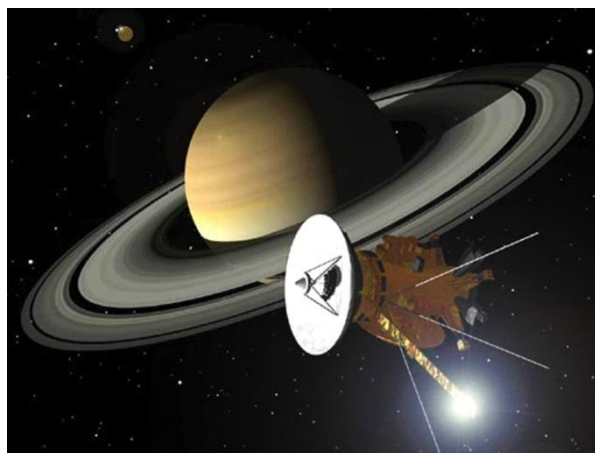


Innhold

1	LEKSJON 9 PLANETENE I VÅRT SOLSYSTEM	1
1.1	JUPITER ET "SOLSYSTEM" I MINIATYR	2
1.2	SOLSYSTEMET	3
1.3	TEMPERATUREN I SOLSYSTEMET	6
1.4	SMÅ FJELL- OG ISKLUMPER GÅR I BANE RUNDT SOLEN.....	8
1.5	MAGNETFELTOBSERVASJONER KAN GI KUNNSKAP OM PLANETENES INDRE STRUKTUR?	13
1.6	PLANETDATA.....	15
1.7	<u>ANIMASJONER</u>	15
1.8	AKTIVITER.....	16
1.9	OBSERVASJONSOPPGAVER:.....	16
1.10	OPPGAVER	17
1.11	FASIT	18

1 Leksjon 9 Planetene i vårt solsystem

De mange romfartøyene har gitt og ny kunnskap om vårt solsystem. Romfartøy har besøkt Månen, Venus og Mars. Instrumenter eller såkalte prober er sendt inn i atmosfæren til Jupiter, andre har kollidert med kometer og asteroider. Romsonder har samlet inn partikkelstråling fra solen (solvind) og ført disse tilbake til Jorden. Europa (ESA) og USA (NASA) har i samarbeid sendt romfartøyet Cassini til planeten Saturn.



Cassini nådde Saturn 1. juli 2004 / NASA

Romferjen Cassini ble skutt opp 15. oktober 1997 og var på plass i sin bane 1. juli 2004. Reisen tok omtrent 6,5 år. Romferjens oppgave var studie av Saturns måner, atmosfære, magnetfeltene og is partiklene i Saturns ringer. Romferjen hadde med seg et landingsfartøy (Huygens) som landet på planetens største måne (Titan) 14. januar 2005. Benytte programmet Starry Night Astrophoto Suite (UiAs fysikklab) og ta en tur rundt Saturn med romferjen Cassini (Animasjon 1)

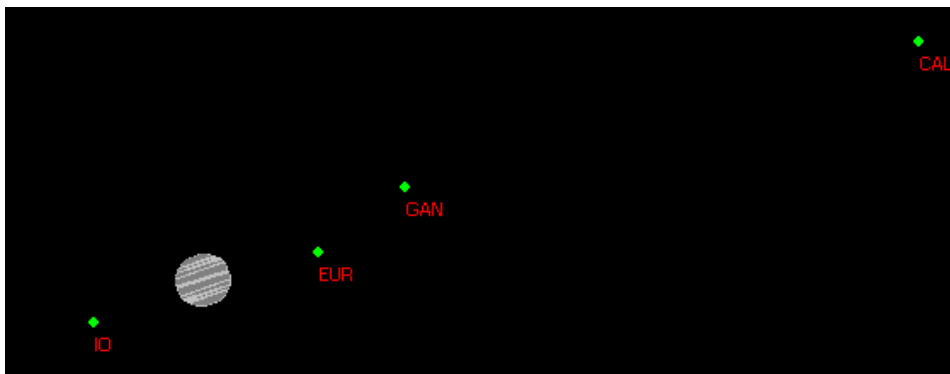
[Mars Reconnaissance Orbiter](#) nådde Mars 10. mars 2006. Romferjens oppgave er å studere overflaten på Mars i detalj, ferjen har tre kamera ombord: spektrometer, radar og kamera for det visuelle området. Bildene fra Orbiter har avslørt detaljer som var utenkelig for astronomene.

En kan stille følgende spørsmål: **Hvorfor har vi den store forskningsaktiviteten i solsystemet vårt?** Planetene og deres måner, asteroidene, kometene og objektene i Kuiper beltet blir undersøkt i detalj. Store datamengde blir hentet ned til bakkestasjonene fra instrumentene i romfartøyene, disse blir undersøkt og ny kunnskap blir utviklet.

Er dette svaret?: **Menneske er på jakt etter opprinnelsen (kilden) til solsystemet og hvilken utvikling solsystemet har hatt fram til i dag.** Astronomene mener at utviklingen startet for 4,5 milliarder år siden. **Skal man forstå opprinnelsen til systemet må man først undersøke systemet slik vi kan observere det i dag.** Det er derfor helt avgjørende å undersøke de delene vårt solsystem består av, systematisk organisere kunnskapen om Solsystemet og undersøke likheter og ulikheter. Delene kan være plantene og deres måner, asteroider, kometer, meteoritter og objektene i Kuiper beltet og Oort skyen. Et annet spørsmål er om tilsvarende systemer som vårt solsystem, finnes i rommet rundt andre stjerne av samme typen som Solen og er der i så fall liv på en av planetene i dette stjernesystemet.

1.1 Jupiter et “solsystem” i miniatyr

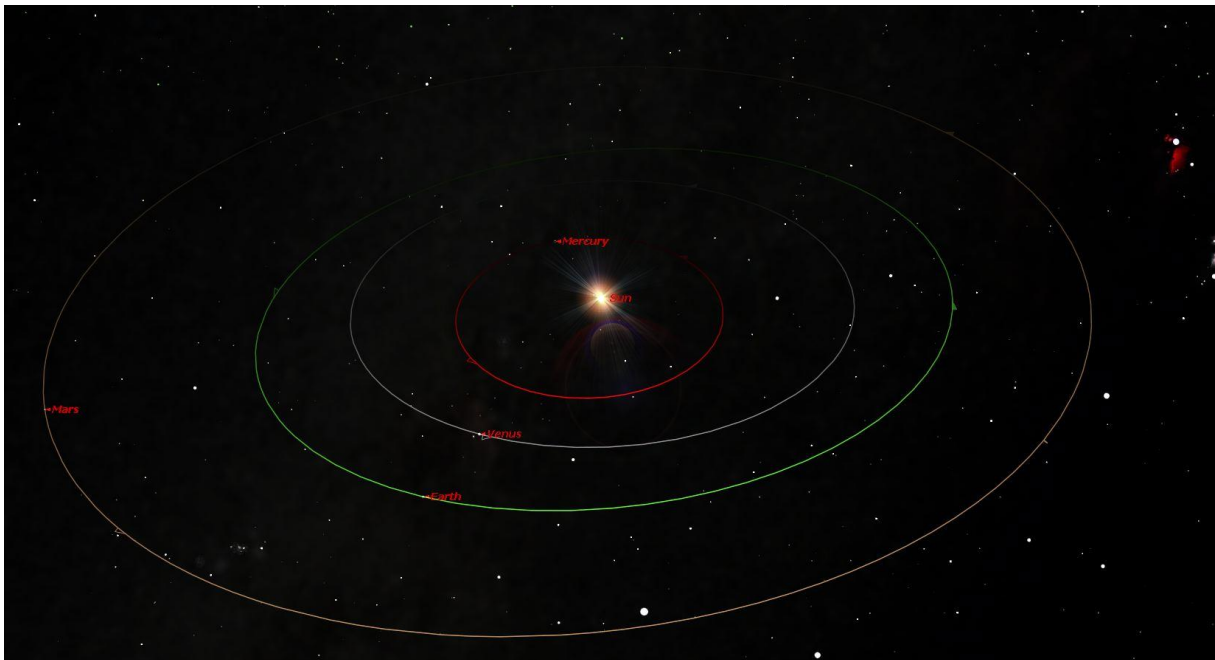
lukketid 1 sek). Går vi ett døgn fram, vil rekkefølgen være: Io, Europa, Ganymede og Callisto (fra venstre mot høyre). Jupiter med alle sine måner er et solsystem i miniatyr.



SkyMap pro 10

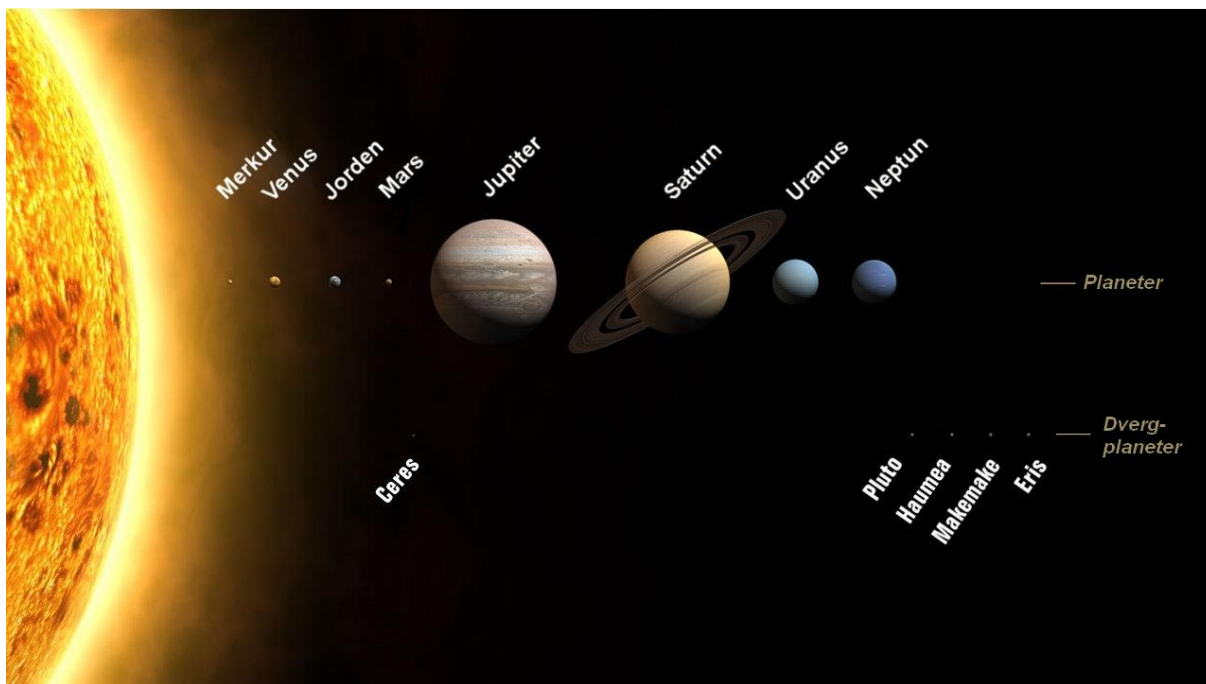
I 1610 oppdaget Galileo Galillei fire ”stjerner” som beveget seg fram og tilbake i forhold til Jupiter. Galillei hadde oppdaget et kopernikansk ”solsystem” i miniatyr. Jupiter har så mange måner at den kan betraktes som et lite ”solsystem”. Astronomene mener månene er dannet av en roterende sky av gass og støv.

1.2 Solsystemet



Bildet viser hvordan de fire fjell planetene står i forhold til hverandre 6. juni 2012 (animasjon 2). Vi har Venus passasje denne dagen klokken omkring klokken fem om morgenen. Når Venus passerer foran solskiven må Jorden, Venus og Solen ligge på linje.

Alle 8 planetene roterer rundt Solen mot klokken (Animasjon 4). Solens ekvatorplan er sammenfallende med planetbaneplanene. Planetbanene er nesten sirkulære (liten eksentrisitet) og baneplanene for de åtte planetene er nesten sammenfallende med ekliptikken. Pluto er ikke lenger definert som en planet, ny kunnskap har ”flyttet” den over i kategorien *trans – Neptunianske objekter*. Asteroidene og kometene kan kollidere med planetene og deres satellitter fordi banene er langstrakte og har baneplan som danner betydelige vinkler med ekliptikken.



Den relative størrelsen for de 8 planetene (NASA).

Figuren viser de fire små fjell planetene, de kalles for **terrestriske planeter**. De fire største planetene kalles for de **jovianske planeter**. Den største tilsynelatende forskjell mellom de to planet gruppene er deres diameter. Diameteren kan beregnes (formelen for de små vinkler) når vi kjenner avstanden til planeten og vinkel diameteren.

An annen stor forskjell mellom de to planet gruppene er deres masser. Massen kan beregnes dersom planetene har måner. Vi kan benytte Newtons versjon av Keplers 3. lov, metoden forutsetter at perioden og størrelsen på banen er kjent (halvparten av stor aksen).

Når vi kjenner diameteren og massen for planetene kan vi beregne massetettheten. De tre innerste planetene har alle en massetetthet litt over 5000 kg/m^3 . Mars har massetettheten ca 4000 kg/m^3 . De jovianske planetene har massetetthet mindre enn ca. 1600 kg/m^3 . På grunn av den lave tettheten må de ytre planetene være sammensatt av lette stoffer som hydrogen og helium.

Alle planetene unntatt Merkur og Venus har måner med fast overflate, i alt er det oppdaget fler enn 160 måner i Solsystemet (Universe 9). De jovianske planetene har så mange måner at de kan betraktes som små solsystemer (Mars har 2, Jupiter minst 63, Saturn minst 61, Uranus minst 27, Neptun minst 13). Astronomene mener at de fleste månene er dannet av en roterende sky av gass og støv.

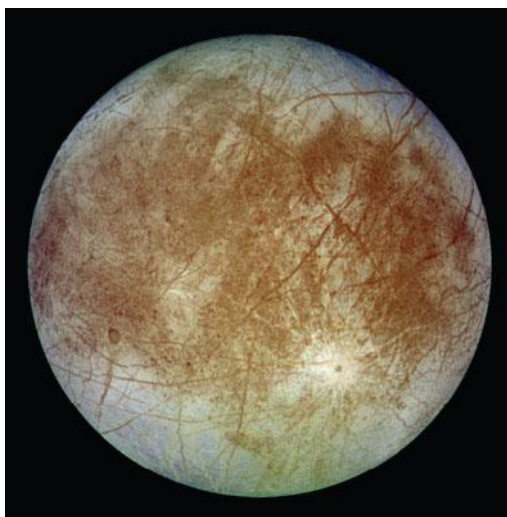


Jupiter og de fire galileiske måner: Ganymede, Io, Europa og Callisto (fra venstre mot høyre). Bildet er tatt 11. mai 2006 klokken 00h24m24s. (Meade10"/Canon EOS 20D, ISO 1600)

De to innerste månene (Io og Europa) av de fire galileiske månene har størst tetthet, disse må bestå av fjell, de ytterste må inneholde store mengder is.

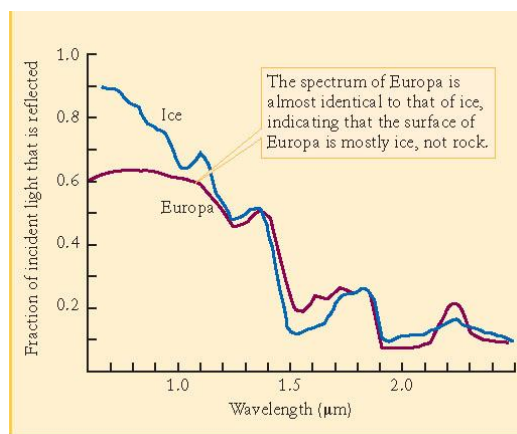
Noen av de ytre små månene til Saturn er "Kuiperflykninger", objekter fra Kuiperbeltet som Saturn har fanget inn. Dvergplaneten i Kuiper beltet har 4 måner, den siste P4 ble oppdaget av Hubble teleskopet i 2011

Massetettheten gir astronomene kunnskap om objektene består av fjell, is eller en blanding av disse elementene. Fjell kan inneholde stoffer som jern, silikon, svovel, aluminium, kalsium nikkell. En forståelse av naturen på planetene og deres måner krever kunnskap om den kjemiske sammensetningen. De kjemiske stoffene kan oppdages av et spektroskop (Observasjon 2). Astronomene har undersøkt det synlige spekteret av Titans atmosfære, de fant spor etter metanmolekylet (CH_4). Det ultrafiolette spekteret av Titans atmosfære viser nitrogenmolekylet (N_2). Romfartøyet Huygens landet på Titan i 2005, spektrometeret om bord bekreftet at atmosfæren inneholdt molekylene nitrogen og metan, Titan er den eneste månen i vårt solsystem som har atmosfære. Titan er den største månen til Saturn. På Jorden er metan en sjelden gass og ettertraktet gass som vi finner som en komponent i naturgassen.



(a) Jupiter's moon Europa

Månen til Europa har ingen atmosfære.



(b) The spectrum of light reflected from Europa

De to infrarøde spektralkurvene viser at Europas overflate må være dekket av mye is fordi kurvene er nesten identiske. Den blå kurven viser spektralkurven når sollyset reflekteres fra en ordinær isflate. Den røde kurven viser spektralkurven når sollyset reflekteres fra overflaten til Europa.

1.3 Temperaturen i Solsystemet

I dagliglivet bruker vi temperaturenheten Celsius, vannet koker ved $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ og vannet går over i fast form ved $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Astronomene bruker temperaturskalaen Kelvin. I naturen er $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ den laveste temperaturen som kan oppnås, denne temperaturen settes lik 0 K . Ved denne temperaturen stopper all bevegelse. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ tilsvarer 273 K .

Planetenes overflatetemperatur er avhengig av planetens avstand til Solen. Middagstemperaturen på Merkur kan bli 700 K ($427\text{ }^{\circ}\text{C}$), sommertemperaturen på Mars kan bli 290 K ($17\text{ }^{\circ}\text{C}$). De ytre planetene mottar mye mindre stråling fra Sola og er av den grunn mye kaldere. Den øvre atmosfæren på Jupiter er omtrent 125 K ($-148\text{ }^{\circ}\text{C}$). Temperaturen i Neptun skyene er 55 K ($-218\text{ }^{\circ}\text{C}$). (Oppgave 2)

Det er temperaturen som bestemmer om et stoff er i fast form, væske eller er i gasstilstand. Hydrogen går fra gass til væske når temperaturen er 21K (-252 °C). Helium blir flytende når temperaturen er 4 K (-269 °C). [Metan](#) går fra gass til væske ved 111K (-162 °C). Kokepunktet for ammoniakk er 240K (-33 °C). Vi sier at en væske koker når den går fra væske til gass, kokepunktet er temperaturen i væsken når væsken koker.

Vann blir til is ved 273K (0 °C). [Karbondioksid](#) blir til is ved temperaturen 195K (-78 °C). [Metan](#) blir til is ved 90K (-183 °C). [Ammoniakk](#) blir til is ved temperaturene 196K (-77 °C). Hydrogen blir fast form ved 14K (-259 °C). Helium blir til fast form ved 1K (-272 °C). (Tallene gjelder for normalt trykk). Vi sier at et fast stoff smelter når den går fra et fast stoff til væske, smeltepunktet er temperaturen når det faste stoffet når over til væske. Legg merke karbondioksid sublimerer ved normalt trykk, det vil si at karbondioksid går direkte fra is til gass.

	Fast form	Væske	Gass
Helium	0 K til 0,95 K	0.95 K til 4,22 K	Over 4,22 K
Hydrogen	0 K til 14 K	14 K til 20 K	Over 20 K
Metan	0 K til 90 K	90 K til 111 K	Over 111 K
Ammoniakk	0 K til 196K	196 K til 240 K	Over 240 K
Vann	0 K til 273 K	273 K til 373 K	Over 273 K
Karbondioksid	0 K til 194 K	sublimerer	Over 194
Nitrogen	0 K til 66 K	66 K til 77 K	Over 77 K
Oksygen	0 K til 55 K	55 K til 91 K	Over 91 K
Jern	0 K til 1811 K	1811 K til 3134 K	Over 3134 K
Nikkel	0 K til 1726 K	1726 K til 3003 K	Over 3003 K

Romskipet Huygens foretok en landing på Saturn månen Titan (2005) og fant at der ”regnet” metan og tok bilder av metanelever. Dersom vi antar samme trykk på Titanoverflaten som på Jorda må temperaturen på Titans overflate være mindre enn minus 162 grader Celsius fordi kokepunktet for metan er -162 °C

Hvorfor er Titan den eneste månen som har atmosfære? Jordens atmosfære inneholder CO₂, N₂, O₂ og H₂O-gass. Hvorfor er hydrogen og helium fraværende i Jordens atmosfære? Hvorfor finner astronomene helium og hydrogen i atmosfæren til Jupiter?

Den kinetiske gassteorien og Newtons mekanikk gir svar på disse spørsmålene. En sentral størrelse i denne teorien er definisjonen på temperatur. Temperaturen i en gass øker når hastigheten på atomene/ molekylene i gassen øker. Lette atomer/molekyler beveger seg raskere enn tyngre atomer/molekyler. Den **midlere hastigheten** (v) for et atom eller molekyl er avhengig av temperaturen (T) i gassen og massen (m) atomet/molekylet. (utledningen av denne formelen er ikke pensum):

$$v = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m}}$$

Konstanten k i formelen kalles for Boltzmanns konstant: $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\text{J}}{\text{K}}$

I formelen må vi benytte kelvin og kilogram som enheter på henholdsvis temperatur og masse.

Unnslipningshastigheten (v_{escape}) for et himmellege er også en sentral størrelse i denne sammenheng. Denne hastigheten er avhengig av massen (M) av legemet (planeten/månen/asteroiden) og størrelsen (R : radien) på legemet (utledningen er pensum i Fys 102, konservative krefter som arbeider)

$$v_{\text{escape}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$$

Konstanten G i formelen er den universelle gravitasjonskonstanten: $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

En god tommelfinger regel er at en planet eller en måne kan holde på gassen dersom unnslipningshastigheten er 6 ganger større enn den midlere hastigheten for atomene/molekylene.

Jordens atmosfære inneholder oksygen fordi:

$$\frac{v_{\text{escape}}}{v_{\text{O}_2}} = \frac{11.2 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}}{0.478 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 23$$

I oppgave 8 skal vi finne forholdet mellom unnslipningshastigheten for Titan og den midlere hastigheten for metan molekylet i atmosfæren. Vi skal også forklare hvorfor Titan har atmosfære

1.4 Små fjell- og isklumper går i bane rundt Solen.

I tillegg til de åtte planetene finnes der mange små fjell- og isklumper som går i bane rundt Solen. Astronomene deler disse opp i tre kategorier:

Asteroider (fjellobjekter i asteroidebeltet mellom Mars og Jupiter), trans Neptuniske objekter (fjell- og is objekter) i Kuiper beltet utenfor banen til Neptun (Pluto er "blitt medlem av denne familien") og komter (en blanding av is- og fjell) i Oort skyen (en hypotese, [ingen har observert objekter i Oortskyen](#) som strekker seg ut til 60000 AU (ca ett lysår) fra Solen) som ligger utenfor Kuiperbeltet)

Kunnskap om de små "klumpene" er viktige for forståelsen av opprinnelsen og dannelsen av vårt Solsystem. Kraterobservasjoner kan gi kunnskap om planetenes indre struktur?



Bilde av Månen (UiA)

Er planetene og deres satellitter (måner) stive legemer eller har de en flytende kjerne i bevegelse? Kan observasjon av deres overflate gi kunnskap om planetenes indre struktur?

Astronomene har vist overflatestrukturen på planetene eller månene kan gi kunnskap om planetene/månene har fast eller flytende kjerne.

Krateranslagene er tydelige bevis for at kollisjoner har funnet sted.

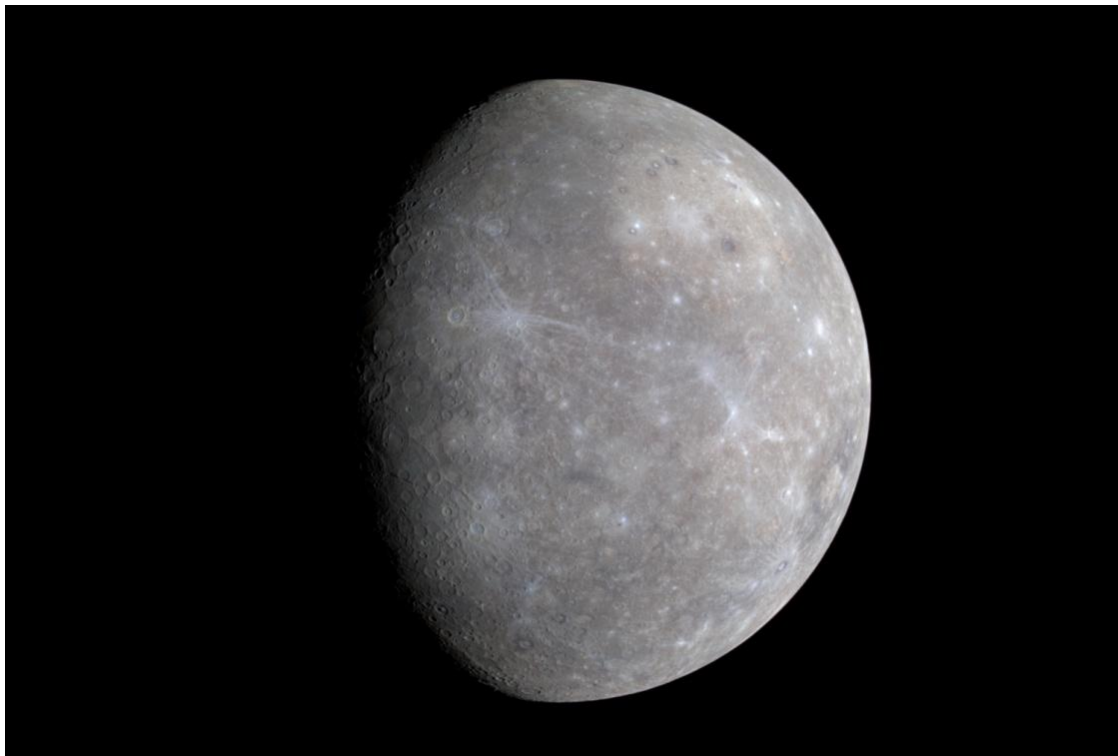
På en pressekonferanse 30. januar 2008 presenterte Messenger-teamet de første resultatene av analysene av bilder og data. [Bildene gir ny kunnskap om Merkur:](#)

”Etter at Messenger nå har gitt oss bilder fra den halvdelen av planeten som ikke ble avbildet da Mariner 10 passerte for nesten 34 år siden, kan man nå slå fast at Merkur er mer ulik Månen enn man hadde trodd på forhånd. Et eksempel er en formasjon i Caloris-bassenget som forskerne uformelt har [døpt "edderkoppen"](#). Midt i bassenget finnes en formasjon som består av over hundre flatbunnede grøfter som stråler ut fra et komplekst sentralområde.

"Edderkoppen" har et krater nær midten, men det er foreløpig uklart om dette er direkte relatert til formasjonen eller om det ble dannet senere”

”Ulikt Månen har Merkur enorme klipper som snor seg hundrevis av kilometer over overflaten. Disse klippene stammer fra foldings aktivitet i Merkurs tidlige historie da planeten trakk seg sammen.”

”Merkur har en høyere tetthet enn Månen. Den har omtrent samme tyngdekraft som Mars, men Mars har en diameter som er 40% større. Fordi tyngdekraften er større på Merkur enn på Månen ser kratre på Merkur ganske forskjellig ut fra Månen. Den høyere tyngdekraften fører til at materiale som kastes ut ved nedslag faller ned nærmere krateret enn på Månen, og det dannes også mange flere kjeder av sekundærkratre.”



Mosaikk av 9 bilder fra Messenger tatt 14/1 2008. Bildet er satt sammen av bilder tatt med filtre i 1000nm (infrarødt), 700nm (rødt) og 430nm (fiolett). Bildene i mosaikken ble tatt mellom 19:45 og 19:56 mens sonden var fra 12800 til 16700 km fra Merkur . Foto: Messenger/NASA/JHU/APL/Carnegie Institution of Washington.

Observasjon av planetenes overflate viser at alle de fire innerste planetene har karter. Et krater er et tilnærmet sirkulært hull i planetoverflaten. Her på Jorden kan artillerigranater som treffer bakken og eksplodere lage sirkulære kraterhull. Det er nærliggende å tenke at det er himmellegemer med stor fart som treffer planetoverflaten. Spørsmålet er da om der finns himmellegemer i vårt solsystem som kan være årsaken til disse kraterhullene. I 1997 ble en kollisjon observert, en komet kolliderte med Jupiter, kometen forsvant i planeten tykke atmosfære. Denne observasjonen er et bevis for at de små ”klumpene” kan treffe en planet.

Kratrene på Månen egner seg for observasjon, de største kratrene på Månen kan vi se med vanlig kikketøy. Der finnes 30000 månekrater synlig fra Jorden (diameter fra en km til flere hundre kilometer). I tillegg har romskip observert utallige små krateranslag mindre enn 1km. Meteorittanslag (rester etter asteroidekollisjoner) kan være årsaken til disse små kraterhullene.

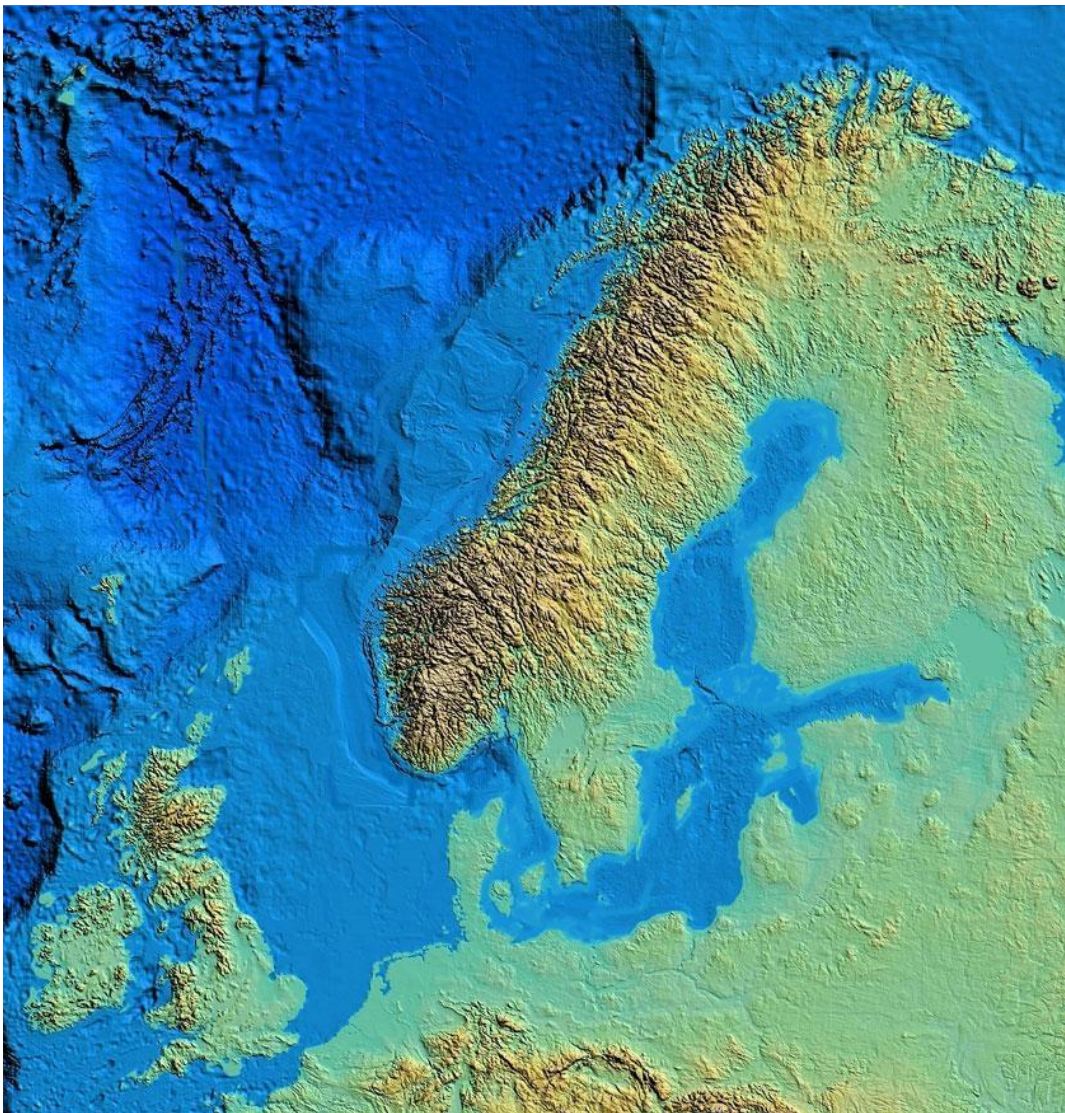
Det var den tyske astronomen Franz Gruithuisen (1824) som antok for første gang at kanterne var anslag av ytre himmellegemer, på den tiden var det vanskelig å forklare hvorfor alle kratrene var tilnærmet sirkulære. Granater som treffer bakken og eksploderer er opphav til sirkelrunde kratre selv om granatene treffer bakken på skrå. Erfaringskunnskap etter 1. verdenskrig. Granatene førte til store sjokkbølger på overflaten, det var disse sjokkbølgene som dannet de sirkelrunde kratrene. Meteorittkollisjoner førte til store radielle sjokkbølger i overflaten, det var disse bølgene som formet kratrene sirkelrunde. Mange kratre har en

fjelltopp i sentrum og radielle ejectastriper. Ejectastriper er masse som er kastet ut fra kratret i løpet av støtperioden. Vulkanske kratre vil ikke ha den lille fjelltoppen i midten av krateret.

De terrestriske planete, månene og asteroidene har kratre

På Jorden er der kratre som er mindre enn 500 millioner år gammel. På Merkur, Månen og Mars er kratre flere milliarder år gamle. Hvilken mulig forklaring er det på denne forskjellen? Hvorfor er der færre kratre på Jorden enn på Månen?

Vi antar at Jorden og Månene er dannet omtrent samtidig, begge himmellegemer er blitt utsatt for anslag. Det er sannsynlig at treffprosenten for de to himmellegemer er omtrent den samme. Det vil si at antall kratre pr flateenhet er den samme. **Grunn til at vi registrerer flere kratrene på Månen enn på Jorden er at Jorden fremdeles er geologisk aktiv i motsetning til Månen.**



(Foto: UIB)

Geologisk aktiv betyr for eksempel at deler av overflaten er forsvunnet ned i "dypet" (se bilde UIB: Storeggaraset for 8000 år siden, utenfor Kristiansund). Gassfeltet Ormen Lange ligger i selve ras-skaret til Storegga) og vulkanutbrudd (vær, vind og hav) har sørget for at

kratrene er visket vekk. I dag er omtrent 200 krateranslag oppdaget her på Jorden, Disse er rester etter de yngste kratrene, kartere som enn ikke er visket ut på grunn av den geologiske aktiviteten og klimapåvirkning.

Hvorfor er Månen mindre geologisk aktiv sammenliknet med Jorden?

En planet eller en satellitt vil avkjøles over tid, denne avkjølingsprosessen er avhengig av hvor stor planetens/satellittens overflate er i forhold til volumet. Liten radius gir stor overflate i forhold til volumet ($3/r$). Det er grunn til å anta at både Jorden og Månene i utgangspunktet har hatt samme temperatur og fullstendig flytende. Månen har mistet sin termiske energi raskere enn Jorden fordi Månen er mindre. Dette kan være en mulig forklaring.

Denne sammenlikningen mellom Jord og Månen gir grunnlag for følgende regel:

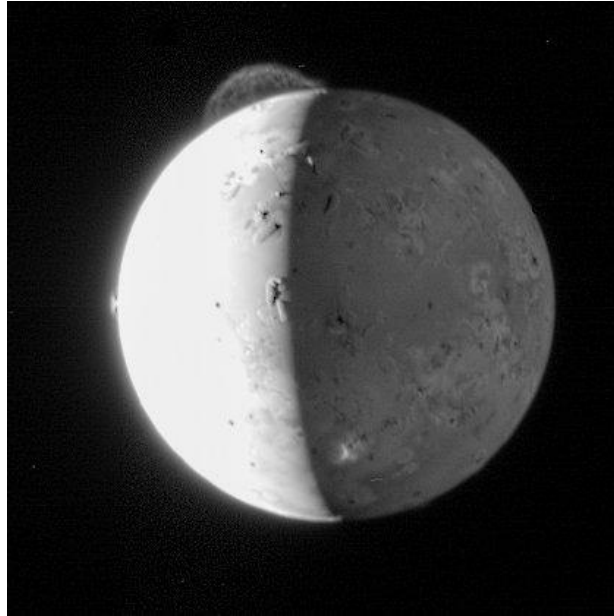
En liten terrestrisk verden mister sin termiske energi raskere enn en større terrestrisk verden. Den geologiske aktiviteten på den minste terrestriske verden vil avta raskere enn geologisk aktiviteten på en større terrestrisk verden. Vi kan formulere en grov krater regel: **Alderen på overflaten til en terrestrisk verden er proporsjonal med antall kratre.**

Vi skal anvende krater regelen på de 4 terrestriske planetene og finne ut hvilken overflate er eldst:

Merkur har flest kratre, det vil si at overflaten er meget gammel. Merkur er den eldste av de fire planetene. Merkur er eldst fordi den er den minste av de fire planetene, den har hatt størst varmutståling og har av den grunn fått fast overflate først.

Venus har bare ca 1000 kratre, dette er et betydelig større antall sammenliknet med antall kratre som er funnet på Jorden (ca 200). Venus har en diameter som er litt mindre enn Jordens og har derfor hatt nok energi til å holde den aktiv og derfor tid nok til å viske ut de fleste kratrene. Venus er yngre enn både Månen og Merkur.

Mars er en uvanlig krater fordeling, [planeten har flest kratre i høylandet](#), det må i følge regelen bety at høylandet er eldst, lavlandet yngst. Mars er ikke geologisk aktiv, den har utdødde vulkaner som viser at Mars gradvis er blitt kaldere. I dag antar man at hele Mars er størknet. Antall kratre på Mars ligger et sted mellom antallet på Merkur og Jorden, det betyr at Mars er eldre enn Jorden.



[Satellitten Io rundt Jupiter](#) er et unntak fra krater regelen. Io er av samme størrelsesorden som Månen, av den grunn skulle den ikke være geologisk aktiv. Den får tilført energi på grunn av tidevannskrefter og magnetiske induksjonskrefter. Io er den vulkans aktiv. Bilde er tatt av sonden New Horisont (NASA). Sonden New Horisont ble skutt opp 19. januar 2006, den økte farten rundt Jupiter og ankommer Pluto 14. juli 2015. Etter studiet av månene Charon, Hydra og Nix fortsetter den til Kuiperbeltet. (Animasjon 3)

1.5 Magnetfeltobservasjoner kan gi kunnskap om planetenes indre struktur?

Astronomene benytter også det globale magnetfeltet når de undersøker om en planet/måne er geologisk aktiv. Kompasset viser at Jorden har et globalt magnetfelt

Regelen i dette avsnittet er: **Observeres et globalt magnetfelt rundt terrestriske planeter og satellitter må objektene ha en flytende bevegelig elektrisk ladet kjerne.** Tar vi for eksempel Jorden, den har en flytende roterende ladet jernkjerne. Det kan ikke være en permanent magnet inne i Jorden fordi temperaturen er over 770 grader. Magnetisert jern over 770 grader Celsius mister sin magnetiske egenskap. Den høye temperaturen "rister" elektronene ute av "stilling" (elektronenes rotasjonsakse får en tilfeldig retning). Den eneste mulige kilden til det globale magnetfeltet må være en roterende flytende jernkjernen. Den flytende jernkjernen generer en strøm (elektriske ladninger i bevegelse), det er denne elektriske strømmen som generer magnetfelt. Det er med andre ord den roterende jernkjernen som er generatoren.

Intet magnetfelt er observert på Månen (Apollo 1969-1972). Det betyr at månen er geologiske inaktiv, der er ingen elektriske strømmer som følge av Månes rotasjon. Skal elektriske strømmer oppstå må jernet være smeltet. En gang i fjern fortid har Månen hatt magnetfelt, det har avtatt gradvis etter hvert som temperaturen har avtatt.

Magnetometer på romskip (Mariner 10, Messenger) har funnet et globalt magnetfelt på Merkur, feltstyrken er kun 1% av jordens magnetfelt. I følge kraterregelen burde Merkur vært geologisk inaktiv uten en flytende jernkjerne. Oppdagelsen av magnetfeltet på Merkur viser at en del av Merkurs indre må være flytende. Venus derimot har ikke magnetfelt, den kan ikke

være geologisk aktiv selv om antall kratre er få. Årsaken til at Venus mangler et globalt magnetfelt kan være planetens langsomme rotasjon. I løpet av 343 døgn roterer den rundt sin akse en gang.

Mars har heller ikke et globalt magnetfelt, men det ble observert (Surveyor 1997) lokale områder med magnetfelt på høylandet, på planetens sydlige halvkule. Det globale magnetfeltet som i dag ikke eksisterer har magnetisert deler av høylandet før det opphørte på grunn av avkjølingen.



Bildet viser nordlys på Jupiter (Hubbel/NASA)

[Jupiter har ingen jernkjerne](#) men et sterkt globalt magnetfelt er blitt observert (14 ganger sterkere enn Jordens). Hva er årsaken?

Laboratorieeksperimenter viser at hydrogen endrer tilstand når trykket i hydrogengassen er 1,4 millioner atmosfærer. Modellberegninger viser at dette trykket eksisterer omkring 7000km under toppen av øvre gasslag, under dette nivået er elektronene i hydrogengassen i fri tilstand. Hydrogenet i denne tilstanden kalles for **metallisk hydrogenvæske**. Jupiter har en omløpstid på 10 timer. Denne korte rotasjonstiden og de enorme mengder med metallisk hydrogenvæske fører til store elektriske strømmer og kraftig magnetfelt som resultat. Metallisk hydrogenvæske må også være årsaken til det magnetfeltet som observeres på Saturn. Magnetfeltet på Saturn er svakere enn på Jupiter fordi Saturn har mindre masse og dermed mindre metallisk hydrogenvæske.

Uranus og Neptun har også magnetfelt. Det indre trykket er ikke stort nok til å danne metallisk væskehydrogen. Kilden til globalt magnetfeltet må derfor være en annen. Derimot har **Både Uranus og Neptun inneholder store mengder flytende vann iblandet ammoniakk**. Under høyt trykk mister ammoniakkmolekylene elektroner. Vannmassene med disse frie elektronene roterer og er kilden til magnetfeltet som måles i området rundt planetene.

1.6 Planetdata

Fjellplanetene	Merkur	Venus	Jorden	Mars
Avstand	0,39 AU	0,72 AU	AU=1.50exp 8 km	1,52 AU
Diameter	0,38 D	0,95 D	D=12 756 km	0,53 D
Masse	0,055 M	0,82 M	M = 5,97exp24kg	0,11 M
Massetetthet	0,98 ρ	0,95 ρ	ρ =5515 kg/m ³	0,71 ρ
Atmosfære	Ingen	3,5% Nitrogen	78% Nitrogen	7,2% Nitrogen
			21% Okygen	
		0,003 % vanndamp	1% Vanndamp	0,03% Vanndamp
		96,5% CO2	0,035% CO2	95,3% CO2
				2 % andre gasser
Temperatur	623 K	733 K	287 K	250 K

Gassplanetene	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
Avstand	5,2 AU	9,6 AU	19,2 AU	30,1 AU
Diameter	11,2 D	9,4 D	4,0 D	3,9 D
Masse	318 M	95 M	14,5 M	17,1 M
Massetetthet	0,24 ρ	0,12 ρ	0,24 ρ	0,30 ρ
Atmosfære				
	0,2 % CH4, NH3, H2O	0,4 % CH4, NH3, H2O	2,3 % CH4	3 % CH4
	86,2 % Hydrogen	96,3 % Hydrogen	82,5 % Hydrogen	79 % Hydrogen
	13,6 % Helium	3,3 % % Helium	15,2 % Helium	18 % Helium
Temperatur	165 K	93 K	55K	55 K

Massen av planetene Merkur, Venus og Mars er omtrent lik Jordens masse de fire fell plantene har en omtrent lik 2 ganger Jordens masse (2M).

De fire gassplantene har en masse på 445 ganger Jordens masse (445M).

Alle planetene har en masse som er mindre enn 0,1% av Solens masse.

1.7 Animasjoner

Animasjon 1

Benytte programmet Starry Night Enthusiast (UiAs fysikklab) og ta en tur rundt Saturn med romferjen Cassini: Gå til: "Favourite/Space Missions/Cassini/Cassini at Saturn")

Animasjon 2

Benytt programmet Starry Night Enthusiast (UiAs fysikklab) og undersøk hvordan de indre planetene står i forhold til hverandre mandag 6. juni 2012 Tips: "Favourit/Solar System/Inner Planets/Inner Solar System"

Animasjon 3

Benytt programmet Starry Night Astrophoto Suite (UiAs fysikklab) å se hvor langt New Horizont er kommet, sonden skal ut til Pluto (juli 2015). Gå til : "Favourite/Space Missions/New Horizont

[Animasjon 4](#)

1.8 Aktiviter

Gå inn på nettstedet [til Norsk Romsenter](#)

1.9 Observasjonsoppgaver:

Observasjon 1

Ta en serie bilder som viser bevegelsen av de fire Galileiske månene

Observasjon 2

Foreta spektroskopiske undersøkelser av kjemiske stoffer

- Benytt spektroskop
- Benytt gitter og hydrogenlys

Observasjon 3

Besøk astronomiutstillingen på UiA og se bildet av Jupiter med Jorden som en prikk i bakgrunnen-

1.10 Oppgaver

Oppgave 1

[Mars Reconnaissance Orbiter](#) , benytt denne adressen og opplev Mars på nært hold.

Oppgave 2

Bestem Solen energifluksen på overflaten av Neptun, Ta utgangspunkt i Solens energifluks ($F=1367 \text{ W/m}^2$) og sett avstanden ut til Neptun lik: 30AU (Svar: $1,5 \text{ W/m}^2$)

Oppgave 3

Benytt Keplers 3. lov og finn størrelsen på massen til Mars når Phobos (den innerste månen til Mars) har en periode på 0,31891 dager og går i en bane som i snitt ligger 5980 km over overflaten til Mars. Mars har en diameter på 6794 km. Finn massetetthet for Mars. (Svarene: $M=6.4 \times 10^{23} \text{ kg}$; 3900 kg/m^3).

Oppgave 4

Vi tar i denne oppgaven for oss en hypotetisk asteroide, den er kuleformet med en diameter på 2 km og består av fjell som har en massetetthet på 2500 kg/m^3 .

- Finn massen for denne asteroiden. ($1.0 \times 10^{13} \text{ kg}$)
- Finn unnsliplingshastigheten for denne asteroiden (1,2m/s)
- En astronaut befinner seg på denne asteroiden og har lyst på en joggetur. Hva skjer med astronauten dersom joggefarten er 3 m/s.

Oppgave 5

Asteroiden i oppgave 4 faller ned på Jorden og treffer overflaten med hastigheten 25 km/s.

- Finn asteroidens kinetiske energi i trefføyeblikket ($3.3 \times 10^{21} \text{ J}$)
- Hiroshima ble angrepet av en atombombe under krigen, energien som ble frigitt tilsvarte 20 kilotonn TNT (1 kilotonn frigir $4,2 \times 10^{12}$ joule). Foreta en sammenlikning mellom asteroidens kinetiske energi og den frigitte kjerneenergien over Hiroshima. (Ekvivalent med 29 millioner Hiroshima)

Oppgave 6

Hydrogenatomet har massen $m_H = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Temperaturen på Solens overflate er:

$T_s = 5800 \text{ K}$. Finn hydrogen atomets midlere hastighet på Solens overflate (12km/s)

Oppgave 7

Solen har massen: $m_S = 1.989 \cdot 10^{30} \cdot \text{kg}$ og en radius på $R_S = 6.96 \cdot 10^8 \cdot \text{m}$

- Beregn unnsliplingshastigheten fra Solens overflate. (618 km/s)
- Benytt svaret i oppgave 6 og forklar hvorfor Solen har mistet lite hydrogen i løpet av Solens 4,56 milliarder år gamle historie.

Oppgave 8

- I denne oppgaven skal vi finne forholdet mellom den midlere hastigheten for metan molekylet når metan er på kokepunktet og unnsliplingshastigheten fra overflatene til Titan. Ved normalt trykk er kokepunktet for metan 111 K (ved denne temperaturen går flytende titan over til gass).

1.11 Fasit

Oppgave 3

Mars har to små satellitter: Phobos og Deimos. Phobos har perioden 0.3189 dager og en midlere høyde over planeten på 5980 km. Mars har diameteren 6794 km. Finn massen til Mars og massetettheten for planeten.

$$G := 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

Phobos midlere avstand til sentrum av Mars, månens sideriske periode og radius:

$$a := \left(5980 \text{ km} + \frac{6794 \text{ km}}{2} \right) \quad P := 0.3189 \text{ day} \quad R_1 := \frac{6794 \text{ km}}{2}$$

Massen til Phobos er gitt av Newtons modifikasjon av Keplers 3. lov

$$(0.3189 \text{ day})^2 = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot m_2} \cdot a^3 \quad m_2 := 388.19568014065906504 \frac{a^3}{\text{day}^2 \cdot G} \quad m_2 = 6.428 \times 10^{23} \text{ kg}$$

Massetettheten:

$$\rho := \frac{m_2}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (R_1)^3} \quad \rho = 3.915 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Oppgave 4

a) Finn massen til en hypotetisk sfærisk (kulerund) asteroide, den har en diameter på $d_2 := 2 \cdot \text{km}$ og består av fjell med massetetthet: $\rho_2 := 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. b. Finn unnslipningshastigheten. c) hva skjer med astronauten som jogger på asteroiden med farten 3 m/s .

Gitt: $d_2 = 2 \times 10^3 \text{ m}$ $\rho_2 = 2.5 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

a) Massen av asteroiden $M := \rho_2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^3$ $M = 1.05 \times 10^{13} \text{ kg}$

b) Unnslipningshastigheten $v_{\text{escape}} := \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{\frac{d_2}{2}}}$ $v_{\text{escape}} = 1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

c) Dersom astronauten jogger med farten $v := 3 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ vil steglengden bli uendelig stor, letter fra asteroiden.

Oppgave 5

Anta at asteroiden i oppgave 4 treffer Jorden med farten : $v_{as} := 25 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}$ a) Finn asteroidens kinetiske energi når den treffer Jordens overfalte. b) Sammenlikn denne energien som ble frigitt over Hiroshima 6. august 1945. Hiroshimaeksplosjonen frigjorde energien $E_{hir} := 20 \cdot \text{TNT}$

Energien i ett ton kjemisk sprengstoff: $\text{TNT} \equiv 4,2 \cdot 10^{12} \cdot \text{J}$

a) Finn asteroidens kinetiske energi når den treffer Jordens overfalte. $E_{\text{asteroide}} := \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_{as}^2$

$$E_{\text{asteroide}} = 3,272 \times 10^{21} \text{ J}$$

b) Sammenlikn denne energien som ble frigitt over Hiroshima 6. august 1945

$$E_{\text{hiroshima}} := 20 \cdot 4,2 \cdot 10^{12} \cdot \text{J}$$

$$\left(\frac{E_{\text{hiroshima}}}{E_{\text{asteroide}}} \right)^{-1} = 3,896 \times 10^7$$

a) Asteroidens kinetiske energi når farten er $v_a = 25 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}$ $E_a = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_{as}^2 = 3,272 \times 10^{21} \text{ J}$

b) Asteroiden treffer Jorden og den kinetiske energien gått over til andre energiformer. Den energien som frigjøres er ca 40 millioner ganger større enn energien som ble frigitt i Hiroshima under 2. verdenskrig:

$$\frac{E_{\text{asteroide}}}{E_{\text{hiroskima}}} = 3,9 \cdot 10^7$$

Oppgave 6

$$k := 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Hydrogenatomet har massen $m_{\text{H}} := 1.673 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}$. Temperaturen på Solens overflate er:
 $T_{\text{s}} := 5800 \text{ K}$. Finn hydrogenatomets midlere hastighet på Solens overflate

$$v_{\text{H}} := \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T_{\text{s}}}{m_{\text{H}}}} \quad v_{\text{H}} = 12 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Hydrogenatomet har massen $m_{\text{H}} = 1.673 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}$. Temperaturen på Solens overflate er:
 $T_{\text{s}} = 5800 \text{ K}$. Hydrogenatomets midlere hastighet på Solens overflate er:

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad v_{\text{H}} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T_{\text{s}}}{m_{\text{H}}}} = 12 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Oppgave 7

Solen har massen: $m_S := 1.989 \cdot 10^{30} \cdot \text{kg}$ og en radius på $R_S := 6.96 \cdot 10^8 \cdot \text{m}$

- Beregn unnslipningshastigheten fra Solens overflate.
- Benytt svaret i oppgave 6 og forklar hvorfor har mistet lite hydrogen i løpet av Solens 4,56 milliarder år gamle historie.

$$v_{eS} := \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot m_S}{R_S}} \qquad v_{eS} = 617 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}}$$
$$\frac{v_{eS}}{v_H} = 52$$

Solen har massen: $m_S = 1.989 \cdot 10^{30} \cdot \text{kg}$ og en radius på $R_S = 6.96 \cdot 10^8 \cdot \text{m}$

- Beregn unnslipningshastigheten fra Solens overflate.
- Benytt svaret i oppgave 4 og forklar hvorfor har mistet lite hydrogen i løpet av Solens 4,56 milliarder år gamle historie.

Solen har massen: $m_S = 1.989 \cdot 10^{30} \cdot \text{kg}$ og en radius på $R_S = 6.96 \cdot 10^8 \cdot \text{m}$

- Unnslipningshastigheten fra Solens overflate.

$$v_{eS} = 618 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

- Hydrogenet vil under normale omstendigheter ikke forlate Solens overflate fordi forholdet mellom unnslipningshastigheten og den termiske farten på H-atomene er 52

$$\frac{v_{eS}}{v_H} = 52$$

Er dette forholdet mindre enn 6 vil atomene forlate overflaten (tommelfingerregel)

Oppgave 8

Unnslipningshastigheten på Titan:

$$m_{\text{Ti}} := 1.34 \cdot 10^{23} \cdot \text{kg}$$

$$G_1 := 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$R_{\text{Ti}} := \frac{5150}{2} \cdot \text{km}$$

$$v_{\text{eTi}} := \sqrt{\frac{2 \cdot G_1 \cdot m_{\text{Ti}}}{R_{\text{Ti}}}}$$

$$v_{\text{eTi}} = 2.635 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Termisk hastighet (midlere) for metan når temperaturen på Titan er -162 grader celsius eller 111 grader kelvin

$$T_{\text{CH}_4} := 111 \cdot \text{K}$$

$$m_{\text{CH}_4} := 16 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \cdot \text{kg}$$

$$k := 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$v_{\text{tCH}_4} := \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T_{\text{CH}_4}}{m_{\text{CH}_4}}}$$

$$v_{\text{tCH}_4} = 0.416 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Unnslipningsforholdet for metan på Titan

$$\frac{v_{\text{eTi}}}{v_{\text{tCH}_4}} = 6.334$$