

Astronomi for Naturfag 1: Solsystemet og stjernehimmelen over oss

Kjetil Reier-Røberg

Høgskolen i Vestfold, 2012

Kompendium

Kompendium 1/2012 Høgskolen i Vestfold

Copyright : Høgskolen I Vestfold / Kjetil Reier-Røberg

ISSN 0808-1328

Innhold

Astronomi i skolen	1
Observasjon av himmelen over oss – noen forslag	3
Noen gløtt inn i astronomiens historie	5
Aristoteles (384-322 f. Kr.)	5
Klaudius Ptolemaios (90 til 168 e. Kr.)	6
Nicolaus Kopernikus (1473-1543)	7
Johannes Kepler (1571-1630)	7
Galileo Galilei (1564-1642)	8
Solsystemet fra innerst til ytterst	10
Omfang og opprinnelse	10
Hva er en planet?	12
Sola, grunnlaget for alt livet på Jorda	13
Steinplanetene	17
Merkur – varm og kald om hverandre	17
Venus – drivhuseffekt gått amok	18
Jorda og Månen	19
Mars – rustrød	23
Asteroidebeltet – “steinene” mellom Mars og Jupiter	24
Steinplanetene – forskjeller og likheter	25
Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun – de fire ytterste kjempene i solsystemet	26
Jupiter – solsystemets største kjenpe	26
Saturn – spektakulære ringer	28
Uranus – helt på skakke	29
Neptun – ble oppdaget fordi den måtte være der	29
Gasskjempene – forskjeller og likheter	30
Utenfor Neptun	31
Pluto – var tidligere en planet	31
Kometer – kameleoner ytterst i solsystemet	32
Tips til videre lesning	33
Referanser	34

Astronomi i skolen

Astronomiundervisningen på Naturfag 1 er rettet inn mot barne- og mellomtrinnet, der emner knyttet til det nære verdensrom og observasjoner av himmelen er vektlagt. ”Verdensrommet” er ett av Kunnskapsløftets seks hovedområder. På barnetrinnet er solsystemet og stjernebilder vektlagt, mens kunnskap om objekter som ligger utenfor vårt solsystem hovedsakelig er kunnskapsmål etter 10. årstrinn. På Vg1 er ”Verdensrommet” døpt om til ”Stråling og radioaktivitet” for å tydeliggjøre at blant annet drivhuseffekt, ozonlaget og ioniserende stråling er viktige emner [20].

Riktignok inneholder den forrige læreplanen, L97, også astronomi, men da som en del av hovedområdet ”Det fysiske verdensbildet”. Temaene i L97 finner vi igjen i LK06, men oppgradering til et eget hovedmål må ses på som et ønske om å tydeliggjøre faget av det faglige innholdet.

Astronomien er godt synlig i mediene, og en undersøkelse viser at antall artikler om astronomi i didaktiske tidsskrifter har økt de siste årene [12]. Meldinger om nye, eksotiske oppdagelser dukker jevnlig opp i dagspressen, og det arrangeres årlige astronomifestivaler med flere tusen besøkende ved Universitet i Oslo.

Studier viser at det nettopp er de store avstandene og alt det ”ukjente” i astronomi som appellerer til skoleelever [10]. Dermed er det ikke nødvendigvis en sammenheng mellom popularitet og vanskelighetsgrad, slik man som lærer opplever i klasserommet fra tid til annen – for hverdagslige, astronomiske fenomener som årstider og månefaser har ganske komplekse og kontra-intuitive forklaringer.

Konkretiseringen av kompetansemålene finner vi i lærebøkene. Gaia 2 [9] forklarer hva et år og et døgn er, beskriver månefaser, forklarer at sola er en brennende kule av gass, og setter dermed opp skillet mellom stjerner og planeter. Fagstoffet er nært knyttet opp mot fenomener barn legger merke til, men presser evnen til abstraksjon ved å antyde om avstander og temperaturer som overskrider de daglige erfaringene.

I Gaia 4 [9] introduseres grafiske modeller av solsystemet og navnet på de andre planetene. Vitenskapelige prosesser (á la Forskerspiren) omtales også i forbindelse med astronomi. Stjernebilder og navigasjon får også litt plass. Med andre ord har kravet til elevenes evne til visualisering økt. Kravet til romlig forestillingsevne øker også på 7. trinn [Gaia 7, 19]: Her forklares tidssoner, skjevheten på jordas rotasjonsakse, jevndøgn, med mer.

The American Association for the Advancement of Science (AAAS) promoterer historisk kunnskap som en del av ”scientific literacy” [17]. Tilsvarende påpeker Sjøberg [18] at naturvitenskap både er produkt (til anvendelse), men også en prosess (hypotesetesting, fagfellevurdering, osv.). En viktig del av denne prosessen er også den historiske utviklingen, og også astronomien har en lang og fargerik historie. Naturvitenskap er altså et kulturprodukt som på ingen måte har utviklet seg uavhengig av religiøse og politiske strømninger. Jeg har derfor gitt astronomiens historie relativt stor plass i dette kompendiet.

Det er ikke nødvendigvis en sammenheng mellom et fags popularitet i mediene og faglig dybde på det som formidles. Til tross for at astronomi er populært, og at en rekke billedvakre og tiltalende populariseringer er skrevet, finnes det lite litteratur på norsk som har tilstrekkelig faglig dybde for lærerutdanningen og er tilpasset innholdet i skolen. Målet med dette kompendiet er å dekke fagstoffet fra 1. til og med 7. trinn, på et faglig nivå tilpasset Naturfag 1. Tidevann undervises tradisjonelt på Naturfag 2 her ved HiVe, så tidevann er derfor ikke omtalt her.

Noen ord om kildebruk: På grunn av leservennlighet har jeg valgt ikke å referere kilde på hver eneste faktaopplysning direkte i teksten, men oppgir generelle referanser i referanselisten til slutt. Spesielle nyhetshendelser, lite tilgjengelig litteratur, forskningslitteratur, bilder, etc. er kreditert direkte i teksten.

Takk til Erik Halvorsen og Jørn Nyberg for gjennomlesning og nyttige kommentarer. Jeg tar gjerne i mot tips om feil og mangler.

Observasjon av himmelen over oss – noen forslag

Selv om alle stjernene, kometene, planetene og alt det andre på himmelen ligger ufattelig langt unna, er det ikke vanskelig å designe konkrete aktiviteter i astronomi. Folk har observert, undret seg og spekulert rundt det vi ser der oppe i uminnelige tider – i sin aller enkleste form behøves ikke mer enn et par øyne, godt vær og en lærer utstyrt med kunnskap om stjernebilder og astronomi. Legg til en laserpeker (grønn sådan) for økt presisjonsnivå, og vi er godt i gang.

Med det blotte øyet er det mulig å se flere tusen stjerner – så hvor skal man starte? Praktisk astronomi er et stort felt, og mange har det som en altoppslukende hobby. Det finnes mye informasjon om praktisk astronomi på internett, i tillegg til flere bøker [6]. Det er lett å bli forvirret i jungelen, og det er trist hvis all informasjonen gjør at man kutter ut de praktiske bitene. Selv har jeg hatt mye glede av følgende nettsider, programvare og bøker:

I forbindelse med Astronomiåret 2009 ble det publisert en artikkel med observasjonstips for nybegynnere, og de som ønsker å gå videre med observasjoner henvises hit:

<http://www.astronomi2009.no/>. I tillegg er “Praktisk Astronomi” [6] en glimrende ressurs.

I tillegg finnes det en del fagstoff på sidene til Nordnorsk Vitensenter [15], blant annet maler for stjernehjul og solur.

Stellarium [3] er et gratis dataprogram som viser stjernehimmelen i sanntid. Du stiller selv inn tid og sted slik at det er stjernehimmelen som faktisk er over deg som vises. Via enkle innstillinger kan du bestemme om kun stjerner skal vises, hvor lyssterke de må være for at de skal vises, om planeter skal



Figur 1. Skjermbildet fra Stellarium som viser stjernehimmelen over Tønsberg i sørlig retning.

synes, med mer. Det er også mulig å simulere lysforurensing, det vil si bakgrunnsbelysning fra bebyggelse. Alt i alt er det lett å skreddersy visningen slik at kun relevant informasjon vises. Skjermbildet

fra Stellarium viser stjernehimmelen over Tønsberg, sett sørover natt til 12. august 2009 (fig.1). I øst ser vi at Orion er i ferd med å stå opp, mens stjernebildet Andromeda (som inneholder Andromedatåken) ligger rett sør. Med enkle musebevegelser kan man zoome inn eller ut, rotere utsikten øst – vest, eller velge å se rett opp. Alt i alt er programmet glimrende for å orientere seg før man drar på stjerne- og planetjakt.

Celestia [2] er en annen type dataprogram som modellerer hvordan solsystemets planeter, måner beveger seg i forhold til hverandre. Selv om Celestia ikke forteller deg hva som ses på stjernehimmelen på et gitt tidspunkt, er programmet likevel nyttig fordi planetobservasjoner vises og forklares fra et annet perspektiv. Programmet kan ta opp film, det er enkelt å zoome inn på de ulike planetene for å se på overflaten, betrakningsvinkelen kan enkelt endres med musebevegelser, og man kan dra på virtuelle reise til andre stjerner (dobbelstjernen Sirius for eksempel), bare for å nevne noe.

Videre finnes det drøssevis med apper til både iPhone, iPad og Android som kan være gode hjelpemidler til å finne fram på stjernehimmelen. En klassiker er Google Sky, men de finnes mange andre tilsvarende apper. De har gjerne noe ulik funksjonalitet. Enkelte har hovedfokus på stjerne-tegn, mens andre kan hjelpe deg med å finne satellitter på himmelen

Noen gløtt inn i astronomiens historie

Vi lever i en tid der vi i større grad enn i tidligere kan samle inn store mengder data om verdensrommet. Mennesket har også tatt de første, forsiktede skritt ut i verdensrommet. Sommeren 2009 var det 40 år siden mennesket for første gang satte sine føtter på en fremmed klode. Teknologien har kommet så langt at vi i dag kan observere planeter som kretser rundt stjerner som er lysår unna oss. Meldinger om eksoplaneter, som er den korrekte betegnelsen på slike planeter, renner stadig inn. Pr. 03.12.10 kjenner vi til 505 eksoplaneter [16]. Det er skarve femten år siden den første eksoplaneten ble oppdaget, så utviklingen har vært formidabel. Videre måler satellitter bakgrunnsstrålingen fra Big Bang, og forskere har med overlegg krasjet en sonde inn i en komet for å undersøke hva kometer består av. Veien hit har vært lang, og som i alle grener av vitenskapen bygger dagens astronomi på tidligere tenkeres arbeid – fra babylonerne og Johannes Kepler til Albert Einstein og Edwin Hubble.

Mennesket har sannsynligvis gjort seg tanker om fenomenene på himmelhvelvingen like lenge som vi har vært i stand til undre oss og har vært nysgjerrige, og astronomien er, om vi bruker begreper vidt, minst like gammel som historien selv. Moderne astrofysikk har naturlig nok et helt annet innhold i dag enn for 4000 år siden da babylonerne i området rundt dagens Irak var aktive.

Sola og andre objekter på himmelen har alltid hatt en sentral plass i religioner og myter, for eksempel i egyptisk mytologi der Sirius har blitt koblet med guden Osiris. På det mer praktiske plan har mennesker opp gjennom historien vært nødt til å forholde oss til årstidene som nettopp skyldes astronomiske forhold. En bonde må vite når avlingen bør høstes så den ikke fryser i høstkulda, mens en fisker trenger kunnskap om når skreien kommer inn mot kysten. I det gamle Egypt brukte presteskaper til stjernen Sirius til å tidfeste den økonomisk viktige årlige oversvømmelsen av Nilen. Astronomiske fenomener er ypperlige til å forutsi slike hendelser – vi kan bokstavelig talt stille klokka etter dem

I vitenskapshistorien framstilles ofte de sentrale vitenskapsmennene (for det var menn de var) som intellektuelle fyrtårn som var langt foran sin samtid. Selv om de utvilsomt var geniale og hadde evnen til å sette seg selv i en posisjon der de kunne forfølge sine interesser og reklamere for sine idéer, opererte de ikke i et intellektuelt vakuum. Dette kompendiet er ikke stedet for å gå inn på historiske detaljer og prosesser, men noen enkelte personer og begivenheter er så sentrale i vitenskapshistorien at de hører med til en naturfagslærers kunnskapsrepertoar. Her har jeg tatt med et lite knippe personer som er relevante for kunnskapsmålene på barne- og mellomtrinnet. Newton omtales ikke her, selv om hans bidrag til fysikken, og dermed også astronomien er helt grunnleggende – Newtons lover er tema i fysikkundervisningen.

Aristoteles (384-322 f. Kr.)

Aristoteles skrev avhandlinger innen de fleste emner, og er utvilsomt en av historiens mest begavete personligheter. Blant annet har han hatt innflytelse på biologisk systematikk. Han utarbeidet en komplett kosmologi, hvor han hevdet at universet var evig. Å anta at universet oppstod på et bestemt tidspunkt var utenkelig i antikken, og gikk blant annet i mot prinsippet om at ingenting kan oppstå fra ingenting. Aristoteles diskuterte Jordas form, og han argumenterte for at Jorda er kuleformet¹ og i universets sentrum, altså et geosentrisk verdensbilde. Den modellen holdt stand helt fram til 1543 da Kopernikus forårsaket et kosmologisk jordskjelv.

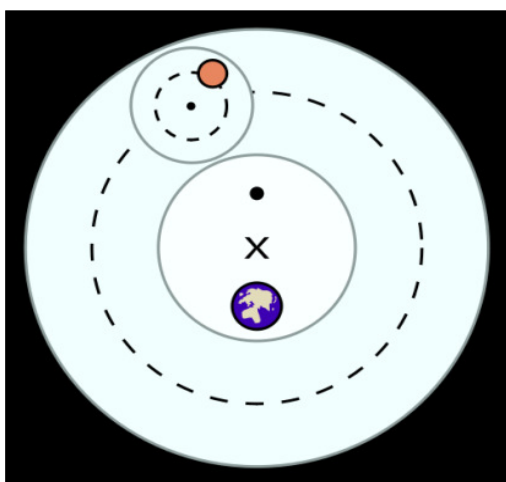
¹ Apropos: I motsetning til den gjengse oppfatningen, trodde ikke folk i middelalderen at Jorda var flat [13]

Klaudius Ptolemaios (90 til 168 e. Kr.)

Schema huius præmissæ diuifionis Sphærarum.



Figur 2. Ptolaimos' geosentriske verdensbilde [21].



Figur 3. Episykler: En planet går i bane rundt et punkt som igjen går i bane rundt den stillestående Jorda [24].

Ptolemaios (latin: Claudius Ptolemaeus; engelsk: Ptolemy) var den siste av de store, greske astronomene. Han levde i Egypt, som på den tiden var under romersk herredømme. I hans hovedverk *Almagest*, som består av 13 bind, beskrives det geosentriske systemet – altså med Jordkloden i midten med Sola og de andre planetene kretsende rundt (fig. 2).

Almagest ble publisert i år 147 eller 148 e. Kr. Her beskriver Ptolemaios hvordan planetene som kretser utenfor Jordas bane (i følge dagens verdensbilde) har det som kalles retrograd bevegelse: Hvis vi følger for eksempel Mars' bevegelse over himmelen, vil planeten til å begynne med ha normal vandring på himmelen mot vest. Men plutselig reduseres Mars' hastighet vestover, og så beveger planeten seg østover igjen! Så avtar hastigheten igjen, før Mars igjen

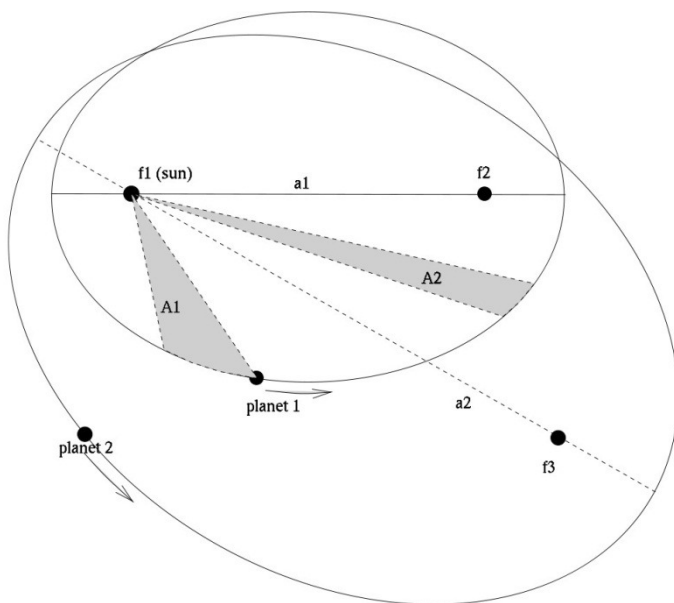
fortsetter vestover. Fenomenet voldt tilhengerne av det geosentriske verdensbildet store problemer. I et forsøk på å løse floken ble ideen om såkalte episykler innført som forklaring. I denne modellen kretser ikke planeten i seg selv rundt jorda, men rundt et punkt som igjen går i bane rundt jorda (se fig 3). Modellen til Ptolemaios er strengt tatt mer spissfindig enn som så. Jorda befinner seg ikke helt i sentrum, men er plassert slik at sentrum (X på fig. 3) ligger midtveis mellom Jorda og et punkt kalt ekvanten (se fig. 3).

Dette synet ble mer eller mindre stående fram til Kopernikus publiserte sin versjon solsystemet. Riktignok ble systemet til Ptolemaios modifisert av andre greske tenkere, men hovedtrekkene ble bevart fram til 1543.

Nicolaus Kopernikus (1473-1543)

I 1543 oppstår et vannskille i vitenskapshistorien, og det kan argumenteres for at året innleder den vitenskapelige revolusjon. Et sentralt verk så dagens lys det året: Nicolaus Kopernikus' *De revolutionibus orbium coelestium* (*Om verdenshimmellegemenes bevegelser*), som beskriver et univers der Sola er i midten – det heliosentriske verdensbildet². I tillegg til Jorda var bare fem planeter kjent; Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn. Kopernikus utledet også riktig rekkefølgen på planetene, og de uelegante episyklene ble til en viss grad overflødige. Dessverre tok det et godt århundre før det heliosentriske systemet ble akseptert. De intellektuelle på denne tiden vektla argumenter etter helt andre kriterier enn i dag. Mens vi dag ville gjort observasjoner som kunne bekreftet eller avkreftet hypotesen (jf. Forskerspiren), stod religiøse overbevisninger høyt i kurs. Sansene våre var rett og slett ikke til å stole på, og naturen var ikke en godkjent kilde til informasjon, men bøker skrevet av autoriteter var³. Det måtte en Johannes Kepler, og ikke minst en Galileo Galilei, til, for å få gjennomslag for det heliosentriske verdensbildet.

Kopernikus var en av renessansens universalgenier. Han var bevandret innen matematikk, språk og medisin i tillegg til astronomi. Astronomi ble aldri Kopernikus' inntektskilde, men en oppslukende hobby. Selv om *Revolutionibus* ble utgitt samme år som Kopernikus døde, var hovedtrekkene klare allerede rundt 1514. Men han holdt kortene tett til brystet, antakelig i frykt for kritikk, både faglig og religiøs.



Figur 4. Keplers lover. To elliptiske planetbaner vises, og Sola ligger i brennpunktet kalt f1. f2 og f3 er de andre brennpunktene for hhv. planet 1 og 2. Arealet A1 og A2 er like store, og planet 1 bruker like lang tid på å tilbakelegge distansen arealet segmentene tilsvarer [25].

Johannes Kepler (1571-1630)

Tyskeren Johannes Kepler studerte teologi, men plukket også opp en del matematikk på veien. I løpet av studiene sine stiftet han bekjentskap med Kopernikus' heliosentriske verdensbilde, og ble en tidlig forkjemper for denne modellen. Mot slutten av det 16. århundre fikk han en stilling som lærer i Sveits. Som en del av sine plikter laget han almanakker med astronomiske og astrologiske data (Kepler livnærte seg også som astrolog en periode, selv om han trolig ikke var helt komfortabel med den rollen). Kepler var protestant, og etter hvert ble livet som protestant under det katolske styret i Sveits såpass vanskelig at han måtte forlate sin stilling. Etter en omflakkende periode endte Kepler opp hos danske Tycho Brahe

² Den andre milepælen er Andreas Vesalius' (1541-1564) *De humani corporis fabrica* (*Om menneskekroppens strukturer*) som la en grunnstein for moderne anatomi.

³ Bildet er mer komplisert enn som så. I middelalderen og antikken ble det utført eksperimenter, og de som har lyst til å sette seg inn i tidlig vitenskapshistorie henvises til Lindberg [13].

på hans observatorium på øya Hveen i Danmark. Det var fra denne basen han kom til å gjøre sine største oppdagelser.

Kepler reddet det geosentriske verdensbildet. Som nevnt introduserte Kopernikus idéen om sirkulære baner. Men planetenes faktiske bevegelse over himmelen er ikke sirkulære. Kepler arbeidet i flere år for å få kartet til å stemme med terrenget, men uansett innfallsvinkel kunne ikke Mars' vandring over himmelen beskrives som sirkulær. Kepler endte opp med å forkaste idéen, og fikk til slutt kabalen gå opp ved å introdusere elliptiske baner. Ellipser er lett flattrykte sirkler, og kjennetegnes ved at summen av avstanden fra hvilket som helst av punktene langs ellipsen og inn til ett av to bestemte punkter, kalt brennpunktene, er konstant [1]. At planeter går i elliptiske baner med sola i det ene brennpunktet utgjør *Keplers 1. lov* (fig. 4).

Kepler oppdaget også at Mars' hastigheten ikke var konstant. Nærmere sola øker Mars farten, mens farten er lavere lengre bort fra sola. Hvis vi tenker oss en tråd som strekker seg fra Mars til Sola, vil tråden sveipe over et areal etter hvert som Mars går i bane rundt sola (fig. 4). Siden hastigheten er størst når Mars er nærme Sola, og lavere lengre bort, vil arealet tråden sveiper over være like stort pr. tidsenhet uansett hvor i banen Mars befinner seg. Denne sammenhengen mellom areal og tid kalles *Keplers 2. lov*.

Kepler, som mange før ham, søkte etter harmoni i naturen. Derfor var det en stor triumf da han oppdaget en enkel, algebraisk sammenheng mellom omløpstiden til en planet og lengden på den store aksen – *Keplers 3. lov* går som følger: $P^2 = Ka^3$, der P er perioden (tid), K er en konstant avhengig av hvilke enheter som brukes til å måle tid og distanse, mens a er lengde på den store aksen.

Mens Kopernikus' modell delvis må ses på som et feiltrinn på veien (uten dermed å nedvurdere hans bidrag), har Keplers bidrag blitt stående og brukes til beregninger den dag i dag.

Galileo Galilei (1564-1642)

Galileo Galilei var italiener, og arbeidet bredt innen naturvitenskap. I tillegg til bidrag innen astronomi, er han særlig kjent for arbeidet innen mekanikken – studiet av samspillet mellom krefter, legemer og bevegelse. Han var den første til å demonstrere at i lufttomt rom akselererer alle legemer like raskt. Myten forteller at han demonstrerte det ved å kaste to ulike kanonkuler ut fra det skjeve tårn i Pisa.

Galileo Galilei var årsaken til at akkurat 2009 ble valgt til å være astronomiåret – det var nemlig i 1609 han gjorde sine første astronomiske observasjoner. Ofte hevdes det av Galilei var den første som pekte en kikkert mot stjernehimmelen – selv fagastronomer gir ofte Galilei kreditt for dette, men det var faktisk far og sønn Leonard og Thomas Digges som gjorde den første dokumenterte utforskningen av himmelen over oss ved hjelp av teleskoper i siste halvdel av 1500-tallet [8].

Uansett hvem som var først ute, Galileis oppdagelser snudde det rådende verdensbildet på hodet: Han oppdaget at Venus har faser på samme måte som vår egen Måne, det vil si at ulike deler av planetoverflaten blir opplyst over en tidsperiode, akkurat som Månen. I et geosentrisk verdensbilde kan ikke Venus faser forklares. Han oppdaget også måner rundt Jupiter. Ikke bare var andre måner enn vår egen ukjent, men oppdagelsen var også viktig fordi det tidligere ikke var kjent at bevegelsessentre i seg selv kunne være i bevegelse (med unntak av sentrum av en episykel).

Opp gjennom middelalderen hadde alle himmellegemer blitt sett på som glatte, ubesudlete og bortimot hellige. Det var derfor uhørt (i begge betydninger av ordet) da Galileo oppdaget at Månen har

kratere og at Sola har flekker. Alt i alt banet oppdagelsene hans veien for det heliosentriske verdensbildet, selv om motstanden fra kirken var stor⁴.

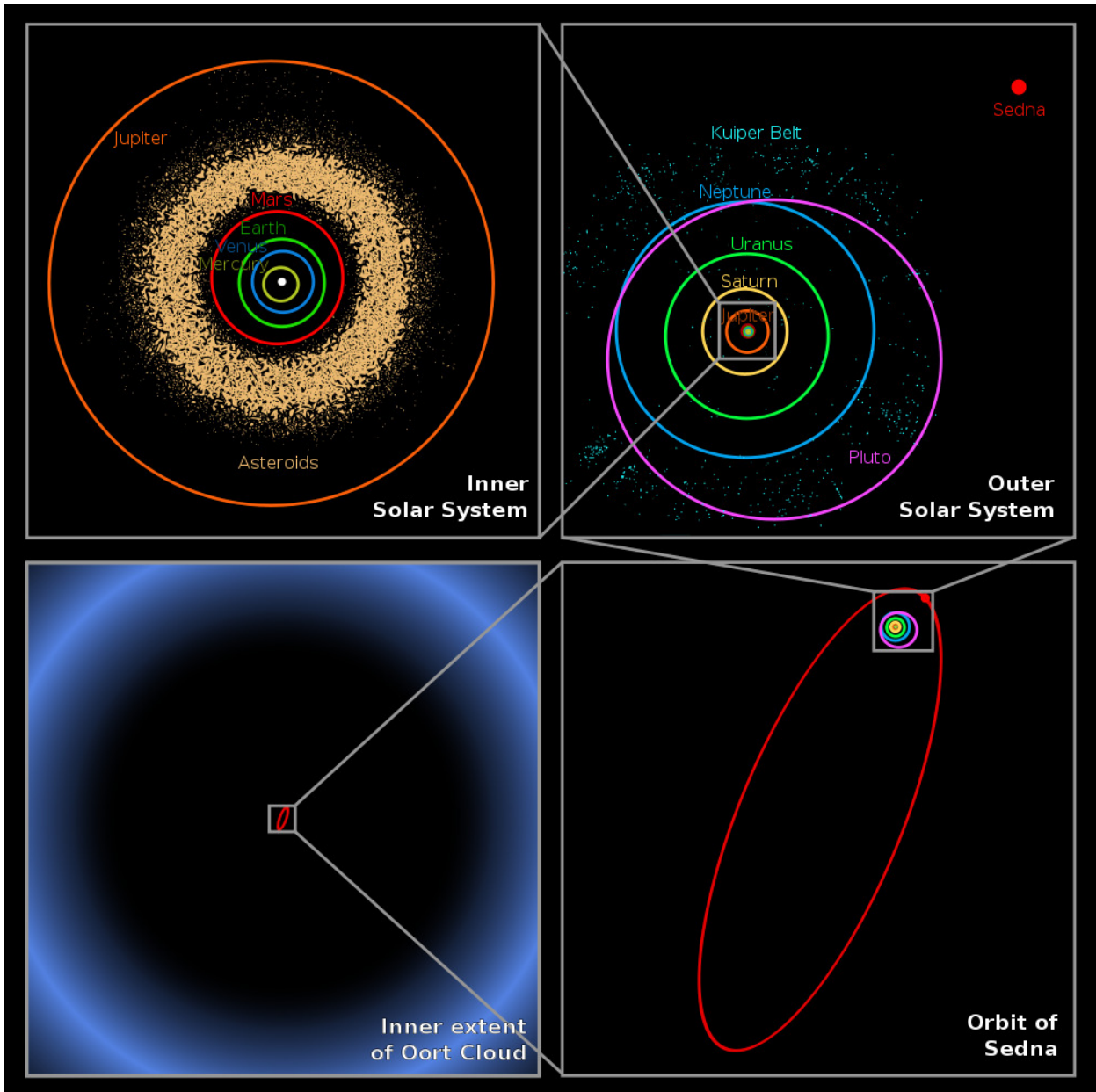
Optikken som kunst/håndverk var allerede gammel da Galilei arbeidet – primitive linser som kan forstørre var kjent allerede 800 år f. Kr., og enkle briller hadde vært i bruk fra rundt 800 e. Kr. Men Galileo perfektionerte teknikken videre. Hvorfor tok det så lang tid før noen rettet blikket mot stjernehimmelen og brukte en linse som hjelpemiddel? Kikkerter var på Galileos svært nyttige, for eksempel i militære sammenhenger. Så hvorfor ikke nyttige i vitenskapelig sammenheng også? Svaret er sammensatt: Logisk tenkning og autoriteter var høyere verdsatt enn observasjoner. Og øyet var en mer pålitelig kilde enn en kikkert – at glass kan forvrengte et bilde er velkjent, og i middelalderen var skepsisen stor. Det tok derfor en stund før observasjonene og tolkningene til Galilei ble akseptert.

⁴ I boken "Dialog om de to verdenssystemene" argumenterer Galileo for det kopernikanske verdensbildet. På grunn av innholdet i boken ble han satt i husarrest, og det var først i 1835 boken ble tatt av listen over forbudte bøker. Så sent som i 1980 ble Galileos ettermæle fullstendig rensket av pave Johannes Paul II.

Solsystemet fra innerst til ytterst

Omfang og opprinnelse

Hvor stort er Solsystemet vårt? Ingen vet helt. Grensene til solsystemet, og andre planetsystemer for den saks skyld, trekkes opp av Solas gravitasjon og solvinden (som for det meste består av protoner og elektroner). Solas tyngdekraft er limet som holder solsystemet sammen, og solsystemet slutter der andre



Figur 5. Modellen viser avstandsforhold i solsystemet. Merkur, Venus, Jorda og Mars ligger relativt tett, mens de ytre planetene Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun har større avstand seg i mellom. Dvergplaneten Sedna ligger gjennomsnittlig 960 AE fra Sola, mens den kuleformete Oortskyen ligger svært langt unna, nemlig 50.000 AE [29].

stjerner påvirker med like stor tyngdekraft som sola og solvinden bøyer av for strålingen i det interstellare rommet (rommet mellom stjernene).

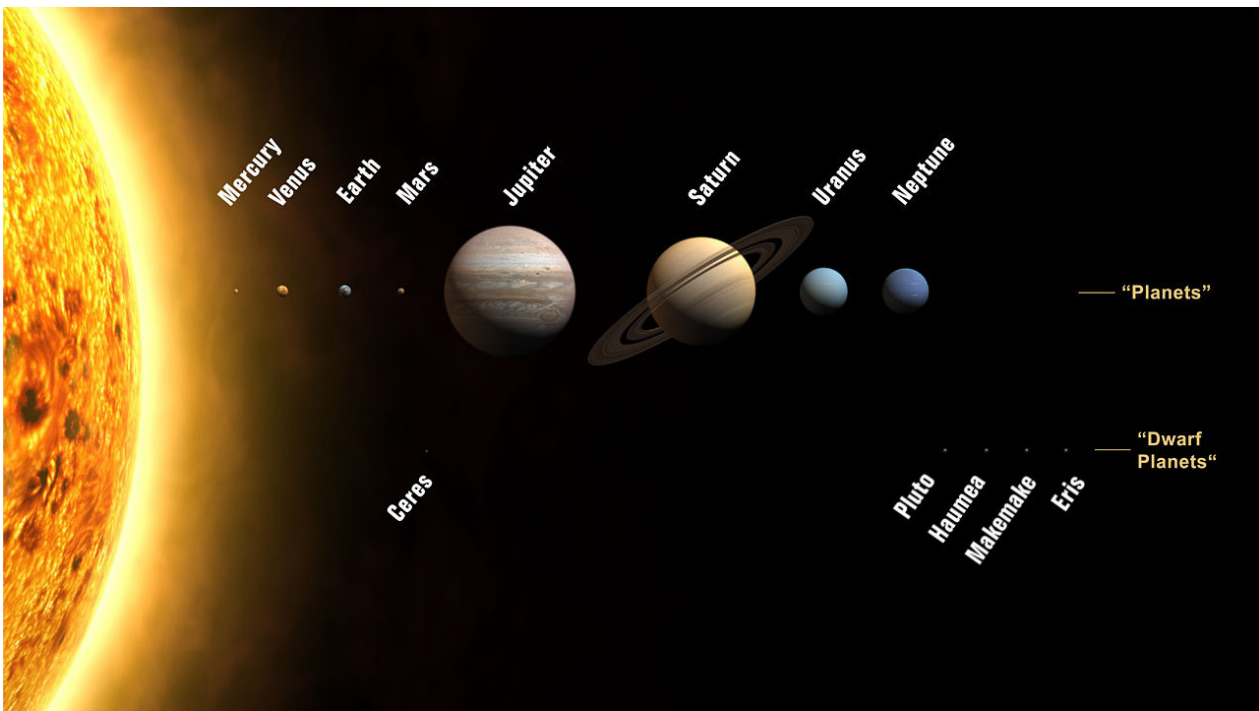
Før vi går i detalj, trenger vi å kunne omtale avstander på en god måte: *Astronomisk enhet* (AE) er et avstandsmål astronomer bruker innenfor solsystemet og andre planetsystemer. 1 AE tilsvarer omtrent

150 millioner km, som er middelvstanden mellom Sola og Jorda. Lyset bruker 8 minutter på å tilbakelegge den distansen.

Solvinden mister sin dominans omtrent ved 230 AE, men gravitasjonen er viktig mye lenger ut i rommet. Det indre solsystemet består av Merkur, Venus, Jorda og Mars, og strekker seg 1,5 AE fra Jorda. Sett fra Jorda er de andre planetene i det indre solsystemet “rett rundt hjørnet” - dvergplaneten Pluto er gjennomsnittlig 39,5 AE fra Sola, mens det antatte kometreservoaret Oortskyen ligger 50.000 AE (nesten et lysår) fra Jorda, og her er vi i grenselandet for Solas gravitasjon (se fig. 5).

Avstand til Sola er viktig for temperaturen på planetene, og temperaturen er igjen avgjørende for hvilken aggregattilstand ulike stoffer befinner seg i, osv. Distansen til Sola er mer kritisk enn man kanskje umiddelbart skulle tro. Et punkt som er dobbelt så langt unna Sola som det Jorda er, mottar bare $\frac{1}{4}$ av energien Jorda mottar. Neptun, som ligger 20 AE unna, får skarve $\frac{1}{400}$. Hvordan kan det stemme? Innstrålt energimengde avtar eksponentielt med avstand til Sola, matematisk uttrykt ved $\frac{1}{r^2}$, der r er avstanden. Dersom Jordas avstand til Sola settes til 1, og Neptun 20, blir resultatet nettopp $\frac{1}{400}$.

Solsystemet inneholder en rekke objekter – noen mer familiære enn andre. Mest kjent er planetene med sine måner, men i tillegg finnes det dvergplaneter, asteroider, kometer, småstein og støv. Mens figur 5 viste avstandsforholdene mellom objektene i solsystemet, viser figur 6 både rekkefølgen på planetene og dvergplanetene og deres relative størrelse. Avstandsforholdene er imidlertid ikke riktige i fig. 6.



Figur 6. Planetenes og dvergplanetenes rekkefølge og innbyrdes størrelsesforhold [29].

Det hele startet i en gassky for 4,6 milliarder år siden. Stjerner og planeter fødes i gigantiske gasskyer som gjerne er over 100 lysår i diameter. Oriontåken i stjernebildet Orion er det mest kjente eksemplet på en slik gassky, og den kan enkelt observeres med en helt vanlig prismekikkert.

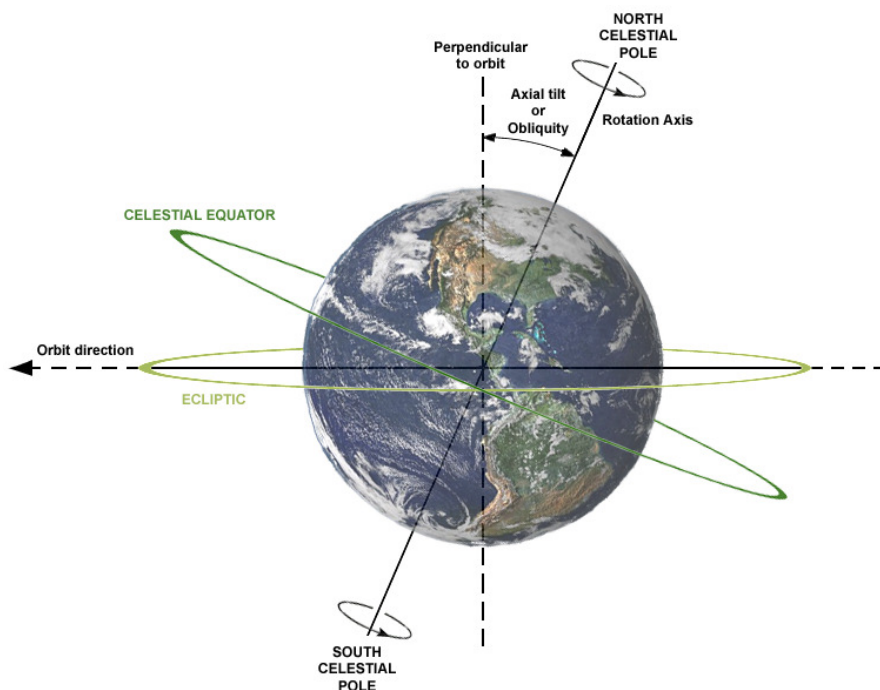
Molekylært hydrogen er langt på vei den viktigste komponenten i slike skyer, men det finnes også helium og tyngre grunnstoffer. I utgangspunktet er massen jevnt fordelt i gasskyen, med ekspansjon på grunn av gassenes varme og gravitasjonens sammentrekkende kraft i balanse. Men en forstyrrelse av skyen (for eksempel en trykkbølge fra en supernova) kan forpurre likevekten. Enkelte områder blir dermed tettere, og får sterkere gravitasjon enn områdene rundt. Omkringliggende materie blir trukket mot

dette området som blir enda tettere, og som derfor trekker til seg mer masse, og voilà, en selvforsterkende prosess er i gang – skyen vil ubønhørlig kollapse.

”Energi kan ikke forsvinne, men bare gå over til andre former”, sier en kjent læresetning i fysikken. Etter hvert som gassene trekker seg sammen, går potensiell energi over til bevegelsesenergi – atomene og molekylene beveger seg raskere og raskere. Med andre ord: Gassen blir varmere! Når temperaturen bikker 15 millioner grader, har hydrogen nok energi til å fusjonere, og en stjerne blir tent. Når stjernen er tent, inntreffer en såkalt hydrostatisk likevekt – strålingstrykket utover er like sterkt som gravitasjonen, og stjernens diameter er derfor konstant. Stjerner blusser ikke opp over natten, omtrent 50 millioner tok det fra gasskyen som skulle bli til solsystemet vårt begynte å trekke seg sammen til Sola ble tent.

Rundt den unge Sola kretset en skive av varme gasser, men også tyngre grunnstoffer. Etter hvert ble temperaturen lav nok til at tyngdekraften og elektrostatiske krefter relativt sett var sterke nok til å sakte, men sikkert, samle sammen materie. Å bygge solsystemer er et arbeid for de tålmodige – opptil en milliard år kan det ta.

Hva er en planet?



Figur 7. Ekliptikken defineres av Jordas bane rundt Sola. Rotasjonsaksen har en vinkel på $23,5^\circ$ i forhold til ekliptikken [22].

verken er riktige eller gale, bare mer eller mindre brukbare. Å definere kategorier (som for eksempel planet) innebærer å lagre informasjon. Hvis du sier ”nesledyr” til en biolog, vil vedkommende umiddelbart se for seg et radiærsymmetrisk dyr med nesleceller. Dersom kategorien nesledyr er definert slik at gruppa også inneholder ribbemaneter, vil kategorien nesledyr miste sin verdi fordi den i mindre grad beskriver dyrene den inneholder.

Klassifiseringen av planeter ble derfor gjort mer oversiktlig i 2006 av den Internasjonale Astronomiske Union (www.iau.org). En planet er et objekt i verdensrommet med følgende kjennetegn:

- Går i bane rundt en stjerne eller restene av en stjerne.

Det skapte store oppslag i dagspressen i 2006 da Pluto, den inntil da ytterste planeten i solsystemet, ble degradert fra å være planet til å bli en dvergplanet. Pluto hører dermed ikke lenger med i det gode selskap av planeter, og dagens solsystem teller pr. definisjon 8 planeter: Fra innerst til ytterst finner vi nå altså Merkur, Venus, Jorda, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun.

I denne sammenhengen er det viktig å huske på at definisjoner i seg selv

- Har kuleform. En viss masse, og dermed gravitasjon, er nødvendig for å forme et himmellegeme kulerundt.
- Området rundt banen er ryddet for smålegemer.

Merk at denne definisjonen ikke sier noe om oppbygningen til planetene, avstand til sola, osv. Konsekvensen er også at Pluto, som tidligere var den 9. planeten i solsystemet, ikke lenger er en planet, men en dvergplanet. Dvergplaneter har som ekte planeter nok masse, og dermed sterk nok gravitasjon til å innta en kuleform, men de er ikke massive nok til å rydde nabolaget for ymse materie. Måner er ekskludert fra denne definisjonen.

Baneplanet som defineres av Jordas gang rundt Sola kalles ekliptikken. Sett fra Jordas nordpol roterer alle planetene i samme retning rundt Sola, nemlig mot klokka. Planetene roterer også om sin egen akse, også denne rotasjonen er mot klokka (unntaket er Venus og Uranus som roterer om sin egen akse i motsatt retning). Rotasjonsaksen til flere planeter står ikke vinkelrett på ekliptikken, og det er årsaken til at planeter har årstider.

Mange tror årstidene skyldes at avstanden mellom Sola og Jorda varierer gjennom året. Det er forsåvidt riktig at avstanden varierer, men det er ikke det som er årsaken til årstidene, det skyldes vinkelen mellom Jordas rotasjonsakse og baneplanet rundt Sola. Som figur 7 viser, er vinkelen på $23,44^\circ$, og innstrålt energi fra Sola vil derfor fordele seg forskjellig avhengig av årstid. Om sommeren på den nordlige halvkule peker aksen mot Sola, og om vinteren peker den fra Sola. Fenomenet kan lett demonstreres med en lommelykt. Hvis du lyser rett på en overflate og deretter endrer innstrålingsvinkelen (la lyset falle mer skrått inn mot flaten) ser du at lyset fordeler seg over en større flate – færre watt pr. kvadratmeter med andre ord. Når Sola står på sitt laveste på himmelen for oss på de nordlige breddegrader, har vi vintersolverv, og det inntreffer 21. eller 22. desember. Tilsvarende har vi sommersolverv et halvt år senere, den 21. eller 22. juni – da står Sola på sitt høyeste.

Et annet viktig begrep er knyttet til Jordas bane rundt Sola er jevndøgn. To jevndøgn inntreffer hvert år – høstjevndøgn og vårjevndøgn – og da står Sola loddrett over ekvator. Det medfører at dag og natt er like lange over hele kloden, og for en bestemt lengdegrad, står Sola opp til samme tidspunkt på alle breddegrader (og går ned på samme tidspunkt). Høstjevndøgn skjer 22.–23. september, mens vårjevndøgn er 20.–21. mars.

Sola, grunnlaget for alt livet på Jorda

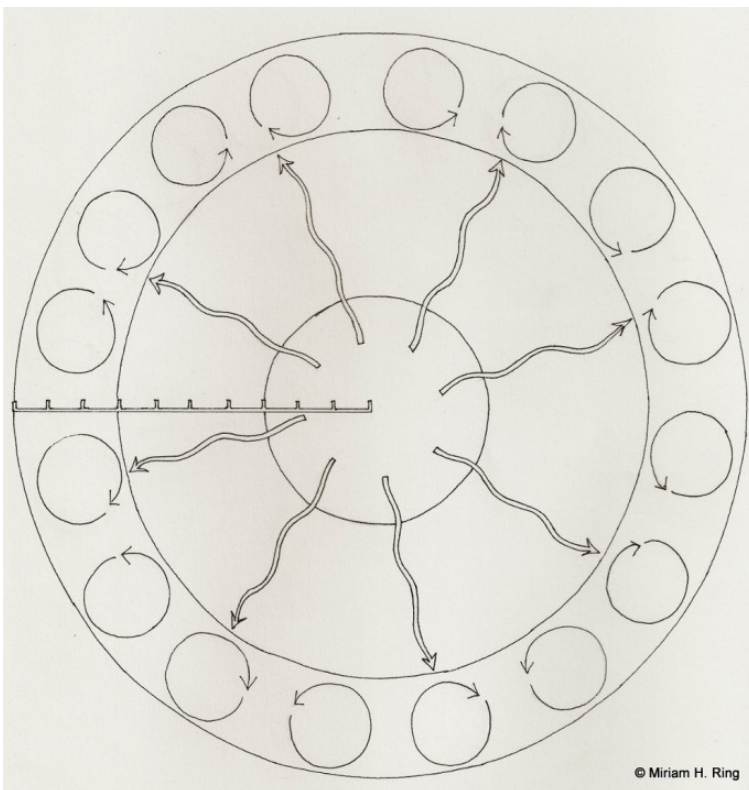
Sola har blitt tilbedt i uminnelige tider, og guder fra flere kulturer er sterkt knyttet til Sola (for eksempel den egyptiske guden Ra). Selv uten den ringeste kunnskap om astronomi er Solas viktighet for liv åpenbar – tenk bare på forskjellen mellom en mørk vinter og lys vår med yrende liv. Sola tilrettelegger for liv på flere måter: Avstanden vår til Sola er akkurat passe: Uten Sola ville Jorda vært en dypfryser. Og omvendt ville Jorda vært glohet hvis den lå for nærme. Sola er også passe stor gitt avstanden til Jorda. Hadde den vært mindre, ville den ikke produsert nok energi, og en mer massiv stjerne ville gitt for høy energiutstråling. I tillegg er store stjerner grådige, de forbruker hydrogenbrennstoffet sitt raskt, sannsynligvis før liv rekker å utvikle seg.

Som vi har sett, er Sola i underkant av 5 milliarder år gammel, og om astronomene har rett, har den ytterligere 5 milliarder år igjen før den går over i alderdommen og til slutt dør. Ofte framsettes det påstander om at Sola er en gjennomsnittlig stjerne, men det er en sannhet med modifikasjoner. Riktig er Sola helt ordinær når det gjelder sammensetning og størrelse, og det finnes mange andre i samme

kategori. Men den er ikke blant de aller vanligste. På samme måte som “folk flest bor i Kina”, er de aller fleste stjerner såkalte røde dverger – bittesmå, lyssvake stjerner.

Sola er ikke rød. Stjerner varierer i farge, avhengig av hvor varm overflaten er. Røde stjerner har de kaldeste overflatene, mens vår Sol er gul, og har en noe varmere overflate (omtrent 5500 °C). Sola er en koloss. Den står for 99,86 % av all massen i solsystemet, diameteren tilsvarer 109 jordkloder, og tettheten er 1,4 g/cm³. Den lave tettheten sier oss at Sola overveiende består av lette grunnstoffer, og ganske riktig: Kjemisk sett er Sola en diger kule av hydrogen (75 %) og helium (25 %). Mindre enn 2 % Solas masse er tyngre grunnstoffer som jern, oksygen, karbon, osv.

Hvor kommer så all energien fra? Sola er et kjernekraftverk. Men i motsetning til kjernekraftverkene her på Jorda der energi frigjøres ved fisjon (splitting av tyngre grunnstoffer), slippes energien fra Sola fri ved fusjon – hydrogenatomer går sammen og danner helium. Flere kjerneprosesser kan omdanne hydrogen til helium, men i stjerner som er like store eller mindre enn sola, er det proton-protonkjeden som dominerer. Nettoresultat av denne reaksjonskjeden er: 4 hydrogenkjerner smelter sammen og danner ett Helium-4 (dvs. et heliumatom med to protoner og to nøytroner). Masseforskjellen mellom de fire hydrogenkjernene og heliumatomet er 0,7 %, og er denne massen har blitt omdannet energi.



Figur 8. Skjematisk framstilling av Solas lagdeling. Se tekst for detaljer. Figur: Miriam H. Ring

(utgjør 40 % av radien). Som navnet antyder, stråles energien fra kjerneprosessene utover.

Elektromagnetisk stråling emitteres, absorberes og re-emitteres i en stadig runddans, men med en netto energitransport mot Solas overflate. I den siste biten ut til overflaten transporteres energi ved hjelp av konveksjon, og kalles derfor konveksjonssonen. Konveksjon er, som stråling, en mekanisme som overfører energi, og inntreffer hver gang du fyrer på peisen: Varmen får lufta til å utvide seg, dvs. tettheten blir lavere enn lufta omkring. Dermed stiger den varme lufta. Et annet sted i rommet, for eksempel ved et vindu, kjøles luft ned og får lavere tetthet. Den vekslende tettheten gjør at lufta er i

At masse kan omdannes til energi er noe vi tenker lite over til daglig, men i følge Einsteins spesielle relativitetsteori er masse og energi to sider av samme sak. Masse kan altså omdannes til energi i følge verdens kanskje mest berømte formel, $E = mc^2$. 0,7 % masseforskjell må da være altfor lite til å gi all varmen vi faktisk opplever at Sola stråler? Svaret er at det holder i massevis. Hvert sekund konverteres 4,3 millioner tonn masse til energi. Det tilsvarer 3.846×10^{26} J hvert eneste sekund. Det er svært mye energi – til sammenligning utløste atombomben over Hiroshima $6,3 \times 10^{13}$ J [31].

Sola består av flere lag, og innerst finner vi kjernen der fusjonen foregår (fig. 8). Kjernen utgjør omtrent 30 % av Solas diameter. Neste lag er strålingssonen, som er det tykkeste laget

bevegelse og dermed transporterer energi. I Sola, og mange andre steder, foregår prinsipielt samme prosessen.

Over konveksjonslaget finner vi fotosfæren, og det er den vi oppfatter som Solas overflate. Dette sjiktet er noen hundre kilometer tykt. Den nederste biten av fotosfæren er ugjennomtrengelig for sollys, mens den øverste er gjennomsiktig. Fotosfæren er ikke spesielt tett og trykket er lavt – tettheten er omtrent 1/10000 av Jordas atmosfære ved havoverflaten, mens trykket er rundt noen få hundredeler av gasstrykket ved havets overflate. Temperaturen i fotosfæren er omtrent 5500 °C. Paradoksalt nok, tar det lang tid fra et foton dannes i kjernen til det er framme ved solas overflate, opptil 170.000 år. Lysets hastighet er stor, men det hjelper ikke når fotonene hele tiden må ta omveier i runddansene nevnt ovenfor.

På Solas overflate finner vi solflekkene, mørke områder som er kjøligere enn områdene omkring, og relativt sett derfor ser mørkere ut. Solflekker er kompliserte fenomener, og skyldes lokale buktninger på Solas magnetfelt. Antall solflekker er ikke konstant, men gjennomgår sykler på 11 år. Antall solflekker har de siste årene vært på et minimum (som forøvrig har hatt lenger varighet enn solforskerne kan forklare), og antall flekker kommer til å øke framover. I 2013 vil syklusen nå toppen. I kjølvannet av solflekkene blir det flere solstormer. Noen ganger slynges det stråling mot oss, disse utbruddene gir ikke bare vakre nordlys, men kan også slå ut satellitter og strømforsyningen.

I tillegg til syklusen på 11 år, varierer maksimalt antall solflekker i en overordnet syklus på ???. I perioden som kalles den lille istid omkring 1660 var det skøyteis på Themsen, og den perioden var sammenfallende med svært få solflekker. Siden solflekker er områder med *lavere* temperatur, høres det feil ut at få flekker gir lav temperatur – det er nærliggende å slutte at det er i perioder med *få* solflekker temperaturen på Jorda blir lav. Lenge var det et paradoks, men nyere forskning viser at Solas totale energiutstråling blir større med økende antall solflekker.

Over fotosfæren begynner Solas atmosfære, som består av chromosfæren og coronaen. Sistnevnte er en atmosfære av plasma (alle atomene er ionisert), og er kjent på grunn av et hittil uforklart fenomen, temperaturen øker nemlig jo lenger fra fotosfæren vi kommer. Som vi husker er temperaturen omtrent 5500 °C ved overflaten, men derfra stiger temperaturen raskt, og når maksimalt om lag én million grader. Coronaen strekker seg flere millioner kilometer ut fra Solas overflate, men er bare synlig når lyset fra selve solskiven blokkeres ut, som ved en solformørkelse (et søk på www.apod.org gir mange flotte bilder av fenomenet).

Alle stjerner har et livsløp: De fødes i stjernetaker, og avhengig av massen, gjennomgår de et spesifikt livsløp. De aller største stjernene med 25 ganger mer masse enn Sola brenner opp hydrogenet sitt i løpet av noen få millioner år, og ender som et svart hull – et objekt med så sterk gravitasjon at ikke en gang lys slipper ut. I den andre enden av skalaen er de røde dvergene, stjerner med masse på 0,8 solmasser. De lever ekstremt lenge, så lenge at de røde dvergene som ble dannet like etter Big Bang fremdeles lever i beste velgående – og har heller ikke tenkt til å gi seg på en stund. Sola har levd i 5 milliarder år, og vil holde på i 5 milliarder år til. Når hydrogenet en gang i framtiden er brukt opp, forrykkes balansen i stjernen: Det blir kjøligere i kjernen, og strålingstrykket utover blir derfor svakere. Det fører til at balansen mellom strålingstrykket utover og gravitasjonen innover forrykkes, og det setter i gang en kaskade av voldsomme hendelser. Sola vil blåse seg opp til en rød kjempe, og til slutt ende som en hvit dverg.

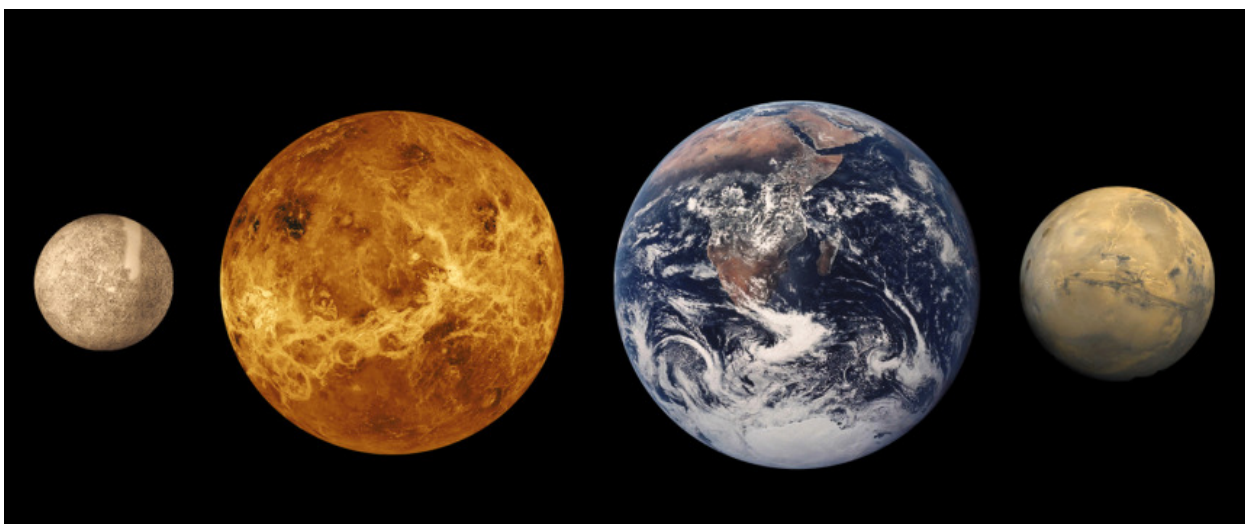
Observasjon av Sola: Først og fremst: Se aldri direkte på Sola gjennom en kikkert. Mens det å se direkte på Sola med det nakne er ubehagelig, er det svært skadelig å se på Sola gjennom kikkert uten å bruke riktige filtre. Selv en solformørkelse er farlig å se på uten å beskytte øynene. Når det er sagt, er

mulighetene mange for de som ønsker å ta Sola i nærmere øyensyn. Selv med små teleskoper kan man se ulike fenomener på soloverflaten, som for eksempel solflekker.

Steinplanetene

Nærmest Sola finner vi Merkur, og deretter Venus, Jorda og Mars (fig. 9). De fire innerste planetene utgjør det indre solsystemet og kalles ofte for steinplanetene, rett og slett fordi de i stor grad består av stein. Ofte går de også under betegnelsen terrestriske planeter, avledet fra Terra, og betyr altså jordliknende. Alle typer planeter og måner har en tydelig lagdeling. Kjernen er innerst, og hos steinplanetene består den av metaller (for det meste jern), enten i fast eller flytende form. Mantelen ligger mellom kjernen og skorpen. Mantelen inneholder mye silisium. Steinplanetene har få eller ingen måner.

Å tilegne seg kunnskap om planetene kan være utfordrende. Alle de åtte planetene har unike trekk, og det blir fort mange detaljer å huske. Som et alternativ til å pugge hver planets egenskaper, kan det være nyttig å sammenligne planetene med hensyn til gitte egenskaper, for eksempel atmosfære. I tillegg kan det lette innlæring å se på sammenhenger mellom ulike fysiske parametere – for eksempel masse, gravitasjon og atmosfære.



Figur 9. Fra venstre ser vi Merkur, Venus, Jorda og Mars, som sammen utgjør steinplanetene [23].

Merkur – varm og kald om hverandre

Merkur er planeten nærmest Sola, og går i en bane 0,47 AE fra Sola, altså snaue halvparten av Jordas avstand til Sola. Merkur er også solsystemets minste planet (se fig. 9 for sammenligning med de andre steinplanetene), radien tilsvarer ca. 40 % av Jordas radius, men massen er bare 5,5 % av Jordas masse.

På Merkur er kjernen stor, relativt sett, og utgjør 42 % av planetens volum – tilsvarende utgjør Jordas kjerne 17 % av volumet. Kjernen har høyt jerninnhold, og Merkur har derfor solsystemets høyeste tetthet ($5,43 \text{ g/cm}^3$).

Nøkkelen til å forstå hvorfor mange av planetene har et magnetfelt, ligger i den jernholdige kjernen. Jern leder som kjent elektrisk strøm. Elektrisk strøm og magnetfelt er to sider av samme sak – en elektrisk strøm generer et magnetfelt, og et varierende magnetfelt inducerer strøm. Det er flere mekanismer som kan gi magnetfelt, men enkelte av planetene som har magnetfelt kan karakteriseres som gigantiske dynamoer. Merkur har et svakt magnetfelt, 10 % av Jordas, som nettopp skyldes en dynamoeffekt.

Utenfor kjernen finner vi mantelen som for det meste består av flytende silisiumforbindelser (stein, kort og godt). Skorpen er 100-300 km tykk, og overflaten likner Månens overflate – de er begge pepret med kratre fra en tid da meteorittnedslag var langt vanligere.

Siden Merkur er nærmest Sola, mottar planeten *forholdvis* mye mer solenergi enn de andre planetene. Hvis vi setter radien mellom Merkur og Sola til 1, og tilnærmer radien mellom Sola og Jorda til 2, får vi at den samme solenergien fordeles over et fire ganger så stort areal her på Jorda (husk tilbake til diskusjonen over om avstandens betydning).

En eventuell atmosfære på Merkur vil derfor bli svært varm. Varme er et mål på kinetisk (bevegelses-) energi, og får gassene i atmosfæren nok energi, vil de kunne unnslippe gravitasjonsfeltet. En varm planet med et ønske om å holde på en atmosfære må derfor være svært massiv. Massen til Merkur har som nevnt bare 5,5 % av Jordas masse, og gravitasjonen er dermed et svak. Liten masse og mye innstrålt solenergi gjør det umulig for Merkur å holde på en atmosfære. Mangelen på en atmosfære gjør temperaturforholdene på Merkur svært spesielle. Atmosfære bufrer temperaturendringer og bidrar til å jevne ut temperaturforskjeller mellom breddegrader. Bare tenk på Jorda: Ekvator mottar langt mer solenergi enn høyere breddegrader, men luft- og havstrømmer jevner ut forskjellen. På Merkur er det hverken hav eller atmosfære, og temperaturforskjellene blir derfor dramatiske, mellom natt og dag er det intet mindre enn 600 °C differanse.

Varigheten av dag og natt er også noe for seg selv Merkur. Én Merkur-dag er dobbelt så langt som ett Merkur-år! Mens det tar 88 jord-dager å rotere en gang rundt Sola, bruker Merkur nesten det dobbelte på å rotere én gang rundt siden egen akse. Den sakte rotasjonen⁵ bidrar også til å opprettholde store temperaturforskjeller. Banen er svært elliptisk, ingen andre planeter i solsystemet er tilsvarende eksentriske, avstanden varierer mellom 46 og 70 millioner kilometer, og det har også mye å si for temperaturen.

Observasjon: Riktignok kan Merkur være et lyssterkt objekt på himmelen, men Merkur går ned like etter Sola, og står opp kort tid før soloppgang. I tillegg står Merkur alltid lavt på horisonten. Alt i alt er derfor Merkur et vanskelig objekt å lete etter.

Venus – drivhuseffekt gått amok

Neste stopp på vei utover i solsystemet er ved 0,73 AE, og her finner vi Venus. Jorda og Venus går ofte for å være tvillingplaneter – massen til Venus tilsvarer 0,82 jordkloder og radien er 90 % av Jordas. Dermed blir Venus' tetthet (5,2 g/cm³) temmelig lik Jordas (5,5 g/cm³), og astronomene antar derfor at Venus' kjerne, mantel og skorpe ligner Jordas.

Selv om kjernen er jernholdig har ikke Venus et magnetfelt, muligens fordi Venus ikke har platetektonikk. Hvordan henger det sammen? Mens Jorda har syv store og flere mindre plater som beveger seg i forhold til hverandre, består skorpen på Venus av én eneste plate. For at strømninger i kjernen, og dermed magnetfeltet, skal oppstå, må varmen ledes bort fra kjernen raskt. På Jorda bidrar platetektonikk til nedkjølingen, men Venus mangler altså denne mekanismen, og har derfor ikke et magnetfelt [14].

Venus er et ugjestmildt sted til tross for at planeten har fått navnet etter den romerske gudinnen for kjærlighet og skjønnhet. Atmosfæren er 92 ganger tettere enn Jordas atmosfære, og atmosfæretrykket ved overflaten tilsvarer et dykk på 800 meters dyp i havet her på Jorda.

Karbondioksid (CO₂) er med en andel på 96,5 % med god margin den viktigste gassen i atmosfæren. I tillegg finnes det svoveldioksid (SO₂), som er utgangspunktet for sur nedbør her på Jorda

⁵ For den interesserte leser: Det var lenge vanskelig å forene Merkurs magnetfelt med en dynamomodell på grunn av den sakte rotasjonen. Christensen [4] beskriver en modell der andre prosesser enn rotasjon genererer et magnetfelt.

(nok et eksempel på Venus' ugjestmildhet). I motsetning til her på Jorda er det ingen karbonsyklus på Venus som fungerer som reservoar, og derfor har Venus en formidabel drivhuseffekt. Gjennomsnittstemperaturen er 460 °C. Bly smelter ved slike temperaturer.

Det tette skylaget gjør det umulig og utforske overflaten med teleskoper, og det var ukjent hvordan overflaten så ut helt til romsonder ble sendt dit. Figur 9 er en mosaikk satt sammen av flere radarbilder tatt av sonden Magellan. Overflaten er lite kupert sammenlignet med Jorda, og over 80 % er sletter og skråninger dannet av vulkansk aktivitet.

Observasjon: Venus kan ses tydelig om morgen og kveld, og har derfor fått tilnavnet Aftenstjerne eller Morgenstjerne, alt ettersom når den observeres (men å bruke begrepet stjerne om Venus er selvfølgelig feil...). Venus er det mest lyssterke objektet på himmelen etter Sola og Månen. Siden Venus går i bane innenfor Jorda, gjennomgår Venus faser på samme måte som Månen. Syklusen fra ny til ne tar 584 dager. Det er ikke mulig å observere Venus ved full fase, da står Sola mellom Venus og Jorda. Venus' bane er svakt skråstilt i forhold til ekliptikken, og derfor passerer den normalt ikke foran solskiven når den passerer mellom Jorda og Sola. Men med sjeldne og forutsigbare mellomrom inntreffer såkalte venuspassasjer, og Venus ses som en svart prikk som beveger seg over solskiven. Venuspassasjer kommer i par, og det er omtrent 120 år mellom parene. Den siste passasjen skjedde i 2004, og den neste vil komme i 2012. Neste par blir i hhv. 2117 og 2125.

Jorda og Månen

Jorda ligger 150 millioner kilometer fra Sola, og det tilsvarer én astronomisk enhet (AE). Lyset fra Sola bruker 8 minutter på å nå oss. Skulle Sola mot formodning plutselig slukke, har vi altså 8 minutter på oss før det blir mørkt⁶.

Jorda er den største av steinplanetene. I motsetning til Merkur og Venus, har vi én naturlig satellitt (himmellegame som går i bane rundt en planet), Månen. Jorda har 81 ganger Månens masse. Bare 4 av solsystemets omtrent 170 andre måner i solsystemet er mer massive.

Jordas tetthet er, som tidligere nevnt, høy. Tunge grunnstoffer er derfor dominerende. Jordas radius er 6300 km, og innerst finner vi en kjerne som strekker seg 3400 km fra planetens sentrum. Kjernen består for en stor andel av jern (80 %), nikkel, samt en del andre metaller i mindre forekomst. Temperaturen er svært høy, omtrent 7000 °C, i samme størrelsesorden som Solas overflate. Mesteparten av varmen skyldes radioaktivitet, men også noe er restvarme fra solsystemets dannelse. Den jernholdige kjernen, og strømminger i den, er forutsetningen for Jordas magnetfelt.

Mantelen er Jordas tykkeste lag og strekker seg fra jordskorpen og ned til kjernen. Mantelen er i underkant av 3000 km tykk, og er i fast form og består av en høy andel silisium. Selv om mantelen er fast, beveger den seg over geologisk tid og forårsaker platetektonikk.

Jordskorpen som omslutter mantelen er svært tynn, mellom 5 og 70 km, og er delt inn i separate plater. Platene beveger seg i forhold til hverandre, og et eksempel på det er Island er i ferd med å dele seg. 71 % av Jordas overflate er dekket av vann, mens de resterende 29 % utgjøres av fjell, platåer, ørkener og

⁶ De store avstandene i universet gjør at vi i praksis ser tilbake i tid når vi observerer i teleskoper. Proxima Centauri, stjernen som er nærmest Sola, ligger 4,2 lysår unna. Lyset bruker med andre ord 4,2 år på å tilbakelegge distansen, og vi ser Proxima Centauri slik den var for 4,2. Andromedagalaksen ligger 2,3 millioner lysår unna, og vi ser derfor galaksen slik den var for 2,3 millioner år siden, det vil si på den tiden *Homo habilis* så dagens lys. På denne måten kan vi dermed få informasjon om hvordan universet så ut tidligere.

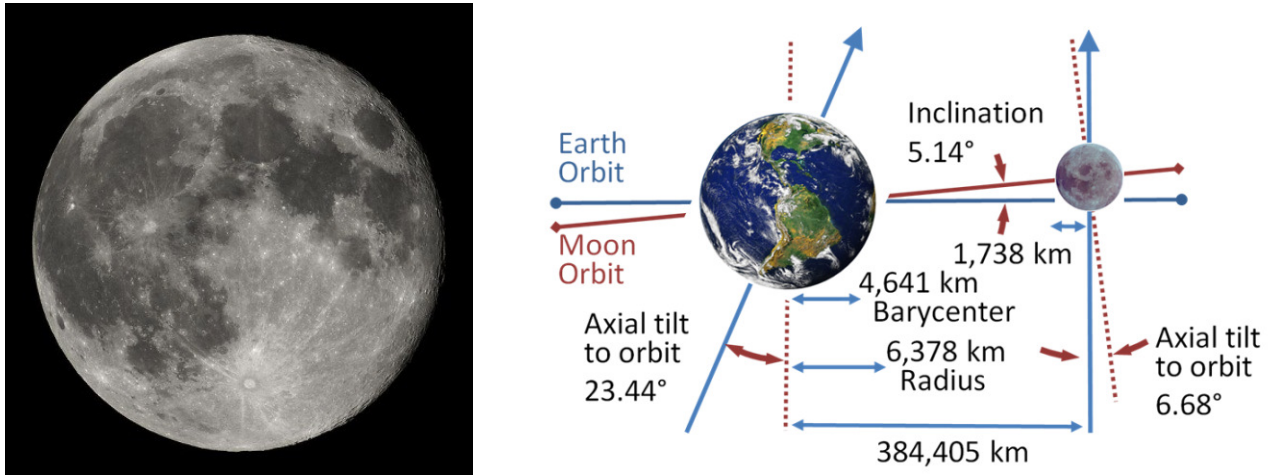
andre landskapsformer. Jordas overflate er dynamisk: Plater krasjer, går fra hverandre, fjell bygges og forvitres, hav kommer og går. Atmosfæren består av 78 % nitrogen, 21 % oksygen, i tillegg til en rekke andre gasser i små konsentrasjoner. Karbondioksid, som er viktig i drivhussammenheng, utgjør bare 0,03 %.

Jorda er den eneste planeten vi vet det finnes liv på. Nylig ble det oppdaget en eksoplanet (en planet som går i bane rundt en annen stjerne) med egenskaper som til en viss grad tilrettelegger for liv, men det er langt fram å påvise at det faktisk eksisterer liv andre steder.

Hva er det som gjør Jorda så velegnet for liv?

- *Kjemiske forutsetninger:* Karbon, nitrogen, hydrogen og oksygen utgjør 96 % av all biomasse, og det er allment antatt at liv på andre planeter er basert på samme biokjemi. Sammen utgjør disse grunnstoffene viktige byggeklosser for livet på Jorda: Karbon kan inngå i utallige kjemiske forbindelser, både med seg selv og andre grunnstoffer. Vann – H₂O – i flytende form er nødvendig for liv slik vi kjenner det, siden kjemiske reaksjoner i cellen foregår i et vandig miljø. Vann er livets løsningsmiddel.
- *En kombinasjon av avstand til Sola og Solas størrelse:* Hadde Jorda vært nærmere Sola, ville det, som vi har sett, vært for varmt her – på Merkur er gjennomsnittstemperaturen 613 °C. Lenger ute i solsystemet er det for kaldt. For mye eller for lite energi hadde også vært et problem dersom Sola hadde vært større eller mindre; en liten stjerne vil gi for lite energi gitt avstanden mellom Sola og Jorda, og en større stjerne ville medført for høy temperatur. I tillegg lever massive stjerner vesentlig kortere enn mindre stjerner, så en massiv sol ville ha brukt opp brennstoffet sitt før livet oppstod. I tillegg er det en forutsetning at stjernen ikke varierer i energiutstråling. Liv kan eksistere i totalt mørke ved å basere seg på andre kjemiske forbindelser enn det aerobe organismer gjør, men fotosyntese er imidlertid en langt mer effektiv måte å skaffe energi på, og det er ikke uten grunn at de store økosystemene baseres på fotosyntese. Uten Sola, ingen fotosyntese.
- *Jordas bane og rotasjon:* Hvis banen er svært eksentrisk vil solinnstråling variere mye, og det kan føre til at temperaturen varierer over og under frysepunktet eller kokepunktet til vann. Flytende vann er som nevnt en forutsetning for liv slik vi kjenner det. Døgnet bør være akkurat passe langt, ellers kan temperaturvariasjonene bli for store. Moderate årstider, dvs. en passe vinkel mellom baneplan og rotasjonsakse, har antageligvis en positiv effekt for liv.
- *Masse og atmosfære:* Jorda er massiv nok til at gravitasjonen kan holde på en atmosfære. Mars er vesentlig mindre, og atmosfæren er tilsvarende tynnere. En atmosfære er viktig av flere grunner. Ikke bare forsyner atmosfæren artene på Jorda med gasser som inngår i livsprosessene, men atmosfæren beskytter også mot skadelig stråling fra Sola (for det meste protoner, elektroner og heliumkjerner).
- *Magnetfelt:* Sammen med atmosfæren beskytter magnetfeltet oss mot kosmisk stråling. Noe av strålingen trenger dog igjennom, men kosmisk stråling utgjør bare en liten del av den naturlige bakgrunnsstrålingen vi får ved bakkenivå. Vi skal være glade for beskyttelsen fra atmosfære og

magnetfelt. For høye strålingsdoser, med tilhørende skader på DNA, er nemlig et av de største problemene ved å oppholde seg i verdensrommet over lenger tid.

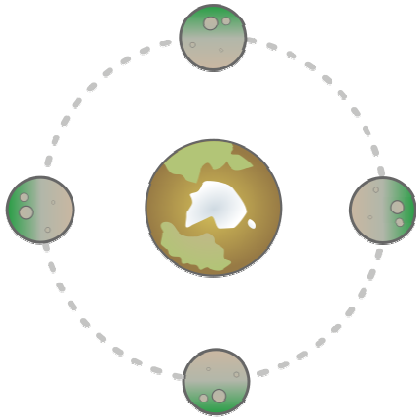


Figur 10. Venstre: Månen sett ved fullmåne [27]. Overflaten er pepret med kratre og mørkere områder som kalles maria (hav). Høyre: Figuren viser mange tall, men relevante i denne sammenhengen er Jordas rotasjonsakse på $23,44^\circ$ i forhold til ekliptikken og Månens baneplan. Månen går ikke i ekliptikken som Jorda, men har vinkel på $5,14^\circ$ i forhold til ekliptikken, hvilket bestemmer når sol- og måneformørkelser inntreffer [27].

Månen er viktig på mange måter. Ikke bare har Månen har mange kulturuttrykk (bare tenk på varulver og månesyke), men også langt viktigere (og mer etterprøvbare!) effekter som tidevann og en ørliten forlengelse av døgnet. Som nevnt er Månen relativt stor. Radien er 1700 km, hvilket tilsvarer 0,3 % av Jordas radius. Månen har også høy massetetthet, $3,3 \text{ g/cm}^3$. Bare Jupiters måne Io har høyere tetthet.

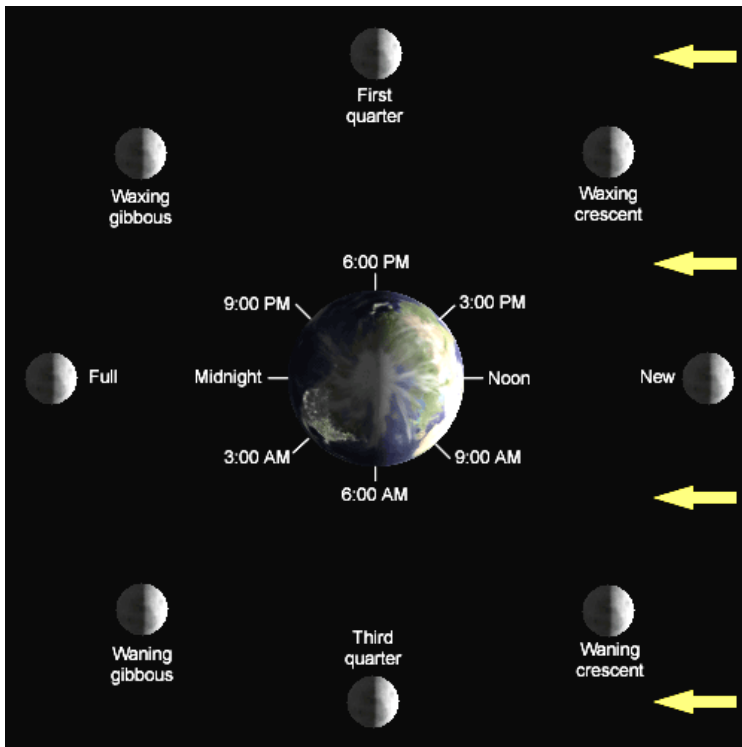
Høy tetthet gir oss mistanke om stor andel av tyngre grunnstoffer. Og ganske riktig, Månen har en relativt liten kjerne med høy andel av jern, faktisk høyere enn andel enn Jordas kjerne. Mantelen består i stor grad av silisiumforbindelser, som på Jorda, men med en høyere andel jern. Skorpen varierer i tykkelse, fra nesten ikke noe til omtrent 100 km. “Mannen i Månen”, som vi kan se med litt fantasi, skyldes områder som i varierende grad reflekterer sollyset. De mørke områdene kalles hav (singl. mare, pl. maria) og består av vulkansk materiale (Månen har ikke vært geologisk aktiv på flere milliarder år). Den andre hovedtypen terreng på Månen er høylandsslettene, som er eldre enn havene. Slettene utgjør 83 % av overflaten. Siden slettene er så gamle, er det tett i tett med kratre. I solsystemets barndom var nedslag av “overskuddsmateriale” langt vanligere enn i dag, og det er disse nedslagene som har blitt bevart.

Det finnes flere hypoteser som forklarer Månens opprinnelse, men en kollisjon mellom en asteroide (dvs. en gigantisk potetformet stein) på størrelse med Mars og Jorda er den mest sannsynlige forklaringen. Datering av steiner fra Månen tyder på at sammenstøtet skjedde før Jorda hadde rukket å bli 100 millioner år gammel. Kollisjons-hypotesen foretrekkes fordi modellen best forklarer observasjonene: Månen har liten kjerne fordi mesteparten av jernet hadde rukket å synke inn til kjernen av Jorda før kollisjonen, og man ser for seg at kollisjonen ga rotasjonsaksen et puff, og dermed innførte årstider på Jorda.



Figur 11. Fra Jorda er alltid samme utsnitt av Månens overflate som er synlig fordi Månen bruker like lang tid på å rotere én gang rundt sin egen akse og rundt Jorda [30].

Månen som går i bane rundt. Hold blikket festet mot et punkt i rommet mens du går rundt Jorda. I dette tilfellet vil jordboerne se både ryggen og forsiden din. For at bare én side av deg skal være synlig fra Jorda, må du rotere mens du går rundt – og du må rotere én gang om din egen akse for hver rotasjon rundt Jorda (fig. 12).



Figur 13. Månefaser. Figuren viser hvordan Månen roterer rundt Jorda sett høyt over Jordas nordpol. Gule piler illustrerer solstråling. Månen går med klokka rundt Jorda [26].

solførørkelse er Månen mellom Jorda og Sola og blokkerer sollyset helt eller delvis (fig. 13). Måneformørkelser inntreffer når Jorda ligger på siktelinjen fra Sola mot Månen og blokkerer for lyset

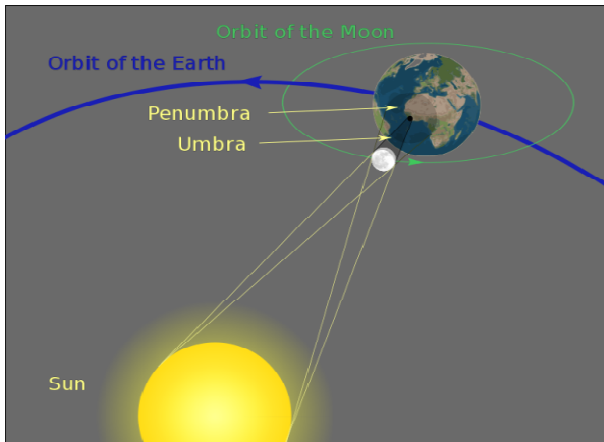
Dark side of the Moon er et av Pink Floyd sine mest berømte album – men har Månen egentlig en konstant mørk side? Nei. Sett fra Jorda har den imidlertid en bakside. Vi ser nemlig alltid samme utsnitt av Månens overflate. Det skyldes fenomenet “bundet rotasjon”. I klartekst betyr det at Månen roterer nøyaktig en gang om sin egen akse på samme tid som den bruker på å rotere rundt Jorda, hvilket tilsvarer 29,5 dager. Men tilsvarer ikke én runde rundt Jorda én kalendermåne? Ikke helt, bare nesten. Kalenderen vår er et felles minste multiplum mellom mange faktorer, astronomiske som kulturelle [7].

En vanlig misforståelse er at månen ikke roterer om egen akse, og at det medfører at månen alltid viser samme ansikt. Slik er det altså ikke. Hvis Månen ikke roterte, ville vi sett ulike sider av Månen. Det kan enkelt illustreres: Sett en gjenstand på gulvet som representerer Jorda, mens du er

Som sagt, Månen viser oss samme ansikt hele tiden, men det varierer i hvilken grad overflaten er opplyst – i løpet av én rotasjon rundt Jorda går Månen, sett fra Jorda, gjennom faser fra ny til full (fig. 12). Når Månen er plassert i siktelinjen mot Sola, er det overflaten som vender fra oss som opplyses. Med andre ord: Ikke noe reflektert lys fra Månen når oss jordboere, og vi kan derfor ikke se Månen. Etterhvert som Månen roterer rundt Jorda blir den opplyste overflaten synlig fra Jorda, og når det har gått omtrent én uke, får vi halvmåne. Etter enda én uke er Jorda plassert mellom Månen og Sola, og da blir hele måneskiven opplyst. Nå er det fullmåne. Deretter svinger Månen hen, og etter to uker er Månen igjen ikke synlig.

Fra tid til annen inntreffer sol- og måneformørkelser. Ved

som er på vei fra Sola mot Månen. Hvis Jorda og Månen hadde hatt det samme baneplanet, ville sol- og måneformørkelse inntruffet hver gang hhv. Månen eller Jorda sperrer for lyset til den andre, dvs. én sol- og måneformørkelse pr. måned. Men siden Månens baneplan avviker fra Jordas baneplan med drøye 5° (fig. 10), treffer ikke skyggen som kastes bak Månen eller Jorda. Avhengig av hvor stor del av sollyset som blokkeres ut, får vi fullstendige eller delvise formørkelser.



Figur 14. Solformørkelse inntreffer når Månen kaster en skygge på Jorda. Formørkelsen kan være total (helskygge = umbra) eller delvis (halvskygge = penumbra). Måneformørkelser skyldes at Månen befinner seg i Jordas skygge, altså på motsatt side av Jorda slik det er illustrert på figuren [28].

Månen blir ikke helt mørk ved en måneformørkelse, men får et rødlig skjær. Lyset fra Sola brytes i atmosfæren, og det dannes en konisk lyssøyle bak Jorda som treffer Månen. Det blå lyset spres lettest i atmosfæren, så etter at lyset har vært gjennom atmosfæren dominerer det røde lyset (solnedgang og soloppgang er rød av samme årsak – lyset må gå en lengre strekning gjennom atmosfæren, og det blå lyset spres i større grad enn det røde).

Det krever litt innsats å se samspillet mellom Sola, Månen og Jorda – årstider, månefaser, formørkelser, osv. krever stor evne til å tenke geometrisk. Modeller kan være til nytte, se for eksempel simuleringer på Youtube (tittel: Why Does the Moon Look Like It Changes?) eller gratisprogrammet Celestia.

Observasjon: Månen er et naturlig sted å starte for nybegynnere: Umulig å ikke se, og Månen byr i det hele tatt på mange muligheter. Et prosjekt over tid kan være å følge månefasene. Neil Armstrong satte sine fotspor på den siden av Månen som vender mot oss, kanskje dere klarer å finne området for månelandingen?

Mars – rustrød

1,52 AE fra Sola finner vi Mars som er en rustrød, liten klode oppkalt etter den romerske krigsguden (lengst til høyre i fig. 9). Tidligere har vi sett at Venus på flere vis har likhetstrekk med Jorda, men også Mars kan minne om Jorda: Mest sannsynlig har planeten hatt en geologisk historie mye lik Jordas, men planeten er nå nedfrosset i en evigvarende istid. Døgnet på Mars er omtrent like langt som her hos oss, og siden Mars' rotasjonsakse står like mye på skakke som Jordas, har Mars årstider også. Ett Mars-år tilsvarer 686 av våre døgn, så årstidene varer bortimot seks måneder (men på Mars spiller varierende avstand til Sola også en viktig rolle for temperaturen). På Mars er det også en del vann, men vannet er nedfrosset ved polene. På grunn av lavt atmosfæretrykk kan ikke vann være i flytende form på Mars – men dersom vannet tidligere har vært flytende, kan Mars ha vært et langt mer vennlig sted for liv.

Oppbygningen er i hovedtrekk lik Jorda med jernholdig kjerne i sentrum, og en mantel med mye silisium. Gjennomsnittlig tykkelse på skorpen er ganske lik Jordas, men sett i forhold til planetens størrelse, er Jordas skorpe bare en tredel av Mars'. Ellers har Mars vulkaner (blant annet solsystemets høyeste vulkan, Olympus Mons, som rager 24 km til værs), daler og ørkenner.

Men forskjellene mellom Mars og Jorda er også store. Planeten har bare 10 % av Jordas, og har følgelig en svak gravitasjon og dertil tynn atmosfære. Atmosfæretrykket er under 1 % av Jordas atmosfæretrykk, og mesteparten av atmosfæren består av CO₂. Gjennomsnittstemperaturen på Mars er -55

°C, mens minimum og maksimum er henholdsvis -133 °C og 27 °C. Tettheten er lavere enn Jordas, og er på 3,9 g/cm³.

Ingen andre planeter er så spunnet inn i populærkulturen som Mars. På slutten av 1800-tallet påstod den italienske astronomen Schiaparelli at det fantes kanaler på Mars overflate. På grunn av sleivete oversettelse fra italiensk til engelsk, fikk de påståtte kanalene rykte på seg for å være bygd, og ikke resultat av naturlige geologiske prosesser. Kanalene lot seg ikke verifisere, og i dag regnes det med at en optisk illusjon var opphavet til all ståheien. På 1930-tallet utbrøt det panikk på grunn av Orson Welles radioversjon av H. G. Wells Klodenes krig. Folk trodde det hadde landet marsboere i New York. Klodenes krig ble nylig innspilt med Tom Cruise i hovedrollen, og Mars Attacks! fra 1996 ble en stor kassasuksess.

Men finnes det liv på Mars? I 1996 publiserte McKay et. al noe som kunne være fossiliserte mikroorganismer fra en meteoritt som kom fra Mars. En faglig diskusjon fulgte, men i dag bestrider de fleste denne konklusjonen. Men Mars er under kontinuerlig utforskning, så hvem vet hva som vil bli oppdaget. Uansett vil det neppe være små, grønne menn som spretter opp fra bak en stein, men mer i retning av prokaryoter.

Dusinvis av sonder og landingsfartøy har utforsket Mars. I 2004 landet de robotiske roverne Spirit og Opportunity på Mars. Spirit satte seg etter en stund fast, men Opportunity er fremdeles operativ og sender informasjon om geologiske prosesser, blant annet om hvordan fysiske miljøforhold kan ha vært tidligere.

Observasjon: Mars er lett å finne på himmelen på senvinteren. Lysstyrken er bare overgått av Sola, Månen, Venus og Jupiter, og den har et tydelig rødt skjær.

Asteroidebelte – “steinene” mellom Mars og Jupiter

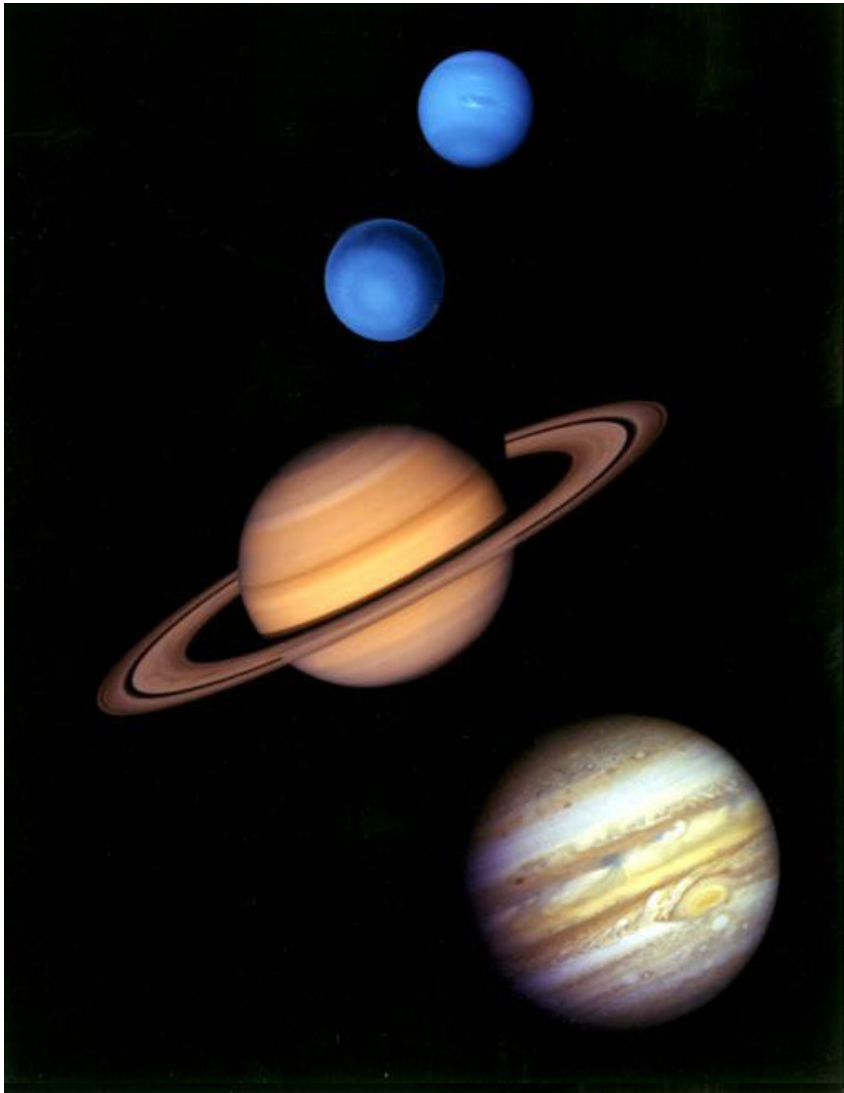
Solsystemet inneholder en rekke mindre objekter med mer uforutsigbar oppførsel enn de store planetene. Mellom Jorda og Mars finnes det et belte med asteroider – irregulære klumper av stein (og noe jern og nikkel) som er for små til å innta kuleform. De er derfor for små til å regnes som planeter, men de har sin egen bane rundt Sola. Det finnes titusenvs av asteroider i solsystemet vårt. Bare tre (Vesta, Pallas og Ceres) er større enn 300 km i diameter, mens de fleste er mindre enn 1 km i diameter. Asteroidene er dannet fra det samme materialet som planetene, men ble aldri samlet til en planet på grunn av Jupiters sterke gravitasjon. Solsystemet rommer flere asteroider enn de som går i bane mellom Mars og Jupiter, men det store flertallet av de kjente asteroidene finnes nettopp her.

Steinplanetene – forskjeller og likheter

	Merkur	Venus	Jorda	Mars
Middelavstand til Sola	0,47 AE	0,73 AE	1 AE	1,52 AE
Masse (andel av Jordas)	0,055	0,82	-	0,11
Oppbygning	Stor kjerne av Fe og Ni Mantel: Si-forbindelser	Kjerne av Fe og Ni Mantel: Si-forbindelser	Kjerne av Fe og Ni (mindre enn hos Venus og Merkur) Mantel: Si-forbindelser	Kjerne av Ni og Fe Mantel: Si-forbindelser.
Atmosfæretrykk og viktigste gass(er)	Neglisjerbar	9,3 MPa CO ₂	101 kPa N ₂ og O ₂	0,64 kPa CO ₂
Magnetfelt	Svakt	Nei	Moderat	Svakt
Gjennomsnittlig overflatetemperatur	66 °C	460 °C	14 °C	-63 °C
Årstider	Nei	Nei	Ja	Ja
Måner	0	0	1 (Månen)	2 (Phobos og Deimos)

Tabell 1. Sammenligning av steinplanetene. Pascal er måleenhet for trykk. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. $101 \text{ kPa} = 1 \text{ atm}$ = trykket ved Jordas havoverflate. Gjennomsnittlig temperatur på Merkur er moderate 66 °C, men varierer fra -173 °C til 430 °C.

Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun – de fire ytterste kjempene i solsystemet



Figur 15. Gasskjempene. Jupiter ligger nærmest Sola, og deretter følger Saturn, Uranus og Neptun. Jupiter og Saturn har liknende farge, sonering og er i samme størrelsesklasse. Tilsvarende for Uranus og Neptun [29].

sammenlignet med hjemlige forhold, og sentripetalkraften gir planetene en lett flattrykt form. Jorda er heller ikke en perfekt kule, men denne effekten er mer uttalt på kjempeplanetene. Alle de fire gigantene har magnetfelt, og selv om Saturn er mest kjent for det, har alle også ringer. Til sammen har Jupiter, Saturn Uranus og Neptun 163 måner.

Jupiter – solsystemets største kjempe

Jupiter er solsystemets største planet og befinner seg gjennomsnittlig 5,2 AE fra Sola, og bruker 4,3 år rundt Sola. Rotasjonsaksen står nesten rett på baneplanet (rotasjonsaksen avviker bare 3,13° fra å stå rett på ekliptikken), og takket være det, er det ingen årstider å snakke om på Jupiter. Hele 63 måner kretser rundt Jupiter, og gasskjempen er 318 ganger mer massiv enn Jorda. Faktisk har Jupiter 2,5 ganger mer masse enn alle de andre planetene i solsystemet til sammen.

Skulle du mot formodning ende opp på Jupiter eller en av de andre kjempene ytterst i solsystemet (fig. 14), ville det vært en selsom opplevelse, for her er det meste svært forskjellig fra Jorda og de tre andre steinplanetene. Når du setter foten på Jorda, er du ikke i tvil om når det skjer. På en av kjempene vil du derimot ikke oppleve klar landkjenning, rett og slett fordi de i hovedsak består av gasser, og dermed ikke har en klart definert overflate du kan sette føttene på. Mens de innerste planetene for det meste består av metaller og stein fra innerst til ytterst, har de ytre kjempene stein og metall bare i kjernen – en terrestrisk kjerne, som det kalles.

Oppbygningen til Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun har flere konsekvenser: For det første har de til dels ulik rotasjonstid ved polene og ekvator. Videre snurrer de raskt

Jupiter er lett gjenkjennelig med sine vekslende lyse soner og mørke belter (se fig. 14). Jupiter roterer raskere om egen akse enn noen annen planet, og gjør unna en omdreining på omtrent 10 timer. Takket være den raske rotasjonen er skyene i konstant bevegelse øst-vest, men med liten bevegelse nord-sør. Inne i beltene og sonene forekommer det stormer. ”The Great Red Spot” er en slik gigantisk storm og er kanskje det mest iøynefallende ved planeten (fig. 14). Denne stormen overgår alt vi er vant til her på Jorda – den er omtrent 25.000 km lang og 12.000 km bred, og kan dermed sees gjennom et forholdsvis enkelt teleskop.

Jupiter sender ut mer varme enn planeten mottar fra Sola, og stormene vedlikeholdes av varmen som stiger oppover ved hjelp av konveksjon. Grunnen til at Jupiter sender ut mer varme enn den mottar er todelt. For det første gir radioaktivitet i kjernen en del varme, og for det andre trekker planeten seg sakte, men sikkert sammen på grunn av gravitasjonskrefter. Gravitasjonsenergien går over til varmeenergi, og er nok et eksempel på en energiovergang.

Jupiter har en gjennomsnittlig tetthet på $1,3 \text{ g/cm}^3$. Med andre ord består Jupiter av mindre tette grunnstoffer enn kloden vår. Volummessig består atmosfæren av om lag 86% hydrogen og 13% helium. Resten av atmosfæren består av metan (CH_4), ammoniakk (NH_3) og vann (H_2O). Nedover i atmosfære blir hydrogenet tettere og tettere på grunn av det økende trykket. Omtrent 1000 km under skytoppene er trykket høyt nok til at hydrogenet går over til flytende form (tilsvarer Jordas mantel) og dette er den første av Jupiters fire indre regioner.

20.000 km ned endrer hydrogen igjen karakter, og får egenskaper som et metall – det begynner å lede varme og elektrisitet. Dette skjer ved 10.000 K, og kalles metallisk hydrogen. Elektriske strømmer i det metalliske hydrogenet genererer et magnetfelt som er 14 ganger kraftigere enn Jordas magnetfelt. Innerst har Jupiter muligens en kjerne av stein, men målingene som så langt er gjort, har ikke endelig bekreftet denne hypotesen.

Som nevnt har Jupiter ikke mindre enn 63 måner. Fire av dem, Io, Europa, Ganymede og Callisto, ble oppdaget av Galileo Galilei i 1610, og er verdt å merke seg av andre grunner utover den vitenskapshistoriske betydningen. De inngår i et system som på engelsk kalles *orbital resonance*, som på norsk kan oversettes med omløpsresonans. Kort sagt betyr det at to eller flere himmellegemers gravitasjon virker på legemene med jevne, korte mellomrom. Ofte er denne typen vekselvirkning ustabil, men i tilfellet med månene Io, Ganymede og Europa er vekselvirkningen stabil og selvkorrigerende, og sammen med Jupiters gravitasjon blir tidevannskreftene på flere av månene så kraftig at de rett slett slites i stykker med voldsom geologisk aktivitet som følge.

Io, den innerste av månene har 400 aktive vulkaner og er dermed objektet i solsystemet som mest intens geologisk aktivitet. Vulkaner og geysirer kaster 10^{13} tonn materie ut hvert år, og friksjon frigir energi i form av varme tilsvarende 2400 tonn dynamitt hvert eneste sekund! Gravitasjonskrefter slett ikke til å spøke med.

Europa, den sjette månen, har en diameter på 3100 km, og er dermed i samme størrelseskategori som vår egen Måne (der er diameteren 4500 km). Europa består for det meste av silikater, og har en kjerne av jern. Europa har tiltrukket seg mye oppmerksomhet fordi det kan være vann flytende vann under den frosne overflaten takket være varme fra tidevannskrefter. I tillegg har den en ekstremt tynn atmosfære som inneholder noe oksygen. Kombinasjonen av vann og oksygen har gjort at flere har spekulert om det kan være liv på Europa.

Observasjon: Jupiter lyser strekt, og i prinsippet er også de fire mest lysterke månene som allerede er også synlig uten kikkert, men de forsvinner i skinnen fra Jupiter. Månene ligger i Jupiters ekvatorialplan, og

hvis en eller flere av dem mangler, er de enten foran eller bak Jupiter. I et lite teleskop er det også mulig å se de typiske beltene, sonene og “The great red spot”.

Saturn – spektakulære ringer

Saturn er Solsystemets sjette planet, og den nest største. Med sine karakteristiske ringer er kanskje Saturn den mest særpregede planeten (fig. 14). Gjennomsnittlig avstand til Sola er 9 AE, og en tur rundt Sola tar 29,5 år. Saturn er 95 ganger mer massiv en Jorda.

I det store og hele er Saturn og Jupiter temmelig likt bygget opp, men enkelte forskjeller er det. For eksempel har Saturn lavere tetthet enn Jupiter. Saturn ville, om du hadde klart å konstruere et stort nok badekar, flytt i vann. Intet annet legeme har så lav gjennomsnittlig tetthet som Saturn ($0,7 \text{ g/m}^3$). Ironisk nok forbandt alkymister tungmetallet bly med Saturn.

Atmosfæren består av mye hydrogen, en del helium, og en mindre andel tyngre grunnstoffer. Andelen helium er mindre enn på Jupiter. Saturn har også belter, soner og differensiert rotasjon (om lag 30 minutter forskjell ekvator og høyere breddegrader). Saturn er temmelig flattrykt på grunn av rotasjonen. Ved polene er avstanden inn til sentrum av planeten 10 % kortere enn ved ekvator, det tilsvarer omtrent 400 mil. Vinden er svært rask: Ved ekvator er det målt hastigheter opp til 1600 km/t. Til sammenligning har sterk kuling en hastighet på om lag 60 km/t. Siden Saturn er mindre massiv enn Jupiter, er gravitasjonskreftene svakere, og derfor er atmosfæren forholdsvis mye større enn på Jupiter. Av samme grunn har også Saturn en mindre andel metallisk hydrogen enn Jupiter. Forøvrig er Saturn og Jupiter hovedsaklig likt bygget opp.

Saturns berømte ringer er en historie for seg. Avstanden fra innerkant til ytterkant på ringene er 380.000 km – mer enn avstanden fra Jorda til Månen. Men ringene er bemerkelsesverdig tynne. Nye observasjoner antyder at ringene kun er 10 meter tykke! Til tross for sin beskjedne tykkelse reflekterer ringene 80 % av lyset fra Sola (albedo⁷ = 0,80). Ringene består for det meste av stein med varierende størrelse (en stor andel er på størrelse med en terning) og vannis, med innslag av organiske molekyler som gir ringene farge.

Saturn har hele 60 måner. Av dem er Titan den største månen i solsystemet etter Jupiters Ganymede. I motsetning til alle andre måner i solsystemet, har Titan en atmosfære. Til alt overmål er atmosfæren slett ikke puslete; over hver kvadratmeter overflate har Titan ti ganger mer gass enn på Jorda og den har fire ganger høyere tetthet. Hvorfor har Titan atmosfære? Den er rett og slett stor og kald nok. Planeter og måner er nødt til å ha en viss masse for at gravitasjon er sterk nok til å holde på gassene. Men dersom atmosfæren har høy temperatur, blir hastigheten på gassmolekylene så stor at de kan unnsnippe gravitasjonsfeltet (husk at temperatur er et mål på molekylers kinetiske energi). 90% av Titans atmosfære er nitrogen (N_2). Lettere gasser, som hydrogen, har klart å unnsnippe gravitasjonsfeltet.

Observasjon: Mens Jupiter sin rotasjonsakse står nesten vinkelrett på baneplanet, er Saturns rotasjonsakse tiltet 27° , og derfor endrer ringene utseende. I 2009 så vi rett på ringene, men i årene som kommer, vil vi se ringene stadig mer ovenfra, og dermed tydeligere. Planeten er lett synlig, men for å se ringene kreves teleskop med ca. 20x forstørrelse (en vanlig prismekikkert forstørrer typisk 7-8 ganger). Saturn lyser sterkt, og er lett å finne.

⁷ Albedo forteller hvor stor andel lys som reflekteres, og måles på en skala fra 0 til 1 der 0 tilsvarer en overflate som absorberer alt lys og 1 der alt lys reflekteres.

Uranus – helt på skakke

Tar vi et sprang ut fra Saturn finner vi den syvende planeten, Uranus. Gjennomsnittlig avstand til Sola er 20 AE fra Sola, og planeten bruker 84 år på en runde rundt Sola. Bare Jupiter og Saturn har større diameter, men den har mindre masse enn Neptun (Uranus: 14,5 jordkloder; Neptun: 17,1 jordkloder). Så langt ute i solsystemet fra er det lite fult igjen i sollyset, innstrålt solenergi på Uranus er bare 1/400 av det som treffer Jorda (husk at mottatt solenergi er omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden til Sola). Derfor er Uranus kald. Veldig kald. Minimumstemperaturen er -224 °C , og det er kulderekord i solsystemet. Som de andre gasskjempene har Uranus et ringsystem og flere måner.

Hydrogen og helium er de viktigste gassene på alle gasskjempene, men Uranus og Neptun har også innslag av frossent vann, metan og ammoniakk. Det gir Uranus og Neptun et hhv. grønt og blått skjær. Uranus har tre distinkte lag: Innerst er det en liten terrestrisk kjerne, og den omslutes av et skall av vann under svært høyt trykk. Det øverste laget består av hydrogen og helium. Alt i alt gir det en gjennomsnittlig tetthet på $1,27\text{ g/cm}^3$. De to tvillingene i ytterkant av solsystemet kalles ofte iskjemper.

Tidligere har vi sett at Jorda og Saturn sine rotasjonsakser ikke står vinkelrett på baneplanet, men peker mot eller fra Sola avhengig av hvor planeten finner seg i banen. Uranus er enda mer ekstrem i så måte, vinkelen mellom ekliptikken og rotasjonsaksen er bare 8 grader! Om sommeren på den nordlige halvkule peker med andre nordpolen nesten rett mot Sola, og det gir kontinuerlig dagslys på den nordlige halvkule og fullstendig mørke på den sørlige halvkule. Siden Uranus bruker så lang tid på én runde rundt Sola, forblir polene i hhv. mørke og lys i omtrent 42 år.

Til tross for at Uranus så vidt kan skimtes med det blotte øyet, ble aldri Uranus tatt inn i varmen blant de andre fem klassiske planetene (Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn) – den skinner for svakt og beveger seg for sakte. Derfor ble den ikke gjenkjent som en planet før i 1781 av William Herschel, som først trodde han hadde sett en komet. Uranus ble dermed den første planeten som er oppdaget i nyere tid og ved hjelp av teleskop.

Observasjon: Planetene hittil (Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn) er alle mer lyssterke enn de fleste stjerner. Uranus ligger imidlertid på grensen for hva som er synlig med det blotte øyet, men er godt synlig med en prismekikkert, og med et noe større teleskop kan man se en grønnaktig disk. Det er likevel ikke et objekt for nybegynnere.

Neptun – ble oppdaget fordi den måtte være der

Etter at Uranus ble oppdaget i 1781 ble planetbanen nøye kartlagt. Men det var noe som ikke stemte, for selv om gravitasjon fra alle kjente legemer i solsystemet ble tatt med i beregningene, oppførte ikke Uranus seg som forventet. Enten var det noe feil med Kepler og Newton sine lover, eller så måtte det være noe annet der ute som dro i Uranus. Og ganske riktig, i 1846 viste det seg å være en planet der de matematiske modellene predikerte at det skulle være en planet.

Figur 5 viser at avstandene i det indre solsystemet er mindre enn avstandsforholdene lenger ut – det er et sprang på 10 AE fra Uranus til Neptun, mens det fra Jorda til Mars bare er 0,5 AE. Neptun bruker 165 år på en runde rundt Sola. Neptun er i store trekk lik Uranus: Innerst er det en terrestrisk kjerne, deretter et skall av vann, og ytterst et lag med hydrogen og helium. Neptun er som nevnt litt mer massiv enn Uranus og er litt tettere med sine $1,64\text{ g/cm}^3$.

Uranus har en overflate som er uten synlig mønstre, men Neptun har klarere værmønstre, blant annet en mørk flekk som kan sammenlignes med Jupiters flekk. Vindhastighetene er også svært høye, opp

mot 2100 km/t. Neptun har også et ringsystem, men det er svært fragmentert og ble endelig stadfestet så sent som i 1989 av romsonden Voyager 2.

Observasjon: Neptun er usynlig for det blotte øyet, men kan ses i en 7x50 prismekikkert. Uranus er, som Neptun, ikke et objekt for nybegynnere.

Gasskjempene – forskjeller og likheter

	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
Middelavstand til Sola	5,2 AE	9 AE	20 AE	30 AE
Masse (andel av Jorda)	318	95	15	17
Oppbygning	Terrestrisk kjerne omsluttet av metallisk H, mantel av H _(l)	Som Jupiter, men mindre kjerne og lavere andel metallisk H.	Terrestrisk kjerne omsluttet av H ₂ O _(l) , mantel av H _(l) og He _(l)	Som Uranus
Utseende	Ingen fast overflate; gradvis tettere; belter og soner; stormer	Ingen fast overflate; gradvis tettere; belter og soner svakere enn Jupiters; Stormer	Ingen fast overflate; gradvis tettere. Svake belter og soner. Stormer. Blå pga. CH ₄	Ingen fast overflate; gradvis tettere. Svake belter og soner. Stormer. Blå pga. CH ₄
Atmosfære	H, He	H, He	H, He, noe CH ₄	H, He, noe CH ₄
Magnetfelt	Ja	Ja	Ja	Ja
Årstider	Nei	Ja	Ja	Ja
Antall måner	63	62	27	13

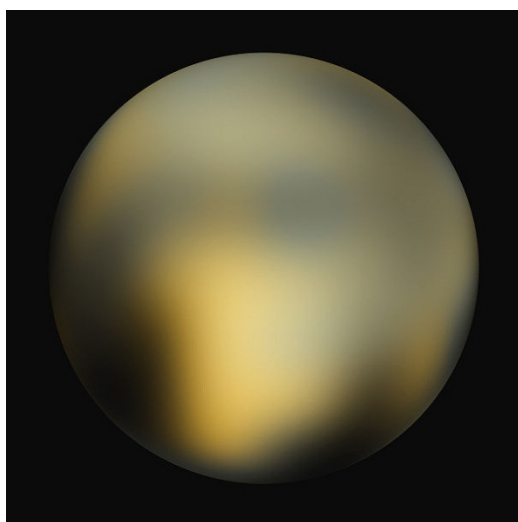
Tabell 2. Sammenligning av gasskjempenes egenskaper.

Utenfor Neptun

Det er vanskelig å få oversikten over legemene som finnes i rommet utenfor Neptun, men samlet kalles de trans-neptune objekter (TNO). Videre deles rommet utenfor Neptuns bane inn i Kuiperbeltet, spredningsskiven og Oortskyen.

Kuiperbeltet strekker seg fra 30 AE til 55 AE fra Sola, og består av rester som fra solsystemets dannelse – små objekter bestående av frossen metan, ammoniakk og vann. Flere enn tusen objekter er funnet i Kuiperbeltet, og mange flere finnes sannsynligvis. Spredningsskiven er delvis overlappende med Kuiperbeltet og inneholder planetliknende objekter (minor planets), men spredningsskiven strekker seg utenfor Kuiperbeltet, og ligger også over og under ekliptikken. Oortskyen er en sky av kometer som strekker seg langt utenfor Neptuns bane, kanskje så langt som 50,000 AE (det tilsvarer nesten et lysår).

Bortenfor Neptun er det svært lite lys som når objektene, og tilsvarende lite lys reflekteres tilbake mot våre teleskoper – observasjoner er derfor svært vanskelige og kunnskapen om den ytre delen av solsystemet har en del mangler.



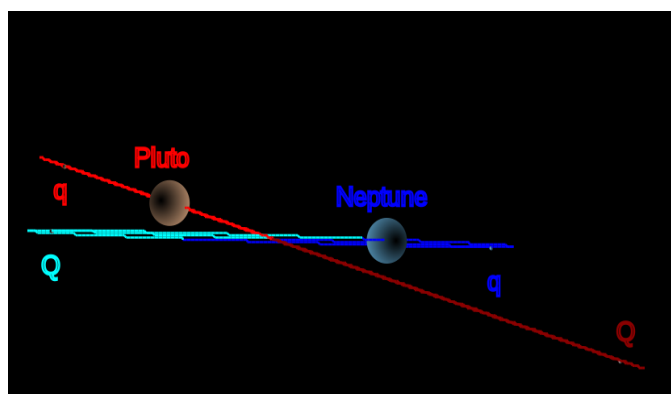
Figur 12. På grunn av den store avstanden til Pluto, er det ikke mulig å ta detaljerte bilder av overflate. Bildet over er det beste vi har, og er tatt av romteleskopet Hubble.

Pluto – var tidligere en planet

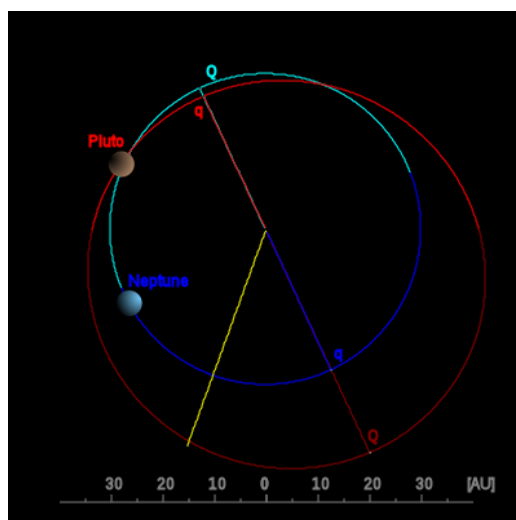
Pluto (fig. 16) ble oppdaget i 1930, og ble oppdaget på samme måte som Neptun, det vil si – ved å analysere forstyrrelser i Uranus' bane, ble det beregnet hvor Pluto måtte befinne seg.

Definisjoner endres som sagt over tid, og Pluto er ikke lenger i det gode selskap av planeter, men regnes nå som en dvergplanet. Pluto er kuleformet og går i bane rundt en stjerne, men har ikke oppfylt kravet om å rydde opp i nabolaget sitt og blir derfor regnet som en dvergplanet.

Selv da Pluto var inne i det gode selskap av ekte planter var den likevel en særting – Plutos bane rundt Sola har et par merkelige karaktertrekk. For det første er banen svært elliptisk, den er så flattrykt at Pluto noen ganger er nærmere Sola enn Neptun (fig. 17). Avstanden til Sola er gjennomsnittlig 40 AE fra Sola. For det andre har Pluto et



Figur 13. Figurene viser Pluto og Neptun sine baner sett hvv. Fra siden (over) og ovenfra (høyre). Over: Plutos bane er svært skråstilt i forhold til ekliptikken. Høyre: Plutos bane er svært eksentrisk og er enkelte ganger nærmere Sola enn det Neptun. Plutos bane er rød, og Neptuns bane er blå. Mørk farge på planetbanene indikerer nivået under ekliptikken.



helt annet baneplan enn de andre planetene. Mens Jorda og de andre planetene ligger omtrent på samme skive, har Plutos bane en skjevhet på 17° i forhold til ekliptikken (fig. 17).

Så langt borte fra Sola er det kaldt. Temperaturen på Plutos overflate er kjølige -230 °C, og varierer ikke så mye. Pluto er også liten, den har stusselige 3,3 % av Jordas masse. Pluto har tre måner, Charon, Nix og Hydra. Vi vet relativt lite om Pluto i forhold til de andre planetene fordi den store avstanden gjør at det ikke er mulig å avbilde for eksempel overflatestrukturer (fig. 16). Sonden New Horizons ankommer Pluto i 2015, og da vil vi få mer informasjon. Men noe vet vi: På bildet, ser vi at albedo varierer mye, og overflaten består overveiende av 98 % nitrogen-is, mens mantelen består av vann-is. Kjernen består sannsynligvis av stein. Enkelte regner Pluto som en del av Kuiperbeltet.

Observasjon: Det er i prinsippet mulig å observere Pluto i et amatørteleskop, men det er svært krevende.



Figur 14. Kometen Hale-Bopp [23]

sannheten, men det er ikke den hele og fulle sannhet. Riktignok består kometer av vann-is, men også stein, støv karbonmonoksid, karbondioksid, metan og ammonium forekommer. I tillegg er det også observert ulike organiske molekyler som hydrokarboner, formaldehyd, og nå nylig ble det bekreftet at prøven som ble tatt av kometen Wild 2 inneholdt aminosyren glysin.

Fra hverdagslig erfaringer vet vi at is reflekterer mye lys, men overraskende nok er kometer blant de mørkeste objekter i verdensrommet. Halleys komet reflekterer eksempelvis kun 4 % av innkommende sollys, og andre kometer har en albedo på drøy 0,02. Muligens skyldes det mørke, asfalt-liknende organiske molekyler som blir igjen når isen fordamper.

Kometer – kameleoner ytterst i solsystemet

Utenfor Pluto finnes det flere reservoarer med kometer. Kometene med kortest omløpstid (typisk under 200 år) holder til i Kuiperbeltet eller spredningsskiven før Neptun gir dem et gravitasjonsmessig puff og river dem løs og sender dem i retning av det indre solsystemet. Langdistanseløperne med omløpstid på tusener av år stammer fra Oortskyen som ligger enda lenger ut enn spredningsskiven, og dyttes ut av sin tilværelse der på grunn av gravitasjonspuff fra nærliggende stjerner. I alle tre kometreservoarer forekommer det imidlertid også kollisjoner som kan endre kometers bane i vår retning.

Fra å leve et stillferdig liv som uanselige, skitne isklumper i solsystemets ytterkant endrer de personlighet når de nærmer seg Sola og kommer til syne som lysende, lodne baller (fig. 18). Kometer er ofte karakterisert som skitne snøballer, og det er ikke så langt fra

Men uansett hva den lave albedoen skyldes, er den mørke overflaten med på å varme opp kometene når de nærmer seg Sola slik at den karakteristiske komaen dannes. Koma betyr ”hår” på latinsk og er tåken som omgir en komet. Tåken skyldes at stoffene i kometkjernens overflate sublimerer, de går rett fra fast form til gass. Kometer har også karakteristiske haler, én støvhale og én ionehale (se fig. 18), som stammer fra komaen og dyttes fra sola på grunn av stråling.

Tips til videre lesning

Engelsk Wikipedia har en rekke svært gode artikler om astronomiske fenomener. Søk på ”Jupiter”, ”solar system” etc. Men merk artiklene ikke alltid følger samme mal, hvilket gjør Wikipedia mindre egnet som et helhetlig læreverk.. Noen gjør svært dypt i fysikken, andre er mer overfladiske. Siden Wikipedia er et lappverk, overlapper noen av artiklene og det forekommer faglige hull og mangler

For de som ønsker en faglig, grundig innføring, men som ønsker å unngå tung matematikk, i astronomi er bøker som ”Discovering the Universe” [5] og ”In quest of the Universe” [11] nærmest obligatorisk. Denne type bøker er faglig oppdaterte, svært godt gjennomarbeidet og fylt med gode bilder og figurer. Ikke minst er bøkene helhetlig og tar for seg hele astronomifaget på et grunnleggende nivå, i motsetning til mye av informasjonen på internett som er svært fragmentert. I forbindelse med Astronomiåret 2009 ble aktivitetsheftet *Vårt fantastiske univers* utgitt, og det er myntet på elever i grunnskolen og første klasse på videregående. Heftet gir i første rekke en god oversikt over astronomi, uten å gå i dybden, men det har også en rekke gode lenker. Hjemmesidene til Astrofysisk institutt og Astronomiåret 2009 inneholder også mye godt fagstoff. I referanselista finner du også mye godt lesestoff.

Referanser

1. Aubert, K. E. (2010) Retrieved 25.11, 2010, from <http://www.snl.no/ellipse/matematikk>
2. Celestia. (2009). Retrieved from <http://www.shatters.net/celestia/news.html>
3. Chéreau, F. (2010). Stellarium (Version 0.10.6.1). Retrieved from www.stellarium.org
4. Christensen, U. R. (2006). A deep dynamo generating Mercury's magnetic field. [10.1038/nature05342]. *Nature*, 444(7122), 1056-1058.
5. Comins, N. F., & Kaufmann, W. J. (2008). *Discovering the universe*. New York: W.H. Freeman.
6. Fjørtoft, M. (2004). *Praktisk astronomi* (4. utgave ed.): Abrakadabra Forlag.
7. Gould, S. J. (1999). *Tusenårsskiftet: et fullkomment vilkårlig vendepunkt*. [Oslo]: Cappelen.
8. Gribbin, J. (2008). *Galaxies. A very short introduction*. New York: Oxford University Press.
9. Holm, D. (2006). *Gaia 1-4: natur- og samfunnsfag for barnetrinnet*. Oslo: Gyldendal.
10. Jarman, R., & McAleese, L. (1996). Physics for the star-gazer: pupils' attitudes to astronomy in the Northern Ireland Science Curriculum. *Physics Education*, 31(4), 223-226.
11. Kuhn, K. F., & Koupelis, T. (2001). *In quest of the universe*. Sudbury, Mass.: Jones and Bartlett Publishers.
12. Lelliott, A., & Rollnick, M. (2010). Big Ideas: A review of astronomy education research 1974-2008. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771-1799.
13. Lindberg, D. C. (2007). *The beginnings of western science. The european scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, prehistory to A.D. 1450*. Chicago: The University of Chicago Press.
14. Nimmo, F. (2002). Why does Venus lack a magnetic field? *Geology*, 30(11), 987-990. doi: 10.1130/0091-7613(2002)030<0987:wdvlam>2.0.co;2
15. Nordnorsk, V. (2010). Vitensenteret Retrieved 20.12.2010, from <http://nordnorsk.vitensenter.no/>
16. Schneider, J. (2010). The Extrasolar Planets Encyclopaedia Retrieved 03.12., 2010, from <http://exoplanet.eu/>
17. Science, A. A. f. t. A. o. (2009). Benchmarks for Science Literacy Retrieved 20.12.2010, from <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php>
18. Sjøberg, S. (2009). *Naturfag som allmenndannelse. En kritisk fagdidaktikk* (3. utgave ed.): Gyldendal akademisk.
19. Spilde, I., & Bungum, B. (2006). *Gaia 5-7: naturfag*. [Oslo]: Gyldendal undervisning.
20. Utdanningsdirektoratet. (2010). Læreplan i naturfag Retrieved 16.11.2010, from <http://www.udir.no/grep/Lareplan/?laereplanid=1099072&visning=2>
21. Wikipedia. (21 November 2010 07:22 UTC). Almagest Retrieved 24 November 2010 16:45 UTC, from <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Almagest&oldid=398013275>

22. Wikipedia. (18 December 2010 21:45 UTC). Axial tilt Retrieved 20 December 2010 17:20 UTC, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Axial_tilt&oldid=403078578
23. Wikipedia. (3 February 2011 09:06 UTC). Comet Retrieved 7 February 2011 10:25 UTC, from <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Comet&oldid=411747513>
24. Wikipedia. (23 October 2010 20:50 UTC). Deferent and epicycle Retrieved 24 November 2010 16:52 UTC, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Deferent_and_epicycle&oldid=392472557
25. Wikipedia. (24 November 2010 14:03 UTC). Kepler's laws of planetary motion Retrieved 25 November 2010 09:22 UTC, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kepler%27s_laws_of_planetary_motion&oldid=398631964
26. Wikipedia. (30 January 2011 12:03 UTC). Lunar phase Retrieved 3 February 2011 12:00 UTC, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lunar_phase&oldid=410948956
27. Wikipedia. (4 October 2010 18:46 UTC). Moon Retrieved 5 October 2010 08:59 UTC, from <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Moon&oldid=388735233>
28. Wikipedia. Solar eclipse Retrieved 2 January 2012 13:12 UTC 2012, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Solar_eclipse&oldid=468804564
29. Wikipedia. (22 November 2010 20:54 UTC). Solar System Retrieved 25 November 2010 11:48 UTC, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Solar_System&oldid=398312433
30. Wikipedia. Synchronous rotation, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Synchronous_rotation&oldid=462681616
31. Wikipedia. (19 December 2010 07:42 UTC). TNT equivalent Retrieved 20 December 2010 17:33 UTC, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=TNT_equivalent&oldid=403142662