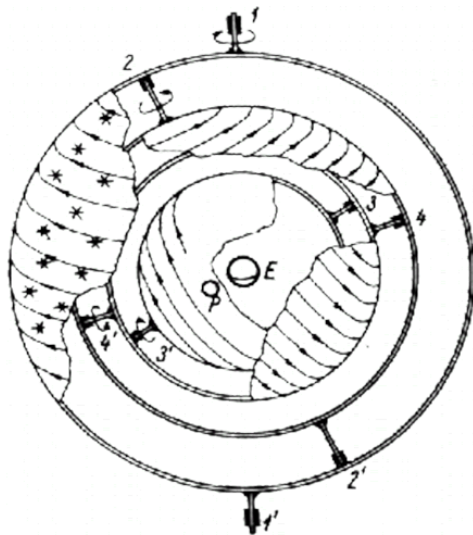
Platons holdning er her – som altid – at den verden vi ser og mærker, kun er et billede af den sande verden, som vi skal opfatte med vores forstand. Platon lægger altså op til, at vi skal konstruere en matematisk (geometrisk) model af universet, der giver mening rent forstandsmæssigt.

Og her kommer Eudoxos ind i billedet.

## Eudoxos (410 - 355 fvt.) og de 27 sfærer

Eudoxos var elev af Platon, og det lykkedes ham at finde en matematisk model, der kunne forklare, at vi observerer sløjfebevægelser. MEN, bemærk, at den egentlig ikke behøver at passe præcist med observationerne, for Platon har sagt, at disse blot er billeder af det sande og derfor sagtens kan afvige fra det sande. Vi skal altså simpelthen blot have en model, der kan forklare, at der er sløjtebevægelser.

Og denne model skaber Eudoxos ved at indføre flere sfærer i de enkelte (se nedenstående figur):



Sfærene var sat sammen forskellige steder og roterede med forskellige rotationshastigheder. Som vist på figuren var der 4 sfærer **for hver planet** (og 3 hver af Solen og Månen og 1 til fiksstjernehimlen).

Fiksstjernehimlen havde kun én sfære, og den roterede med sin velkendte rotation med en periode på ét døgn.

For de andre objekter fulgte den yderste af de 4 sfærer fiksstjernehimlens bevægelse.

Den næst yderste sfære fører planeten rundt langs ekliptika.

De to sidste sfærer (eller sidste for Solen og Månen) var vinklet i forhold til den næst yderste.

Disse sfærer var koblet sammen, så indre sfærer også fulgte de ydre sfæres bevægelser.

### Øvelse 12.2:

- Hvilke observationer skal de fire/tre sfærer forklare?
- Hvad er den rigtige forklaring på retrograd bevægelse?
- Er Eudoxos' forklaring på retrograd bevægelse en god (i betydningen naturlig eller simpel) forklaring (retorisk spørgsmål)?
- Hvad er den helt grundlæggende årsag til, at Eudoxos (og Aristoteles) bliver tvunget ud i sådan en kompliceret forklaring (hovedpointe!)?
- Kan Eudoxos' model forklare, at planeterne varierer i lysstyrke?

Eudoxos' system har nogle – for os at se – alvorlige mangler, da man ikke kan få det til at passe med grundige observationer, men som vi så i Platons kommentar, er det egentlig ikke så vigtigt.

Men det har også et andet problem, som Aristoteles griber fat i.

For Eudoxos' system fungerer slet ikke i fysisk henseende. Godt nok virker det mekanisk, når man kigger på de fire sfærer på figuren, men problemet er, at de alle de indre sfærer i sidste instans skal trækkes rundt af den yderste sfære (primus mobile). Og når de fire sfærer for den yderste planet har virket, og den første sfære for den næst yderste planet skal kobles på, så vil den jo blive koblet på en sfære, der udfører en kompliceret bevægelse, fordi den er sammensat af fire bevægelser.

Man har derfor brug for 3 ekstra sfærer, der en efter en ophæver virkningen af de foregående sfærer, således at man kan begynde på en frisk med den næste planet. På denne måde kommer konstruktionen til at fungere mekanisk.

Der var desuden behov for nogle ekstra sfærer hist og her for at få modellen til at passe med observationer, så Aristoteles ender med 55 sfærer.



Aristoteles indfører altså fysikken i verdensbilledet. Han stiller også andre krav, for som vi har set tidligere, accepterede han (og grækerne generelt) kun potentielle uendeligheder.

Lad os se på nogle af de steder, hvor uendeligheder optræder i Aristoteles' verdensbillede:

For det første er der ingen skabelse, så vi møder noget uendeligt i tidsbegrebet. Men spørgsmålet er nu hvilken slags?

**Øvelse 12.3:** Hvordan kan man argumentere for, at man arbejder med potentiel uendelighed, når man arbejder med tiden?

Dernæst arbejder Aristoteles som behandlet i afsnit 9 (Stoffet) med en kontinuert stofteori, dvs. man kan blive ved med at dele stoffet.

**Øvelse 12.4:** Er det aktuel eller potentiel uendelighed, man støder på, når man deler kontinuert stof?

Aristoteles kunne altså acceptere de fremkomne uendeligheder i ovenstående tilfælde, fordi de kunne behandles som potentielle uendeligheder. Men når det kommer til Universets udstrækning, er det en helt anden sag.

Aristoteles accepterede ikke tomrum, dvs. æteren skulle udfylde alt det, der ikke var jordens område, der var opfyldt af de 4 elementer. dvs. hvis Universet skulle have haft uendelig udstrækning, skulle der have været uendelig meget stof, og denne uendelighed ville ikke være en potentiel uendelighed, for alt dette stof ville være til stede på én gang.

Universet må altså stoppe, da vi ellers kommer til at arbejde med aktuel uendelighed (husk at dette er et rent filosofisk argument).

En anden og mindst lige så vigtig grund til, at Aristoteles' verdensbillede "tvinges" til at have en endelig udstrækning, er jordens manglende rotation i modellen.

Det er meget vigtigt, at du bemærker dette. Et forkert udgangspunkt (Jordens manglende rotation) kan føre til store problemer senere i modellen.

**Øvelse 12.5:** Hvorfor er man nødt til at begrænse Universet, når Jorden ikke roterer?

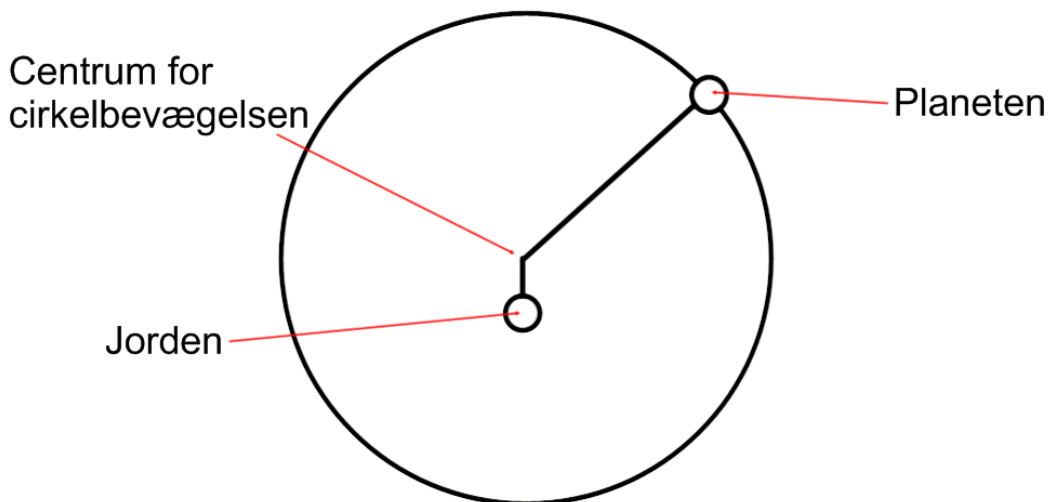
Som vi så tidligere, var der flere naturfilosoffer, der foreslog, at Jorden roterede. Men de trængte ikke igennem med deres idéer. Det var først i 1851, at Léon Foucault med sit pendul eksperimentelt viste, at Jorden roterer. Før dette var det kun astronomiske observationer og fysiske argumenter, der havde vist det.

Vi skal nu bevæge os fra Aristoteles til Claudius Ptolemaios (eller bare Ptolemæus), der levede ca. 90-168, dvs. knap 500 år efter Aristoteles. Det er en bevægelse bort fra fysikken og tilbage til matematikken. Men inden vi tager fat på Ptolemaios' verdensbillede, skal vi kort se på et par idéer, der var opstået i tidsperioden mellem de to:

## **Apollonius (ca. 262 - 190 fvt.) og epicyklerne**

Apollonius fra Perga, som du har mødt i forbindelse med keglesnit, fik to idéer, der - selvom de var forkerte - fik stor betydning for det videre arbejde med verdensbilleder. På Apollonius' tid havde man allerede så præcise astronomiske målinger, at man kunne se, at en jævn cirkelbevægelse med Jorden i centrum ikke fungerede. Apollonius forsøger altså at finde løsninger på dette problem.

### 1. idé: Excentrisk planetteori.

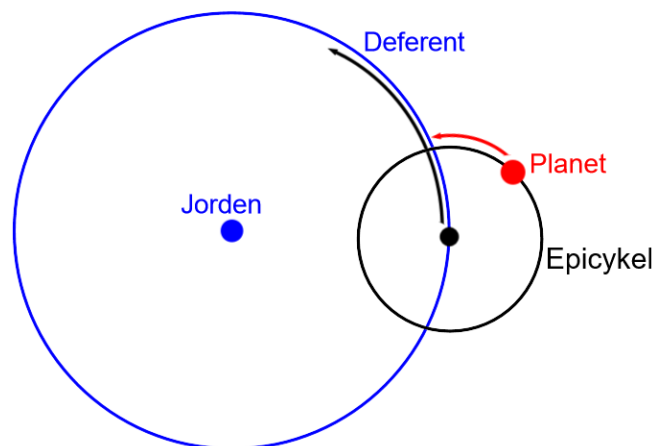


Planeten bevæger sig i en cirkel, men Jorden befinder sig ikke i centrum af denne cirkel. Jorden er placeret lidt forskudt fra centrum. Der er ikke noget objekt i centrum for cirkelbevægelsen. Det er bare et punkt i rummet.

### Øvelse 12.6:

- Hvordan er den rigtige bane for en planet i omløb omkring Solen?
- Apollonius arbejdede - som alle andre - med perfekte cirkelbevægelser. Hvad har han opnået med sin excentriske planetteori?
- Opsamling på a) og b): Hvad er den grundlæggende årsag til, at man indfører den excentriske planetteori, der jo er en forkert forklaring?

### 2. idé: Epicykelbevægelser.



Det sorte punkt er ikke noget objekt. Det er bare et punkt i rummet. Men du skal forestille dig, at dette punkt bevæger sig i en cirkel - kaldet deferenten - rundt om jorden. Planeten bevæger sig så i en cirkel omkring dette punkt. Omløbshastighederne for de to cirkelbevægelser er forskellige, og man kan justere på radius i både den store og den lille cirkel. Dvs. man har 4 parametre at skrue på, når man arbejder med epicykelmodeller, der altså er "cirkler på cirkler" (egentlig var der mere end 4 parametre, da Ptolemaios ikke arbejdede med jævne cirkelbevægelser, men lod omløbshastighederne gå op og ned).

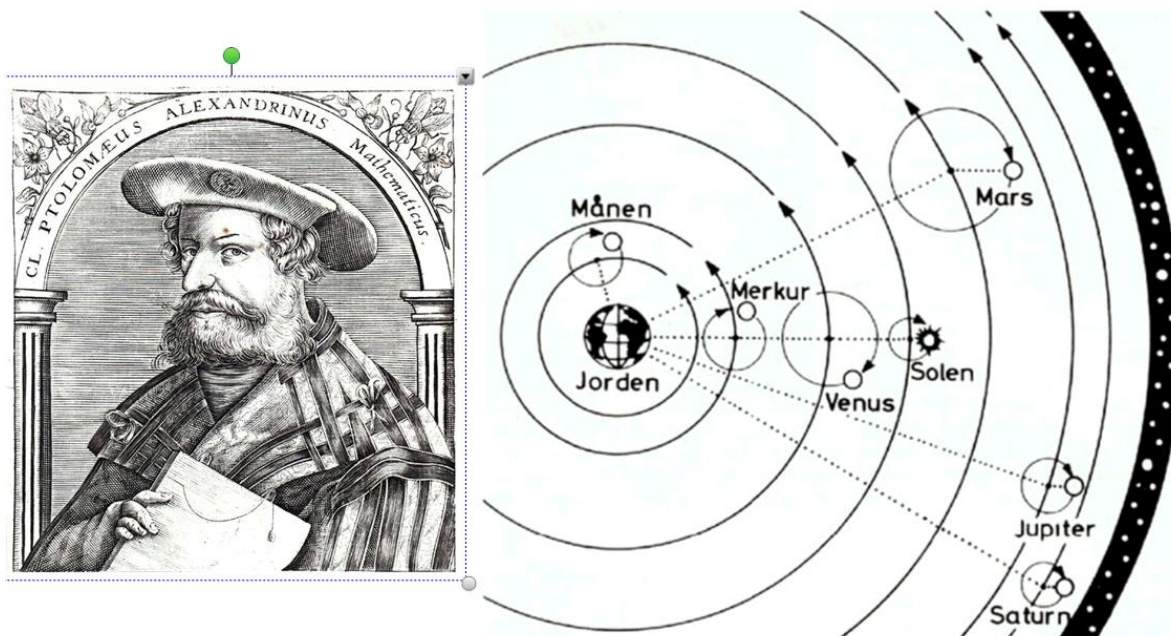
**Øvelse 12.7:**

- a) Hvorfor indførte man denne (forkerte) teori? Dvs. hvad skulle den bruges til at forklare? Og hvordan kunne den forklare dette, dvs. hvad skulle man sørge for med de to rotationshastigheder?
- b) Hvad er den grundlæggende årsag til, at man indfører epicykelmodellen?

Bemærk altså den meget vigtige pointe, at mange af de forkerte forklaringer opstod, fordi modellen helt grundlæggende var forkert.

Hipparchos (ca. 190-120 fvt.) havde haft succes med at beskrive Solens bevægelse ved hjælp af en excentrisk model, og da epicyklerne også viste sig som en forbedring - dog en forkert forbedring, hvis man kan sige det - blev de begge benyttet af Ptolemaios.

## 13. PTOLEMAIOS' VERDENSBILLEDE (ca. 150 evt.)



Ptolemaios skrev værket *Mathēmatikē Syntaxis*, der efter nogle omdøbninger og oversættelser er blevet kendt som *Almagest*. Allerede i titlen kan man se, hvor det bærer hen, og Ptolemaios skriver bl.a. i sin indledning:

*Det er klart, at to af disse tre forskellige former for teori bør udvikles spekulativt og ikke videnskabeligt: (1) teologien eftersom dens genstande hverken kan iagttages eller umiddelbart forstås, og (2) fysikken fordi de materielle der er dens emne, er så foranderlige og vanskelige at udgrunde, at man aldrig tør håbe på at filosoferne vil nå til enighed om dem. Kun det systematiske studium af en matematisk teori kan give sine udøvere sikre slutninger, frie for tvivl, fordi dens beviser, hvad enten de er geometriske eller aritmetiske, udføres på en måde, der ikke tillader uenighed.*

*Dette var altså den teori, som vi har besluttet os til først og fremmest at ville undersøge så godt som det er os muligt, idet vi især vil beskæftige os med dens anvendelse på guddommelige og himmelske fænomener. Eftersom videnskaben om de himmelske ting udelukkende behandler evige og uforanderlige genstande, har vi troet det muligt ad denne vej at nå frem til slutninger som er både klare og velordnede og som også har den evige gyldighed, som al sand videnskabs konklusioner bør eje.*

Ptolemaios lægger sig altså tættere op ad Platon end af Aristoteles, når det kommer til valget mellem fysik og matematik. Og det er måske ikke så mærkeligt. Matematikken havde – bl.a. med Euklids *Elementer* og Archimedes' *Exhaustionsmetode* – vist fantastiske, holdbare resultater, mens man stadig inden for fysikken stadig kæmpede med begrebet bevægelse og slet ikke var i nærheden af et brugbart kraftbegreb.

Når du ser på Ptolemaios' model med epicykler, kan du altså lægge mærke til, hvordan modellen slet ikke ville have givet mening, hvis man havde haft en idé om tyngdeloven.

Egentlig holdt Ptolemaios fast i Aristoteles' idéer (4 + 1 elementer, krystalsfærer, opdeling i Jordens område og himmelområdet), men han bruger det ikke til noget i sine modeller, der er rent matematiske.

Man kunne derfor på sin vis have anvendt samme figur som illustrerede Aristoteles' verdensbillede. MEN ... der er alligevel en markant forskel. Ptolemaios overtager Hipparchos' geometri og benytter denne til at opstille en geometrisk model af Universet (se figuren på forrige side).

Men lad os se på modellen:

- 1) Det er en geocentrisk model. Jorden er i centrum, og den hverken bevæger sig eller roterer.
- 2) Det er en excentrisk model (det ses ikke på figuren), dvs. cirkelbevægelserne foregår omkring et punkt forskudt i forhold til Jorden.
- 3) Alle de 7 objekter i krystalfærerne bevæger sig i epicykler. Der arbejdes med cirkler, men bevægelsen i cirklerne er ikke "rigtigt" jævn, dvs. der er ikke konstant fart i cirkelbevægelserne, fordi det passede ikke med observationerne, men men ...
- 4) Der er et punkt *ækvantpunktet* (ikke Jordens centrum og ikke centrum for den excentriske cirkel, men et helt tredje punkt), hvoromkring bevægelsen er jævn.
- 4) Der er intet tomrum. Diametrene i epicyklernes små cirkler angiver krystalfærerens størrelser (det ses ikke på figuren alle steder. F.eks. ligger stjernehimlen ikke helt op til den lille cirkel, som Saturn sidder på).
- 5) Bemærk linjen, der går gennem centrene for Merkurs, Venus' og Solens cirkler. Den angiver, at disse centre bevæger sig i cirkler med samme omløbstid (ikke samme omløbshastighed, men omløbstid).

### Øvelse 13.1:

- a) Kan modellen forklare retrograd bevægelse?
- b) Hvad er den rigtige forklaring på den retrograde bevægelse, og hvorfor "tvinges" Ptolemaios til at anvende epicykler?
- c) Solen og Månen udviser ikke retrograd bevægelse. Alligevel tildeles de epicykler. Hvorfor? (der er flere grunde, men se specielt på, hvad man også kan opnå med epicykler, så man kommer tættere på den rigtige model)?
- d) Kan modellen forklare, at Merkur og Venus altid ses nær Solen?
- e) Hvad er den rigtige forklaring på, at Merkur og Venus altid ses nær Solen?
- f) Er Ptolemaios' forklaring god, og hvis ikke, hvorfor?
- g) Kan modellen forklare, at Venus har faser (lige som Månen)?
- h) Hvad er den rigtige forklaring på Venus' faser, og hvorfor har Ptolemaios været nødt til med sit punkt 5) at fjerne sin mulighed for at forklare Venus' faser (hovedpointe)?
- i) Hvorfor blev Ptolemaios' model ikke forkastet, når den ikke kunne forklare Venus' faser?
- j) Kan modellen forklare, at planeterne baner ikke er cirkelformede set fra Jorden?

Ptolemaios var græker, men romersk statsborger, og han arbejdede i datidens videnscenter Alexandria i Ægypten. Han havde adgang til både babylonske og græske observationer, og han regnede løs. Han havde i sin model mange parametre at justere på:

- 1) Placering af *ækvantpunkt* og *centrum for excentrisk cirkel*.
  - 2) Radius for deferenten og radius for epicyklen.
  - 3) Omløbstider og retninger for punktet på deferenten og planeten på epicyklen.
- Og alt dette for hver planet.

Han kunne mere eller mindre få modellen til at passe med observationerne, og da der er så mange parametre at stille på, kan man jo altid tænke, at man bare ikke har fundet de rigtige parametre, hvis der ikke er fuld overensstemmelse.

Han bestemte desuden i *Almagest* afstanden til Månen og Solen. Han fik en afstand til Solen, der var 20 gange mindre end den rigtige, og sammen med manglen af accept af tomrum, gjorde det Universet/Solsystemet alt, alt for lille.

Ptolemaios havde allerede forladt fysikken, og efter Ptolemaios sker der i grove træk intet inden for hverken fysikken eller astronomien de næste knap 1500 år.

1500 år er meget lang tid, og selvfølgelig er der sket en hel masse inden for mange andre områder, så det kan være interessant at se på årsagerne til denne manglende udvikling. Der er mange årsager, og jeg/man kan ikke give et klart sammenhængende svar, men i det følgende kommer på punktform nogle af årsagerne:

- Astrologien vandt frem på bekostning af fysikken. Faktisk hyldede Ptolemaios selv astrologien. Ud over *Almagest* skrev han det astrologiske værk *Tetrabiblos*, hvor han bl.a. skriver: *Lad os nu tænke os, at et menneske nøje kender Solens, Månens og alle stjernernes bevægelser, at han hverken overser tiden eller stedet for nogen af deres konjunktioner; og at han ud fra disse holdepunkter er i stand til både ved hjælp af beregninger og rigtige gisninger at udfinde de forskellige virkninger, der vil fremkomme som følge af et samspil mellem alle disse faktorer: hvad skal da kunne forhindre ham i at fortælle hvorledes atmosfæren vil påvirkes af vekselvirkningen mellem disse fænomener ved en bestemt lejlighed, som f.eks. at den bliver varmere eller fugtigere? Hvorfor skulle han da ikke på samme måde, ved i fødselsøjeblikket at betragte stjernernes positioner, for et hvilket som helst menneske kunne finde frem til dette menneskes særlige temperament, f.eks. hans fysiske eller sjælelige særpræg?*

Og Ptolemaios er ikke den eneste astronom gennem tiderne, der også har været astrolog.

Babyloniernes astronomi var nærmest udviklet med henblik på astrologi, og de fleste astronomer op til og med Johannes Kepler (1571-1630) dyrkede også astrologi.

Man kan sige, at indtil Isaac Newton (1642-1727) i 1687 introducerede tyngdeloven og fik styr på kraftbegrebet, var der ikke noget belæg for at afvise astrologien, ligesom man inden kemien virkelig havde udviklet sig til en videnskab, og atomerne var blevet opdaget, ikke kunne afvise alkymi og homøopati som noget vrøvl. Isaac Newton beskæftigede sig f.eks. også med alkymi, men det gjorde ham ikke til en mindre videnskabsmand. Faktisk er det vist svært at finde nogen stor videnskabsmand fra før det 20. århundrede, der ud over de bidrag til videnskaben, der viste sig at holde, ikke også beskæftigede sig med ting, der med vores nuværende viden kan betragtes som okkulte.

Kepler er et glimrende eksempel på dette, som vi snart skal se.

- Filosofien ændrede sig fra naturfilosofi til moralfilosofi og senere teologisk filosofi. Filosofen Friedrich Nietzsche (1844-1900) beskylder den ellers så ofte hyldede Sokrates for at have fordærvet filosofien med indførelsen af moralfilosofien.
- Tertullian (160-225), der indførte treenighedslæren og en masse andre af kristendommens dogmer, og som var med til at udvælge de skrifter, der skulle udgøre Biblen, var stor modstander af den græske filosofi og hyldede uvidenheden: *Hvad har Jerusalem at skaffe med Athen, kirken med Akademiet i denne by, og den kristne med kætteren? Vor lære kommer fra Salomons hus, og Salomon har selv lært os således: Herren skal Du søge i Dit hjertes enfold. Lad os derfor intet have at gøre med en stoisk kristendom, en platoniker eller med en dialektisk kristendom. Med Jesu komme er vor videlyst stillet, og vor forskertrang med Den Helligånd. Lad os være troende og intet mere ønske.*
- Romeriget breder sig og opsluger det tidligere græske område, og romerne er mere interesserede i lovgivning og praktiske gøremål end i naturfilosofi.
- Fra og med Konstantin den Store (272-337) var de romerske kejsere kristne, og kristendommen Romerrigets religion. Forskningscentrene, der var begyndt med Athen og havde flyttet sig til Alexandria, blev nu skubbet østover og endte i Bagdad (den romerske kejser Justinian 1. lukkede i 529 Akademiet). De gamle græske værker blev oversat til syrisk og senere til arabisk, og araberne arbejdede videre med disse værker. De tilføjede ting og kommenterede værkerne. I de første mange århundreder efter Islams opståen havde videnskaben de bedste vilkår i de arabiske områder. I Europa forsvandt den græske viden så godt som fuldstændigt. Jordan blev f.eks. igen flad (Cosmas Indicopleustes alias Munken i det 6. århundrede). Og imens blomstrede videnskaben i Bagdad, hvor der omkring 800 blev bygget både et observatorium og et universitet, Bait Al-Hikmah, der blev ødelagt ved mongolernes erobring af Bagdad i 1258.
- Araberne bevæger sig i løbet af omkring 100 år fra midt i det 7. århundrede gennem Nordafrika og op gennem Spanien, og byen Toledo ender med at blive et samlingssted for kristne, jødiske og muslimske lærere, og her genopdager europæerne den græske viden i arabiske oversættelser.
- I de følgende århundreder lykkes det at få spredt den græske viden i Europa (og samtidig bliver araberne trængt tilbage, og inden for Islam begynder den samme mistro til filosoffer og videnskabsmænd at vokse frem, som man tidligere havde oplevet blandt de kristne). Aristoteles bliver genopdaget og får tilnavnet Filosofen, og det lykkes for skolastikerne – hovedsageligt Thomas Aquinas (1225-1274), men også den første danske filosof Bo – at få inkorporeret Aristoteles' lære i kristendommen.

Vi er nu klar til at tage fat på den næste periode, hvor der rent faktisk skete noget inden for astronomien. Vi begynder med Nicolaus Kopernikus' (1473-1543) revolutionerende verdensbillede (som filosofen Immanuel Kant senere i forbindelse med sin egen filosofi kaldte *Den kopernikanske vending*). Det er dog vigtigt at være opmærksom på, at det på ingen måde var revolutionerende rent fysisk. Det er først med Galileo Galilei (1564-1642) og Isaac Newton, at der sker rigtige fremskridt inden for fysikken. Og vi ved jo også, at Kopernikus ikke var den første til at sætte Solen i centrum af universet.

## 14. KOPERNIKUS' VERDENSBILLEDE

Nicolaus Kopernikus (1473-1543) er kendt for at have revolutioneret verdensbilledet ved først og fremmest at placere Solen i centrum i stedet for Jorden (han kendte godt til Aristarchos, så han vidste, at det uden held var forsøgt tidligere). Men det var egentlig ikke i sig selv hovedpointen med hans arbejde. Det var blot en følge. Han ville gøre op med det usystematiske og inkonsekvente i Ptolemaios' system. Ptolemaios havde udviklet en masse matematiske redskaber, som han kunne vælge frit imellem, når han skulle forklare et fænomen. Dvs. nogle fænomener kunne f.eks. forklares med epicykler og andre med ækvantpunkter. Kopernikus krævede en helt anden systematik. Og faktisk begyndte det også ret godt.

Kopernikus' verdensbillede blev trykt i værket *De revolutionibus orbium coelestium* i 1543. En næsten med sikkerhed opdigtet historie fortæller, at han på sit dødsleje vågnede op fra sin koma, for første gang så sit nytrykte værk og derefter døde tilfreds.

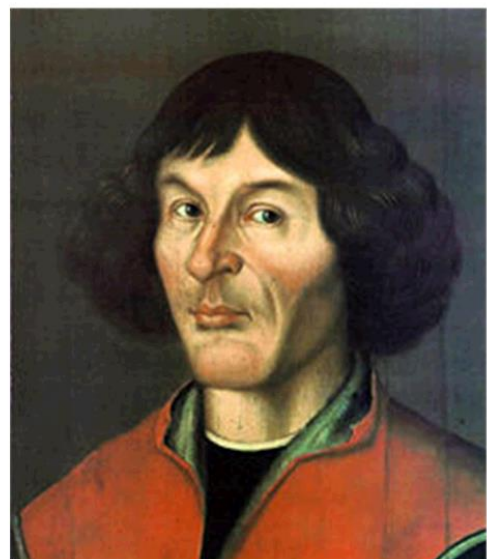
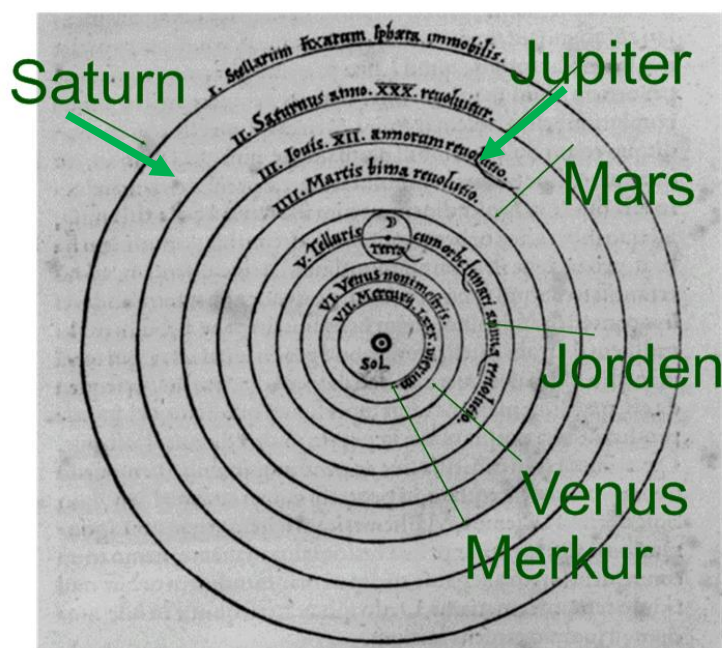
Men værket havde været omkring 30 år undervejs. Kopernikus havde meget tidligt fået de grundlæggende idéer og skrevet et 40-siders værk *Commentariolus*, der ikke blev trykt, men cirkulerede rundt og spredte rygter om det nye system. Og mens en masse forskellige mennesker opfordrede Kopernikus til at publicere sit værk, arbejdede han videre på det. I *Commentariolus* skriver han bl.a. om Ptolemaios' teorier:

*Disse teorier passede nemlig ikke, med mindre man også udtænkte visse ækvanter, så at det syntes, som om planeterne hverken bevægede sig med jævn hastighed på deres deferentcirkler eller rundt om deres epicykelcentre. Et sådant system virker hverken tilstrækkelig absolut eller dragende på tanken.*

*Da jeg var klar over disse mangler, brugte jeg megen tid på at tænke over, hvorvidt man måske kunne udfinde et mere fornuftigt system af cirkler, ud fra hvilket man kunne beregne alle tilsyneladende uregelmæssigheder, og i hvilket hver eneste del ville bevæge sig jævnt omkring sit eget centrum, således som reglen om den absolutte bevægelse foreskriver det.*

Kopernikus vil altså tilbage til Aristoteles' ræsonnementer omkring cirkelbevægelse, dvs. disse skal være jævne.

Men lad os se på systemet:





Dette er en forsimplet udgave fra *De revolutionibus orbium coelestium*. Lad os se på en række af pointerne:

- 1) Solen er placeret i centrum for fiksstjernesfæren og er dermed universets centrum (heliocentrisk verdensbillede), men ikke helt for planetbanerne, for Kopernikus arbejder også med excentriske modeller, dvs. centrene for cirklerne er ikke Solen, men punkter tæt på Solen, som han siger i en af sine 7 grundantagelser: *Der er intet fælles centrum for alle himlens kredse eller sfærer.*
- 2) Jorden bevæger sig omkring Solen lige som alle de andre planeter. Dens centrum er kun centrum for tyngden (jf. Aristoteles) og Månens bevægelser.
- 3) Alle cirkelbevægelser er jævne, dvs. farten er konstant i cirkelbevægelserne.
- 4) Planeterne og Månen bevæger sig i epicykler.
- 5) Forholdet mellem Jordens afstand til Solen og afstanden fra Solen til stjernehimlen er så forsvindende lille i forhold til forholdet mellem Jordens radius og Jordens afstand til Solen, at Jordens afstand til Solen bliver umærkelig i forhold til afstanden til stjernehimlen. Kopernikus holder godt nok fast i en stjernehimmel (sfære), men den bliver placeret så langt fra Solen, at man ikke ud fra den kan se, at Jorden bevæger sig (dette kommer vi ind på senere i forbindelse med parallakser).
- 6) Stjernehimlen står stille.
- 7) Jorden roterer (og med Jorden menes hele området med de 4 elementer).

#### Øvelse 14.1:

- a) Er placeringen/rækkefølgen af himmellegemerne rigtig?
- b) Hvordan forklarer Kopernikus' model, at Venus og Merkur altid ses nær Solen?
- c) Hvordan forklarer Kopernikus' model de retrograde bevægelser af planeterne?
- d) Kan Kopernikus' model forklare, at Venus har faser?
- e) Hvorfor beholdt Kopernikus epicyklerne, når den retrograde bevægelse kunne forklares på den rigtige måde? Hvad kunne epicyklerne ellers bruges til?

Som det fremgår af spørgsmål e) i Øvelse 14.1, måtte Kopernikus efterhånden indføre flere og flere konstruktioner, da han ellers ikke kunne få observationerne til at passe. Så det var begyndt godt med *Commentariolus*, hvor han kunne forklare den retrograde bevægelse på en god (og faktisk korrekt) måde, og han havde kunnet forklare det ellers mystiske sammentræf hos Ptolemaios, at der i beregningerne for alle planeterne indgik en parameter svarende til præcis ét år.

#### Øvelse 14.2: Hvordan kan Kopernikus forklare ovenstående mystiske parametersammentræf ?

Men efter den gode begyndelse kom problemerne, da modellen skulle passe med de præcise observationer, så hovedværket *De revolutionibus orbium coelestium* blev fyldt med epicykler. F.eks. udførte centrum for Jordens bevægelse en epicykelbevægelse omkring Solen. Så værket var på nogle punkter ikke bedre end Ptolemaios' værk.

Men lad os se på succeserne:

Det var faktisk ikke bare lykkedes for Kopernikus at få placeret planeterne i rigtig rækkefølge. Ved at lade Jorden bevæge sig, blev det muligt at bestemme relative afstande til de enkelte planeter, dvs. han kunne bestemme afstanden fra Solen til planeterne udtrykt i forhold til afstanden mellem Jorden og Solen.

### Afstande målt i AE (Astronomiske Enheder)

	Kopernikus	"Rigtige"
Merkur	0,3763	0,3871
Venus	0,7193	0,7233
Mars	1,5198	1,5237
Jupiter	5,2192	5,2028
Saturn	9,1743	9,5388

Dette var en af de helt store succeser ved Kopernikus' model.

En anden var, at han kunne forklare den retrograde bevægelse på en "naturlig" og simpel måde.

En tredje var, at han i stedet for koblede rotationer eller bevægelser af en hel masse sfærer, kunne nøjes med rotationen af Jorden (kender du århushistorien om århusianeren, der kørte på motorvejen og hørte i radioen, at en bilist var kommet ned i den forkerte vejbane og nu kørte mod trafikken, hvorefter han udbrød: "Ha, det er han da ikke ene om. De kører da alle sammen i den forkerte retning!").

En fjerde var (jf. Øvelse 14.2), at en hel række 1-årige perioder kunne forklares med Jordens bevægelse. Den mest åbenlyse er det, vi kalder årets længde. Prøv at overveje, hvad 1 år har svaret til, før Kopernikus kunne sætte det til den tid, Jorden er om at foretage ét omløb omkring Solen. Tidligere måtte det være en eller anden periodisk ujævnhed i Solens bevægelse.

#### MEN ...

Det var jo ikke lutter succeser i Kopernikus' model. Og det skyldes først og fremmest, at han havde holdt fast i cirkelbevægelser. Det er svært at bebrejde Kopernikus denne fejl, for hvordan i alverden skulle han have fået idéen om ellipser, når enhver videnskabsmand på den tid vidste, at cirklen var den perfekte bevægelse?

Men pga. cirkelbevægelser - endda jævne cirkelbevægelser - kunne observationerne aldrig komme til at stemme, og epicyklerne var nødt til at fastholdes for at korrigere for de manglende ellipser og den manglende ujævnhed i bevægelserne.

Desuden havde Kopernikus, der ikke selv observerede mere, end han havde behov for til sin model, overtaget en masse fejlmålinger fra specielt araberne. Dette gjorde, at han "opdagede" en masse ujævnheder, som han så forsøgte at forklare i sin model. F.eks. så det ud til, at Jordens præcession (den retningsændring af Jordens akse, som Hipparchos havde opdaget) ikke var konstant (hvilket den sådan set heller ikke er, men ændringen er så lille, at man på den tid **burde** have anset den for konstant), så Kopernikus var nødt til at lave en mystisk konstruktion lidt ligesom en snurretop ophængt i en snor fastgjort til et punkt i Universet.

Den eneste "dumme" fejl, som Kopernikus havde begået, var at tildele Jorden en særstatus i konstruktionen af de enkelte baner. Ved at sætte Solen i centrum var Jorden ellers blevet frataget sin særstatus og blev nu betragtet som bare en af flere planeter, men Kopernikus havde givet Jordens bane sit eget centrum, mens de andre planeter havde ét fælles centrum.

Kopernikus' Univers var blevet enormt i forhold til de tidligere verdensbilleder - dog ikke uendeligt. Men hvad skal al denne plads til for? For mennesker, der søger et formål med Universets opbygning, kan al den overflødige plads i Kopernikus' univers virke absurd.

Man støder engang imellem på den opfattelse, at Kopernikus ikke udgav sit værk før sin død, fordi han frygtede kirken. Men den virkelige forklaring er nok snarere, at værket ikke var færdigt. Kopernikus vidste godt, at det ikke stemte helt med observationerne, så han ville ikke offentliggøre det og risikere, at det viste sig at være forkert.

Og faktisk var flere af de mennesker, der opfordrede ham til at offentliggøre værket, gejstlige. Et af formålene med at have en rigtig - eller god - model for Universet var, at man kunne lave en præcis kalender, og det var kirken meget interesseret i. En pave havde på et tidligt tidspunkt udvist begejstring for rygterne om værket, og i 1536 skrev en kardinal til Kopernikus og bad ham udgive værket. Kopernikus var desuden læge for en biskop.

Det betyder ikke, at der slet ikke var nogen kritik (også den gang var der mange mennesker i verden, og mange mennesker betyder mange holdninger), og en del kritik var sådan set berettiget kritik forstået på den måde, at den angreb manglerne på fysiske forklaringerne i verdensbilledet.

En del af den oprindelige kritik kom desuden fra protestanter. Det var først i forbindelse med forfølgelserne af Galilei, at også nogle katolikker begyndte at angribe Kopernikus, men da havde han været død i mere end et halvt århundrede.

# 15. TYCHO BRAHES VERDENSBILLEDE

Danskeren Tycho Brahe (1546 - 1601) var sin tids største observatør. Det kan lyde underligt, men faktisk kunne man ikke blive bedre.

Kikkerten blev opfundet i begyndelsen af 1600-tallet, og uden kikkert var man faktisk ikke i stand til at observere mere præcist end Tycho Brahe, da han sammen med sine medarbejdere var i stand til at observere med en nøjagtighed på 1' (udtales "Et bueminut" og svarer til  $\frac{1}{60}$  grad).

Øjets opløsningsevne er også 1 bueminut, dvs. man kan kun skelne ting, hvis vinklen mellem dem er større end  $\frac{1}{60}$  grad (ved at nærme sig tingene gør man vinklen mellem dem større).

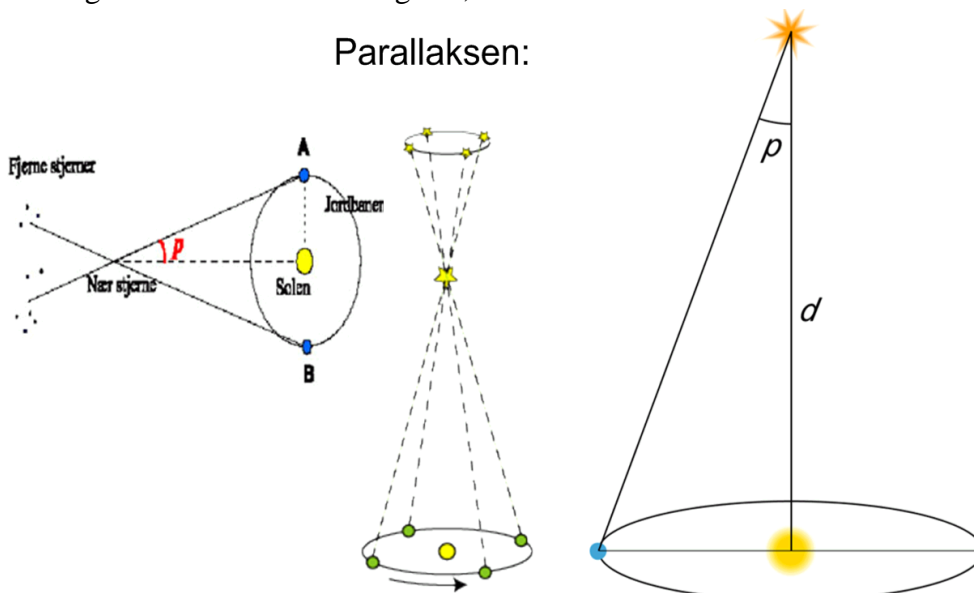
Disse præcise observationer opnåede Tycho Brahe ved at have det bedst mulige apparatur og samtidig lade flere forskellige foretage den samme måling og anvende forskelligt udstyr.

Tycho Brahe var klar over, at en del af Kopernikus' problemer skyldtes fejlmålinger. Han opdagede, at forårspunktet forskyder sig jævnt med 51" (51 buesekunder, dvs.  $\frac{1}{3600}$  grad) om året - ret tæt på den moderne (rigtige) værdi på 50,4" - dvs. han opdagede, at præcessionen ikke varierer. Så han valgte ret tidligt (næsten) ikke at stole på andres målinger. Han forkastede næsten alle tidligere målinger og byggede alt op fra bunden.

I den forbindelse opdagede han den såkaldte *refraktion*, dvs. at lyset brydes i atmosfæren, og han lavede tabeller, så målingerne kunne korrigeres for refraction.

Uheldigvis var en af de få værdier, som han ikke selv målte, Ptolemaios' 20 gange for lille afstand til Solen. Når han ikke selv foretog denne (forholdsvis simple) måling, skyldes det, at det kræver, at man måler fra forskellige steder på Jorden, og det har Tycho Brahe åbenbart ikke haft mulighed for eller ønsket at bruge tid på.

Men lad os holde en lille pause fra Tycho Brahe og se på begrebet *parallaxse*, da det fra nu af bliver et centralt begreb. Nedenfor ses tre figurer, der skal illustrere det samme.



Parallaksen er angivet med et  $p$  på to af figurerne. Parallaksen er den vinkel, man må forestille sig, at en iagttager fra en stjerne (eller et andet objekt) vil måle mellem sigtelinjerne til Jorden og Solen.

Men nu kan man jo ikke stå på en stjerne og kigge på Jorden og Solen, så spørgsmålet er, om man fra Jorden kan bestemme denne vinkel? Det korte svar er, at det kan man, hvis Jorden bevæger sig omkring Solen, og hvis man har en eller anden baggrund at orientere sig efter. Dette er illustreret på figuren til venstre. Fra Jorden i punkt A kigger man på den nære stjerne og ser, hvordan den er placeret i forhold til de fjerne stjerner. Et halvt år senere kigger man fra punkt B og opdager, at den nære stjerne nu ses et andet sted blandt de fjerne stjerner. Det halve af den målte vinkelforskel er så parallaksen.

Du kan selv udføre forsøget med dine øjne og en finger, men kun hvis du har en ikke helt ensfarvet baggrund. Stræk armen og hold en finger op. Kig først på fingeren med det ene øje og bemærk dets placering i forhold til baggrunden, og kig derefter på fingeren med det andet øje og bemærk forskellen i placering. Dine øjne svarer så til punkterne A og B, mens fingeren er den nære stjerne, og baggrunden er de fjerne stjerner.

Det er bl.a. på denne måde, at du afstandsbedømmer genstande. En anden måde er kendskabet til genstandes størrelse. Hvis du spiller håndbold, kender du en håndbolds størrelse, og så kan du afstandsbestemme den med ét øje alene ud fra størrelsen (jf. den polske spiller Karol Bielecki).

Som angivet på den midterste figur, er der ikke kun tale om at måle en vinkel. Den nære stjerne vil udføre en cirkelbevægelse, der kan måles. Men pas på! Det er ikke den eneste årsag til, at stjerner kan udføre cirkelbevægelser.

**Øvelse 15.1:** Vores nærmeste stjerne - bortset fra Solen - er Proxima Centauri. Afstanden til denne er 4,243 lysår. Ville Tycho Brahe have været i stand til at måle denne parallakse?

**Øvelse 15.2:** Parallaksemetoden anvendes netop til at bestemme afstanden til stjerner og andre himmelobjekter. Parallaksen for den røde kæmpestjerne Betelgeuse er  $1,409 \cdot 10^{-6}$ °. Vis, at den ligger 643 lysår fra Jorden/Solen.

**Øvelse 15.3:** Hvilket af Kopernikus' 7 punkter retfærdiggør skråstregen i øvelse 15.2?

Men vi er nu klar til at vende tilbage til Tycho Brahe og se på, hvordan det hele begyndte...

I november 1572 optræder pludselig en supernova på himlen. Det ses ved, at der pludselig dannes en lysplet på himlen, der hurtigt opnår en lysstyrke, der gør den mere tydelig end Venus, og som holder sig synlig på himlen i over et år. Mange mennesker opdagede den, men den kaldes Tycho Brahes supernova, fordi han analyserede sine egne og andres målinger og ud fra en manglende parallakse kunne konstatere, at denne lysplet befandt sig på stjernehimlen.

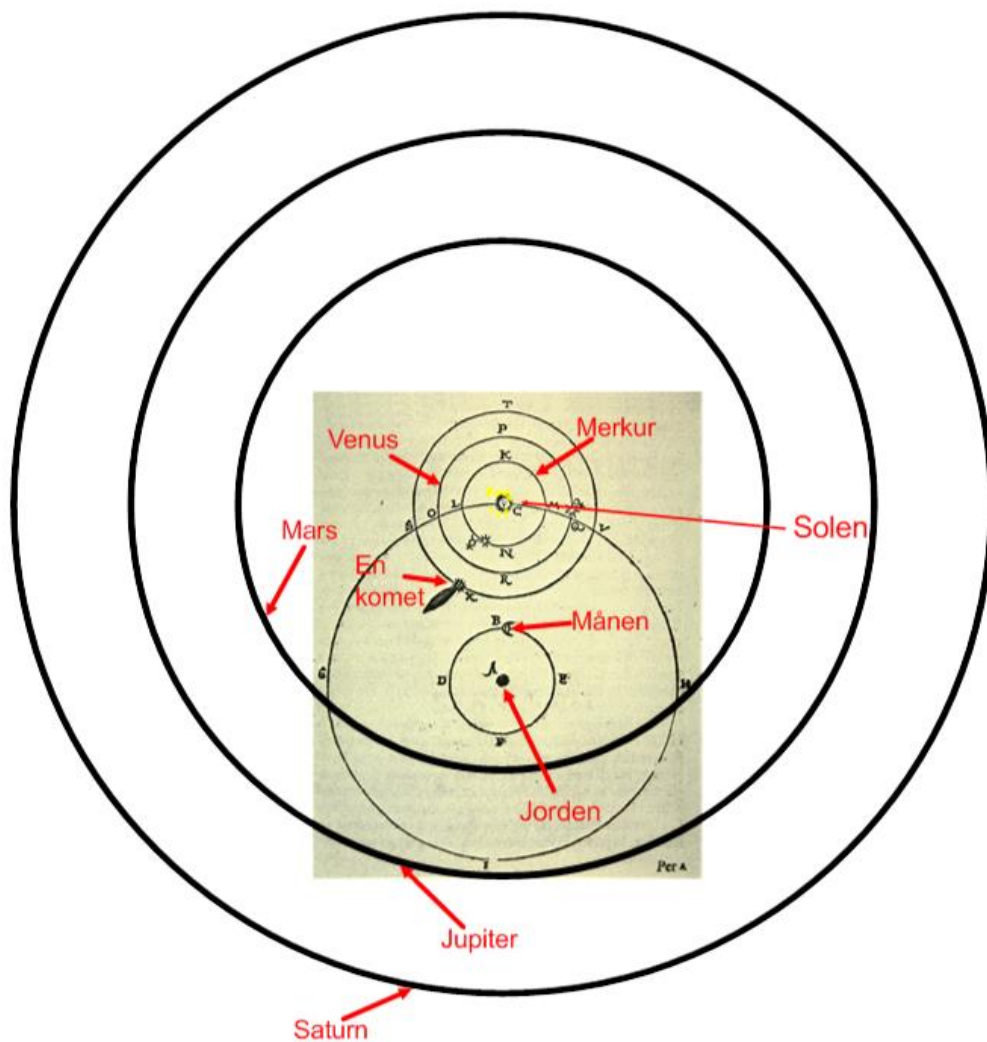
I 1573 publicerede han sit værk *De nova stella* indeholdende sit arbejde med supernovaen.

**Øvelse 15.4:** Hvorfor er selve det, at lyspletten hører til stjernehimlen og ikke bare Jordens atmosfære, en af de mest revolutionerende opdagelser i verdenshistorien?

En stjerne var eksploderet på himlen, og en bombe var sprunget på Jorden. Tycho Brahe var blevet berømt i hele Europa, og han fik nu mulighed for at opnå en kæmpe økonomisk støtte til sit arbejde fra den danske konge. Tycho havde set, at stjernehimlen ikke var uforanderlig, og nu ville han undersøge den.

I 1588 beskriver Tycho Brahe i værket *De mundi ætheri recentioribus phænomenis* sit arbejde med en komet, som han ud fra sine målinger kan konstatere bevæger sig lige så langt ude som Venus, dvs. den har gennembrudt de ellers uforanderlige krystalfærer. Igen ser Tycho Brahe, at hele idéen om uforanderlighed på himlen er noget vrøvl.

Men lad os se på det verdensbillede, som Tycho Brahe kommer frem til. En del af figuren er Tycho Brahes egen tegning (med komet), men da den mangler de yderste planeter, er disse tilføjet:



- 1) Månen og Solen bevæger sig rundt om Jorden.
- 2) Alle planeterne - og kometen - bevæger sig rundt om Solen.
- 3) Stjerneerne ligger ikke ret meget længere ude end Saturns bane.
- 4) Der arbejdes igen med jævne cirkelbevægelser og epicykler.

#### Øvelse 15.5:

- a) Hvordan forklares de retrograde bevægelser i Tychos system?
- b) Kan systemet forklare Venus' faser?
- c) Hvordan forklares det, at Venus og Merkur altid ses nær Solen?
- d) Hvorfor har Tycho Brahe stadig epicykler, når retrograd bevægelse kan forklares uden?

Måske bemærkede du, hvordan svarene på ovenstående spørgsmål faldt ud på samme måde som de gjorde med Kopernikus' system. Det er ikke noget tilfælde.

**Øvelse 15.6:** Hvordan kan man - hvis man ser bort fra stjernehimlen - sige, at Tycho Brahes system på sin vis er identisk med Kopernikus' system?

Svaret på øvelse 15.6 forklarer, hvorfor det ikke giver mening at søge efter observationer inden for Solsystemet, der ville kunne fremhæve det ene system frem for det andet. Sådanne observationer findes ikke ... og dog, det gør de faktisk, men det vender vi tilbage til.

Indtil videre er vi nødt til at bevæge os ud på stjernehimlen, hvis vi vil prøve at finde svaret på hvilken af de to modeller, der er bedst. Vi skal se på parallakser.

Tycho Brahe var som nævnt sin tids bedste observatør, og han havde aldrig observeret en parallakse (det var der heller ingen andre, der havde). Dette er i overensstemmelse med Tychos egen model, hvilket ikke er så underligt, da han naturligvis holdt sig til målingerne. I Kopernikus' model bevæger Jorden sig omkring Solen, og det skulle derfor være muligt at måle parallakser (med mindre alle stjernerne havde samme afstand, så der ikke var nogen baggrund, men på en eller anden måde blev det vist aldrig anset som en mulighed på den tid). Men husk Kopernikus' punkt 5). Han placerer stjernernes sfære så langt borte, at det ikke bliver muligt at måle en parallakse.

Man kan diskutere, om det er en god eller en dårlig løsning på et problem. Det viste sig at være den rigtige forklaring, men Tycho Brahe havde både gode og mindre gode grunde til ikke at holde fast i Kopernikus' model.

Blandt de mindre gode var de religiøse grunde, og han anvendte også på et tidspunkt det aristoteliske argument, at Jorden er tung og træg og uskikket til at bevæge sig.

Men Tycho Brahe var først og fremmest videnskabsmand, og han havde også et godt argument. Han skriver i et brev, hvordan han aldrig har kunnet måle en parallakse, og han ræsonnerer så som følger: Hvis fiksstjernerne er 700 gange så langt væk fra Saturn, som Saturn er fra Solen, får de en årlig parallakse på 1'. Og hvis stjernerne har en visuel diameter på 1'-3', må de dermed være mere end 1000 gange så store som Solen, hvilket er urealistisk.

Lad os se på denne argumentation gennem nogle øvelser:

**Øvelse 15.7:** Undersøg med udgangspunkt i Kopernikus' værdi for Saturns afstand til Solen, om det passer, at stjerner får en årlig parallakse på 1', hvis de er 700 gange så langt væk fra Saturn, som Saturn er fra Solen.

**Øvelse 15.8:** Hvorfor tager Tycho Brahe netop udgangspunkt i, at de skal have en årlig parallakse på 1'?

**Øvelse 15.9:** Undersøg påstanden om, at stjerner med en visuel diameter på 1'-3' må være mere end 1000 gange så store som Solen (Find først ud af, hvor stor en vinkel Solen udgør på himlen).

Men hvorfra kommer påstanden om, at stjerner har en visuel diameter på 1'-3'?

Her kan du selv være med. Gå ud og kig på nattehimlen. Er stjernerne bare prikker, eller har de en udstrækning? Prøv selv at vurdere det.

I virkeligheden optræder de kun som prikker, hvis du f.eks. ser dem fra Månen, fordi deres udstrækning er mindre end 1'. Men pga. Jordens atmosfære flimrer lyset, og stjernerne kan godt se ud, som om de har en udstrækning. Og det var altså, hvad Tycho Brahe gjorde.

Så Tycho Brahe havde altså et rigtig godt argument for sin egen model. Men hvis man ikke mente, at stjernerne havde en udstrækning, kunne man lige så godt godtage Kopernikus' model. For husk stadig på, at ingen af dem passede fuldstændigt. De var forbedringer i forhold til Ptolemaios' system, men de manglende begge én væsentlig ting: Ellipser.

Så for at samle op på situationen i 1601, hvor Tycho Brahe dør:

- 1) Ingen verdensbilleder passer helt med observationerne, fordi man mangler ellipser.
- 2) Man kan ikke skelne mellem Tycho Brahes og Kopernikus' verdensbilleder, fordi man mangler en kikkert for at kunne afgøre, om stjerner har en udstrækning, eller måle en parallakse.
- 3) Man mangler fuldstændigt fysikken til at kunne begrunde verdensbillederne. Det er stadig Aristoteles' filosofi og "fysik", der hersker.

Disse tre punkter leder os hen til de næste to videnskabsmænd: Johannes Kepler (1571-1630) og Galileo Galilei (1564 - 1642). Den første fik styr på ellipserne, mens den anden leverede banebrydende resultater i forbindelse med punkterne 2) og 3). Dog lykkedes det ikke at måle en parallakse før i 1838, hvor flere efter hinanden havde succes med dette. Den første var Friedrich Bessel, men på dette tidspunkt var parallaksen ikke længere relevant i forbindelse med punkt 2), da det allerede var afklaret.



## 16. KEPLER OG GALILEI

Johannes Kepler (1571-1630)      Galileo Galilei (1564-1642)



Fortidens mand

Anvendte:

Forkert fysik

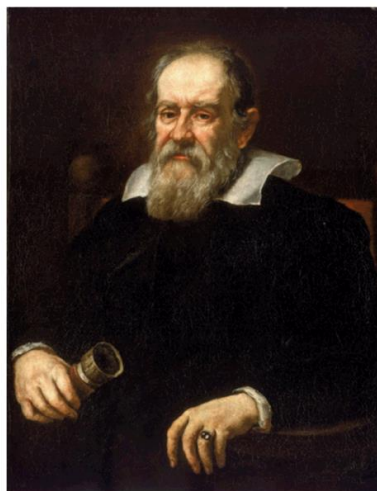
Ideen om en (matematisk) plan  
i universet

Umådeligt flid

Tycho Brahes målinger  
(observationer)

Opnåede:

Fandt den rigtige model for  
solsystemet



Fremtidens mand

Anvendte:

Eksperimenter

Observationer (kikkert)

Opnåede:

Fik gjort op med mange af  
fortidens ideer  
Grundlagde den  
naturvidenskabelige metode

Kepler og Galilei kendte hinanden og udvekslede breve. De var meget forskellige i deres tilgang til tingene, men de var enige om, at Kopernikus' system grundlæggende var rigtigt.

Lad os begynde med Johannes Kepler, da han som angivet var "fortidens mand". Han var uhyre produktiv og leverede et hav af fascinerende og set med nutidens øjne mere end mindre groteske teorier. Hans fysik var den gamle (forkerte) fysik, og han havde en idé om, at Gud havde skabt verden med udgangspunkt i matematikken, dvs. Universet skulle "forstås" matematisk. Moderne videnskabsfolk er indoktrineret til at tænke, at det er noget vrøvl, så de fleste af Keplers (forkerte) teorier giver ingen mening for nutidens mennesker.

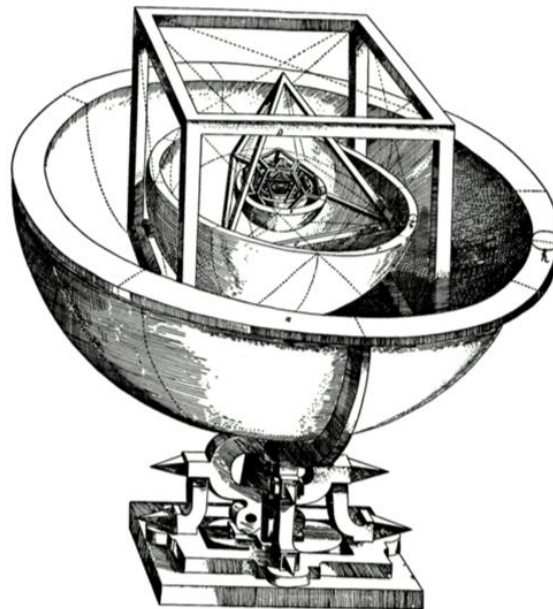
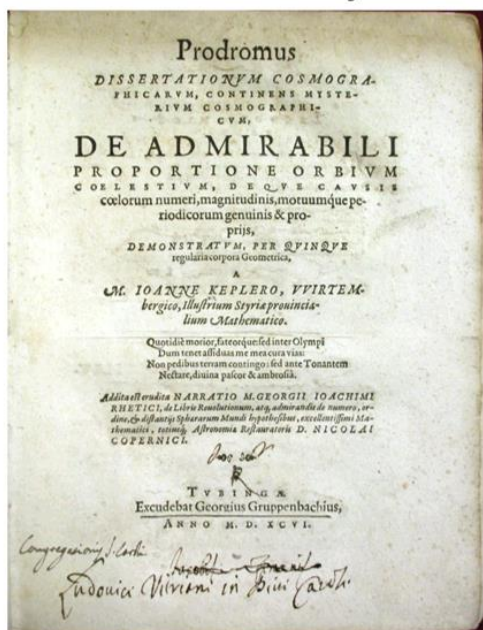
Man kan så spekulere på, hvordan Kepler med en helt forkert indfaldsvinkel til tingene og med den forkerte fysik overhovedet kunne blive den, der fik hele den geometriske/matematisk side af Solsystemet til at falde på plads. Det skyldes en blanding af regnefærdigheder, flid, heldige fejl, nærmest uendeligt mange idéer ( $\aleph_0$ ) og ikke mindst anvendelsen af observationer. For godt nok var Kepler fortidens mand på mange punkter, men han var alligevel så stor en videnskabsmand, at alle hans teorier blev testet ved hjælp af observationer.

Og læg også mærke til, at det var den matematiske side, der kom på plads. Det lykkedes Kepler at få beskrevet, hvordan planeterne bevægede sig omkring Solen, men ikke hvad der lå bag disse bevægelser. Det var først den exceptionelle videnskabsmand Isaac Newton (1642-1727), der fik den side på plads.

Men lad os prøve at se på en af Keplers yndlingsteorier, der var det rene nonsens, men som set fra et matematisk synspunkt er ufattelig smuk og samtidig meget fint illustrerer Keplers tankegang.

## Keplers polyedre-model

1596: *Mysterium cosmographicum*



I 1596 (5 år før Tycho Brahes død) udgav Kepler sit værk *Mysterium cosmographicum*, og i dette værk fremlagde han sin polyedremodel, som han vist aldrig rigtig opgav.

Kepler ville med denne model forklare, hvorfor der er netop 6 planeter. Læg altså mærke til, at allerede her viser Kepler, at han tager udgangspunkt i Kopernikus' heliocentriske model. Han vil også finde ud af, hvorfor planeternes (middel-)afstande til Solen er, som de er.

Og her får han så en idé!

Inden for matematikken arbejder man med de 5 såkaldte platoniske legemer. Måske kender du dem fra terningerne til bl.a. rollespil. Det er terninger med 4, 6, 8, 12 og 20 sider (ikke den 10-sidede terning). Det er forholdsvis nemt rent matematisk at bevise, at dette er de eneste 5 regulære polyedre. Dvs. de er opbygget af kongruente, regulære polygoner (ensvinklede trekanter, firkanter eller femkanter). Det er Platon (ca. 428-348 fvt.), der har lagt navn til disse legemer, fordi han anvendte dem, da han opstillede sin egen stofteori, hvor han i modsætning til alle andre filosoffer, der arbejdede med de 4 elementer, faktisk opstillede noget, der kunne minde om en atomteori, hvor de platoniske legemer udgjorde atomerne.

Men der er altså 5 platoniske legemer og 6 planeter. Og så siger Kepler: Hvert platonisk legeme har en indskreven og en omskreven kugle. Hvis man placerer skiftevis en kugle og et platonisk legeme - begyndende og afsluttende med en kugle - så får man netop 6 kugler, og disse 6 kugler svarer så til planeternes sfærer (se figuren).

Dvs. den inderste kugle er den indskrevne kugle i det første platoniske legeme. Dette legemes omskrevne kugle er så den næste kugle, og denne kugle fungerer også som indskreven kugle i det næste platoniske legeme, osv. De fire midterste kugler fungerer altså både som indskreven og omskreven kugle for platoniske legemer, mens den inderste kugle kun er indskreven kugle og den yderste kugle kun omskreven kugle.

Og vupti! Her har vi løsningen på spørgsmålene. Der er netop 6 planeter, fordi der er præcis 5 platoniske legemer, og deres middelfafstande er netop, som de er, fordi konstruktionen med indskrevne og omskrevne kugler giver helt bestemte afstande. Den eneste opgave er nu at få placeret de platoniske legemer i den rigtige rækkefølge.

Og da det rent faktisk lykkedes Kepler at komme frem til et resultat (det er modellen vist på figuren), der passede ret godt med observationerne, var Kepler ret sikker på, at han havde fat i noget rigtigt.

Det skal lige siges, at han faktisk havde problemer med en af banerne, men så fandt han på - uden nogen god begrundelse - lige at indskyde et af de platoniske legemer en ekstra gang, hvorefter det hele passede, og han hoppede jublende omkring.

Husk, at dette er en helt forkert model. Pointen med den er at vise, hvordan Kepler tænkte.

Tycho Brahe tænkte ikke sådan, og han var selvsagt ikke tilhænger af Kopernikus' system. Alligevel blev han interesseret i Kepler, fordi denne havde vist, at han kunne regne og udvikle modeller. Og Kepler havde hårdt brug for observationer. Det endte med, at han i 1600 (1 år før Tychos død) ankom til Prag, hvor Tycho Brahe var endt efter et opgør med den nye danske konge, og han fik nu lov til at arbejde med Tychos observationer. Han fik ikke lov til at skrive dem af, og han havde ikke fuld adgang til alt, for Tycho Brahe holdt sin skat (dvs. observationsdataene) tæt ind til kroppen. Efter nogle måneder forlod Kepler Tycho Brahe pga. skænderier, men de optog forbindelsen, og lige inden Tycho Brahes død nåede Kepler at blive udnævnt til hans efterfølger ved hoffet.

Kepler skulle efter sigende have ment, at Gud havde skabt Tycho Brahe for at foretage observationer og ham selv for at anvende dem til at gennemskue Universet, så da Tycho Brahes slægtninge ikke ville overlade observationerne til Kepler, gjorde Kepler heldigvis det, enhver ærlig videnskabsmand med Gud i ryggen ville gøre: Han stjal observationerne og gik så ellers i gang med at arbejde videre på den kortlægning af Mars' bane, som han oprindeligt var gået i gang med.

Han knoklede løs og opstillede en masse modeller med epicykler og al den slags, som alle hans forgængere også havde forsøgt med, men uanset hvad han gjorde, så kunne han ikke komme under en afvigelse på 8' fra Tychos observationer, og han havde kendt Tycho og vidste, at det var for store afvigelser.

Og her må man beundre Kepler. For han smed alt arbejdet væk og begyndte at tænke forfra (hvilket kan være temmelig svært, når man har arbejdet flere år med noget).

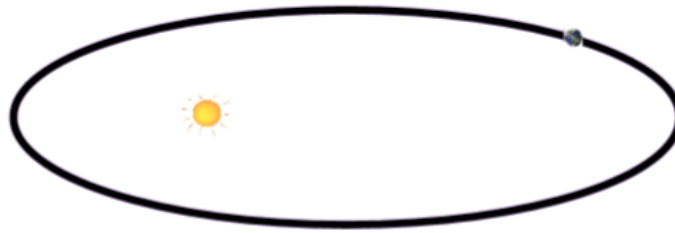
Og så pludselig kom idéen: Ellipser.

Af en eller anden grund prøvede Kepler nu en model med en ellipsebane for Mars, og så kunne han pludselig få det hele til at stemme med Tycho Brahes målinger. Det må have været en fantastisk følelse for Kepler at opdage det ene tal efter det andet stemme.

Hermed var den gordiske knude hugget over, og Kepler kunne arbejde videre og i 1609 publicere sit værk *Astronomia nova*, hvor han bl.a. fremlagde det, der siden er blevet kendt som Keplers 1. og 2. lov.

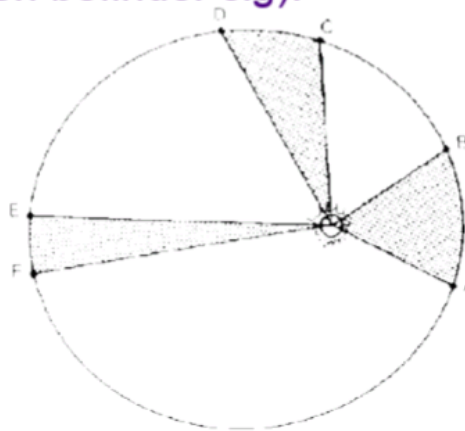
Keplers 1. lov:

Planeterne bevæger sig i ellipser med Solen i det ene brændpunkt.



Keplers 2. lov:

Arealhastigheden er konstant i hele bevægelsen (dvs. i lige lange tidsrum vil planeten overstryge lige store arealer uanset hvor i sin bane, den befinder sig).



I 1619 udgav Kepler så endnu et værk fyldt med en masse mystiske teorier, bl.a. idéen om sfærernes musik, hvor planeterne via deres omløb spiller musik. Blandt alle disse teorier, der ikke havde noget på sig, var der også det, der nu kendes som Keplers 3. lov:

Keplers 3. lov (1619: *Harmonices mundi*):

Kvadratet på en planets omløbstid er proportionalt med dens middelfastand til Solen (den halve storakse i ellipsebanen) i tredje potens. Proportionalitetskonstanten er den samme for alle planeterne:  $T^2 = k \cdot a^3$

Det skal lige siges, at da Kepler udledte sin anden lov, kom han til at lave en regnefejl i sin model, men da hans fysik også var forkert, var han så heldig, at de to fejl udlignede hinanden, og da det hele passede, var der naturligvis ingen grund til at gøre det store ud af det, da han senere opdagede regnefejlen.

**Øvelse 16.1:** Støttede Keplers model Kopernikus' model frem for Tycho Brahes model?

**Øvelse 16.2:** Udfyld nedenstående skema og tjek gyldigheden af Keplers 3. lov for de 8 planeter og Pluto.

	a målt i AE	T målt i år	k
Merkur	0,387	0,241	
Venus	0,723	0,615	
Jorden			
Mars	1,524	1,881	
Jupiter	5,203	11,862	
Saturn	9,555	29,42	
Uranus	19,218	83,75	
Neptun	30,110	163,72	
Pluto	39,545	248,02	

Med Kepler havde man altså fundet ud af, hvordan planeterne bevægede sig, men man anede ikke noget om, hvorfor banerne var ellipser. Og som I nok kom frem til i øvelse 16.1, så havde Kepler faktisk overhovedet ikke vist noget om, hvorvidt det var Solen eller Jorden, der stod stille (Kopernikus vs. Tycho Brahe). Kepler havde taget udgangspunkt i et heliocentrisk verdensbillede, men han kunne have vist det samme med udgangspunkt i Tycho Brahes verdensbillede. Det er først med Newton, at man bliver klar over, hvorfor Kopernikus' verdensbillede er bedre end Tycho Brahes.

Kepler havde heller ikke bragt noget nyt til diskussionen om uendeligheder. Det var primært en filosofisk diskussion, som Aristoteles var gået meget op i, og som nu "gemte" sig i de enkelte verdensbilleder. For godt nok er et uendeligt Univers en mulighed i Kopernikus' system, men Kopernikus havde vist bare flyttet den yderste sfære meget, meget langt væk, hvilket er noget helt andet end slet ikke at arbejde med en sfære (som man ikke gør, hvis man beskriver Universet som uendeligt i udstrækning).

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

Galilei fik ligesom Kepler enorm betydning for verdensbilledets udvikling, men på en helt anden måde. Han opstillede ingen geometriske modeller. Men han arbejdede som videnskabsmand, og er derfor ovenfor blevet betegnet som "fremtidens mand".

Galilei var en af grundlæggerne af den naturvidenskabelige metode (en anden var Francis Bacon, der levede 1561-1626). Han tilskrives formuleringen om at "måle det målelige og gøre det umålelige måleligt", selvom han vist aldrig selv har sagt dette. Men pointen er, at Galilei indførte en hel ny måde at tænke på, som viste sig - i modsætning til Aristoteles' filosofiske måde - at være meget frugtbar i forbindelse med at tilegne sig viden om verden.

Galilei testede sine teorier/hypoteser ved hjælp af eksperimenter og observationer. Det nye ved dette er hovedsageligt eksperimenterne, for også tidligere havde man, som vi har set, testet teorier ved hjælp af observationer.

Vi skal ikke her beskæftige os med Galileis eksperimenter, selvom det egentlig er dem, han er mest berømt for (bl.a. skrønen om, hvordan han stod og tabte kugler ud fra Det Skæve Tårn i Pisa). Vi skal kun se på de observationer og konklusioner, han bidrog med i forbindelse med verdensbilledet.

Kikkerten menes at være udviklet i Holland omkring 1604-1608. Der er flere personer, der nævnes som opfindere af kikkerten, men Galilei er ikke blandt dem (og han skriver selv, at han konstruerede den efter at have hørt om en eller anden belgier, der havde opfundet den). I 1609 hører han om apparatet og bygger hurtigt sin egen kikkert (se hvad Galilei holder i hånden på billedet).

Det er ikke sikkert, at Galilei fuldt ud forstod kikkerten. Muligvis har han blot bygget den ved at prøve sig frem med forskellige linser i forskellige afstande. Kepler derimod forstod kikkerten og kunne både regne ud, hvordan den skulle konstrueres, samt hvordan den kunne forbedres, men han byggede vist aldrig selv en kikkert.

Der gik ikke lang tid, fra Galilei havde lavet en kikkert, til han rettede den mod nattehimlen, og så begyndte der ellers at ske noget. Vi skal nu se på de ting, han kunne observere, og diskutere, hvorfor det var revolutionerende opdagelser.

### **Månen:**

Galilei kigger på Månen og ser en masse skygger. Det var der også andre, der havde set med kikkerten, men Galilei forstår, at disse skygger kan forklares ved, at der er bjerge og kratere på Månen, og han er faktisk i stand til at vurdere højderne af bjergene ud fra skyggerne, hvorved han kommer frem til, at nogle af dem er større end bjergene på Jorden.

**Øvelse 16.3:** Hvorfor er opdagelsen af bjerge og kratere på Månen revolutionerende på en tid, hvor Aristoteles tanker om Universet stadig er fremherskende?

### **Fixstjerner og planeter:**

Galilei kigger på (fix-)stjernerne og planeterne, og han opdager, at hvor planeterne pga. kikkertens forstørrelse vokser fra prikker til runde skiver, så sker der ingenting med stjernernes størrelse. Deres prikker vokser ikke.

**Øvelse 16.4:** Hvordan kan dette forklares?

**Øvelse 16.5:** Find data (afstande og diametre) for planeterne Venus, Mars og Jupiter, samt for stjernerne Sirius A, Aldebaran og Rigel og beregn, hvor stor en vinkel de udgør set fra Jorden (for planeterne kan du f.eks. vælge et tidspunkt, hvor planeten står tættest på Jorden, så den virker størst mulig). Og se så, hvad der sker med denne vinkel, når Galilei med sin kikkert, der kan forstørre 30 gange, kigger på objektet.

**Øvelse 16.6:** Hvordan kan dette anvendes i "diskussionen" mellem Tycho Brahe og Kopernikus?

### Venus' faser:

Galilei opdager, at Venus ligesom Månen har faser (se nedenstående figur).



Men som man kan se på figuren, er der ikke kun forskel på, hvor stor en del af Venus, der ligger i skygge. Der er også ret stor forskel på, hvor meget Venus fylder på himlen i de forskellige faser.

**Øvelse 16.7:** Forklar sammenhængen mellem de to slags ændringer.

**Øvelse 16.8:** Hvilken betydning har ovenstående for Venus' lysstyrke?

**Øvelse 16.9:** Hvilken af vores gennemgåede verdensbilleder kan forklare dette fænomen, og hvilke kan ikke?

### Solpletter:

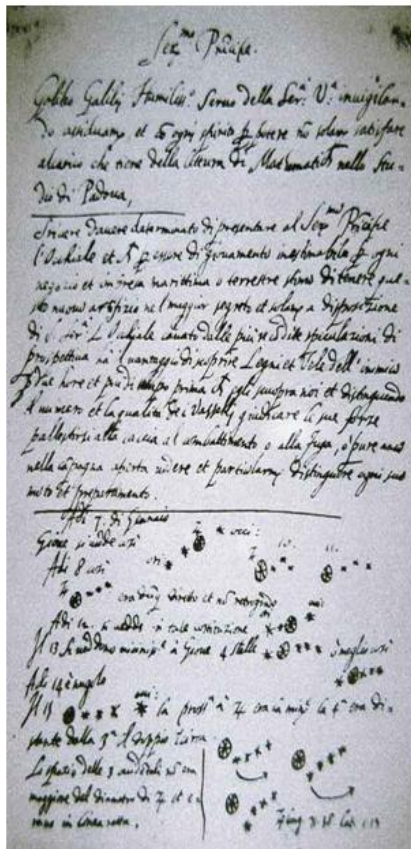
Galilei opdagede - kort efter Thomas Harriot - i 1610, at Solen har pletter. Faktisk var disse pletter blevet observeret tidligere, men de var fejlagtigt blevet fortolket som Merkur-passager. Galilei kunne følge disse pletter og se, hvordan de efter et stykke tid forsvandt, og der kom andre til.

**Øvelse 16.10:** Hvorfor er dette en revolutionerende opdagelse?

Solpletterne kunne desuden anvendes til at se, at Solen roterer, hvilket altså viser, at også meget store legemer - heriblandt Jorden - kan rotere.

## Jupiters måner:

Mest berømt er dog nok Galileis opdagelse af Jupiters (4 største) måner. Nedenfor ses hans optegnelser, hvor han den 7. januar 1610 for første gang observerer månerne. Han ser tre af dem, men tror, at det er stjerner, der ligger tæt på Jupiter. Han bliver ved med at observere, og pludselig dukker den fjerde måne op, og han opdager, hvordan disse objekter bevæger sig omkring Jupiter.



*Observationes Jovianae*  
1610

2. Jovis mar H. 12	○ **
3. Jovis	** ○ *
2. Jovis	○ ** *
3. Jovis	○ * *
3. H. 5.	* ○ *
4. Jovis	* ○ **
6. Jovis	** ○ *
8. Jovis H. 13.	* * * ○
10. Jovis	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. 4. Jovis	* ○ *
13. Jovis	* ** ○ *
14. Jovis	* * * ○ *



Io Europa Ganymedes Callisto



**Øvelse 16.11:** Hvorfor var dette revolutionerende, dvs. hvilken tankegang modbeviste det?

Galilei havde også opdaget en hel masse nye stjerner - flere af dem i Mælkevejen - og han havde set, at Mælkevejen i sig selv bestod af stjerner. Mælkevejen havde tidligere været betragtet som uddunstninger fra Jorden.

Opdagelsen af stjerner, der ikke kunne ses uden kikkert, gik imod den opfattelse, at stjerner var placeret på himlen for menneskenes skyld (så man f.eks. kunne finde vej om natten).

Galilei havde fået gjort op med mange filosofiske fejltagelser.

**Øvelse 16.12:** Hvilke af de gennemgåede verdensbilleder er udelukket efter Galileis opdagelser?



Men Galilei var langt fra selv fejlfri. F.eks. accepterede han ikke Keplers ellipsemodel og dennes idé om, at tidevandet skyldtes Månen. Og det skal igen bemærkes, at Galilei faktisk ikke har vist noget om, hvorvidt Jorden står stille eller bevæger sig. Han har taget udgangspunkt i Kopernikus' verdensbillede, men han har ikke set noget, der fremhæver Kopernikus' verdensbillede frem for Tycho Brahes. Det, der stadig mangler, er et bevis for, at Jorden bevæger sig. Dette bevis kunne komme ved observationen af en parallakse, men der er også andre måder.

Galilei troede selv, at han kunne forklare tidevandet som en konsekvens af Jordens bevægelse (kombinationen af rotation omkring egen akse og turen rundt om Solen). Problemet var, at hans teori kun burde have givet ét højvande i stedet for de observerede to om dagen. Han tilskrev selv disse fejl til en masse små variationer, men som bekendt var det en helt forkert teori.

Galilei er også meget berømt for at være blevet tvunget til at fornægte det heliocentriske verdensbillede. Han havde egentlig et udmærket forhold til pave Urban VIII, og han havde fået tilladelse til at skrive et værk, hvor det heliocentriske verdensbillede behandles i dialogform med argumenter for og imod og uden stillingtagen. Paven havde en del argumenter mod det heliocentriske verdensbillede, som han havde bedt om at få med, og disse argumenter var blevet lagt i munden på karakteren Simplicio, der argumenterede for det geocentriske verdensbillede, men ofte kom i problemer i værket.

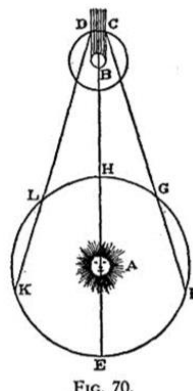
Det var ikke så heldigt. Galilei blev kaldt til Rom, og her blev han tvunget til at sige, at Jorden ikke bevæger sig (Den skriftlige "indrømmelse" er bevaret), men ingen kunne forhindre ham i at hviske "...men det gør den nu alligevel".

## 17. DE MANGLENDE OPDAGELSER

Vi mangler stadig den eller de observationer, der kan vise, at Jorden bevæger sig.

De to næste opdagelser er af den ikke usædvanlige type, hvor videnskabsmanden kigger efter en bestemt ting og ender med at opdage noget helt andet.

### Ole Rømer opdager i 1676 lysets hastighed (dets "tøven")



Når man tidligere var langt ude på havet, kunne man bestemme breddegraden ved hjælp af solhøjden, men man kunne ikke bestemme, hvilken længdegrad man var på. Hertil krævedes et mere præcist ur, end man var i stand til at fremstille på den tid. Man ledte derfor efter andre "ure". Den danske videnskabsmand Ole Rømer ville "konstruere" sådan et ur ved hjælp af Io (den inderste af Jupiters fire store måner). En præcis beskrivelse af dennes bevægelse omkring Jupiter ville kunne anvendes som et ur - i hvert fald på nogle tidspunkter af året. I punktet C på figuren forsvinder Io pludselig, da den kommer ind i Jupiters skygge, mens den i D pludselig dukker op igen, da den kommer ud af Jupiters skygge. Io forsvinden kan observeres, når Jorden er i området FG, mens Ios tilsynekomst kan observeres i området KL.

Men under arbejdet opdagede Ole Rømer (og de franskmænd han arbejdede sammen med) en forsinkelsen på tilsynekomsten af Io, når Jorden var i punkt K i forhold til i punkt L. Tilsvarende forsvinder Io senere, når Jorden er i punkt F i forhold til, når Jorden er i punkt G.

Rømer fortolkede dette som en "tøven" af lyset, dvs. at lyset ikke bevæger sig med uendelig stor hastighed. Andre var efterfølgende i stand til ud fra hans data at bestemme en forholdsvis præcis værdi for lysets hastighed.

Vi er stødt på uendeligheder en del gange i disse noter, men aldrig i forbindelse med en hastighed. Det betyder ikke, at lysets hastighed ikke havde været behandlet indgående før Ole Rømer.

Empedokles (ham med de 4 elementer) havde argumenteret for, at lyset havde en endelig hastighed.

Aristoteles mente derimod, at lyset ikke skulle bruge nogen tid på at komme fra et sted til et andet. Dette kan lyde meget mærkeligt, da vi jo har set, hvordan Aristoteles hele tiden kun har accepteret potentielle uendeligheder. Men forklaringen er, at Aristoteles slet ikke betragtede lyset som noget, der bevægede sig, dvs. der er ikke tale om nogen hastighed. En masse andre har også budt ind med forklaringer, og nogle af dem har rent faktisk betragtet lyset som noget, der bevægede sig med uendelig stor hastighed (blandt disse Johannes Kepler og René Descartes (1596-1650)).

Men Ole Rømer havde altså nu vist, at lyset var noget, der bevægede sig, og det bevægede sig med en endelig hastighed.

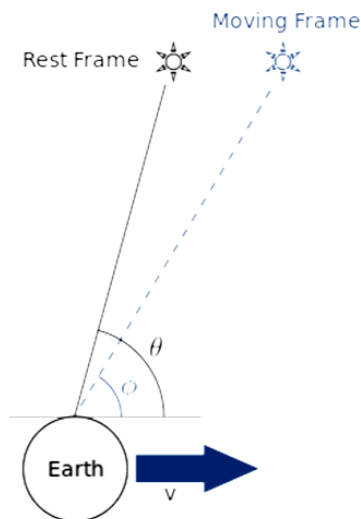
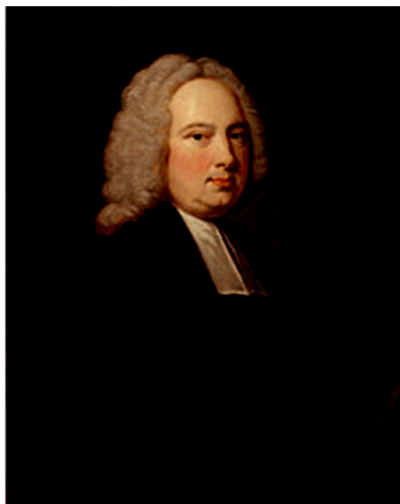
**Øvelse 17.1:** Viser Ole Rømers opdagelse noget om, hvorvidt Jorden bevæger sig eller ej?

Det var ikke alle, der var blevet overbevist af Rømers observationer, men efter nogle årtier kom så det, der nu regnes som den opdagelse, der fik overbevist næsten alle om, at lysets hastighed er endelig, og at Jorden bevæger sig.

Det var James Bradley (1693-1762), der gjorde opdagelsen. Faktisk forsøgte han at observere stjerneparallakser, og det lykkedes ham faktisk også at opdage, at stjernerne foretog små cirkelbevægelser, som vi så illustreret, da parallakserne blev behandlet. Problemet var bare, at disse cirkelbevægelser var forskudt i tid (med 3 måneder) forstået på den måde, at stjernen i følge parallakseteorien i sin cirkelbane skulle stå nordligst i juni, mens den først gjorde det i september. Man kan sige, at den var en fjerdedel år bagud.

Men Bradley indså så, at han havde opdaget et nyt fænomen, der direkte viser, at Jorden bevæger sig, samt at lysets hastighed er endelig.

## James Bradley opdager 1725-1728 lysets aberration



Lysets aberration hænger som sagt sammen med, at lyset har en bestemt hastighed (der kan udregnes), samt at Jorden bevæger sig. Du kender princippet fra et regnvejr på en vindstille dag. Regnen falder lodret ned, men hvis du cykler eller kører i bil, ser det ud, som om regnen kommer fra et punkt skråt fremme.

Dette er illustreret på figuren.

**Øvelse 17.2:** Forklar hvorfor stjernernes cirkelbevægelser, der skyldes lysets aberration, er anderledes end dem, der skyldes parallakser (dvs. hvorfor er de forskudt med 3 måneder?).

Efter opdagelsen af lysets aberration var det nu - inden for videnskabens verden - alment accepteret, at Jorden bevæger sig.

Friedrich Bessel måler i 1838 som den første en stjerneparallakse.



Derfor var Friedrich Bessels måling af en stjerneparallakse i 1838 ikke så vigtig pga. påvisningen af, at Jorden bevæger sig (for det var allerede påvist), men fordi parallakserne også kan benyttes til at bestemme afstanden til stjernerne. Og netop denne anvendelse er stadig helt central inden for astronomien. Den er det fundament, som alle andre afstandsbestemmelser bygger på, og man anvender den stadig.

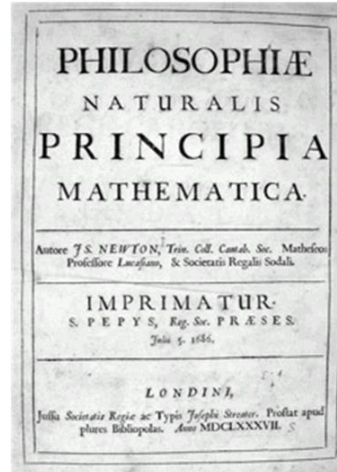
I perioden 1989-1993 målte satellitten med det elegante navn Hipparcos (**H**igh **p**recision **p**arallax **c**ollecting **s**atellite) afstanden til over 100.000 stjerner, og i 2013 opsendtes Gaia, der blandt en masse andre ting også måler afstanden til stjerner op til 15.000 lysår med rimelig præcision (20-200 mikrobuesekunder). Hermed skulle man ende med at kende afstanden til 20 millioner stjerner med en usikkerhed på 1% og til 200 millioner med en usikkerhed på 10%.

Men lad os som afslutning gå lidt tilbage i tiden og se på det, der måske er den største opdagelse af alle:

Isaac Newton (1642-1727)



1687: Principia



Tyngdeloven:

$$F_t = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

Isaac Newton opdagede, at han kunne anvende den samme lov - nemlig tyngdeloven - til at beskrive æblets fald til jorden og Månens bevægelse omkring Jorden. Ligeledes kunne den forklare Jordens fladtrykthed, og han kunne udlede Keplers love ud fra den. Dvs. denne lov gjaldt både på Jorden og i Universet. Dette lyder muligvis ikke som noget specielt, men efter vores gennemgang af verdensbilleder er du måske blevet i stand til at besvare spørgsmålet...

**Øvelse 17.3:** Hvorfor er tyngdeloven en af de største - måske den største - videnskabelige opdagelser?

# APPENDIKS: Introduktion til verdensbilleder

Det er de færreste, der er vant til at iagttage nattehimlen systematisk.

Formålet med denne øvelse er derfor at vise en række fænomener, der kan iagttages på nattehimlen, hvorefter fysikdelen af dette emne vil gennemgå, hvordan disse iagttagelser er blevet fortolket af forskellige naturvidenskabsmænd, samt hvordan de forklares ud fra vores moderne verdensbilleder (dvs. vores viden om bevægelserne af Jorden, Månen, planeterne, osv.).

Kort sagt: I dag skal I se observationerne. I den kommende tid gennemgås teorien.

**Programmet:** Programmet hedder *Sky View Café*. Det er en computeranimation af nattehimlen, dvs. det er IKKE rigtige billeder, men til gengæld kan man frit vælge sin udkigsposition på Jorden og gå frem og tilbage i tiden. Programmet findes på <http://www.skyviewcafe.com/skyview.php>. Hvis linket ikke fungerer, så søg på Google efter "Sky view cafe".

Lær programmet at kende:

- a) I øverste højre hjørne findes "Location Settings". Programmet har registreret, hvor din computer er, så til at begynde med ser du himlen fra Hellerup. Du kan ændre på denne indstilling.
  - b) Øverst i venstre side ses det nuværende tidspunkt. Du kan ændre på dette.
  - c) Under "Options" i højre side kan du vælge "Sky Color". Vælg: Black. Hermed kan du også se stjernerne og planeterne om dagen.
  - d) Prøv at se betydningen af samtlige muligheder i søjlen "Refraction effect", "Celestial grid", ... og "Milky Way". Gør det ved at tilføje og fjerne flueben.
- 1) Du skal nu prøve at se, hvordan himlen ændrer sig i løbet af et døgn. Fjern først navnene på planeter og klare stjerner ved at fjerne fluebenene under "Show Names" nederst i højre hjørne. Begynd uden "Constellations". Gå op til tidspunktet og marker det tal, der angiver antallet af 10-minutter (dvs. i 2015-10-18 13:45 skulle det være 4-tallet, du skulle markere). På piltasterne kan du nu gå 10 minutter frem eller tilbage. Prøv det.
- a) Hvad kan du observere, når tiden går?
  - b) Bevæger stjernerne sig?
  - c) Bevæger de sig i forhold til hinanden?
  - d) Kan du finde en stjerne, der (næsten) ikke bevæger sig?
- Prøv at sætte "Constellations" på himlen.
- e) Hvad har svaret på c) at gøre med selve muligheden for at snakke om "constellations" dvs. stjernebilleder?
  - f) Prøv nu at svare på spørgsmål d) igen. Gå ned "Show Names" og sæt igen navne på "Bright stars" og planeter.
  - g) Hvad hedder den stjerne, der (næsten) ikke bevæger sig? Hvad kaldes den på dansk?

- 2) Gå op og sæt tiden til -3000 (dvs. 3000 år før vor tidsregning).
  - a) Prøv igen at finde den stjerne, der (næsten) ikke bevæger sig. Ved at føre musen hen til den, kan du aflæse dens navn i linjen nederst.  
Hvis du har set rigtigt, er det stjernen Thuban, du har fundet. Det er den tredje stjerne i stjernebilledet Dragens hale (det lange stjernebillede).

**Kommentar:** 1) og 2) viser, at det med tiden er forskellige stjerner, der fungerer som ”Nordstjerne”. Nordstjernen er den stjerne, som Jordens rotationsakse (næsten) peger mod, og dermed må Jordens rotationsakse altså (meget langsomt) ændre retning i tidens løb. Dette fænomen kaldes præcession. Det tager ca. 25800år for Jordens akse at foretage ét omløb. Det betyder, at vores årstider rykker sig med omkring en måned for hver 2000 år.

- 3) Nu til et af de helt store spørgsmål: **Hvordan kan man på nattehimlen skelne planeter fra stjerner?**

Gå tilbage til nutiden (tryk på ”now”) og skift til 20° nordlig bredde (Location Settings ; latitude).

Gå desuden ned og fjern navne på planeter og stjerner.

Gå op til tidslinjen og marker det tal, der angiver én dag (Dvs. i 2013-10-18 13:45 skulle det være 8-tallet, du skulle markere). Du kan nu med piltasterne gå én dag frem eller tilbage.

- a) Hold piltasten nede, så du går frem i tiden. Bemærk først den kugle, der med mellemrum farer over skærmen. Hvilket himmellegeme er det?
  - b) Bemærk desuden de farvede pletter, der angiver planeterne. Hvordan ville man, hvis de IKKE var farvede, kunne skelne dem fra stjernerne?
  - c) Ordet ”Planet” betyder ”Vandrestjerne”. Hvorfor?
  - d) Gå til ”Show Names” og sæt igen navne på planeterne. Bemærk hvordan de bevæger sig med forskellige hastigheder.
- 4) Sæt position til 0 grader nordlig bredde og 0 grader vestlig længde (alt skal være nuller). Sæt tiden til 2023-12-19 17:00.
    - a) Kig på planeterne, Månen og Solen. Ligger de tilfældigt placeret?  
Sæt flueben ved ”Ecliptic grid”. Her er EKLIPTIKA!!!
    - b) Gå én dag frem ad gangen. Hold øje med Solen. Hvordan bevæger den sig i forhold til ekliptika?
    - c) Gør det samme med Månen og planeterne. Bemærk at deres baner hælder i forhold til ekliptika.
  - 5) Sæt tiden til 2027-11-01 15:40 og gå én dag frem ad gangen.  
Hold kun øje med Venus. Bemærk dens placering i forhold til stjernebillederne. Kan du se, at den pludselig begynder at bevæge sig ”baglæns” et lille stykke tid, hvorefter den igen bevæger sig fremad? Dette kaldes sløjfebevægelse eller retrograd bevægelse.  
Det er et meget vigtigt fænomen, der har spillet en kæmpe rolle i forsøget på at forstå Solsystemet. Så gå tilbage og kig på det igen.

- 6) Sæt tiden til 2036-09-24 15:40 og hold denne gang øje med Merkur.  
Prøv også at observere fænomenet for de andre planeter. Her er det dog lidt sværere, fordi det tager længere tid, så man ikke får hele bevægelsen med.
- 7) Sæt tiden til klokken 12:00 (årstal og dato er ligegyldigt). Når du nu går én dag frem ad gangen, har du hele tiden Solen tæt på midten af skærmen.
  - a) Prøv at observere hvordan Venus og Merkur bevæger sig i forhold til Solen.
  - b) Prøv at observere hvordan de andre planeter bevæger sig i forhold i Solen.
  - c) Hvad er den væsentligste forskel?

**Kommentar:** Dette er en meget vigtig iagttagelse, som vi skal bruge en del tid på. Kan du med dit kendskab til Solsystemet forklare punkt c) ?

- 8) Gå tilbage og repetér, hvad pointerne var med hvert af de 7 punkter. Derefter er der fri leg med programmet.

