

## Projekt 10.4 Verdensbilledets udvikling i 7 trin fra oldtiden til Newton

Introduktion .....	2
Forslag til Undervisningsforløb .....	2
1. Antikkens og middelalderens verdensbillede .....	4
Trigonometriske beregninger af afstande i rummet .....	5
2. Kopernikus' verdensbillede .....	6
Lille opgaveforløb med beregninger på påstandene i geocentriske contra heliocentriske model .....	7
HEM1: Projekt 5.4 Træk solsystemet ned på Jorden – udarbejd forslag til en planetsti i nærområdet .....	7
HEM1: Projekt 10.8 Fastlæggelse af påsken og andre kalenderproblemer .....	7
3. Tycho Brahes verdensbillede .....	8
Opgaveforløb om solsystemet, og om afstanden til stjernerne .....	9
4. Johannes Keplers verdensbillede .....	10
HEM1: Projekt 0.6 Keplers verdensbillede og de regulære polyedre .....	11
HEM1: Det naturvidenskabelige gennembrud og Keplers tredje lov .....	11
HEM2: Projekt 7.6 Ellipsens brændstråler og Keplers anden lov .....	11
HEM2: Projekt 9.11 Keplers sfæriske harmonier .....	11
HEM3: Projekt 9.5 Keplers første lov bliver født: Keplers beregning af Mars-banen .....	12
5a. Galileis verdensbillede (to versioner af opgaven) .....	13
5b. Galileis metode .....	13
HEM1: Projekt 6.14. Galileis beregning af højden på Månens bjerge .....	14
HEM3: Projekt 1.10 Jupitermånen Callistos omløbstid bestemt ved sinus regression .....	14
Opgaveforløb om Venus faser .....	14
6. Rene Descartes' metode .....	15
Indledende fortælling HEM2 kap 1: Regnbuen .....	16
HEM2, Projekt 1.6 Brydningsloven- og Descartes .....	16
7. Isaac Newtons verdensbillede .....	17
Opgave om Newtons massetiltrækningslov-fra HEM1 .....	18
Geostationære satellitter og udledning af Keplers tredje lov .....	18
Forskellige opgaveforløb om Newtons love .....	18
Kontrolspørgsmål .....	19
Litteratur .....	21

## Introduktion.

Dette projekt omfatter alle de centrale 7 trin i udviklingen fra oldtidens verdensbillede frem til "det moderne verdensbillede". Vi stopper ved Newton og tager således hverken relativitetsteorien eller kvantemekanikken med ind.

Projektet er *kildebaseret*. Alle de centrale kilder fra 2000 års historie om at forstå rummet er med. De inddrages med læsning af uddrag, og de er i deres helhed tilgængelige for de elever, der fx vil arbejde videre med emner i et studieretningsprojekt.

Kildelæsning kan rumme vanskeligheder, så projektet tager udgangspunkt i læsning af afsnit fra *fremstillinger af de centrale problemstillinger* og begivenheder i idehistoriske og videnskabshistoriske værker.

Projektet opfordrer til et *fagligt samarbejde*. Mange fag kan byde ind. De deltagende fag lægger selv historiske, litterære, religiøse eller andre tekster og materialer ind. Men projektet kan også gennemføres som et soloprojekt i matematik

I forbindelse med hvert af de 7 trin er der lagt forslag til *opgaveforløb samt en række projekter i matematik* ind. Tanken er at man vælger blandt disse.

Forkortelsen HEM står for **Hvad Er Matematik**. Tallene 1, 2 og 3 antyder niveauet. **Alle projekter kan hentes frit fra HEM's website:** [Hvad er matematik - LRU.dk \(lr-web.dk\)](http://Hvad%20er%20matematik%20-%20LRU.dk%20(lr-web.dk))

## Forslag til Undervisningsforløb

*Her skitseres to forskellige typer*

### A) Overblik og argumentation om et udvalg af de 7 modeller.

1. Der læses i hovedsagen fremstillinger og kun i mindre grad kilder.

- *Læs en overordnet introduktion til udviklingen i verdensbillederne og / eller orienter dig på en hjemmeside, hvor der gives en fremstilling af de karakteristiske træk ved de forskellige verdensbilleder. Du kan hente en hjemmeside med en stort antal animationer her: [Kepler's Discovery](#)*
- *Vælg én hovedtekst blandt følgende som det grundlæggende materiale:*
  - *Uddrag af Carl Henrik Koch, Den Europæiske filosofis historie, bd 3, s 39 - 70 (Den ny naturvidenskab 1540 - 1640: Copernicus, Tycho Brahe, Kepler og Galilei)*
  - *Uddrag af Henrik Kragh, Kaos og Kosmos, s 87-133 (Om Kopernikus, Tycho, Kepler og Galilei)*
  - *Uddrag af Flemming Clausen m fl: Skabt til at skabe, s 23-28 øverst (Naturen I-II)*

2. Der udformes (i fællesskab mellem deltagende fag) en række spørgsmål, der er på de indledende taksonomiske niveauer, og hvor svarene umiddelbart kan findes i det forberedende materiale, eller let kan findes på nettet. Spørgsmålene besvares og afleveres tidligt i forløbet. Spørgsmålene sikrer, at alle har et vist grundlag for den endelige opgavebesvarelse. Spørgsmål kan fx hentes fra listen af kontrolspørgsmål.

3. Filmen Den bevægede jord (52 min.) vises. Den kan findes via dette link: [Den bevægede jord | Det Danske Filminstitut \(dfi.dk\)](#) – (På siden vælges: **Filmcentralen**, og derfra får man adgang til filmen enten med uni-login eller med nem-id.) Til filmen blev udgivet en bog på Århus Universitetsforlag: *En Ny Himmel*, 2009

4. Den overordnede opgave formuleres. Man kan lade dig inspirere af følgende:

*Analysér argumenterne for og imod de forskellige verdensbilleder både ud fra samtidens viden og vor tids viden. Forklar specielt hvad der menes med "de to sandheder", og hvad der menes med "at redde fænomenerne"*  
*Hvad er de nye elementer i den naturvidenskabelige metode? Hvordan så aktørerne på forholdet mellem observation, eksperiment, ræsonnement, hypotese og slutning?*

Eleverne arbejder i grupper og udformer selv deres problemformulering.

## B) Fordybelse i en eller to af de 7 modeller

1. Gennem et lærerforedrag præsenteres eleverne for en overordnet introduktion til de 7 verdensbillede.

I forlængelse heraf orienterer de sig på hjemmesider, hvor der gives en fremstilling af de karakteristiske træk ved de forskellige verdensbilleder. Det kan fx være [Kepler's Discovery](#), der indeholder en række animationer af modellerne.

2. Filmen *Den bevægede jord* (52 min.) vises. Den kan findes via dette link:

[Den bevægede jord | Det Danske Filminstitut \(dfi.dk\)](#) –(På siden vælges: **Filmcentralen**, og derfra får man adgang til filmen enten med uni-login eller med nem-id.)

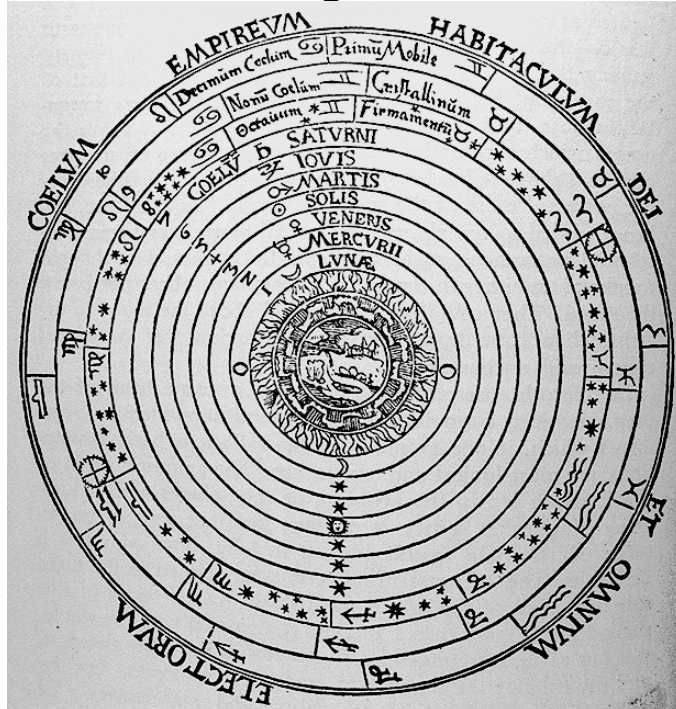
3. Eleverne er opdelt i grupper på 3-4. I forlængelse heraf får eleverne tildelt en af de 7 modeller, eller de vælger selv en, som de skal fordybe sig i gennem kildelæsning og løsning af konkrete opgaver. I matematik kan dette være nogle af de opgave- og projektforslag, der er foreslået ved hvert af de 7 trin.

4. Der udformes små elevopgaver, der besvares tidligt i forløbet. De kan fx være nogle af de første spørgsmål i det følgende materiale.

5. Produktet er en **mundtlig fremlæggelse** i klassen, efterfulgt af en debat, hvor verdensbillederne sættes sammen to og to, og konfronterer hinanden med spørgsmål og argumenter.

## Spørgsmål og kildetekster til de enkelte verdensbilleder

### 1 . Antikkens og middelalderens verdensbillede



En fremstilling af Aristoteles og Ptolemaios verdensbillede  
Forklar de forskellige elementer på figuren

Aristoteles (t.h.) i samtale med Platon  
Udsnit af Rafaels maleri, 'Skolen i Athen'

- Hvem var Aristoteles, hvor og hvornår levede han? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?
- Hvem var Ptolemaios, hvor og hvornår levede han? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?

Læs kildeteksterne:

- Aristoteles: [Uddrag af Skrift om Himlen](#) .

- Cicero: *Scipios Drøm*, en af teksterne:

den engelsk oversættelse i fulde, kan findes [her](#).

den danske oversættelse af et lille uddrag kan finde [her](#).

(den originale latinske version i fuld udgave findes også på nettet og kan finde [her](#).)

og inddrag disse i besvarelsen af de følgende spørgsmål.

- Hvad er Aristoteles' forklaring på bevægelser, såsom at et stykke træ falder til jorden, når man løfter det og derefter slipper, eller at en gasballon stiger til vejrs?
- Hvad var Ptolemaios' bidrag til astronomien? Giv en fremstilling af det verdensbillede, som Aristoteles og Ptolemaios kom til at stå for:
  - Hvad er evigt og uforanderligt i Aristoteles / Ptolemaios model, og hvor kan der ske forandringer?
  - Hvorledes forestiller Aristoteles / Ptolemaios sig, at himmellegemerne er placeret i forhold til hinanden og hvorledes de bevæger sig?
  - Var det den eneste kosmologiske teori i antikken?
- Hvad kan være forklaringen på at kirken i senmiddelalderen (11-1200-tallet) tager Aristoteles model til sig og ophøjer denne som den sande beskrivelse af rummet?
- Hvilke grunde kan der være til, at det efterhånden blev nødvendigt at lede efter et alternativ?
  - Hvad er epicykler og hvad menes med udtrykket *at redde fænomenerne*?

- b. Hvad er *Ockams rasekniv* eller *økonomiprincippet*.
  - c. Hvad menes med begrebet "de to sandheder" eller "den dobbelte sandhed"?
  - d. Hvorfor havde kirken brug for en præcis model over himmellegemernes vandring?
- 

#### Ekstra materiale.

Olaf Pedersen har givet en kort og fin fremstilling af *Middelalderens Verdensbillede*, Munksgårds forlag, 1962.

Samme Olaf Pedersen udgav en stor doktorafhandling på engelsk: *A Survey of the Almagest*, Odense Universitetsforlag 1974. Den er udgivet på Springer Verlag i 2011. Det er et videnskabeligt værk.

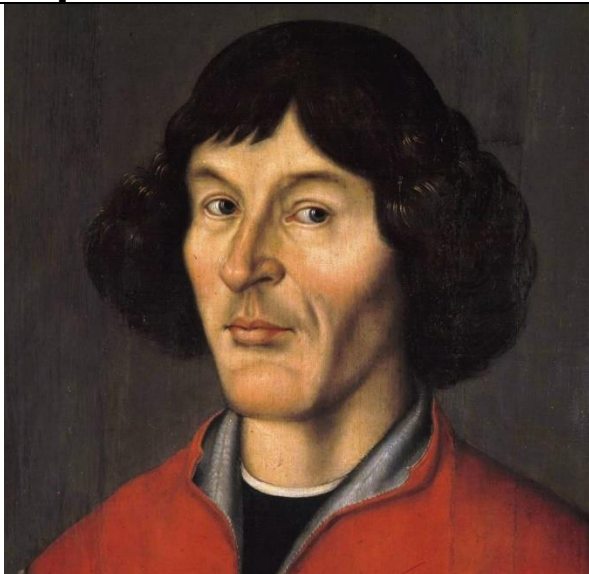
---

#### Matematiske opgaver og projekter:

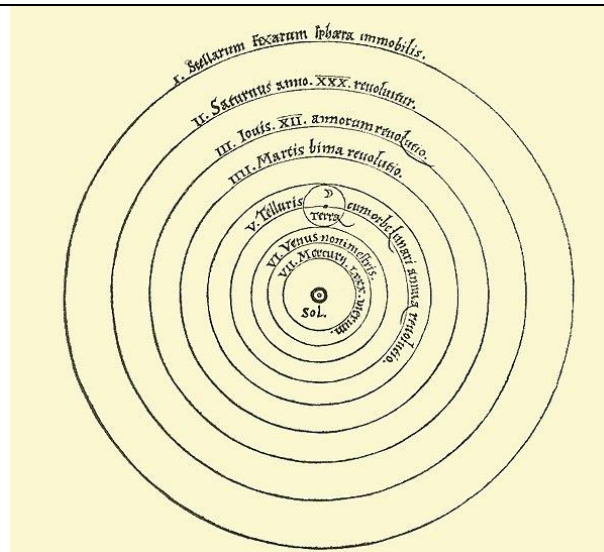
#### Trigonometriske beregninger af afstande i rummet.

*Materialet er et uddrag af studieretningskapitlet om samarbejde mellem matematik og fysik til HEM1. Studieretningskapitlet, der er skrevet af Dorthe Agerkvist og Michael Olesen, ligger på HEM's website: [Hvad er matematik? 1 - LRU.dk \(lr-web.dk\)](http://Hvad%20er%20matematik%201%20-%20LRU.dk%20(lr-web.dk)). Materialet er et opgaveforløb, hvor vi går i oldtidens matematikeres og astronomers spor, og regner os skridt for skridt fra afstande vi kender på Jorden til afstande til de nærmeste stjerner. **Opgaveforløbet om afstandsberegninger** kan også hentes [her](#).*

## 2. Kopernikus' verdensbillede



Nikolaus Kopernicus



Kopernikus egen tegning af sit system. Han gengiver det meget forenklet. Forklar hvad figuren indeholder.

- Hvem var Kopernikus, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?
- Hvad var Kopernikus' bidrag til astronomien? Giv en fremstilling af Kopernikus' kosmologiske teori og af de afgørende forskelle mellem hans verdensbillede og det, som Aristoteles og Ptolemaios stod for. Læs kildeteksten, der kan findes [her](#).
- Hvorfor var astronomi og korttegning så vigtig i denne tid?
- Hvornår og hvordan offentliggjorde Kopernikus sin teori?

*Hvordan skal man forstå det, når Kopernikus taler om sin teori som blot en matematisk model? Læs kildeteksten, der kan findes [her](#).*

Kopernikus model var langt mere kompliceret end man normalt fremstiller den, med epicykler og skæve cirkelbevægelser (dog færre end hos Ptolemaios). Hvad kan begrunde et paradigmeskift i den situation?

- Giv en vurdering af, hvilken rolle Kopernikus' teori fik i samtiden og eftertiden.

### Ekstra materiale.

Wikipedia har en glimrende artikel om hans hovedværk:

[De revolutionibus orbium coelestium - Wikipedia](#)

Du kan finde en engelsk oversættelse af hovedparten af hovedværket, *De Revolutionibus...* her:

[Nicholas Copernicus | Calendars \(webexhibits.org\)](#)

## Matematiske opgaver og projekter:

### Lille opgaveforløb med beregninger på påstandene i geocentriske contra heliocentriske model

*Materialet er et uddrag af studieretningskapitlet om samarbejde mellem matematik og fysik til HEM1. Studieretningskapitlet, der er skrevet af Dorthe Agerkvist og Michael Olesen, ligger på HEM's website: [Hvad er matematik? 1 - LRU.dk \(lr-web.dk\)](http://Hvad%20er%20matematik%201%20-%20LRU.dk%20(lr-web.dk)). Materialet er et opgaveforløb, hvor vi tager påstandene for gode varer og prøver at regne på konsekvenserne. **Opgaveforløbet om afstandsberegninger** kan også hentes [her](#).*


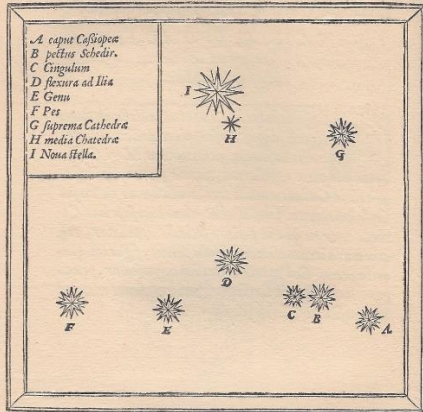
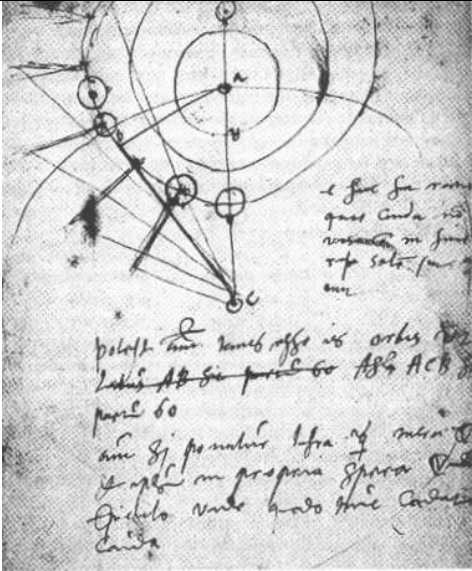
### HEM1: Projekt 5.4 Træk solsystemet ned på Jorden – udarbejd forslag til en planetsti i nærområdet.

*Projektet træner især skalering. Projektet drejer sig om at udarbejde et forslag til en planetsti i det område, hvor man bor. Planetstien skal være en korrekt nedskalering af solsystemet, og kan gennemføres sammen med danskfaget, hvor en del af opgaven er at udforme et forslag til kommunen eller en anden myndighed om at etablere en sådan oplysende planetsti.*

### HEM1: Projekt 10.8 Fastlæggelse af påsken og andre kalenderproblemer

*Kopernikus blev af kirken opfordret til at udarbejde en mere korrekt model af verdensrummets indretning, for at sikre muligheden for at konstruere mere nøjagtige kalendere. Det har altid voldt problemer at lave en kalender. Årstal er jo tal, der tælles ud fra et udgangspunkt. Hvordan bliver vi enige om et fælles udgangspunkt? Og hvad er et år? Selv om de forskellige ikke kunne måle så nøjagtigt, så vidste alle, at årets længe er mellem 365 og 366 døgn. Når dette skulle udmøntes i en kalender, skete det på mange forskellige måder. Dette og problemet med fastlæggelsen af en dato for påsken er emnet for dette projekt.*

### 3. Tycho Brahes verdensbillede

 <p>Tycho Brahe</p>	 <p>Distantiam vero huius stelle à fixis aliquibus in hac Cassiopeie constellatione, exquisito instrumento, &amp; omnium minorum capacj, aliquoties obseruau. Inueni autem eam distare ab ea, quæ est in pectore, Schedir appellata B, 7. partibus &amp; 55. minutis: à superiori vero</p>	 <p>Tycho Brahes egen tegning af kometen, som han observerede i 1577 (tv.). Bemærk hans tegning af halen ift. Solen.</p>
--	---	---

- Hvem var Tycho Brahe, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvilken samfundsstruktur var fremherskende, og hvilke danmarkshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?  
- Start med at læse nogle leksikalske artikler og / eller orienter dig i nogle af de værker, der er omtalt i starten  
- læs Tycho Brahes selvbiografi, som er en del af et større værk. Selvbiografien kan findes [her](#).
- Hvordan blev han berømt i samtiden? Hvad var Tychos Brahes bidrag til astronomien? Hvilke redskaber/hjælpe midler havde Tycho Brahe?
- Giv en fremstilling af hans kosmologiske teori («Det Tychonske System»).
  - Hvorfor førte observationen af den nye stjerne i 1572 og af kometen i 1577 til at Tycho Brahe forkastede Aristoteles’ og Ptolemaios’ verdensbillede. Læs indledningen til skriftet *Den nye stjerne* [her](#).
  - Hvorfor kunne han ikke godtage Kopernikus’ teori. Hvad forstås ved »parallakseproblemet«? Du kan [her](#) finde et materiale med uddrag af breve, hvor Tycho Brahe kommenterer Kopernikus.
- Nævn nogle grunde til, at er så svært at forestille sig en jord, der bevæger sig. Hvad kan begrunde, at vi skulle tro på Tycho frem for Aristoteles?
- Skal vi også tro på Tychos astrologiske forudsigelser ud fra kometens bevægelse? Læs kildeteksterne:  
- *Astrologisk vurdering af virkningerne af denne nyfødte stjerne*, kapitel i *De Nova Stella*, som du kan hente [her](#) kan tilgås via adressen: [Tycho Brahe: De nova stella ... \(kb.dk\)](#) (Åbn menuen 'Kapitler' og vælg kapitlet *Astrologiske ...*  
- *Nu følger, hvad denne komet betyder*. Det afsluttende kapitel. Her hentet fra en oversættelse foretaget af forfatteren Otto Gelsted. Uddraget kan du hente [her](#).  
- *Tycho Brahe om astrologi i kometen 1577*. Kan finde [her](#).  
- Uddrag af Tycho Brahes oprindelige tekst på gammelt dansk. Uddraget kan finde [her](#).
- Hvornår og hvordan offentliggjorde Tycho Brahe sine teorier?
- Giv en vurdering af, hvilken rolle Tycho Brahes indsats fik i samtiden og eftertiden.

#### Ekstra materiale.



Alex Wittendorff, *Tyge Brahe*, Gad 1994

---

### Matematiske opgaver og projekter:

#### Opgaveforløb om solsystemet, og om afstanden til stjernerne

Det geocentriske system er det "naturlige". Der er ikke nogen indikationer på at tingene skulle forholde sig anderledes, før man begynder at regne på modellerne. Tycho Brahe nåede hverken at opleve kikkerten eller Newtons formulering af massetiltrækningsloven. Han kendte Kopernikus nye heliocentriske model, men hans observationer viste, at stjerner var fiks-stjerner, de bevægede sig ikke og der kunne ikke måles nogen parallakse. At forklaringen skulle være, at stjernerne var ekstremt langt væk afviste han. Det gav ingen mening for ham, at Gud skulle have skabt så meget tomrum. I det lille opgaveforløb regner vi på nogle fænomener og spørgsmål, som de måtte stille sig dengang.

## 4. Johannes Keplers verdensbillede



Johannes Kepler

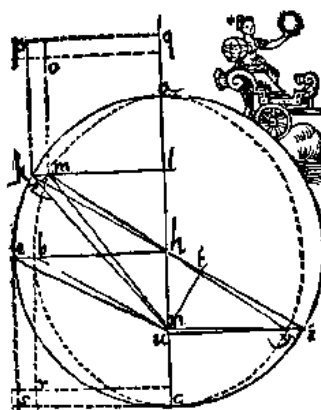
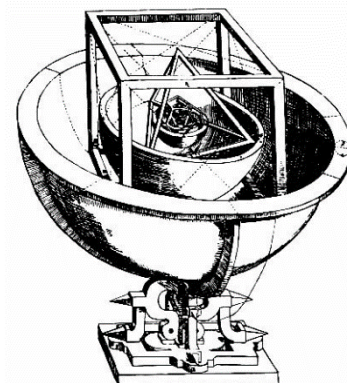


Illustration from the *Astronomica Nova* (1609) to explain the discovery of the elliptical orbit of Mars.

Tegning fra Keplers værk 'Den nye Astro-nomi', der illustrerer hans beregninger af, at planeten Mars' bane om Solen følger en ellipse. I sine beregninger udnyttede han Tycho Brahes observationer



Solsystemets opbygning med brug af de platoniske legemer. Fra Keplers 'Mysterium Cosmographicum'



Johannes Keplers præsentation af sin "lov" om planeternes musik, fra 'Verdens Harmoni'

- Hvem var Johannes Kepler, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?
- Du finder uddrag af Keplers sidste store værk *Verdens Harmoni* [her](#). Læs Bog V, kapitel 3, fra s 8 i vedlagte fil, hvor du koncentrerer dig om afsnit 1,2,3 og 8. Præsenter Keplers verdensbillede. Det er her Kepler sammenligner Tycho Brahe og Kopernikus, og i afsnit 8 pludselig præsenterer det vi i dag kalder Keplers 3. lov. I værket vender han ofte tilbage til sin første model fra bogen *Mysterium Cosmographicum*, hvor solsystemet modelleres med de regulære polyedre. Der er mange visualiseringer af hans system, fx denne: [To Mysterium Cosmographicum του Κέπλερ \(Tubingen, 1596\) - YouTube](#)
- Hvordan kom han i forbindelse med Tycho Brahe? Hvilken rolle spillede Tycho Brahe for udviklingens af Keplers teorier, og hvad var Keplers holdning til Tychos Brahes og til Kopernikus' systemer?
- Giv en fremstilling af de love, vi i dag kalder *Keplers love*. Hvornår og hvordan offentliggjorde han sine teorier? Hvordan fandt han frem til den første lov?
- Keplers første to love gør op med en af Aristoteles' grundlæggende doktriner, der har været accepteret i alle systemer hidtil. Hvad går dette ud på?
- Hvordan fandt Kepler frem til den tredje lov? Læs igen afsnit 8 fra punkt b).
- Hvis samarbejdet omfatter faget musik kan man inddrage henholdsvis Gustav Holst: *Planeterne* og Hindemith: *Verdens Harmoni*. Der kan hentes inspiration her: [Archiv \(kepler-archiv.de\)](#) som er en stor arkiv-hjemmeside, hvor man blandt andet kan høre Keplers planetmusik.
- Giv en vurdering af den rolle, Kepler spillede i samtiden og i eftertiden.

---

## Ekstra materiale.

Det autoritative værk om Kepler er stadig: Max Casper, *Kepler*, Dover Publications NY, 1993

---

## Matematiske opgaver og projekter:

### HEM1: Projekt 0.6 Keplers verdensbillede og de regulære polyedre

*Kepler hævdede at han havde en åbenbaring 19. juli 1619, hvor han i en drøm så, at Jorden og planeterne kredsede om Solen, og at deres indbyrdes afstande var bestemt ved konstruktionen af indskrevne og omskrevne cirkler i regulære polygoner. Senere "går det op for ham", at det ikke var polygoner, han havde set, men regulære polyedre. I projektet tager vi Kepler alvorlig og regner på hans model og på de 5 regulære polyedre, der siden oldtiden har spillet en stor rolle i forskellige dele af naturfilosofi. Projektet er udformet i maple, men kan uden vanskeligheder gennemføres i et andet værktøjsprogram.*

Du kan hente et mapleark med projektet [her](#).

### HEM1: Det naturvidenskabelige gennembrud og Keplers tredje lov

*Indledende fortælling til kapitel 5 om potensfunktioner i HEM1. Fortællingen er delvist bygget om Keplers søgen efter en sammenhæng mellem planeternes afstand fra solen om deres omløbstid. Han fortæller selv i en selvbiografisk skitse, hvordan han fandt loven, nærmest i en drøm. Loven er universel og prøves af på andre systemer, som fx månerne omkring Jupiter. Afsnittet kan hentes [her](#).*

### HEM2: Projekt 7.6 Ellipsens brændstråler og Keplers anden lov

*I projektet udleder vi en formel for brændstrålernes længde og med afsæt heri undersøger vi Keplers anden lov. Undervejs i projektet støder vi på Keplers ligning, der er et af de tidligste eksempler på en såkaldt transcendent ligning, der ikke kan læses med traditionelle midler. Meget moderne matematik er udviklet med henblik på at kunne håndtere løsningen af bl.a. Keplers ligning på anden vis. En af idéerne går ud på at løse ligningen iterativt.*

### HEM2: Projekt 9.11 Keplers sfæriske harmonier

*Når en planet bevæger sig rundt om Solen går dens vinkelhastighed op og ned i takt med at Planeten bevæger sig rundt om Solen og kommer forbi apelet og perihelet. Kepler forestillede sig, at Planeten i sin bevægelse frembragte en tone, hvis frekvens var proportional med dens vinkelhastighed. Man skulle derfor mentalt forestille sig at man kunne høre planetens bevægelse som en melodi, med en kontinuert tone, der bevægede sig op og ned i frekvens. Han var overbevist om at Gud, skaberen af universet, havde lagt en besked ind i opbygningen af Solsystemet, nærmest som en hemmelig kode. I projektet prøver vi at følge Keplers tankegang og afkode.*

### HEM3: Projekt 9.5 Keplers første lov bliver født: Keplers beregning af Mars-banen

*Kepler blev anmodet af Tycho Brahe om at forsøge at beregne planeten Mars' bane, og fik dertil adgang til Tycho Brahes data over Mars position på nattehimlen, som Tycho havde indsamlet gennem mange år. Det tog adskillige år for Kepler, han havde selvfølgelig ikke værktøjsmaskiner, og logaritmerne opfindes først et årti senere! Kepler kendte selvfølgelig heller ikke til mindste kvadraters metode, som Gauss opfandt, da han omkring år 1800 beregner banen for "den manglende planet", asteroiden Ceres. Kepler havde heller ikke en forelagt model at gå efter: Tycho Brahe mente af religiøse grunde, at banerne måtte være cirkler, men da Kepler finder ud, at den model ikke passer ret godt, så leder han lidt i blinde, prøver med f ovaler og æggeformer, indtil det slår ned i ham, at Apollonius værk fra oldtidens Grækenland om keglesnit, der netop var genfundet, indeholdt afsnit om ellipser. Her var måske en model. Han måtte regne sig igennem problemet med meget komplicerede metoder, men nåede frem til at sandsynliggøre ellipsen som model. Vi anvender det samme data-materiale, men anvender moderne it-værktøjer. Beregningerne er et eksempel på ikke-lineær regression.*

## 5a. Galileis verdensbillede (to versioner af opgaven)

 <p style="text-align: center;">Galileo Galilei</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Galileis egen tegning af Månen, set gennem hans kikkert.</i> <i>Hvad lægger du især mærke til?</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Galileis tegninger af Jupiters 4 måner, set gennem hans kikkert.</i> <i>Hvad lægger du især mærke til?</i></p>
--	--	--

- Hvem var Galileo Galilei, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?
- Giv en fremstilling af Galileis *videnskabelige metode*.
- Hvad er »De mediceiske stjerner«, og hvilken rolle spillede opdagelsen af disse for Galilei? Hvordan fandt han dem?
- Hvornår og hvordan offentliggjorde han sine teorier? Galilei giver i et berømt brev, du kan hente [her](#), en fremstilling dels af Kopernikus teori og dels af Bibelens tekster om verdens indretning. Hvad er hovedpointerne i Galileis brev? Hvorfor kunne sådan et brev give Galilei problemer?
- Galilei blev indklaget for den katolske kirkes inkvisition. Giv en fremstilling af denne sag, hvilke fortilfælde var der, hvorfor blev Galilei indklaget, og hvordan gik det? Du kan finde en dansk oversættelse af Galileis afsværgelse [her](#).
- Giv en vurdering af den rolle, Galilei spillede i samtiden og i eftertiden.

## 5b. Galileis metode

- Hvem var Galileo Galilei, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid?
- Giv en fremstilling af de afgørende forskelle mellem Galileis og Aristoteles' opfattelser af mulighederne for at anvende matematikken til beskrivelse af naturen.
- Illustrér forskellene i opfattelser gennem Galileis og Aristoteles' beskrivelse af henholdsvis *det frie fald*, og *det skrå kast*.
- Den naturvidenskabelige metode kan kort udtrykkes gennem begreberne *matematisering*, *den hypotetisk-deduktive metode* og *den eksperimentelle metode*. Eksemplicér dette.
- Hvornår og hvordan offentliggjorde Galilei sine teorier?
- Giv en vurdering af den rolle, Galilei spillede i samtiden og i eftertiden.

---

### Ekstra materiale.

Galileis *Dialog om to nye videnskaber* findes i en engelsk oversættelse [her](#).

En version, hvor man måske lettere navigerer i den ret store værk findes her:

[Dialogues Concerning Two New Sciences | Online Library of Liberty \(libertyfund.org\)](#)

Værket blev oversat til dansk i 2019 med titlen: Galilei, *Samtale om de to hovedsystemer for verden, det ptolemæiske og det kopernikanske*, Forlaget Wunderbuch.

Galileis bog *Siderius Nuncius* Kan du finde i en engelsk oversættelse [her](#).

Værket er også oversat til dansk af Tom Bøgeskov under titlen *Budskab om stjernerne*, og udgivet af Tycho Brahe Planetarium & Omnimaxteater, København 1999. Du kan finde et uddrag [her](#).

---

### Matematiske opgaver og projekter:

#### HEM1: Projekt 6.14. Galileis beregning af højden på Månens bjerge

*Galilei havde adgang til kikkerten og så bl.a., at der var bjerge på Månen. Han var også i stand til med brug af trigonometri at beregne højden af disse. Projektet tager udgangspunkt i Galileis egne beregninger og egne tegninger.*

#### HEM3: Projekt 1.10 Jupitermånen Callistos omløbstid bestemt ved sinus regression

*Galilei var den første, der så månesystemet omkring Jupiter. Med sin kikkert var han i stand til at følge og registrere deres bevægelser, og vi har således hans data til rådighed. Hvis månerne bevæger sig med god tilnærmelse i jævne cirkelbevægelser rundt om Jupiter, så vil det, vi ser, være harmoniske svingninger frem og tilbage i baneplanet. I projektet undersøger vi Galileis data.*

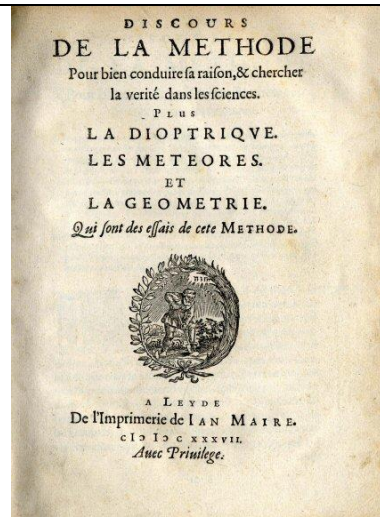
#### Opgaveforløb om Venus faser

Blandt de mange opdagelser, Galilei gjorde med sin kikkert var, at Venus har faser af enhver størrelse, ligesom månen har det. Det er umuligt at forklare i den geocentriske model. I dette opgaveforløb, der er hentet fra HEM1, kapitel 11, studieretningskapitlet om matematik og fysik regner vi på venus faser i de to modeller. Materialet kan hentes [her](#).

## 6. Rene Descartes' metode



Rene Descartes, portræt malet af Frans Hals



Descartes hovedværk 'Om Metoden', med de tre bilag, om optik, om regnbuen og om geometri, hvor han demonstrerede sin metode.

- Hvem var Rene Descartes, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvilke verdenshistoriske begivenheder udspillede sig på hans tid, og hvorledes tog han selv del i disse?
- Læs om Descartes særlige placering i den naturvidenskabelige revolution [her](#). Heri præsenteres Descartes metode som »metodiske tvivl«. Hvad menes hermed?
- Hvordan er Descartes opfattelse af bevægelse? Læs uddraget fra *Tankens Magt*, du kan hente [her](#), og præsenter dette.
- Descartes filosofiske hovedværk er *Om metoden*, fra 1637. Det er i dette værk vi finder hans mest berømte udsagn: *Jeg tænker, altså er jeg* (*Cogito, Ergo sum*). Læs en fremstilling af dette [her](#). I selvbiografiske optegnelser har han fortalt, at fik en åbenbaring, da han lå febersyg på et lazaret efter slaget ved Prag i 1619, og åbenbaringen var, at hans metode viste sig på himlen for ham. I årene efter udarbejdede han en systematisk fremstilling af sine tanker, men retssagen mod Galilei påvirkede ham så meget, at han i lang tid ikke turde publicere noget. Værket med titlen *Regler* udkom således først efter hans død. Her og i andre af hans skrifter er den grundlæggende reference hele tiden matematikken. Læs kildeteksten [her](#) og giv en fremstilling af den metode, han her præsenterer med begreberne *intuition* og *deduktion*. Giv en fremstilling af, hvad der menes hermed.
- Beskriv nogle eksempler på anvendelse af Descartes metode:
  - i Galileis fysik,
  - i renæssancens malerkunst,
  - i matematik.
- Giv en vurdering af den rolle, Descartes spillede i samtiden og i eftertiden.

### Ekstra materiale.

Descartes *Om metoden* findes i en engelsk udgave [her](#).

(Den indeholder ikke de tre bilag, som hver for sig er større end indledningen)

### Matematiske opgaver og projekter:

## Indledende fortælling HEM2 kap 1: Regnbuen

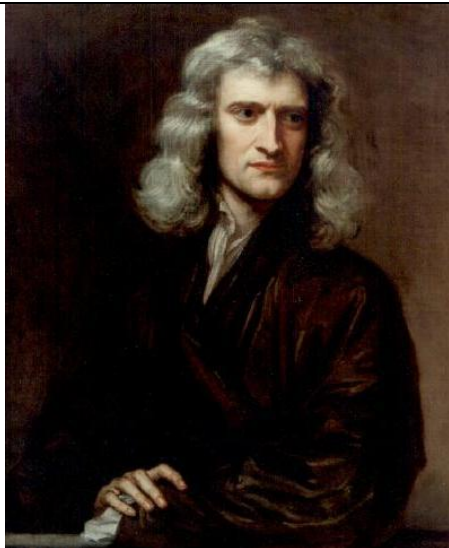
*En matematisk modellering af regnbuen, hvor vi inddrager Descartes geometriske modellering af den spredningsvinkel, der opstår i regndråberne. Modellering af regnbuen var et af de tre tillægsafsnit, som Descartes lagde ind i Om Metoden. Materialet kan hentes [her](#).*

## HEM2, Projekt 1.6 Brydningsloven- og Descartes

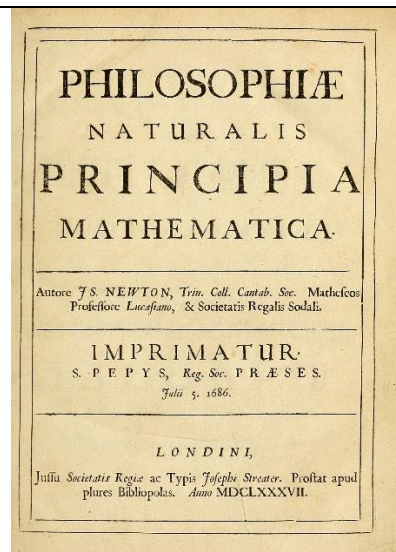
*Brydningsloven har en lang historie bag sig: Optikken og herunder brydningen af lys spiller en rolle i astronomien – de ældste kendte data for lysbrydningsforsøg stammer fra Ptolemaios og er gengivet i projektet. I middelalderen forsvandt enhver viden om Ptolemaios arbejder. Arabiske videnskabsmænd gættede selv brydningsloven omkring år 1000, men også deres gæt gik tabt, så vi skal frem til 1600-tallet, før der for alvor kom styr på sagerne. I projektet følger vi Descartes geometriske argumentation og læser en del af hans kildetekst.*



## 7. Isaac Newtons verdensbillede



Isaac Newton

Førsteudgaven af Newtons hovedværk *Principia*

- Hvem var Isaac Newton, hvor og hvornår levede han? Hvad var hans uddannelse, og hvad levede han af? Hvordan var styreformens i England på dette tidspunkt, og hvordan var Newtons sociale position i hans velmagtsdage?
- Hvad er hovedindholdet i Newtons hovedværk, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, og hvornår offentliggjorde han det? Hvilken indflydelse fik dette værk i samtiden. Du kan finde en koirt fremstilling af sagen [her](#).
- Læs uddraget *Gud og verden* [her](#) fra *Principia*, samt *uddrag af et brev fra Newton til Biskop Bentley* [her](#) 1692, og giv en fremstilling af Newtons verdensbillede.
- Giv en fremstilling af forholdet mellem Newtons teorier og de hidtidige: Galileis, Keplers, Tycho Brahes og Kopernikus' samt en vurdering af Newtons rolle i naturvidenskabernes udvikling.

### Ekstra materiale

Newton udgav sit hovedværk *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* på Latin, datidens internationale videnskabelige sprog. Først senere kom den i en engelsk oversættelse. Du kan finde en samlet udgave af den engelske version [her](#).

(Bemærk, at der er en meget lang indledning om Newton til denne amerikanske udgave. Du føres ind på siden hvor værket starter med Newtons eget forord. Selve værket begynder på s 73. Man kan navigere ved at skrive sidetallet i web-adressen. Der er ikke givet noget indholdsfortegnelse i selve værket, men allerbagerst s. 581-590 findes et stikordsregister. Selve *Principia* slutter s 507. Den sidste del er en selvstændig del om Newtons verdensbillede, som han kalder **The System of the World**. Til denne sektion findes en slags indholdsfortegnelse s. 579 og frem).

En mere håndterlig udgave af *Principia*, hvor kapitlerne præsenteres et af gangen findes her:

[www.17centurymaths.com/contents/newtoncontents.html](http://www.17centurymaths.com/contents/newtoncontents.html)

*Principia* starter som Euklids *Elementer* med definitioner og aksiomer.

Bog I *Of the Motion of Bodies*, der handler om klassisk mekanik, starter s 95.

Bog II med samme titel *Of the Motion of Bodies*, men hvor emnet her udvides til væsker, starter s 251.

Bog III *Rules of Reasoning in Philosophy*, der handler om himmellegemernes bevægelse og gravitationsloven, starter på s 384. Titlen fortæller også, at for Newton som mange andre på den tid, var der ikke noget skel mellem filosofi og naturvidenskab.

Newton var en skarp kritiker af Descartes forestillinger om planetbevægelser. Uden at nævne Descartes ved navn, så behandlede han Descartes teori i bog 2, afsnit 9 i sit Hovedværk *Principia*. Dette afsnit kan findes i en engelsk og delvis kommenteret udgave her: [Newton on Descartes vortex theory of planet motion \(new-science-theory.com\)](http://new-science-theory.com)  
Afsnittet er naturligvis også at finde direkte i værket, lettest ovenstående netudgave.

Der findes et væld af artikler om Newton på nettet. Her finder du en god og kritisk indføring i *Principia*:  
[Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica \(Stanford Encyclopedia of Philosophy\)](http://Stanford Encyclopedia of Philosophy)

På dansk udkom i 2013 Carl Henrik Koch: *Newton, Geniet og Mennesket*, Lindhardt og Ringhof. Det er et stort (800 s) og interessant værk, men man skal være opmærksom på, at Carl Henrik Koch ikke er naturvidenskabsmand.

---

## Matematiske opgaver og projekter:

### Opgave om Newtons massetilrækningslov-fra HEM1

*"Ethvert objekt i universet tiltrækker ethvert andet objekt med en kraft med retning langs linjen gennem objekternes centre og som er proportional med produktet af deres masser og omvendt proportional med kvadratet på afstanden mellem objekterne." Sådan lyder Newtons massetilrækningslov. Opgaven består blot af 7 små underopgaver, der træner forståelsen af loven.*

### Geostationære satellitter og udledning af Keplers tredje lov

*I filmen [Avanceret parabolteknologi hos TICRA](#), som indgår i filmprojektet Træk virksomhederne ind i undervisningen, demonstrerer TICRA's CEO Michael Lomholt, hvordan vi med anvendelse af Keplers tredje lov kan vise, at de geostationære satellitter kredser i baner, der er 38000 km over jordoverfladen. I undervisningsmaterialet til filmen, som ligger på samme adresse, findes et kapitel om udledning af Keplers tredje lov ud fra Newtons massetilrækningslov. Det kan hentes [her](#).*

### Forskellige opgaveforløb om Newtons love

*I HEM3, kapitel 11, studieretningskapitlet om matematik og fysik, A-niveau, findes et stort antal opgaveforløb om mange forskellige emner. Orienter dig selv i de mange tilbud ved at gå ind på sitet: [Hvad er matematik? Studieretningskapitler - LRU.dk \(lr-web.dk\)](#)*

## Kontrolspørgsmål

1. Hvad er evigt og uforanderligt i Aristoteles / Ptolemæus model, og hvor kan der ske forandringer?
2. Hvorledes forestiller Aristoteles / Ptolemæus sig, at himmellegemerne er placeret i forhold til hinanden og hvorledes de bevæger sig?
3. Hvad kan være forklaringen på at kirken tager Aristoteles model til sig og ophører denne som den sande beskrivelse af rummet?
4. Hvad menes med begrebet "de to sandheder" eller "den dobbelte sandhed"?
5. Hvad menes med udtrykket "at redde fænomenerne". Inddrag forestillingen om epicykler i din redegørelse.
6. Hvad forstås ved "økonomiprincippet"? Giv eksempler på hvor det anvendes i naturvidenskaben.

7. Hvad kan årsagen være til, at kirken tilskyndede Kopernikus til at færdiggøre sin model og til at offentliggøre den?

8. Nævn nogle forskelle og nogle lighedspunkter mellem Kopernikus og Aristoteles modeller.

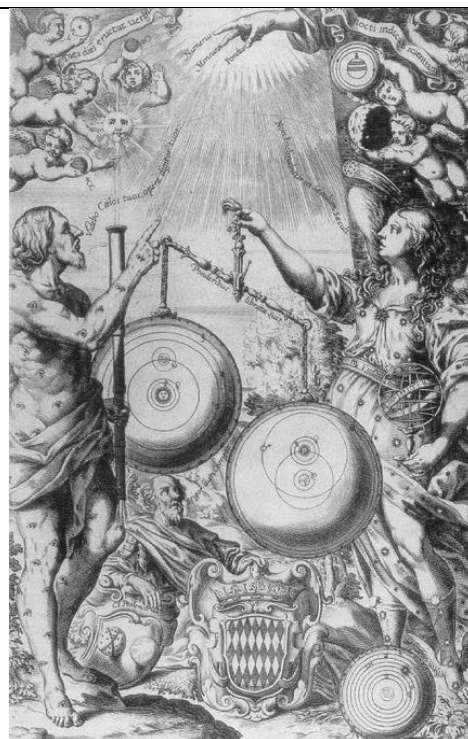
9. Tycho Brahe gjorde to store opdagelser i henholdsvis 1572 og 1577. Forklar hvad det var han opdagede, og hvilke konsekvenser han selv drog af sine opdagelser i forhold til Aristoteles / Ptolemæus model.

10. Hvilke årsager er der til at Tycho Brahe ikke tilsluttede sig Kopernikus model. Du skal inddrage parallaksefænomenet i din forklaring.

11. Vælg nogle beregninger ud på størrelsesforholdene i verdensrummet, himmellegemernes hastighed, afstande og vikler mellem sigtelinjer, som var med til eller kunne være med til at påvirke holdningen til det ene eller det andet verdensbillede.

12. Kepler mente selv, at hans største bidrag til astronomien var opdagelsen af den geometriske konstruktion af solsystemet. Giv en kort fremstilling af Keplers opfattelse, som både indgik markant i hans første store værk, *Mysterium Cosmographicum* og i hans sidste store værk *Verdens harmoni*.

14. Blandt alle de love, Kepler fandt, om hvordan verden er indrettet, har vi i vor tid udskilt tre, som vi kalder *Keplers love*. Forklar, hvad de går ud på.



13. Ricciolis *almagestum* fra 1651. Beskriv hvad vi ser på billedet – hvilke verdensbilleder blandt dem, der er afbildet, ser ud til at vinde frem og hvilke taber terræn.

15. I 1609 retter Galilei sin ny kikkert mod Jupiter og gør en epokegørende opdagelse. Hvad var det han opdagede og hvilke konsekvenser drog han selv heraf?

16. Gennem sin kikkert så Galilei Månen, og han tegnede en række skitser af det han så. På mange af tegningerne ser vi både en oplyst del og en del som henlægger i mørke. Ud fra det han ser, ræsonnerer Galilei sig frem til at der er bjerge på Månen og at man kan beregne højden af disse. Hvordan er hans ræsonnement?

17. Da Galilei gennem sin kikkert ser på Venus opdager han, at planeten Venus har faser ligesom Månen har det. Hvorledes kan dette fænomen forklares indenfor de forskellige verdensbilleder?

18. Redegør for de forskelle i holdning til eksperimenter og til anvendelse af matematik i naturvidenskaben, som vi møder hos Aristoteles og hos Galilei.

19. Hvad forstås ved et tankeeksperiment? Giv eksempler herpå. Forklar hvorfor sådanne kan være nødvendige. Inddrag i din redegørelse historien om Galileis forsøg fra tårnet i Pisa samt dine beregninger herpå.

20. Redegør for henholdsvis Aristoteles og Galileis beskrivelse af *bevægelsen* og *faldloven*.

21. Hvad udløste konflikten mellem Galilei og kirken?

22. Descartes metode kaldte han selv bl.a. for "metodisk tvivl". Redegør for hvad han mener hermed og demonstrer din forklaring med, hvordan Descartes nåede frem til det berømte udsagn: *Jeg tænker, altså er jeg (Cogito ergo sum)*

23. Descartes hovedværk *Om metoden* indeholdt tre tillæg. Hvad handlede disse om, og hvorfor havde Descartes taget dem med?

24. Newton var grundlæggende uenig med Descartes hvad angår forståelsen af hvad bevægelse er, og hvad der forårsager bevægelse. Forklar deres synspunkter og hvori de adskiller sig

25. Hvilke dele af den moderne matematik er det, som Newton er en af fædrene til?

26. Under pesten i London i 1666 drager Newton på landet og udformer ikke alene en ny matematik, men opstiller også en formel for den fundamentale lov, der holder solsystemet sammen. Hvad var det for en lov, og hvad siger den mere præcist

27. Hvordan så Newton på Keplers 3 love?

28. Newtons hovedværk kaldes populært bare *Principia*. Hvad er den fulde titel i dansk oversættelse? Newton havde som mange andre naturvidenskabsfolk på hans tid ét stort forbillede mht udformningen af en videnskabelig tekst. Hvem var denne store autoritet, og hvordan kommer Newtons beundring af sit forbillede til udtryk i udformningen af *Principia*?

## Litteratur

### Fortællende fremstillinger af emnet Verdensbilleder

*Tankens Magt, 1-3*, Redaktion: Hans Siggaard Jensen, Ole Knudsen, Frederik Stjernfelt, Lindhardt og Ringhof, 2007

Carl Henrik Koch, *Den Europæiske filosofis historie*, bd 3, Nyt Nordisk Forlag 1994

Helge Kragh og Olaf Pedersen, *Kaos og Kosmos*, Gyldendal, 2000

Flemming Clausen, Jørgen Falckesgaard, Mette Løndahl, Johnny Thiedecke: *Skabt til at skabe, Renæssancens kultur i Europa*, Aschehoug Dansk Forlag 1997

Film: *Den bevægede jord* (52 min.), findes her: [Den bevægede jord | Det Danske Filminstitut \(dfi.dk\)](#)

*En Ny Himmel*, Århus Universitetsforlag, 2009 – en bog til filmen ovenfor.

websitet : [Kepler's Discovery](#)

### Kildeskrifter: (alle de følgende kan findes via links i projektet)

Aristoteles, *Uddrag af Skrift om Himlen*

Cicero: *Scipios drøm*, i engelsk oversættelse, latinsk originaludgave eller i et lille uddrag i dansk oversættelse

Commentariolus (Kopernikus): *Skitse af hans Hypotese om de Himmelske Bevægelser*

Osianders forord til Kopernikus *Om himmelsfærernes omløb (De Revolutionibus...)*

Tycho Brahe, *Den nye stjerne (De Stella Nova, oversat af Otto Gelsted og Thøger Larsen)*, Lemvig 1923, genudgivet af Lemvig Gymnasium

Tycho Brahe, *Uddrag af brev til Christoffer Rothmann*

Tycho Brahe, *Lille skrift om kometen 1577*, Eilertsens bogtrykkeri 1986

Morten Fink Jensen, *Tycho Brahes supernova i 1572 set med samtidens øjne*, Fund og Forskning i Det Kgl Biblioteks samlinger, bind 49, 2010.

Tycho Brahe, *Uddrag af Den nye astronomis mekanik (Astronomiae Instauratae Mechanica)*, 1598 (en kort selvbiografi), udgivet af Rundetårns Observatorium

Torsten Schlichtkrull, *Brahe vs. Ursus: Videnskabelig uredelighed i renæssancen*, Magasin fra Det Kongelige Bibliotek 29. årgang • nr. 4 • 2016

Johannes Kepler, *Harmonices Mundi*, specielt Bog 5, kap 3 om 3. lov

Galilei, *Letter to the Grand Duchess Christina*

Galilei, *Anklagen mod ham og Galileis afsværgelse*

Galilei, *Sidereus Nuncius*, engelsk oversættelse

Galilei, *Budskab om stjernerne*, dansk oversættelse af uddrag, udgivet af Tycho Brahe Planetarium & Omnimaxteater, København 1999

Galilei, *Dialog om to videnskaber*, engelsk oversættelse. (Værket blev oversat til dansk i 2019 med titlen: *Galilei, Samtale om de to hovedsystemer for verden, det ptolemæiske og det kopernikanske*, Forlaget Wunderbuch. Må skaffes via bibliotek).

Descartes, *Discours de la méthode*, 1637

Descartes *Regel nr IV*, fra *Regler for anvendelsen af menneskers erkendeevne (Regulæ ad directionem ingenii)*, her hentet fra dansk oversættelse i Descartes, Berlingske forlag, 1966.

Newtons *Mathematical Principles of natural Principi*

Newton, *Om Descartes hvirvelteori: [Newton on Descartes vortex theory of planet motion \(new-science-theory.com\)](#)*

Newton, *Uddrag af breve til Doktor og pastor Bentley (senere Biskop Bentley)*