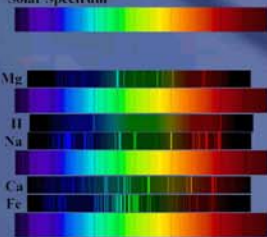


CORONA

Medlemsblad for
Trondheim Astronomiske Forening

Nr. 2 Mai 2005 7. årgang

Solar Spectrum



**Elektromagnetisk
stråling**

Spektralanalyse

**Saturn og
månene**

**Barnas
stjernekveld**



Redaktørens ord

Dette Corona er helt klart et **unntaksnummer** ved at det er uvanlig ensporet i innhold og vesentlig mer teoretisk enn normalt. Jeg har nemlig lenge hatt lyst til å lage et temanummer om den nesten enerådende kilden vi har til informasjon om universet; nemlig lys og annen elektromagnetisk stråling. Og hva er vel et bedre tidspunkt enn når sommeren står for døren med mytji lys og mytji varme og lite rom for praktisk astronomi uten solfilter ?

Så da flekser jeg til med fire artikler om dette. De starter med grunnleggende ting, og de henger såpass nøye sammen at de godt kan leses etter hverandre side for side fra nr. 13 til nr. 28 som om de var en stor artikkel. Og senere skal det serveres dessert flere ganger, f.eks. om Hertzsprung-Russell diagrammet, som er et av astronomiens viktigste verktøy.

Dette at de fire artiklene henger så nøye sammen er forøvrig den direkte årsaken til at jeg valgte å skrive alle selv. Koordinering ville nemlig blitt litt av en jobb med flere forfattere, eller det ville blitt enda mer gjentakelser enn det er nå.

Styret i TAF informerer

Valget på generalforsamlingen 19. april ble foretatt i henhold til innstillingen gjort av valgkomiteen. Således fortsetter Terje Bjerkgård som leder, Birger Andresen som nestleder/redaktør, Stein O. Wasbø som kasserer og materialforvalter, Tom Reidar Henriksen som tur-/møtekoordinator. Silje Kufaaas Tellefsen overtok som sekretær etter Kari Stensrud, som ble varamedlem i styret.

En liten bønn til de som ennå ikke har betalt medlemsavgiften for i år: Vær så snill å gjør det umiddelbart og si fra dersom dere ikke vil være medlemmer lenger.

Det nye styret vil gjerne ønske alle medlemmene en riktig god sommer.

Nye medlemmer og utmeldinger

TAF har fått 6 nye medlemmer siden sist, mens 2 medlemmer har meldt seg ut. Foreningen har 133 medlemmer pr. 10/5-05. Vi ønsker velkommen til

Frode Flobak, KikkertSpesialisten AS, Ole-Henrik Moe, Kari Rønnekleiv, Bjørn Singaas og Morten Wilhelmsen.

Terje Bjerkgård,
Leder i Trondheim Astronomiske Forening

Jeg kunne skrevet artikkelene uten en eneste formel, men det ville ikke vært riktig av hensyn til de som vil vite litt mer enn det mest grunnleggende.

Men at har sin pris. Så også med dette. Konsekvensen er at det har blitt svært lite plass til andre ting i dette nummeret. Og denne gangen var det virkelig ikke mangel på godt stoff. Blant annet smertet det meg å droppe den faste spalten med våre egne fotografier; "Blinkskudd". For denne gang kom det inn mange bilder som kan konkurrere med det beste TAF har prestert på dette feltet tidligere. Men i neste nummer kommer disse sammen med både observasjonsrapporter og andre artikler som det dessverre heller ikke ble plass til denne gang. For jeg er med vilje ganske så sta når det gjelder å ikke overskride 30 sider pr. Corona.

I mellomtiden ønsker jeg på vegne av redaksjonen alle våre lesere en riktig god sommer i påvente av at august / septemper skal bringe nye medlemsmøter, nytt medlemsblad og innlede en ny observasjonssesong.

Birger Andresen



REDAKSJONEN

Redaktør:

Birger Andresen
Alfred Trønsdals veg 15
7033 Trondheim
Tlf : 73 93 22 69 (p) / 489 59 933
E-post: birger.andresen@fesil.no

Faste medarbeidere :

Nyhetsredaktør: Eivind Wahl
Utstysredaktør: Tom Reidar
Henriksen
Generelt stoff : Terje Bjerkgård

Andre bidragsytere dette nr.:

Ida Benedikte & Trine fra Sjetne barneskole, Arne Bjerger, Louise Hansen, Arnt Richard Johnsen, Olaf Schjelderup og Jan Myhaug (kvalitetssikring av Birgers artikler).

BIDRAG:

Bidrag i form av disketter, CD-rom, bilder og e-mail sendes direkte til redaktøren (se adresse over).

TAFs adresse :

Terje Bjerkgård
Hans Finnes gate 37
7045 Trondheim
Tlf priv: 73 52 02 83
Mobiltlf: 911 99 521
E-post: taf_leder@hotmail.com

INTERNETT

TAF:

<http://www.nvg.org/org/taf/>

TRYKKING : Hos FESIL ASA

FORSIDEN: Saturns ringsystem fotografert av romsonden Cassini, det første bildet av Titans overflate og Solas spektrum sammen med emisjonsspektra fra utvalgte grunnstoffer som kan gjenkjennes som absorpsjonslinjer i solspekteret.
Layout: Louise Hansen

Corona

Nr. 2 Mai 2005

Innhold

Rapporter

Side 4:

Astronomiske eventyr – stjerneskudd 17.
mars

Av Sjetne barneskole v/Ida Benedikte og Trine

Boktips

Side 6:

$E = mc^2$ – En biografi om Einsteins ligning

Av Arne Bjerge

Artikler

Side 9:

Utforskningen av Saturn og dens måner

Av Arnt Richard Johansen

Side 13:

Lys og annen elektromagnetisk stråling

Av Birger Andresen

Side 17:

Strålingsegenskapene til atomer og molky-
ler

Av Birger Andresen

Side 22:

Hva spektralanalyse forteller oss om uni-
verset

Av Birger Andresen

Side 26:

Spektralklasser

Av Birger Andresen

Faste spalter

Side 2:

Redaktørens ord
Styret informerer
Nye medlemmer

Side 7:

Nyheter

Vannleting på Månen

Av Eivind Wahl

Kosmiske lover kan endre seg med tiden

Av Eivind Wahl

Side 5:

Annonse Kikkertspesialisten

Side 16:

Annonse Foto Simon Engen

Side 29:

Stjernerhimmelen i juni – september 2005

Av Terje Bjerkgård

Astronomiske eventyr - stjernekveld 17. mars

Av Sjetne Barneskole v/Ida Benedikte og Trine

Endelig ble det finvær også for klasse 7C og 7D ved Sjetne barneskole. I to puljer reiste de oppover torsdag 17. mars. Brynjar Berg, Bjørn Willmann og Birger Andresen stod klar til å ta i mot. På himmelen lyste halvmånen, Jupiter og Saturn. Og moro ble det.

Like før jul hadde elever på 7. trinn v/Sjetne skole besøk av Birger Andresen fra Trondheim Astronomiske Forening. Han holdte et fint foredrag for oss. Blant annet om Sola, Månen, stjernebilder, kometter, fargeforskjeller, måneformørkelse, kratre og masse annet interessant om astronomi. Etter dette foredraget fikk vi vite at vi skulle på stjerneblikking sammen med TAF. Dette var veldig spennende og morsomt for alle sammen!

Observasjonskveld med TAF

Elever fra Sjetne skole møter på skolen kl. 20.50 for å dra opp til Bratsberg på observasjon etter stjerner og planeter. Det er mange biler og det er mange store og små som gleder seg. Stjernehimlen er ganske klar, men det er noen skyer å se.

Da vi kom til gården, som Trondheim Astronomiske Forening hadde lånt av grunneierne for å se på stjerner, var det satt opp to kikkertter ute på gårdsplassen og en kikkert inne i et hus som hadde et tak som kunne skyves av. Det var den største kikkerten av dem alle. Og noen måtte også ha en liten krakk for å nå opp til den. På den store kikkerten hadde de satt inn et fargefilter slik at lyset fra Månen vi så på ikke skulle bli så sterkt til øynene. Det var masse fine stjerner, planeter og månekratrer denne kvelden. Vi fikk også se mange stjernebilder, blant annet: Løven, Karlsvogna, Lille Bjørn og Orion med sitt belte.



Elever og voksne fra Sjetne Barneskole i kø bak storkikkerten i Bratsberg. Foto: Olaf Schjelderup

I de mindre kikkertene studerte vi blant annet Saturn med ringene og Jupiter. De var begge veldig fine og spennende. Der så vi også litt på Månen. Der trengte vi ikke fargefilter, for de var ikke like sterke. Vi zoomet også inn på kratrene på Månen. Det var veldig interessant å se på.



Når objektet står lavt på himmelen, så må man pent bøye seg ned for å se når det brukes speilteleskop av Newton typen. Foto: Olaf Schjelderup

På gården var det også et varmerom, som vi kunne varme oss i hvis det ble for kaldt. Det var ganske kaldt ute så der inne ble det ganske folksomt til tider.

Det ble en veldig stor suksess for store å små. Alle er glad for at vi fikk komme og oppleve dette!

Ida Benedikte, Trine, 7. trinn Sjetne skole



Tele Vue Sky-Watcher Meade

Vi lagerfører flere modeller fra Tele Vue, et høyt antall fra Sky-Watcher og et meget rikholdig okular- og tilbehørutvalg fra begge.
Meade leveres på bestilling.
200 modeller prismekikkerter og spottingscopes på lager!
Rabatt til medlemmer i Trondheim Astronomiske Forening.

KIKKERT  SPESIALISTEN AS

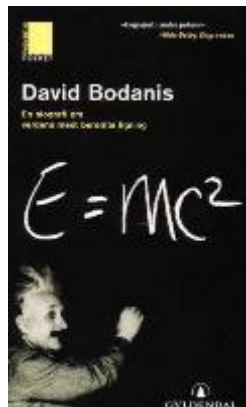
Egganv. 10 • 7081 Sjetnemarka • Trondheim • 72884800 • www.kikkertspesialisten.no

Boktips : $E=mc^2$ - En biografi om verdens mest berømte ligning

Av Arne Bjerge

David Bodanis, $E = mc^2$, *En biografi om verdens mest berømte ligning*, Gyldendal Norsk forlag, oversatt til norsk av Bertil Knudsen, ISBN: 82-05-27727-3

Her er en lettfattelig bok om ligningen de fleste har hørt om, men ikke vet konsekvensene av. Og for de som trodde at $E = mc^2$ kun er Albert Einsteins fortjeneste – tro om igjen.



Dette er boken som nok vil klistre mange fysikkinteresserte til godstolen. I motsetning til mange andre bøker om emnet er den ikke en biografi om Albert Einstein, men faktisk en biografi om selve ligningen, dens historie og konsekvenser. Einsteins arbeide og personlighet er dog en rød tråd gjennom hele boken.

På en elegant og morsom måte dissekterer David Bodanis først ligningen, og gir oss den historiske bakgrunnen bak alle tegnene i den. Da begynner man å forstå at det ikke er bare Einstein som skal gis honnør for den. Det er en lang rekke eksepsjonelt begavete fysikere – og ikke-fysikere – med sterke personligheter, som faktisk gjør det mulig for Einstein å komme fram til sine konklusjoner. Følgende er noe jeg personlig sitter igjen med etter å ha lest boken: de fleste involverte er folk som tør og vil sette spørsmålstejn ved ”sannheter” innen fysikken. Selv om de møter til dels kraftig motstand fra personer som vil beskytte sin egen status eller fra større organisasjoner, gir de seg ikke. Historien viser også at slik standhaftighet kan være farlig for liv og helse, særlig hvis motstanderen er mektig.

Dessverre er det slik, at det må en stor krig til for å virkelig sparke i gang forskning på energi og teknikk. I dette tilfellet, den andre verdenskrig, utviklet det seg til et kappløp om å finne teknikken for å kontrollere kraften i $E = mc^2$. I så måte var Norges rolle ikke helt ubetydelig. To sabotasjeaksjoner er her av største viktighet. Spregningen av tungtvannsfabrikken på Vemork har vel de fleste hørt og antakeligvis sett filmen om. Vet du hva som hendte under den andre aksjonen? Les boken og finn ut selv. Den aksjonen var kan hende enda viktigere.

6. august 1945 kl. 08:16 japansk tid så vi for første gang konsekvensene av verdens mest berømte ligning – et aldri så lite lysglimt i galaktisk målestokk, men med sjokkerende virkning her på jorden. Albert Einstein likte ikke det som skjedde og hadde tidlig advart mot kraften som hans teorier forutsa. Hadde han vært død på det tidspunktet, ville han nok ha snudd seg i graven opp til flere ganger.

Hvilken rolle spiller $E = mc^2$ i astronomien? Ligningen sier at masse og energi er to sider av samme sak, det er bare det at når massen omdannes til energi, blir energimengden enormt stor, noe følgende eksempel illustrerer: hvis man spalter atomene i 1 gram uran får man nok energi til å holde en 40 watts lyspære i gang i 65 år. Lysskjæret fra atombomben over Hiroshima kunne antakeligvis sees helt til Jupiter. Sola vår smeller av flere millioner atombomber i sekundet. Det er denne kraften som gjør at vi faktisk lever her på jorda, en kraft Albert Einstein ga oss ligningen for. Og, det er denne kraften som til slutt vil gjøre ende på livet på jorda. Om noen milliarder år – heldigvis. Hvis vi ikke klarer det utmerket godt selv med hjelp av samme ligning.

Boken anbefales på det varmeste.

Nyheter

Vannleting på Månen

Kilde : NASAs hjemmesider

NASAs nye program 'Vision for Space Exploration' er mer ambisiøst enn Apollo-programmet. Målet nå er å returnere til Månen for å bruke den som en mellomstasjon på veien mot Mars og andre mål i verdensrommet.

En base på Månen er svært avhengig av vann. Kolonister trenger vann til seg selv og til plantene sine. Vann kan også spaltes til luft (oksygen) og rakettbrennstoff (oksygen og hydrogen). Videre er vann overraskende nok svært egnet til å blokkere stråling fra rommet. Ved å omslutte basen med et 60 cm tykt vannlag, kan man beskytte utforskerne mot kosmisk stråling.

Problemet er at vann er tett og tungt. Det vil bli svært kostbart å frakte vann fra Jorda til Månen, så kolonisering av Månen blir mye lettere hvis det finnes vann der fra før.



Kanskje slike installasjoner dukker opp på Månen om ikke så lenge ? Illustrasjon : NASA

Astronomer tror at kometer og asteroider som traff Månen for lenge siden inneholdt vann som fortsatt kan finnes. Vann på Månen varer ikke lenge før det fordamper i sollyset og forsvinner i rommet. Bare i skyggen av gamle, kalde kratere kan man forvente å finne noe frosset og skjult.

På nittitallet fant to romfartøyer spennende tegn til kanskje så mye som en kubikkilometer is i skyggefulle kratere nær Månens poler. Datagrunnlaget var dessverre ikke godt nok til å kunne konstatere funnet helt.

For å finne ut om det virkelig finnes vannis, vil NASA sende opp en sonde i 2008 som skal kretse rundt Månen i ett år. Sonden, som kalles 'The Lunar Reconnaissance Orbiter' (LRO), har med seg seks forskjellige instrumenter som skal brukes til å kartlegge månemiljøet i større detalj enn før. Flere sonder vil sendes ut hvert år helt til man sender en bemannet ekspedisjon senest i 2020.

LRO vil søke etter vann med forskjellige teknikker. Den vil prøve å se ned i evige skyggefulle steder for refleksjon av stjernelys (i den ultrafiolette delen av spekteret). Videre finnes en laser om bord som vil bli brukt til å skyte lypulser ned i lovende områder for å teste refleksiviteten på bakken. Hvis bakken inneholder så lite som 4 % iskrystaller, vil den reflekterte pulsen bli betydelig sterkere.

Et annet instrument vil fjernmåle temperaturen på Månens overflate. Svært kalde områder er gode kandidater for vannleting. Et tredje instrument vil måle fall i nøytronstråling (vann absorberer nøytronstråling fra rommet), noe som igjen kan indikere en vannose.

Disse instrumentene vil sammen kunne gi et svært godt bilde på hvor det finnes is.

Eivind Wahl

Kosmiske lover kan endre seg med tiden

Kilde : www.janda.org

Ytterligere stoff: www.ast.cam.ac.uk/~mim/res.html

Et internasjonalt team av astrofysikere har oppdaget at grunnleggende naturlover, slik vi forstår dem i dag, kan endre seg litt etter hvert som universet eldes.

Arbeidet ble utført i USA, Australia og Storbritannia, og ble ledet av John K. Webb fra University of New South Wales i Sidney. Forskerne brukte verdens største enkeltstående teleskop til å studere metallatomer i en gassky 12 milliarder lysår fra Jorda. Observasjonene avslørte mønster av lysabsorpsjon som teamet ikke kunne forklare på andre måter enn en endring i en grunnleggende konstant som involverer styrken på tiltrekking mellom elektrisk ladete partikler.

Hvis dette resultatet bekreftes, kan det indikere at andre størrelser som hittil har vært ansett som uforanderlig, som for eksempel lyshastigheten, også har endret seg i kosmos' historie.

Resultatet vil bli publisert i *Physical Review Letters* 27. august, og forskere som har studert publikasjonen har ikke kunnet finne noen opplagte feil. Siden konsekvensene for vitenskapen vil være omfattende og avviket fra det forventede måleresultatet er så lite, er mange forskere skeptiske til at oppdagelsen vil tåle ytterligere tester.

På den andre siden kan oppdagelsen passe med nye, teoretiske syn på universet og særlig forutsigelsen om at hittil ukjente dimensjoner kan finnes i romtiden.

En astrofysiker som ikke deltok i arbeidet, Rocky Kolb ved Fermi National Accelerator Laboratory, sier at oppdagelsen ikke bare vil kunne framtvinge endringer i læren om hvordan kosmos oppstod og senere utviklet seg, men vil også kunne gi troverdighet til strengteorien. Strengteorien forutsier nettopp at ekstra dimensjoner finnes.

Størrelsesgraden til avviket er bare 1 / 100 000 over 12 milliarder år i en størrelse som kalles finstrukturkonstanten. Denne konstanten, som også refereres til som alfa, er definert av mer kjente størrelser som lyshastigheten og den elektroniske bindingsstyrken internt i atomer.

Observasjonene er gjort med 10-metersteleskopet Keck på Hawaii, og man har studert i detalj hvordan lys fra kvasarer absorberes i gasskyer dypt i rommet mellom kvasarene og Jorda. Metallatomer som sink og aluminium finnes ofte som sporelementer i gasskyene. Absorpsjon av lys av slike metaller danner mørke tomrom ved forskjellige bølgelengder i kvasarenes spektrum med et mønster som er like veldefinert som et fingeravtrykk. Verdien av disse bølgelengdene er direkte relatert til verdien av alfa.

Det viser seg at disse 'fingeravtrykkene' endrer seg med tiden, noe som indikerer at konstanten øker når vi nærmer oss nåtid og dermed ikke har vært helt konstant.

Eivind Wahl

Utforskningen av Saturn og dens måner

Av Arnt Richard Johansen

Den 1. juli 2004 gikk romsonden Cassini-Huygens inn i bane rundt Saturn. Med det fikk Saturn besøk for første gang på over 20 år, og et utforskningsprosjekt som skal vare i minst fire år begynte. Saturn er en interessant planet i seg selv, ikke minst på grunn av det store og innviklede ringsystemet. Men ferden er kanskje vel så spennende på grunn av alle de forbløffende månene i bane rundt planeten. Saturn-systemet kalles av og til "et solsystem i miniatyr", og noen av månene er saktens så store at de kunne ha gått i bane rundt Sola.

Da Cassini-Huygens ble skutt opp i 1997, var den et av de største og tyngste romsondene verden har sett. NASAs Cassini veier 2150 kg, og det mindre landingsfartøyet Huygens, konstruert av ESA, veide 350 kg. Med påfylling av rakettdrivstoff kom totalvekten opp på over 5600 kg.

Mye av dette er et stort arsenal av måleinstrumenter som skal brukes for å forsøke å finne svar på mange av spørsmålene som forskerne har om Saturn og månene dens, og kanskje spesielt de nye spørsmålene som ble stilt etter at NASAs Voyager-sonder fløy forbi i 1980 og 1981.

Noe av det man ønsker å finne ut, er:

- Kartlegge strukturen til Saturns ringer
- Kartlegge Saturns magnetosfære
- Kartlegge sammensetningen og de geologiske forholdene til månene
- Finne ut hva den mørke halvkulen til Iapetus består av

Saturns ringer

Da Voyager besøkte Saturn-systemet på begynnelsen av 1980-tallet, fikk man se bilder av tverrgående striper i ringene som man kalte "eiker". Man antar at disse eikene skyldtes elektromagnetisme, siden de roterte på det nærmeste synkront med Saturns magnetosfære. Imidlertid har ikke Cassini, som har langt bedre kameraer enn Voyager, sett noe til "eikene" etter at den kom dit. Det tyder på at eikene dukker opp og forsvinner igjen med jevne eller ujevne mellomrom, kanskje i takt med årstidene.

Cassini har imidlertid tatt bilder av egenskaper ved ringene som forskerne ikke i sin vildeste fantasi kunne forestille seg: spektakulære spirallignende strukturer som kalles tetthetsbølger. Man tror at disse mønstrene skyldes at tyngdekraften til Saturns måner virker inn på ringpartiklene. En annen faktor som kan spille en rolle er sammenstøt med meteoroider, små steiner som har kommet inn utenfra og støtt sammen med ringpartiklene.

Magnetosfæren

Saturn har, som mange andre planeter, et magnetfelt rundt seg, som bøyer av elektrisk ladete partikler fra Sola. Disse skaper nord- og sørlys når de treffer atmosfæren ved polene. På alle andre planeter med et magnetfelt, som for eksempel Jorda, er de magnetiske nord- og sør-polene temmelig langt unna de geografiske polene. Det merkelige med Saturn er at her faller magnetfeltet helt sammen med rotasjonsaksen, innenfor en nøyaktighet på 1 grad. Ved hjelp av målinger av strukturen til magnetfeltet, prøver man å få klarhet i hvordan det klarer å holde seg så nøyaktig justert opp mot rotasjonsaksen.

Man prøver også å få klarhet i hva som er sammenhengen mellom Saturns magnetosfære og "eikene" i ringene.

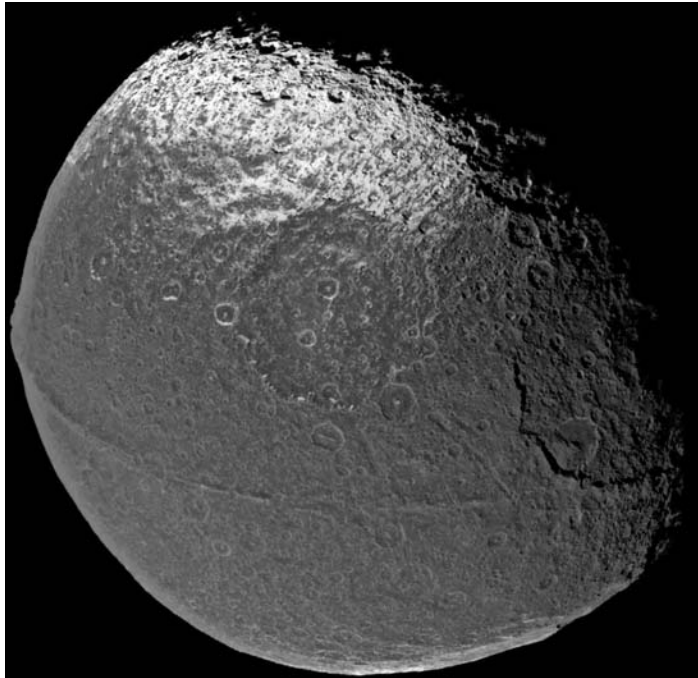
Iapetus

Saturns tredje største måne Iapetus har et mildt sagt uvanlig utseende. Siden månen ble oppdaget, har vi visst at den ene halvdelen er svært lys (albedo¹ på ca. 0,5), mens den andre halvdelen er nesten helt

¹ Albedo = Den andelen av sollyset som blir reflektert. Albedo = 0.6 betyr f.eks. at 60% av sollyset reflekteres.

svart (albedo på ca. 0,03). En del av hensikten til Cassini er å finne ut av hva overflaten består av, og hvordan den har blitt slik.

Det har blitt framsatt mange teorier om hvordan overflaten til Iapetus har blitt dannet. De fleste teoriene tar utgangspunkt i at den hvite fargen er Iapetus sin "egentlige" farge, og prøver å forklare det svarte området som et tynt lag på toppen. Det er fordi Iapetus har en lav egenvekt, som tyder på at den består mest av is, og relativt lite stein.



Én teori går ut på at det svarte området er rester av meteorittnedslag, eller kanskje partikler fra Phoebe, en annen av Saturns måner. Det siste er imidlertid lite, sannsynlig, fordi analyser av Phoebe tyder på at den består av et materiale som ligner mer på den lyse delen av Iapetus.

En annen teori er at det mørke materialet har vellet ut fra månens indre ved såkalt "kryovulkanisme" ("kryo-" fordi det er snakk om svært lave temperaturer). Denne teorien underbygges av at det svarte materialet ser ut til å være mest konsentrert nede i kratre.

*Mosaikk av Iapetus.
Foto : Cassini/NASA.*

En tredje teori tar utgangspunkt i at det er det mørke materialet som ligger nederst. Da antar man at det tidligere har vært vannis overalt, men at det har sublimert (gått direkte over i gassform) og snødd ned igjen, helt til det har blitt liggende i områder der isen ikke kan sublimeres. Det man i tillegg trenger å forklare, er hvordan det kan ha seg at isen har blitt borte fra de områdene som nå er mørke, men ikke i andre.

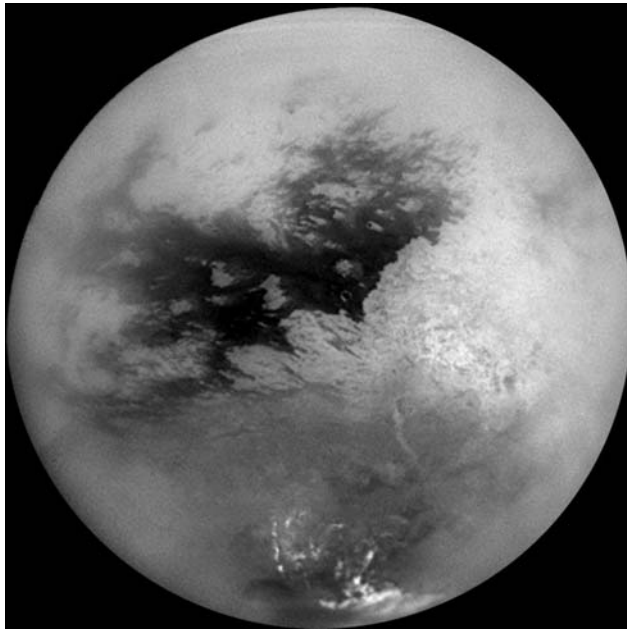
Etter at Cassini tok nærbilder av Iapetus, har vi fått enda et mysterium å bryne oss på: det ligger en 13 km høy rygg nesten helt parallelt med ekvator. Denne høyderyggen har blitt kalt «magebeltet», og er helt unik i solsystemet. Det ser nesten ut som om månen har blitt sveist sammen av to halvkuler. Uansett hvordan denne høyderyggen har blitt til, har det skjedd for svært lenge siden, for det er mange kratre på og i nærheten av den.

Titan

Titan er den nest største månen i solsystemet, bare overgått av Ganymedes (Jupiter). Det er også den eneste som har en atmosfære. Den tykke, ugjennomsiktige atmosfæren består av 94% nitrogen, men inneholder også mange hydrokarboner - blant annet metan, etan, propan, og flere forskjellige alkyner. Rikheten på organiske stoffer har ført til mange spekulasjoner om det kunne være liv på overflaten eller i atmosfæren. Dette er noe av det som har gjort månen svært interessant for romforskningen, og ført til at et dedikert landingsfartøy, Huygens, ble med på Cassini-Huygens-ferden.

Huygens-sonden ble skilt fra moderfartøyet Cassini 25. desember 2004, og landet den 14. januar i år. Fartøyet ble bremsset ned av en fallskjerm etter at den kom inn i atmosfæren. Det sendte opp data under hele nedstigningen, og fram til 90 minutter etter landingen.

Vi har mottatt en mengde bilder og andre data fra nedstigningen og fra overflaten av Titan. Likevel er ikke forskerne enige om hva det er vi faktisk ser på bildene, og det hersker fremdeles stor usikkerhet om hva overflaten til Titan er bygd opp av.



På de infrarøde bildene som ble tatt av Cassini før Huygens ble sluppet, ser man tydelig et landskap med lyse felter, og store, mørke felter med lite struktur. Man håpet på at de mørke områdene på Titan skulle være sjøer og elver av flytende metan. Etter hvert ble det imidlertid klart at Huygens hadde landet i det mørke området, og at det var fast grunn. Men det er fremdeles mulig at noen av strukturene skyldes at det har vært flytende materiale der før. Hva det kan ha vært, vet ingen ennå.

Titan fotografert med infrarødt kamera for å se gjennom atmosfæren. Foto : Cassini/NASA.

De lyse feltene på Titan har noen mørke streker som har blitt tolket som tegn på at månen har platetektonikk. Om det stemmer, vil det være uvanlig for et så lite himmellegeme.

Flause nr. 1, som ble avverget

Under landingen på Titan fungerte Cassini som en reléstasjon for dataene fra Huygens. Huygens sendte ut data fortløpende, som ble tatt imot av Cassini, og deretter videresendt til Jorda. Det ville blitt altfor kostbart og komplisert å utstyre Huygens med sender som kunne rekke helt til Jorda.

Når en sender og en mottaker er i bevegelse i forhold til hverandre, må man ta hensyn til dopplereffekten. Når senderen beveger seg bort fra mottakeren, blir avstanden mellom bølgetoppene større, og frekvensen går ned. Når senderen beveger seg mot mottakeren, blir avstanden mellom bølgetoppene mindre, og frekvensen går opp. Da Huygens skulle skilles fra Cassini, var den beregnet å bevege seg med økende hastighet bort fra moderfartøyet. Denne frekvensendringen var det tatt høyde for da man bygde radiomottakeren i Cassini.

Det man ikke hadde tenkt på under byggingen, var at ikke bare selve bæreølgen til radiosignalet ble utsatt for dopplereffekten, men også dataene som var overlagret bæreølgen kom til å bli strukket ut i tid. Mens Cassini-Huygens var på vei til Saturn, gikk det opp for ingeniørene i ESA at modulen som skulle ta imot disse dataene ikke var programmert til å ta hensyn til dette. Det var heller ikke mulig å omprogrammere den fra Jorda.

Enden på visa var at man valgte å endre nedstigningsbanen til Huygens. Sonden ble sluppet en måned senere enn opprinnelig planlagt, på en måte som gjorde at banen til Huygens ble nesten vinkelrett på banen til Cassini. Dette gjorde at det meste av hastighetsendringen skjedde sideveis, slik at dopplereffekten ble minimal og overføringene kunne gå som planlagt.

Flause nr. 2

Huygens hadde to kommunikasjonssystemer til Cassini, det såkalte A-båndet og B-båndet. Mye ble sendt gjennom begge kanaler, slik at de kunne utfylle hverandre om én av senderne falt ut.



Dessverre viste det seg at man faktisk mistet det ene båndet. Man hadde rett og slett glemt å sende kommandoen til Cassini for å ta imot data på A-båndet. Alt som ble sendt over A-båndet gikk derfor tapt for alltid. En av de tingene man ikke hadde sendt identiske kopier av på begge bånd, var fotografiene. For å få mest mulig data, hadde man fordelt bildene 50-50 over begge båndene, slik at man fikk nok tid til å overføre 700 bilder i stedet for 350. Denne gangen gikk det galt. Bare de bildene som ble sendt over B-båndet kom fram.

Mosaikk av bilder fra Huygens under nedstigningen. Foto : Cassini/NASA

Oppsummering

Cassini-Huygens-ferden har forsynt oss med haugevis av sylskarpe bilder som er virkelig snadder for oss astrointeresserte. Sammen med data fra andre instrumenter utgjør de et enormt kildemateriale for forskere å sette seg inn i. Akkurat nå virker situasjonen ganske overveldende og uoversiktlig, men i løpet av de neste fire årene som er igjen av prosjektet kommer vi nok til å få bedre svar på mye av det vi lurer på når det gjelder Saturn og månene. Samtidig fører analysen av materialet til at det reises stadig nye spørsmål. Vi får håpe Cassini holde seg i drift langt lengre enn den oppsatte tiden på fire år, og at det blir nye besøk til Saturn om ikke så altfor lenge.

Kilder

Disse Wikipedia-artiklene ble mye brukt som utgangspunkt:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cassini-Huygens>

http://en.wikipedia.org/wiki/Huygens_probe

http://en.wikipedia.org/wiki/Saturn_%28planet%29

http://en.wikipedia.org/wiki/Titan_%28moon%29

space.com om resultatene til Huygens-landingen:

http://www.space.com/missionlaunches/titan_update_050121.html

ESA om Saturns magnetosfære:

http://www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/SEMBJCHHZTD_0.html

Om tetthetsbølger i Saturns ringer. Pressemelding fra University of Colorado i Boulder, via Spaceflight Now: <http://spaceflightnow.com/cassini/041109rings.html>

CICLOPS om Iapetus, bl.a. om ekvatorialryggen: <http://ciclops.lpl.arizona.edu/view.php?id=706>

Planetary Society om Enceladus og Iapetus:

http://www.planetary.org/news/2005/cassini_moons_0322.html

IEEE Spectrum: Hvordan dopplereffektproblemet i mottakeren til Cassini ble oppdaget og løst:

<http://www.spectrum.ieee.org/WEBONLY/publicfeature/oct04/1004titan.html>

Lys og annen elektromagnetisk stråling

Av Birger Andresen

Menneskets øye oppfatter elektromagnetisk stråling med bølgelengder mellom ca. 380 og 700 nanometer. Denne delen av det elektromagnetiske spektrum kalles lys. Men lyset utgjør bare en ørliten del av det totale spektret. I denne artikkelen ser vi nærmere både på elektromagnetisk stråling generelt og lys spesielt.

Elektromagnetisk stråling

Elektromagnetisk stråling består av periodiske variasjoner i elektriske og magnetiske felter som beveger seg gjennom rommet med lysets hastighet. Lys, radiobølger og røntgenstråler er eksempler på elektromagnetisk stråling.

Elektromagnetisk stråling består av en bølgebevegelse vinkelrett på bevegelsesretningen. Avstanden mellom to bølgetopper definerer *strålingens bølgelengde* (λ). Den kan variere fra mindre enn 10^{-14} m for den mest kortbølgede *gammastrålingen* til kilometer eller mer for de mest langbølgede *radiobølger*. *Strålingens frekvens* (f) er lik antall bølgetopper som passerer et punkt i løpet av et sekund. Bølgelengden, frekvensen og lysets hastighet i vakuum (c) henger sammen på følgende enkle måte : $c = \lambda f$. *Strålingens energi* (E) pr. foton er tilsvarende enkel å regne ut ved formelen $E = hf = hc/\lambda$; hvor h = Plancks konstant = 6.626176×10^{-34} Js (= joule sekund). Av dette følger at jo kortere bølgelengden er, desto høyere energi er det i strålingen. Et foton blått lys med bølgelengde 440 nanometer² har f.eks. ca. 36% mer energi enn et foton rødt lys med bølgelengde 600nm siden $600/440 = 1.36$.

Det elektromagnetiske spektrum

Lys defineres som den synlige delen av det elektromagnetiske spektrum. Dette området utgjør en svært liten del av det totale spektrum. Det går fra ca. 380 nm (grensen til infrarødt lys) til ca. 700 nm (grensen til ultrafiolett lys). Ulike kilder gir noe forskjellige grenser.

Tabell 1 : Omtrentlige bølgelengder for den synlige delen av det elektromagnetiske spektrum (lys) jfr. Ringnes, "Klassisk og Moderne Astronomi", Aschehoug (1978).

Farge	Omtrentlig bølgelengde	Kommentar
Dyp fiolett	380nm	Grense mellom fiolett og ultrafiolett
Fiolett	410nm	
Indigo	440nm	
Blått	470nm	
Grønt	500nm	
Gult	570nm	
Orange-rødt	600nm	
Rødt	650nm	
Dyp rødt	700nm	Grensen mellom rødt og infrarødt

Tabell 2 : Det elektromagnetiske spektrum jfr. Philip's Astronomy Encyclopedia (2002).

Område	Bølgelengdeområde	Typisk temperatur på objekt
Gammastråling	Kortere enn 0.01 nm	Høyere enn ca. 100 000 000 K
Røntgenstråling	0.01 – 10 nm	ca. 200 000 – 100 000 000 K
Ultrafiolett stråling	10 – 380 nm	ca. 10 000 – 200 000 K
Lys	380-700 nm	ca. 3 500 – 10 000 K
Infrarød stråling	700 nm – 1 mm	ca. 3 K – 3 500 K
Radiobølger	Lengre enn 1 mm	Lavere enn ca. 3 K

² 1 nanometer = 1nm = 10^{-9} m = 0.000 000 001m. Ofte brukes også ångstrøm (Å); 1 Å = 10^{-10} m = 0.1 nm.

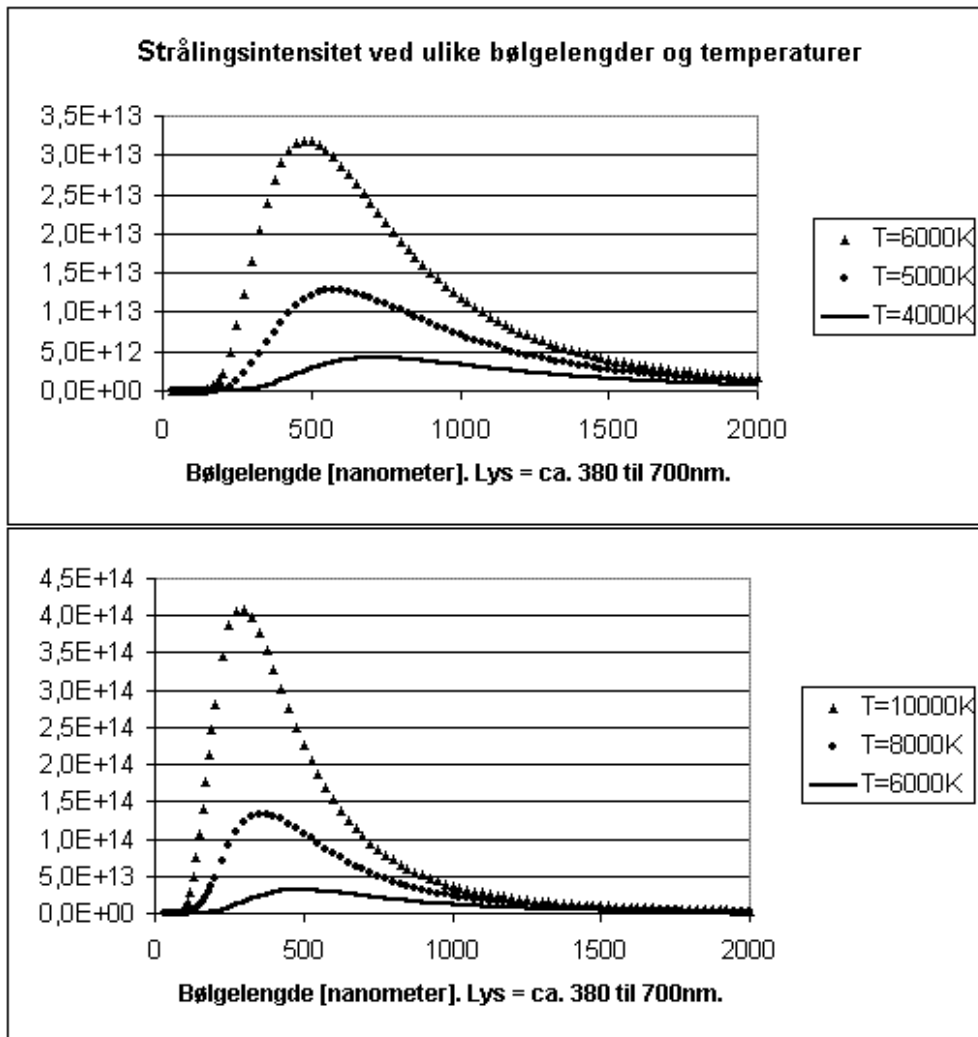
Plancks strålingslov og elektromagnetisk stråling fra stjerner

Et objekt, f.eks. en stjerne, sender ut elektromagnetisk stråling med alle mulige bølgelengder. Intensiteten av strålingen ved ulike bølgelengder (I_λ) avhenger av stjernens overflatetemperatur³ (T). For normale stjerner følger den med rimelig god tilnærming *Plancks strålingslov* for såkalt sort stråling⁴ :

$$I_\lambda = \frac{2hc^2\mu^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

hvor k = Boltzmanns konstant = $1.38066 \cdot 10^{-23}$ J/K og μ = mediets refraksjonsindeks (normalt = 1).

Figur 1 viser eksempler på kurver beregnet fra Plancks strålingslov med $\mu = 1.0$.



Figur 1 : Strålingsintensitet [W/m^3] ved ulike bølgelengder fra Plancks strålingslov for sorte legemer med $\mu = 1.0$ for temperaturer fra 4000K til 10000K. Legg merke til at skalaen er forskjellig i de to diagrammene og at den øverste kurven i øverste diagram ($T=6000K$) er den samme som den nederste kurven i nederste diagram.

³ I denne artikkelen bruker vi alltid kelvin-skalaen når vi snakker om temperatur (T). Omregning fra celsius gjøres slik $T = ^\circ C + 273.15$. For temperaturer på flere tusen grader blir det tilnærmet samme resultat enten vi bruker tallverdien i kelvin eller celsius siden det ikke er prosentvis stor forskjell på f.eks. 20000 og 20273.15.

⁴ Avviket er lite ved lange bølgelengder, men kan være betydelig i den blå, fiolette og ultrafiolette delen av spektret. Årsaken er at atomer i stjernens atmosfære absorberer (fanger inn) mye stråling i dette området (se eksempel for Sola i figur 2).

Den totale strålingen (F) i watt/m² fra stjernens overflate er gitt av *Stefan-Boltzmanns lov* :

$$F = \sigma \mu^2 T^4$$

hvor σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Denne formelen sier at den totale energiutstrålingen fra et objekt øker med en faktor 16 dersom temperaturen fordobles. Strålingen øker altså veldig fort med temperaturen. Dette bekreftes i figur 1 som også viser at bølgelengden med størst intensitet (λ_{max}), dvs. høyeste punkt på kurven, flytter seg mot venstre i diagrammet når temperaturen øker. Dette toppunktet angitt i meter er gitt ved *Wiens lov* :

$$\lambda_{\text{max}} = 0.0028979 / T$$

Dette bekrefter at toppen av kurvene forskyves mot kortere bølgelengder når temperaturen øker, hvilket er som forventet siden stråling med kort bølgelengde har høyere energi enn stråling med lang bølgelengde. Høy temperatur betyr altså at mesteparten av energien sendes ut som mer energirik stråling. Sola, med gjennomsnittlig overflatetemperatur på ca. 5770 K, har f.eks. størst intensitet ved bølgelengden $0.0028979 / 5770 = 5.02 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 502 \text{ nm}$, dvs i det grønne området.

Men Sola er jo gul, sier du sikkert. Og du har selvfølgelig helt rett. Hovedgrunnen til dette ser vi fra formen på Planck-kurvene i figur 1; nemlig at kurvene stiger raskere opp mot maksimum fra venstre enn de faller til høyre for maksimum. I praksis betyr dette at vesentlig mer enn halvparten av den totale energien sendes ut med lengre bølgelengde enn λ_{max} , altså i retning av gul stråling. I tillegg spres mer kortbølget lys (blått og grønt) enn langbølget lys (gult og rødt) i atmosfæren vår. Totalt ser vi derfor Sola som en gul stjerne selv om maksimum energiutstråling ligger i det grønne området. En stjerne med $T = 10000 \text{ K}$ har til sammenligning $\lambda_{\text{max}} = 290 \text{ nm}$, dvs. godt inn i det ultrafiolette området. Slike stjerner ser derfor blåhvite ut for vårt øye.

Tabell 3 : Stjerners farge, spektralklasse og overflatetemperatur.

Stjernens farge	Spektralklasse ⁵	Overflatetemperatur
Rød	M	Lavere enn ca 3 500 K
Gulrød/oransje	K	ca. 3 500 – 5 000 K
Gul	G	ca. 5 000 – 6 000 K
Gulhvit	F	ca. 6 000 – 7 000 K
Hvit	A	ca. 7 000 – 10 000 K
Blåhvit	B	ca. 10 000 – 30 000 K
Blå	O	ca. 30 000 – 50 000 K

Det er en viktig ting å bemerke om Planck-kurvene; nemlig at stjerner med høy temperatur sender ut mesteparten av sin energi i et mye smalere område enn de med lav temperatur. Riktignok sender en varm stjerne ut mer energi enn en kjøligere stjerne for alle bølgelengder (kurven for en varm stjerne ligger i sin helhet over den for en kjøligere stjerne i figur 1), men kurvene blir spissere og spissere samtidig som toppen altså trekker mot venstre etter hvert som temperaturen øker. Svært varme stjerner sender derfor ut mesteparten av sin energi som ultrafiolett stråling eller endog i røntgen- eller gammaområdet. For disse sendes kun en liten andel av den totale energien ut som lys.

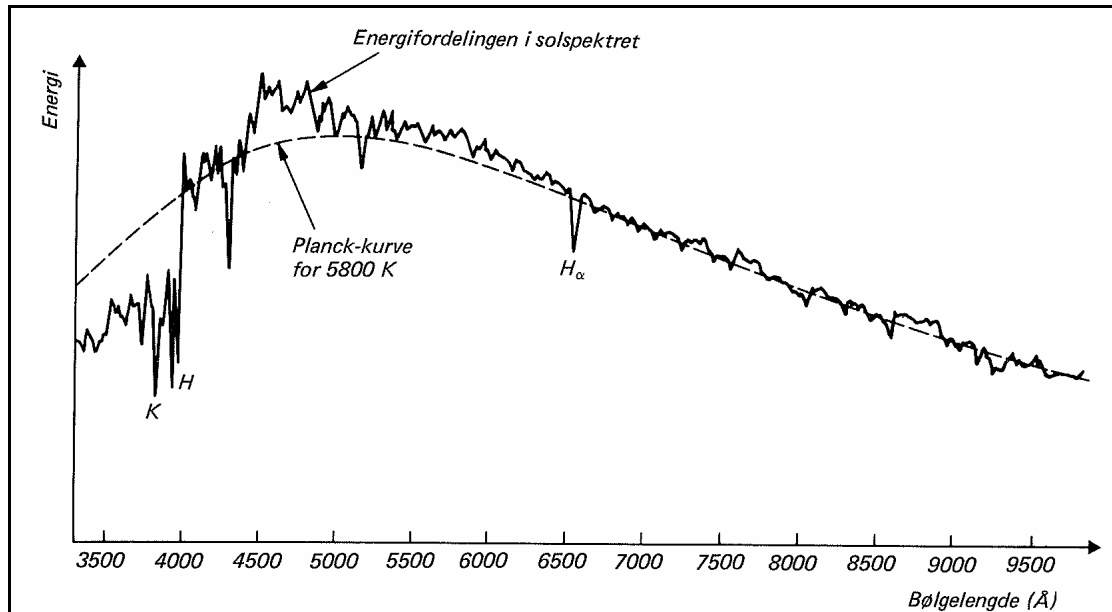
Legg også merke til at en dyp rød stjerne med overflatetemperatur på f.eks. bare 3000K sender ut nesten all sin energi i den infrarøde delen av det elektromagnetiske spektrum siden $\lambda_{\text{max}} = 966 \text{ nm}$, som jo er langt inn i det infrarøde området. Vi har til alt overmål fastslått at vesentlig mer enn halvparten av energien sendes ut ved bølgelengder som er lengre enn λ_{max} . Kun en liten del av den totale energien fra

⁵ Begrepet spektralklasse er forklart i en annen artikkel i dette bladet.

en slik stjerne sendes altså ut som lys. For slike stjerner er det derfor svært nyttig med observasjoner i det infrarøde området og i radiobølgeområdet.

Elektromagnetisk stråling fra Sola

Nedenfor er energispekteret til Sola sammenlignet med teoretisk strålingskurve for sort stråling ved $T = 5800\text{K} = 5526.85^\circ\text{C}$. Målingene stemmer generelt godt med den teoretiske kurven fra toppunktet ved ca. $5000\text{\AA} = 500\text{nm}$ (grønt lys) og mot høyre inn i den gule, røde og infrarøde delen av spekteret. Et unntak er at energi "mangler" ved H_α -linjen ved 6563\AA fordi hydrogen i Solas ytre og i dens atmosfære absorberer lys med nøyaktig denne energien. Det er betydelige avvik mellom kurvene til venstre for toppunktet fordi det her skjer betydelig absorpsjon av stråling fra blant annet kalium (K) og hydrogen (H) i Solas atmosfære.



Figur 2 : Energispekteret til Sola sammenlignet med teoretisk strålingskurve for sort stråling ved $T = 5800\text{K} = 5526.85^\circ\text{C}$ jfr. Plancks strålingslov. Figuren er hentet fra Ringnes, "Klassisk og Moderne Astronomi", Aschehoug (1978).



SIMON ENGEN FOTO

MIDT I NORDRE

Astronomiske teleskoper, okularer,
prismekikkerter, fotoutstyr

7000 Trondheim
tlf. 73 89 78 40
Internett: <http://www.simonengenfoto.no>

Vi gir
RABATT til medlemmer i
Trondheim Astronomiske Forening



Strålingsegenskapene til atomer og molekyler

Av Birger Andresen

Et atom eller et molekyl som utsettes for elektromagnetisk stråling (f.eks. lys) vil fange inn og sende ut igjen stråling med helt bestemt energi og bølgelengde. Dette gir mørke absorpsjonslinjer og lyse emisjonslinjer i spekteret. Disse kan brukes blant annet til å avsløre hvilke grunnstoffer et objekt i verdensrommet består av. Denne artikkelen handler om hvordan slik absorpsjon og emisjon skjer.

La deg ikke skremme av de matematiske ligningene i artikkelen. De er med til glede for de som vil vite litt mer enn det som strengt tatt er nødvendig for den overordnede forståelsen. Det er også tatt med litt mer om atomer enn det som er nødvendig. Årsaken er at det er greit å ha en grundig beskrivelse av atomer samlet på et sted når vi først er i gang.

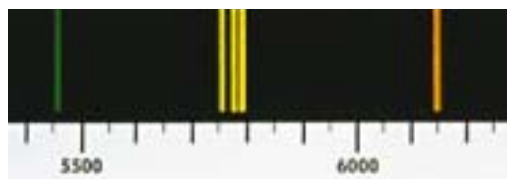
Absorpsjon og emisjon

Hva ser vi dersom vi plasserer en gass, f.eks. hydrogenatomer, mellom oss og en lyskilde som sender ut lys med alle mulige farger, og så sender lyset vi mottar gjennom et prisme? Jo, lyset "brettes" ut i alle regnbuens farger i det vi kaller et *spektrum*. Men vi oppdager fort at noen få klart definerte farger mangler. Vi ser dem som tynne, svarte linjer i spekteret. Vi kaller dem *absorpsjonslinjer* fordi de skyldes selektiv absorpsjon av energi fra strålingen som treffer atomene i gassen. Atomene sender straks ut igjen den absorberte energien, men sjansen for at den sendes ut i retning av oss er forvinnende liten. Derfor ser vi ikke denne re-emitterte strålingen, og vi får mørke linjer i spekteret.



Figur 1 : Absorpsjonslinjer. Linjenes bredde er overdrevet.

Dersom vi istedet plasserer den samme lyskilden litt til siden for den samme gassen, så vil nesten alle farger forsvinne i spekteret siden vi ikke lenger ser lyskilden. De tynne lysende spektrallinjene vi ser har nøyaktig samme farge som absorpsjonslinjene vi så når lyskilden var rett bak gassen. De kalles *emisjonslinjer* fordi de skyldes elektromagnetisk stråling som atomene har sendt ut igjen (re-emittert) mot oss etter først å ha absorbert energi fra lyskilden. Nok en gang er det bare en ørliten andel av den re-emitterte strålingen som sendes rett mot oss, men andelen er stor nok til at vi allikevel ser emisjonslinjene siden det nå ikke kommer noe lys ved andre bølgelengder fordi den opprinnelige lyskilden er ute av syne.



Figur 2 : Emisjonslinjer fra kvikksølv (Hg) i det grønne, gule og oransje området av spekteret.

Grunnstoffer og atomenes struktur

Et atom består av en atomkjerne med protoner og nøytroner⁶ samt et antall elektroner som kretser rundt kjernen. Hvert proton har en like stor positiv elektrisk ladning, mens hvert elektron har en tilsvarende stor negativ elektrisk ladning. Nøytronene er derimot elektrisk nøytrale. De trengs for å holde de positivt ladede protonene tett sammen i kjernen siden positive elektiske ladninger frastøter hverandre.

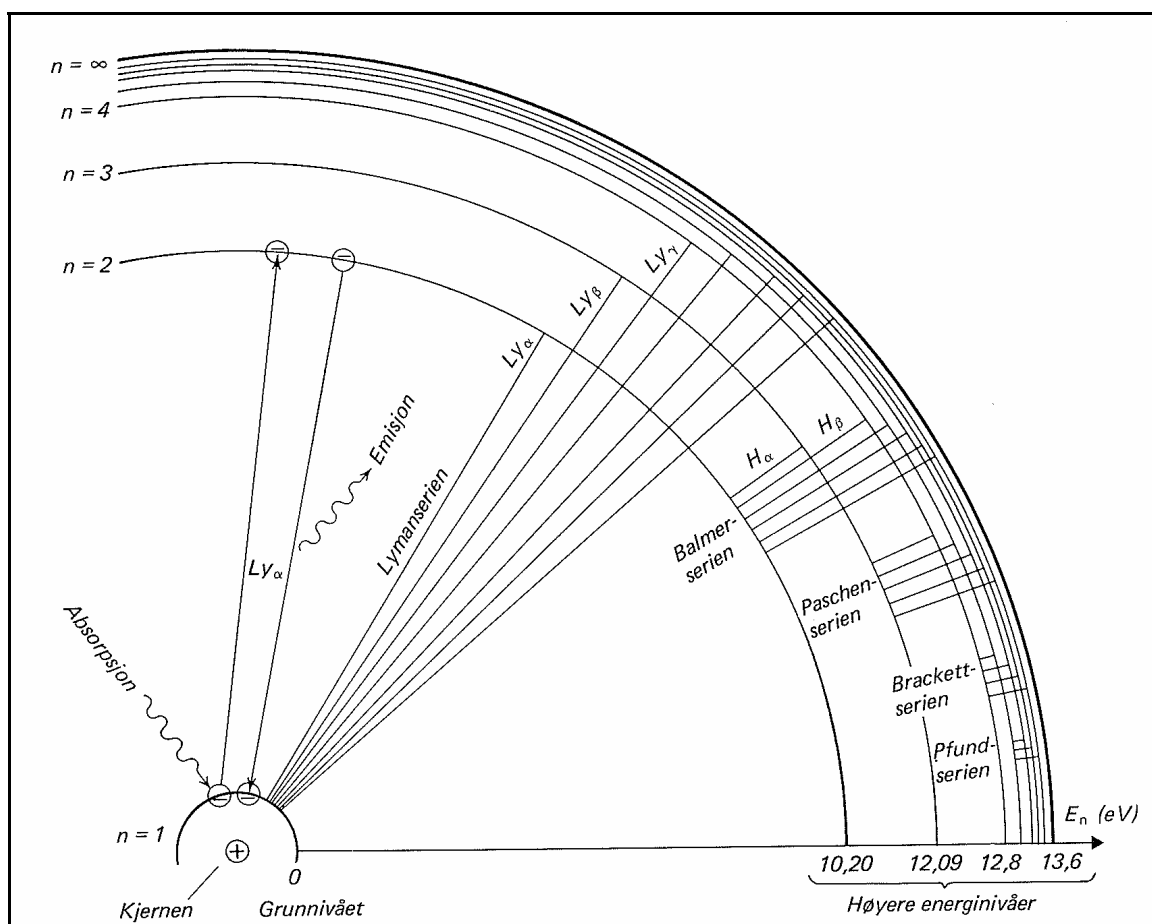
⁶ Unntaket er hydrogen som har en atomkjerne som består av kun et proton og ingen nøytroner. For alle andre grunnstoffer er antall nøytroner minst like stort som antall protoner. Overskuddet av nøytroner øker med antall protoner i kjernen.

Vi deler atomene inn i *grunnstoffer* etter antall protoner i kjernen. Hydrogen er f.eks. atomer med et proton i kjernen, mens helium og jern har henholdsvis to og 26 protoner i kjernen. Atomer med få protoner har normalt like mange nøytroner som protoner, mens tunge grunnstoffer har flere nøytroner enn protoner. For disse finnes det ofte mange varianter med ulikt antall nøytroner. Vi kaller slike varianter av samme grunnstoff for *isotoper*. Isotoper med mange nøytroner er gjerne radioaktive og bryter spontant ned til lettere grunnstoffer ved å spalte av et eller flere protoner og/eller nøytroner.

Et atom er elektrisk nøytralt dersom det har like mange elektroner som det har protoner i kjernen. Dette er den foretrukne tilstanden til et atom. Elektronene befinner seg imidlertid såpass langt unna atomkjernen at noen av dem kan fjernes fra atomet ved hjelp av små energimengder, spesielt for en del atomer med mange elektroner. Elektromagnetisk stråling fra stjerner er en kilde til slik energi i verdensrommet. Et atom som har fått fjernet ett eller flere elektroner har en netto positiv ladning tilsvarende antall elektroner som det har "mistet". Atomer kan også fange inn ett eller flere elektroner. De får da en netto negativ ladning. Atomer og molekyler med netto elektrisk ladning, positiv eller negativ, kalles *ioner*.

Energinivåene til hydrogenatomet

Grunnleggende atomteori sier at energien til et elektron i et atom avhenger av elektronets midlere avstand fra atomkjernen og at elektronet kun kan oppholde seg i et sett nøyaktig avgrensede (kvantiserte) energinivåer. En svært forenklet fremstilling av hydrogenatomet er å forestille seg dette som et system med atomkjernen i sentrum og med en rekke sirkulære baner rundt seg jfr. figur 3.



Figur 3 : Hydrogenatomets energinivåer og energien som må absorberes eller frigjøres for at elektronet skal flytte seg fra et energinivå til et annet. Figuren er hentet fra Ringnes, "Klassisk og Moderne Astronomi", Aschehoug (1978).

Hydrogenatomets eneste elektron kan kun oppholde seg i en av banene, men aldri på et sted mellom to baner. Banene, som i atomfysikken kalles energinivåer, nummereres fortløpende fra $n=1$ (*grunnivået*) innerst, $n=2$ nest innerst osv. til $n=\infty$ (uendelig) ytterst siden det er uendelig mange energinivåer. Avstanden mellom nivåene blir mindre og mindre når n øker, og energien angitt i energienheten elektronvolt⁷ (eV) til energinivå nummer n er gitt ved formelen :

$$E_n = E_1 + h \cdot c \cdot R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 13.60 \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Ligning 1}$$

Her er n et vilkårlig positivt heltall, h = Plancks konstant, c = lysets hastighet i vakuum og R = Rydbergs konstant = $10\,967\,758\text{ m}^{-1}$ for hydrogen⁸. Energien i grunnivået (E_1) er null per definisjon.

Formelen viser at elektronets energi øker jo lengre unna atomkjernen dets bane er (større verdi for n). Den viser også at energien til det ytterste nivået er $E_\infty = 13.60\text{ eV}$. Dette er den minste energien som trengs for å fjerne elektronet helt fra hydrogenatomet når det i utgangspunktet er i grunnivået. Hydrogenkjernen blir da tilbake alene som en positivt elektrisk ladet atomkjerne, dvs. et proton eller *hydrogen-ion*. E_∞ kalles atomets *ionisasjonsenergi*.

Energiforskjellen mellom to vilkårlige energinivåer angir nøyaktig den energien elektronet må få tilført eller avgi for å flytte seg mellom de to nivåene. Elektronet må fange inn energi (absorbere energi) for at det skal kunne flyttes til et nivå lengre ut, og det må sende ut energi (emittere energi) for å flytte seg til et nivå nærmere atomkjernen.

Energiforskjellen mellom to vilkårlige energinivåer blir fra ligning 1 :

$$E_m - E_n = 13.60 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad \text{Ligning 2}$$

Forskjellen mellom de to nederste nivåene er altså $E_2 - E_1 = 13.60 (1/1 - 1/4) = 13.60 * 0.75 = 10.20\text{ eV}$, hvilket også er vist på figur 3. Dette er eksakt den energien elektronet må tilføres for at det skal flytte seg fra grunntilstanden til neste energinivå. Neste sprang er mindre siden $E_3 - E_2 = 13.60 * (1/4 - 1/9) = 1.89\text{ eV}$. Et direkte sprang fra grunnivået til $n=3$ krever en energi på $10.20 + 1.89 = 12.09\text{ eV}$.

Absorpsjon og emisjon av energi fra hydrogenatomer

Energien til elektromagnetisk stråling er gitt ved $E_\lambda = hc/\lambda$, hvor λ er strålingens bølgelengde. Innsatt i ligning 2 får vi Rydbergs formel for bølgelengden (angitt i lengdeenheten ångstrøm⁹) til den elektromagnetiske strålingen som sendes ut når elektronet faller fra nivå m til nivå n i hydrogenatomet :

$$\frac{1}{\lambda} = 0.0010967758 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad \text{hvor } m > n \quad \text{Ligning 3}$$

Det sendes derfor ut stråling med bølgelengde $1 / [0.0010967758 (1/1 - 1/4)] = 1216\text{Å} = 121.6\text{ nanometer}$ når elektronet faller fra nivå 2 til 1 (grunnivået). Dette er godt inn i den ultrafiolette delen av det elektromagnetiske spektrum.

Elektronet kan selvfølgelig også falle inn til grunnivået fra alle andre energinivåer. Energien blir enda høyere og bølgelengden til strålingen som sendes ut blir enda kortere for disse. Alle overganger til grunnivået gir derfor stråling i den ultrafiolette delen av spekteret. Slike overganger til grunnivået sies å tilhøre den såkalte *Lyman-serien* (se figur 3). Disse har altså $n=1$ og $m=\{2,3,4,5,\dots, \infty\}$ i ligning 3. Bølgelengdene som tilsvarende disse overgangene er vist på figur 4.

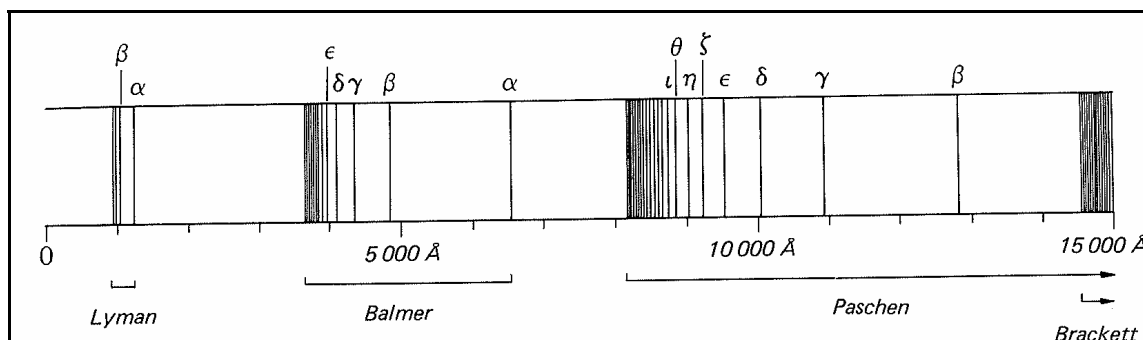
⁷ En elektronvolt (1 eV) = $1.60 \cdot 10^{-19}$ joule.

⁸ Man finner litt ulike verdier for R i litteraturen f.eks. $10\,973\,732\text{ m}^{-1}$ som gjelder i den tilnærming at protonet har uendelig mye større masse enn elektronet, mens den som er brukt her tar hensyn til elektronets masse.

⁹ En Ångstrøm (1 Å) = 10^{-10} meter = $0.0\,000\,000\,001\text{m} = 0.1\text{ nanometer}$

Elektronet behøver ikke falle helt inn til grunnivået. Det kan f.eks. stoppe på nivå 2. Alle overganger til nivå 2 sies å tilhøre den såkalte *Balmer-serien* ($n=2, m=\{3,4,5, \dots\}$), mens overganger til nivå 3, 4 og 5 danner henholdsvis *Paschen-serien* ($n=3, m=\{4,5,6, \dots\}$), *Brackett-serien* ($n=4, m=\{5,6,7, \dots\}$) og *Pfund-serien* ($n=5, m=\{6,7,8, \dots\}$). Alle disse seriene er vist på figur 3.

Bølgelengden til strålingen som sendes ut ved de mest energirike overgangene i hydrogenatomet er vist på figur 4. Den synlige delen av spekteret går fra ca. 3800 - 7000 Å = 380 - 700 nanometer.



Figur 4 : Bølgelengder for stråling sendt ut fra hydrogenatomet for Lyman-, Balmer-, Paschen- og Brackett-seriene under 15000Å. Figuren er hentet fra Ringnes, "Klassisk og Moderne Astronomi", Aschehoug (1978).

Notasjonen med greske bokstaver i figur 4 er slik at α -overganger tilsvarer overgang fra naborivået, β -overganger tilsvarer overgang over to nivåer ($m-n=2$) osv. Balmer β -overgangen er altså mellom nivå 2 og 4, mens Paschen γ -overgangen er mellom nivå 3 og 6 osv. som vist på figur 3. Et elektron som er kommet opp i tredje nivå ($n=3$) kan komme seg tilbake til grunnivået ($n=1$) enten direkte ved en Lyman β -overgang (Ly_β), eller via en Balmer α -overgang (H_α) etterfulgt av en Lyman α -overgang (Ly_α).

Figur 4 og tabell 1 viser at Balmer-serien gir stråling i synlig lys for H_α til ca. H_κ overgangene ($n=2, m=3, \dots, 10$), mens de andre overgangene i Balmer-serien ($n=2, m>10$) ligger marginalt inn i det ultrafiolette området som starter ved ca. 380 nanometer. Lyman-serien ligger godt samlet langt inne i den ultrafiolette delen av spekteret mellom 912 og 1216Å, mens de andre seriene ($n=3$ eller større i ligning 3) gir så små energiforskjeller at strålingen sendes ut godt inne i den infrarøde delen av spekteret (varmestråling og radiobølger). Paschen-serien ($n=3$) går f.eks. fra 8206 til 18756Å og overlapper delvis med Brackett-serien ($n=4$) som spenner over bølgelengder fra 14588 til 40523Å i følge ligning 3.

Tabell 1 : Bølgelengder¹⁰ og farge for stråling sendt ut ved de fem første overgangene samt for overgang fra tiende og ytterste energinivå for Balmer-serien.

Overgang	n	m	Bølgelengde (λ) [ångström]	Bølgelengde (λ) [nanometer]	Farge
H_α	2	3	6565	656	Rød
H_β	2	4	4863	486	Grønn/Blå
H_γ	2	5	4342	434	Indigo
H_δ	2	6	4103	410	Fiolett
H_ϵ	2	7	3971	397	Filoett/Dyp fiolett
...
H_κ	2	10	3799	380	Dyp fiolett/Ultrafiolett
...
H_∞	2	∞	3647	365	Ultrafiolett

¹⁰ Mange kilder gir marginalt lavere verdier (f.eks. 6563Å for H_α) fordi bølgelengden er regnet ut med Rydbergs konstant uten korleksjon for elektronets masse.

Absorpsjon og emisjon av energi fra atomer og molekyler generelt

Hydrogenatomet er det desidert enkleste atomet siden det kun består av et proton i kjernen og et elektron. Derfor er energinivåene svært ryddige for hydrogen. Alle andre grunnstoffer og molekyler har svært kompliserte energinivåer siden elektronene da påvirker hverandre. Man får f.eks. et helt nytt sett med energinivåer for hvert elektron som atomet har "mistet". Et nøytralt oksygenatom har f.eks. et sett energinivåer, mens enkelt-ionisert oksygen (oksygen som har "mistet" ett av sine åtte elektroner) har et annet sett energinivåer osv. Dette blir så komplisert at det ikke er aktuelt å beskrive i detalj her.

En viktig egenskap ved atomer er at et elektron "misliker" å være i noen annen tilstand enn grunntilstanden. Elektronet vil derfor meget raskt falle innover til lavere energinivåer igjen dersom det først blir *eksitert* til et høyere energinivå. Det faller ofte direkte inn til grunnivået, men det kan også falle inn til grunnivået via ett eller flere mellomliggende nivåer.

Omforming av "usynlig" stråling til lys

Et atom kan absorbere energi i de, for oss, usynlige delene av det elektromagnetiske spekteret og straks sende energien ut igjen som synlig lys. Mekanismen for omforming av ultrafiolett stråling til lys er direkte og derfor lett og forstå. Et eksempel er absorpsjon av ultrafiolett stråling ved en Lyman γ -overgang fra nivå 1 til nivå 4 etterfulgt av emisjon av lys ved en Balmer β -overgang til nivå 2 og av ultrafiolett stråling ved en Lyman α -overgang tilbake til grunnivået ($n=1$). Her mottar atomet en stor "energipakke" fra den ultrafiolette delen av spekteret og sender energien ut igjen som to mindre pakker, hvorav den ene er i form av lys.

Omforming av infrarød stråling eller radiobølger til synlig lys går også an. Dersom vi fremdeles holder oss til hydrogenatomet, så kan vi f.eks. tenke oss først absorpsjon av ultrafiolett stråling ved en Lyman β -overgang fra $n=1$ til $n=3$. Fra nivå 3 kan vi kun få emisjon av ultrafiolett stråling (Lyman β -overgang) eller både i synlig lys og ultrafiolett (Balmer α -overgang etterfulgt av Lyman α -overgang). Men elektronet vil ikke alltid falle innover til nivå 1 eller 2 fra nivå 3. La oss anta at det i stedet absorberer infrarød stråling via f.eks. en Paschen α -overgang fra nivå 3 til nivå 4. Herfra kan atomet sende ut lys via en Balmer β -overgang til nivå 2 osv. som i eksemplet ovenfor. Vi har nå fått en "energipakke" fra den ultrafiolette delen av spekteret og en annen fra den infrarøde delen. Tilsammen har disse ført til utsendelse av to "energipakker", hvorav den ene er i form av lys og den andre som ultrafiolett stråling. De to utsendte "energipakkene" kunne også vært helt lik de absorberte.

Slik absorpsjon av infrarød stråling fra nivåene $n=2$ og oppover er statistisk sjeldne fordi elektronet ikke oppholder seg lenge i nivå 2 eller andre nivåer over grunnivået. Men de skjer innimellom allikevel, spesielt hvis det er mange atomer tilstede i et område med veldig intens stråling.

Ionisasjon

Ovenfor er beskrevet hvordan atomer kan absorbere og emittere elektromagnetisk stråling inkl. lys som tilsvarer eksakt den energien som tilsvarer energiforskjellen mellom to av atomets energinivåer. For ordens skyld må det nevnes at det er et unntak fra denne regelen; nemlig at det ikke er noen krav til hvor mye energi som atomet kan absorbere dersom denne energien er høyere enn *ionisasjonsenergien* E_{∞} (= 13.60 eV for hydrogenatomet). Da "sparkes" elektronet uansett ut av atomet, og vi står tilbake med et hydrogen-ion (et proton) og et elektron på fri vandring.

Det er likegyldig for ioniseringen hvor mye over ionisasjonsenergien man er. Om hydrogenatomet i sitt grunnivå får tilført 13.61 eV eller 250 eV spiller altså ingen rolle. Årsaken er at den ekstra energien brukes til å gi elektronet bevegelsesenergi (fart) på sin videre vandring. Og denne kan innta en hvilken som helst verdi helt uavhengig av kvantefysiske begrensninger. Elektronet fra hydrogenatomet får derfor en svært liten fart dersom det har absorbert kun 13.61 eV når atomet ble ionisert (kun 0.01 eV blir til overs for å gi elektronet fart), men desto mer dersom det ble tilført f.eks. 250 eV.

Hva spektralanalyse forteller oss om universet

Av Birger Andresen

Det er ganske utrolig hvor mye informasjon som finnes i stråling fra verdensrommet. Spektralanalyse av lys og annen elektromagnetisk stråling avslører blant annet hva stjerner og andre objekter i universet består av, hvor fort de beveger seg relativt til oss samt andre ting. Denne artikkelen beskriver noen utvalgte, viktige ting som vi kan finne ut ved å analysere stråling fra universet.

Hva er spektralanalyse ?

Spektralanalyse er enkelt og greit det å analysere intensiteten til elektromagnetisk stråling som funksjon av strålingens bølgelengde over hele det elektromagnetiske spektrum.

De fleste kjenner til at dersom vi sender strålingen fra Sola gjennom et prisme, så vil vi se alle farger sortert fra fiolett til dyp rødt som i regnbuen slik at vi kan måle intensiteten ved hver farge. Spesialinstrumenter gjør oss i stand til å måle intensiteten til elektromagnetisk stråling som ikke er synlig for vårt øye. En del stråling stoppes helt eller delvis i vår atmosfære. Derfor må visse deler av den elektromagnetiske strålingen observeres fra satellitter. Dette skal vi komme tilbake til i senere artikler.

Stjerners overflatetemperatur

Artikkelen på side 13-16 beskriver hvordan en gass, f.eks. på overflaten til en stjerne, sender ut elektromagnetisk stråling med alle mulige bølgelengder. Intensiteten ved ulike bølgelengder følger i grove trekk Plancks strålingslov. Ved å sammenligne målt stråling fra en stjerne med Planck-kurver ved ulike temperaturer, er det mulig å bestemme overflatetemperaturen til stjernen ved beste tilpasning. I figur 2 på side 16 i den nevnte artikkelen er det vist hvordan solspekteret stemmer overens med Planck-kurven for $T=5800\text{K}$. En nøyaktig analyse har gitt en gjennomsnittlig overflatetemperatur på ca. 5770K for Sola. Tilsvarende kan gjøres for en hvilken som helst stjerne.

En liten kommentar er på plass vedrørende en stjernes overflatetemperatur. En stjerne er jo en enorm gasskule, og den har derfor ikke en klart definert overflate. Gassen blir i stedet gradvis tettere og varmere nedover i lagene. Vi ser derfor både stjernes aller ytterste atmosfære samt litt innover i stjernen helt til det blir så tett gass at vi ikke ser lengre ned. Begrepet overflatetemperatur er derfor litt diffust for stjerner. Men alle som har sett Sola gjennom en kikkert med solfilter kan skrive under på at Solas optiske overflate er temmelig veldefinert i synlig lys. Og det er nettopp den optiske overflaten vi er opptatt av når vi snakker om stjernes overflatetemperatur; nærmere bestemt temperaturen ved det vi kan kalle dens gjennomsnittlige optiske overflate siden det er den som dominerer strålingen vi mottar fra stjernen.

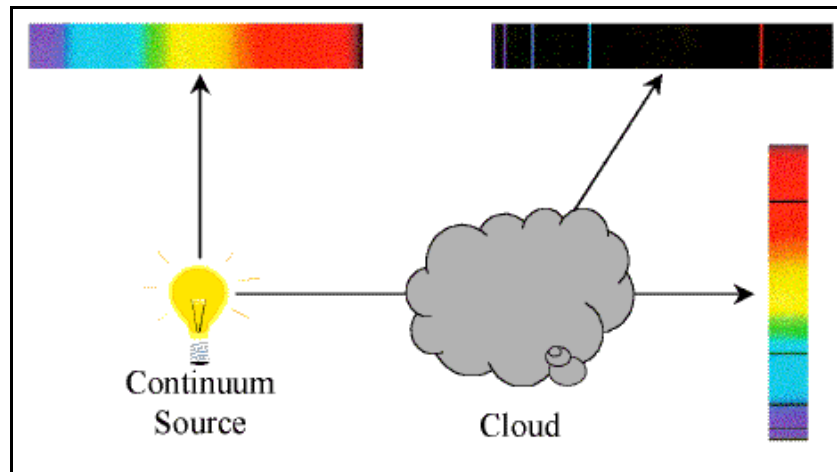
Stjerners kjemiske sammensetning

Artikkelen på side 17-21 beskriver hvordan mørke absorpsjonslinjer og lyse emisjonslinjer dannes i spekteret som følge av at atomer mellom oss og strålingskilden absorberer (fanger inn) elektromagnetisk stråling, deriblant lys, med energi som tilsvarer eksakt forskjellen mellom to energinivåer i atomet. Den absorberte energien sendes raskt ut igjen (emitteres) enten med samme bølgelengde som den absorberte strålingen eller som flere fotoner¹¹ med lengre bølgelengde, og som tilsammen har samme energi som den absorberte strålingen. Man kan også oppleve at to eller flere fotoner absorberes før den samlede energien i dem re-emitteres som ett eller flere fotoner.

De emitterte fotonene sendes ut i en tilfeldig retning. En gass som ligger rett mellom oss og stjerneoverflaten, f.eks. atomer i en stjernes atmosfære og helt nedover til den dypeste delen av dens optiske overflate, vil derfor selektivt absorbere helt bestemte bølgelengder fra den strålingen som er på vei rett mot oss, og primært sende den ut igjen i andre retninger og delvis ved andre bølgelengder. Netto effekt er at intensiteten for akkurat disse bølgelengdene blir mye lavere enn Planck-kurven skulle tilsi. Resul-

¹¹ Et foton er en "pakke" med elektromagnetisk stråling.

tatet er at vi får mørke absorpsjonslinjer i spekteret fra atomer og molekyler i stjernens ytre deler og dens omgivelser ved disse bølgelengdene.



Figur 1 : Vi ser et kontinuerlig spektrum dersom vi ser rett mot en lyskilde som sender ut elektromagnetisk stråling med alle bølgelengder (øverst til venstre). Vi ser et spektrum med absorpsjonslinjer dersom det er en tynn gasståke rett mellom oss og lyskilden (nederst). Årsaken er at gassen absorberer fotoner med visse bølgelengder fra strålingen som er på vei mot oss og sender energien ut i andre retninger. Vi ser kun emisjonslinjer dersom vi ser mot en tynn gasståke til siden for lyskilden (øverst til høyre). Den eneste strålingen vi nå ser er den lille andelen av den totale absorberte strålingen som sendes ut i akkurat "vår" retning. Det er antatt her at det ikke er noen refleksjon av stråling fra tåken.

Hvert enkelt grunnstoff har et sett energinivåer som er helt unikt for dette grunnstoffet. Mange grunnstoffer har riktignok noen energioverganger som har tilnærmet samme energi som visse overganger for andre grunnstoffer, men da vil andre spektrallinjer avsløre hvilket grunnstoff som er tilstede. Dersom vi f.eks. finner absorpsjonslinjer fra Lyman-serien, Balmer-serien osv. for hydrogen jfr. artikkelen på side 17-21, så vet vi at hydrogen finnes på stjernens overflate og i gassen mellom overflaten og oss. Intensiteten til hydrogen-linjene forteller oss hvor mye hydrogen som finnes der.

En nøyaktig analyse av alle absorpsjonslinjer og emisjonslinjer avslører hvor mye det er av de ulike grunnstoffene på stjernens overflate og oppover i dens atmosfære.

Kjemisk sammensetning for støv- og gasståker nær stjerner

I stedet for absorpsjonslinjer ser vi lyse emisjonslinjer i strålingen fra støv- og gasståker nær stjerner. Fra slike tåker mottar vi enten reflekteret stråling fra stjernene i nærheten eller re-emittert stråling som atomene og molekylene i tåken tidligere har absorbert fra de samme stjernene.

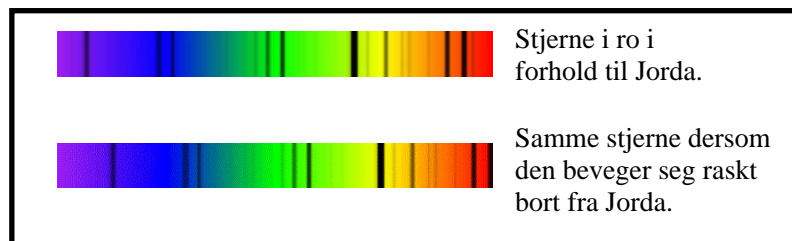
Vi ser disse gassansamlingene litt til siden for stjernene ref. øverst til høyre i figur 1. Vi skulle derfor egentlig ikke sett lys fra dem i det hele tatt siden stjernelyset som treffer gassen/støvet er på vei mot helt andre steder i universet. Men partikler reflekterer som kjent lys og annen elektromagnetisk stråling, og vi ser derfor gassen/støvet lyse allikevel. Den reflekterte og spredte strålingen har tilnærmet samme spektrum som stjernen selv om det blir litt forskjell fordi refleksjonsvinkelen og spredningsvinkelen avhenger av bølgelengden til strålingen og størrelsen til partiklene i tåken. Visse bølgelengder blir derfor noe forsterket i retning av Jorda mens andre blir litt svekket. Dette er effekter som påvirker større områder i det elektromagnetiske spekteret, og de vil ikke gi klart definerte linjer i spekteret, verken mørke eller lyse. Men hvor kommer så de omtalte, smale emisjonslinjene fra ?

Jo, atomene og molekylene i tåken absorberer selvfølgelig stråling fra stjernen akkurat som når de ligger rett mellom stjernen og oss. Og straks etterpå sender de ut strålingen igjen som en eller flere fotoner når elektronet faller tilbake til grunnivået enten direkte eller via mellomliggende nivåer. En liten

andel av dette re-emiterte lyset sendes i retning av Jorda. Og denne lille andelen er nå mer enn nok til å lage klart definerte lysende emisjonslinjer i spekteret fra tåken siden det opprinnelig ikke kom noen som helst stråling fra den retningen bortsett fra eventuell svak reflektert stråling. De kommer altså som et tillegg til det eventuelle svake kontinuerlige spekteret fra reflektert stråling. Emisjonslinjene dukker opp ved akkurat de samme bølgelengdene som tilsvarende atomer og molekyler ville laget absorpsjonslinjer i stjernespekteret dersom støvet/gassen lå rett mellom oss og stjernen. På denne måten avslører emisjonslinjene hva tåken består av, akkurat som absorpsjonslinjene viser hva stjernens ytre deler og dens atmosfære inneholder når strålingen passerer fra overflaten og opp gjennom disse sjiktene.

Rødforskyvning og hastigheten til stjerner og galakser relativt til Jorda

Dersom objektet som sender ut strålingen beveger seg fort vekk fra Jorda, så vil bølgelengden se lengre ut når strålingen kommer fram til oss. Tenk deg f.eks. at radiobølger med bølgelengde 1.0 cm sendes ut fra en stjerne som beveger seg vekk fra oss så fort at neste bølgetopp sendes ut når stjernen er 0.5 cm lengre unna oss. For oss ser det da ut som om bølgelengden er 1.5 cm og ikke 1.0 cm. Tilsvarende kan en absorpsjonslinje sendt ut med bølgelengde på f.eks. 570 nm (gult lys) kunne oppfattes av oss ved f.eks. bølgelengde 650 nm (rødt lys) dersom stjernen har en bestemt hastighet vekk fra oss. Lyset forskyves altså mot den røde delen av spekteret dersom objektet som sender ut strålingen beveger seg vekk fra oss og mot kortere bølgelengder dersom objektet kommer mot oss. Dette kalles henholdsvis *rødforskyvning* og *blåforskyvning*, og fenomenet kalles generelt *Doppler-effekt*.



Figur 1 : Rødforskyvning av absorpsjonslinjene fra objekter som beveger seg raskt bort fra Jorda. Den blå delen av spekteret er til venstre og den røde til høyre.

Denne effekten blir mye brukt for å måle den hastigheten som andre galakser har relativt til Jorda. Da ser man på det samlede spektrum fra galaksen og leter opp de karakteristiske linjene fra atomer som dominerer i galaksen. Hvis galaksen beveger seg bort fra oss, vil absorpsjonslinjen fra f.eks. H β -overgangen til hydrogen ikke lenger observeres ved 486nm, men ved en lengre (rødere) bølgelengde eller endog i den infrarøde delen av spekteret. Forskyvningen øker med hastigheten relativt til Jorda. I den andre delen av spekteret vil spektrallinjer som burde finnes i det ultrafiolette området (f.eks. Lyman-serien fra hydrogen) kunne komme inn i den synlige delen av spekteret hvis hastigheten bort fra oss er passe stor. Vi kan altså regne ut hastigheten til galaksen ved å måle rødforskyvningen.

Det viser seg at de aller fleste galaksene beveger seg hurtig bort fra oss slik at lyset fra dem er rødforskjøvet. Hastigheten viser seg generelt å øke med avstanden på stor skala, mens det kan forekomme betydelige lokale variasjoner fordi galakser nær hverandre i en galaksehopp selvfølgelig trekkes mot hverandre av innbyrdes tyngdekrefter. Ved å måle rødforskyvningen til mange nok galakser i en galaksehopp, så finner vi et mål for den gjennomsnittlige hastigheten galaksehopen har relativt til Sola. Og ved å kompensere for Solas rotasjon rundt sentrum av Melkeveien og Melkeveiens bevegelse relativt til sentrum i vår egen galaksehopp, så får vi et mål på hastigheten som andre galaksehoper har i forhold til vår egen. Siden denne hastigheten grovt sett (på stor skala) følger Hubbles lov : $v = H_0 r$; hvor v = hastigheten, H_0 = Hubbles konstant og r = avstanden, så kan vi finne et godt estimat for avstanden til fjerne galakser ut fra rødforskyvningen.

Hastigheter for masseutkastelse fra nova- og supernovaeksplosjoner

Siden rødforskyvningen bestemmes av hastigheten relativt til Jorda for gassen som sender ut strålingen, så kan vi også bruke rødforskyvningen til å beregne radielle hastigheter for stjerneoverflater. Nova- og supernovaeksplosjoner er blant de voldsomste hendelsene i så måte. I de enorme supernova-

eksplosjonene kastes stjernens ytre deler ut i verdensrommet med hastigheter på inntil flere tusen km/sekund. Dette gir en målbar forskyvning av spektrallinjene, hvilket avslører gasshastigheten.

Men her kommer en interessant geometrisk effekt inn; nemlig at gassen normalt sendes noenlunde radielt ut i alle retninger fra stjernen. Den utgjør derfor et kuleskall av gass som farer ut fra den opprinnelige stjernen. La oss gjøre det så enkelt som mulig og tenke oss at stjernen lå helt i ro i forhold til oss før den eksploderte. Etter eksplosjonen kommer derfor noe av gassen rett mot oss og gir blåforskyvning. Annen gass går rett ut til siden. Denne gassen gir verken rød- eller blåforskyvning. Og på bortsiden av stjernen beveger gassen seg raskt vekk fra oss og gir rødforskyvning. Innimellom disse ekstremene har vi alle varianter av hastigheter mot oss og fra oss. Resultatet er at alle spektrallinjer blir både litt rødforskjøvet, litt blåforskjøvet og ikke forskjøvet i det hele tatt. Spektrallinjene blir derfor ikke lengre skarpe og veldefinerte, men i stedet brede og diffuse.

Gassen fra baksiden av stjernen kan i perioder være helt eller delvis skjult av gassen som kommer mot oss. I såfall forsvinner de rødforskjøvede delene av den brede spektrallinjen helt eller delvis. Dette er tilfelle f.eks. for de tidlige stadiene av nova- og supernova eksplosjoner. Spektrallinjene blir da bredere etter hvert som materien spres utover et større område slik at gassen gradvis blir mer gjennomiktig. Samtidig synker temperaturen, og andre spektrallinjer dukker opp fordi stadig tyngre elementer fra lengre inne i stjernen kommer til syne etter hvert som "tåka letter". Slik kan vi måle hvilke grunnstoffer som finnes i hvilke mengder i ulike dyp nedover i eksploderende stjerner.

Dersom stjernen i utgangspunktet beveger seg bort fra oss, så vil spektrallinjene fremdeles bli brede og diffuse når stjernen eksploderer, men de vil nå i tillegg være rødforskjøvet slik at vi også kan beregne den relative hastigheten som stjernens massesentrum har i forhold til oss.

Hastighetsvariasjoner på stjerneoverflater

Prinsipielt samme metode brukes for å måle periodiske radielle hastighetsvariasjoner for såkalte pulserende stjerner. Nå ser vi kun den siden av stjernen som vender mot oss. Spektrallinjene blir allikevel litt bredere når den radielle hastigheten til stjernens optiske overflate er høy både innover og utover. Samtidig endrer spektrallinjen sin posisjon litt mot rødt når stjernen trekker seg sammen og mot blått når den ekspanderer. Periodisk sammentrekning og utvidelse er bekreftet på denne måten for en rekke typer av variable stjerner som f.eks. Kefeider og RR-Lyrae-stjerner.

Tyngdekraft, tetthet og trykk på stjerneoverflater

Tyngdekraften ved stjernens overflate påvirker trykk og tetthet i gassen. Dette påvirker både bredden og intensiteten til spektrallinjene. Spektrallinjene gjør det derfor mulig å måle disse størrelsene, som igjen er tett koblet mot stjernens totale energiutstråling. Dette er basis for inndeling av stjerner i såkalte luminositetsklasser i Morgan-Keenan(-Kellmann) systemet jfr. artikkelen på side 26-28.

Kartlegging av systemer med flere stjerner

Enkelte stjernesystemer består av to eller flere stjerner som kretser rundt et felles tyngdepunkt. Med mindre vi ser rett ned på systemets baneplan, så vil de to stjernene vekselvis bevege seg mot oss eller fra oss relativt til systemets massesenter. Dette fører til periodiske endringer i rødforskyvningen av spektrallinjene alt etter hvor fort stjernene til enhver tid beveger seg relativt til oss. Hastigheten rundt massesenteret kan være stor hvis stjernene er nær hverandre. På denne måten er det mulig å avsløre ved spektralanalyse at et systemet f.eks. har to stjerner selv om vi ikke kan se mer enn en av stjernene med øyet selv gjennom de største teleskopene. Slike stjerner kalles *spektroskopiske dobbeltstjerner*.

Ekkoet fra Big Bang

Målinger i mikrobølgeområdet har vist at alle retninger i universet hvor vi ikke ser galakser eller stjerner stråler med en Planck-kurve som tilvarer en temperatur på ca. 2.7 kelvin = ca. -271°C. Dette blir ansett som et av bevisene for at universet, slik vi kjenner det i dag, startet med den såkalte Big Bang eksplosjonen. Men den diskusjonen skal vi ikke gå videre inn på her og nå.

Spektralklasser

Av Birger Andresen

Stjerner blir gruppert i spektralklasser på basis av deres elektromagnetiske spektrum. Dette gjør det mulig å si svært mye om en stjerne ved hjelp av en enkel kombinasjon av noen få bokstaver og tall i stedet for å granske hele det komplisert elektromagnetisk spektrumet nøye. Harvardsystemet baserer seg i hovedsak på stjernens overflatetemperatur (farge), mens Morgan-Keenan(-Kellmann) systemet i tillegg gir informasjon om stjernens totale energiutstråling via en luminositetsklasse.

En perfekt beskrivelse av et stjernespektrum består av en grafisk fremstilling av energiutstrålingen ved alle bølgelengder. Dette ville gitt et unikt spektrum for hver stjerne, men det ville være tungvindt å bruke en så detaljert beskrivelse til å sammenligne ulike stjerner. I stedet trenger vi en enkel måte å oppsummere hovedtrekkene i spekteret på. Inndeling av stjerner i spektralklasser er verktøyet astronomene har funnet hensiktsmessig.

Harvardsystemet

I det velkjente *Harvardsystemet* deles stjernene inn i en rekke *spektralklasser*. Inndelingen er slik at stjerner med tilnærmet samme overflatetemperatur (farge) og strålingsfordeling havner i samme spektralklasse.

Man har bestemt at sju hovedgrupper basert på stjernens overflatetemperatur er en passe grov inndeling. Hovedgruppene er O, B, A, F, G, K, M. Hele 99% av alle stjerner passer i disse sju gruppene som kan huskes med følgende setning : "Oh Be A Fine Girl (eller Guy), Kiss Me". Det er laget spesielle spektralklasser for de stjernene som ikke passer inn i noen av disse gruppene jfr. oversikten i Tabell 1.

Hver spektralklasse er inndelt i ti undergrupper som hver har et heltall fra 0 til 9. Rekkefølgen illustreres ved overgangene mellom spektralklassene B, A og F som er slik : ... B8, B9, A0, A1, A2, ..., A8, A9, F0, F1, ... Med denne inndelingen er det nesten kontinuerlig overgang fra en klasse til den neste.

Tabell 1 : Spektralklasse, overflatetemperatur, farge og karakteristiske egenskaper og spektrallinjer. De sju hovedklassene er uthevet med fet skrift, mens spesialklasser ikke er det.

Spektral-klasse	Overflate-temperatur	Stjernens farge	Kommentar
O	30 000 – 50 000 K	blå	Ekstremt varme stjerner med enorm energiutstråling. Sterke linjer av ionisert og nøytralt helium, men svake hydrogenlinjer.
B	10 000 – 30 000 K	blåhvitt	Ekstremt høy energiutstråling og sterke linjer av nøytralt helium. Hydrogenlinjene er moderat sterke og øker i styrke mot spektralklasse A. Eksempel : Rigel.
A	7 500 – 10 000 K	hvit	Høy energiutstråling (f.eks. Deneb og Sirius) eller hvite dvergstjerner med svært sterke hydrogenlinjer som avtar i styrke mot spektralklasse F. De har også linjer fra ioniserte metaller som f.eks. kalsium (Ca).
F	6 000 – 7 500 K	gulhvitt	Ganske høy energiutstråling. Ganske svake hydrogenlinjer og ioniserte metaller. Linjer fra nøytrale grunnstoffer øker i styrke. Disse stjernene befinner seg ofte på hovedserien i Hertzsprung-Russell diagrammet.
G	5 000 – 6 000 K	gul	Vanligvis stjerner med moderat energiutstråling. De har meget sterke linjer fra ionisert kalsium og andre ioniserte metaller. Hydrogenlinjene er svakere enn for F-stjerner og de har linjer fra nøytrale metaller, spesielt fra jern og kalsium. Sola har spektralklasse G2.

K	3 500 – 5 000K	gulrød / oransje	Noen K stjerner er kjemper og superkjemper (f.eks. Arcturus), mens andre er hovedseriestjerner (f.eks. Alfa Centauri B). De har i beste fall svært svake hydrogenlinjer, men meget sterke linjer fra nøytrale metaller og bånd fra CH- og CN-molekyler.
M	2000 – 3 500 K	rød	Dette er den spektralklassen som inneholder desidert flest stjerner. Alle røde dvergstjerner, som utgjør ca. 90% av alle stjerner, er M-stjerner. Kjemper og superkjemper som Antares og Betelgeuse, samt langperiodiske Mira stjerner er også M-stjerner. Spekteret viser sterke linjer fra molekyler, spesielt titanoksid (TiO), og et stort antall linjer fra nøytrale metaller. Hydrogenlinjene er derimot stort sett fraværende.
W	opp til 70 000 K	blå	Wolf-Rayet stjerner. Dette er stjerner med ekstrem energiutstråling helt på slutten av sitt liv. Så og si alt hydrogen er kastet bort fra stjernen.
L	1 500 – 2 000 K	rød / infrarød	Stjerner med for liten masse til å starte regulær fusjon av hydrogen. Sterke linjer fra metallhybrider og alkalimetaller.
T	ca. 1000 K	infrarød	T-Tauri type variable stjerner (svært unge stjerner med lav tetthet ofte funnet i interstellare skyer med stjernedannelse). Linjer fra metan (CH ₄) dominerer spekteret.
S	2 000 – 3 600 K	rød	Røde kjempestjerner med middels sterke karbonlinjer og hvor linjer fra zirkoniumoksid erstatter titanoksid.
C (R & N)	2 000 – 5 000 K	oransje – infrarød	Tidligere delt i to spektralklasser; R (= varme karbonstjerner med T = 3500 – 5000 K og betydelige linjer fra C ₂ , CN og CH) og N (= kjølige karbonstjerner med T = 2000 – 3500 K og sterke linjer fra C ₂ , CN og CH).
D			Hvite dverger.
P			Planetariske tåker.
Q			Novaer.

En svakhet ved Harvardsystemet er at det ikke skiller på stjernens størrelse. Både små dvergstjerner og enorme kjempestjerner kan f.eks. være røde på overflaten og vil således havne i samme spektralklasse. Dette er uheldig siden målet er å kunne gruppere tilnærmedesvis like stjerner sammen med en kort kombinasjon av bokstaver og tall. Derfor trenger vi noe mer informasjon for å skille ulike stjerner fra hverandre.

Morgan-Keenan systemet (Morgan-Keenan-Kellmann systemet)

Morgan-Keenan systemet (MK systemet), også kalt *Morgan-Keenan-Kellmann systemet (MKK systemet)* er en utvidelse av Harvardsystemet ved at det legges til en såkalt luminositetsklasse basert på spektrallinjenes følsomhet for gravitasjonen, tetthet og trykk ved stjernens overflate. Denne gravitasjonen henger nøye sammen med stjernens størrelse og energiutsendelse. Mekanismen er at kjempestjerner har en mye større radius enn dvergstjerner selv om massen grovt sett er sammenlignbar. Det betyr at en kjempestjerne har mye mindre tetthet, trykk og gravitasjon ved overflaten enn en dvergstjerne. Dette påvirker både bredden og intensiteten til spektrallinjene. Spektrallinjene gjør det altså mulig å måle disse størrelsene. Og når vi vet dette sammen med overflatetemperaturen, så kan vi regne ut diameteren til stjernen. Derfra kan vi beregne stjernens overflateareal og den totale energien den stråler ut som elektromagnetisk stråling. Denne er igjen tilnærmet lik stjernens totale energiproduksjon.

Tabell 2 viser de ni luminositetsklassene i MK systemet.

Tabell 2 : Luminositetsklassene i MK systemet.

Luminositetsklasse	Forklaring	Kommentar
0	Ekstremt luminiøse super-superkjemper, eller hyperkjemper som er tilstede kun i små antall.	
Ia	Svært luminiøse superkjemper	
Ib	Litt mindre luminiøse superkjemper	
II	Store kjempestjerner	
III	Normale kjempestjerner	(IIIa & IIIb)
IV	Mindre kjempestjerner	
V	Hovedseriestjerner / dvergstjerner	
VI	Små dvergstjerner	Lite brukt
VII	Hvite dvergstjerner	Lite brukt

Komplett spektralklassifisering

En komplett spektralklassifisering fås ved å kombinere farge/temperaturklassifiseringen i Harvard-systemet med MK luminositetsklassen. Denne kombinerte klassifiseringen sier svært mye om stjernen. Rigel har f.eks. spektralklassen B8Ia, hvilket betyr at vi uten videre vet at den er en svært stor superkjempe med overflatetemperatur på drøyt 30 000 kelvin, og at den har sterke spektrallinjer av ionisert og nøytralt helium og svake hydrogenlinjer.

Tilleggsinformasjon kan føyes til bak luminositetsklassen i form av ekstra bokstavkoder. Noen hyppig brukte koder er vist i tabell 3. Sirius er f.eks. en A1Vm stjerne.

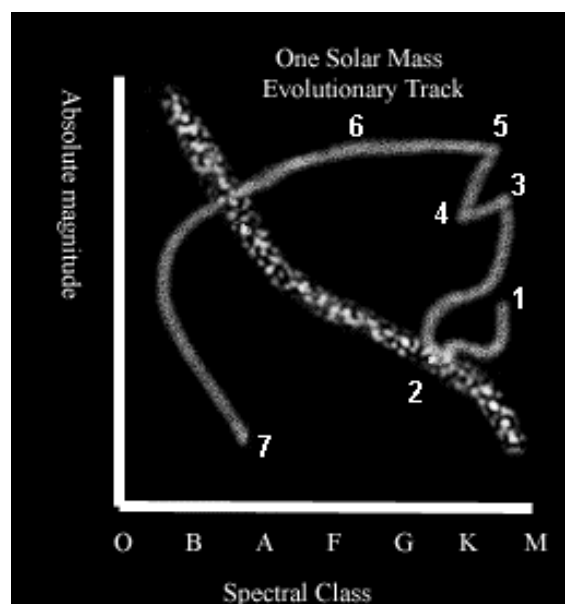
Tabell 3 : Tilleggs-koder for beskrivelser av spektrallinjene.

Kode	Betydning	Kode	Betydning
a	Brede linjer	m	Rik på metallinjer (metallic)
b	Medium linjer	p	Spesiell (peculiar)
c	Smale linjer	wk	Svake linjer (weak)
e	Emisjon		

Stjerner som endrer spektraltype

Alle stjerner endrer spektraltype fra de fødes til de dør. Solas spektralklasse og lysstyrke følger den innregnede banen fra 1 til 7 i Hertzsprung-Russell diagrammet på figur 1. I ca. ni av sine ca. ti milliarder leveår er Sola en stabil G2 stjerne i punkt 2 på den såkalte hovedserien, som også er inntegnet i diagrammet (båndet på skrå opp mot venstre).

Mange variable stjerner forandrer diameter mer eller mindre periodisk. Dette gir også periodiske variasjoner i overflatetemperaturen og tilsvarende endring i spektralklassen over tid. Den langperiodiske Mirastjernen RT Cygni er f.eks. en M2e-M8.8Ibe stjerne, hvilket betyr at den varierer fra Harvardklassene M2 til M8.8 gjennom perioden sin, samt at den er blant de litt mindre kjempestjernene (Ib) og viser sterke emisjonslinjer (e).



Figur 1: Solas spektralklasse i sine ulike utviklingsstadier.

Stjernehimmelen i juni-september 2005

Av Terje Bjerkgård

Stjernehimmelen er svært lys i den tiden vi går inn i, og særlig her så langt nord. Det er derfor begrenset hva en kan observere nå om sommeren bortsett fra Sola og Månen. Imidlertid er det heller ikke beste tiden å studere Månen, fordi den lyse himmelen gir dårlig kontrast. For øvrig er det en svært tynn månesigd på himmelen 7. juni (fase 1 %), men å se denne kan være vanskelig. Fasen har økt til 4% dagen etter og da er Månen lenger unna Sola. I august og september står Månen høyt på himmelen i forhold til Sola før soloppgang, og disse månedene er gunstig for å se etter tynne månesigder om morgenen. Dette skjer 4. august, da fasen er 1.1 %, og 2. september, da fasen er 2.5 %

Merkur, Venus og Saturn nærmer seg hverandre i løpet av juni, og i perioden 24-27. juni er de alle tre samlet innefor en sirkel med 3° diameter. Ja, om ettermiddagen 27. juni er faktisk Merkur og Venus mindre enn 5 bueminutter fra hverandre! For å se dette må du ha et lite teleskop, siden det hele må sees i dagslys.

Venus, Jupiter og Månen befinner seg nær hverandre 6. september. Begivenheten er nok lettest synlig i en prismekikkert eller et lite teleskop på dagtid. Månen befinner seg 33° øst for Sola, Venus 7° øst for den 8% belyste månesigden og Jupiter 3° nordøst for Månen. Månen og Venus burde være synlig med bare øyet mot en klar blå daghimmel.

Merkur er synlig som morgenstjerne fra 20. august og de fem første dagene av september. Lysstyrken øker fra +0.7 mag til -1.3 mag i løpet av disse dagene. Planeten er lettest å se akkurat i månedskiftet. Etter det nærmer planeten seg hurtig Sola.

Venus er aftenstjerne i sommer og får stadig større vinkelavstand til Sola. Imidlertid er vinkelen på ekliptikken veldig lav på sommeren, slik at den går ned bare om lag en time etter Sola. Men planeten kan godt sees på dagtid dersom du vet hvor den står.

Mars begynner i løpet av juli å bli synlig og står opp i øst like etter midnatt. Utover i august står planeten stadig tidligere opp og planetens diameter øker fra 12 til 14 buesekunder i løpet av måneden. I september øker diameteren fra 14 til 18 buesekunder. Den 1. august er planetens avstand fra Jorda 124 mill. km, mens den 1. oktober har avtatt til 79 mill. km. Planeten er da relativt nær Jorda, og står svært gunstig til for observasjon i stjernebildet Tyren (Taurus). Ved opposisjon 30. oktober er planeten bare 69 mill. km unna oss, og planetskiven har da vokst til 20 buesekunder.

Jupiter er synlig lavt i sørvest omkring midnattstider i juni, mens den utover i juli går ned stadig tidligere. I slutten av måneden går planeten ned på en svært lys himmel en times tid før midnatt. Det samme gjelder i august.

Saturn drukner i sollyset i løpet av juni, og dukker først opp på morgnehimmelen i siste halvdel av august. Saturn er synlig stadig tidligere utover i september. I slutten av måneden står Saturn opp en times tid etter midnatt.

Uranus er synlig lavt i sørøst omkring midnatt i august. Planeten er i opposisjon (nærmest Jorda) 1. september. Den har da lysstyrke 5.7 mag, mens planetskiven har en diameter på 3.7 buesekunder. Den befinner seg i stjernebildet Vannmannen (Aquarius) og står maksimalt 17 grader over horisonten.

Neptun er i opposisjon 8. august. Planetskiven har da en diameter på 2.3 buesekunder, mens lysstyrken er 7.8 mag. Planeten er synlig lavt i sør omkring midnatt. Den befinner seg i stjernebildet Steinbukken (Capricornus), og står maksimalt 10 grader over horisonten.

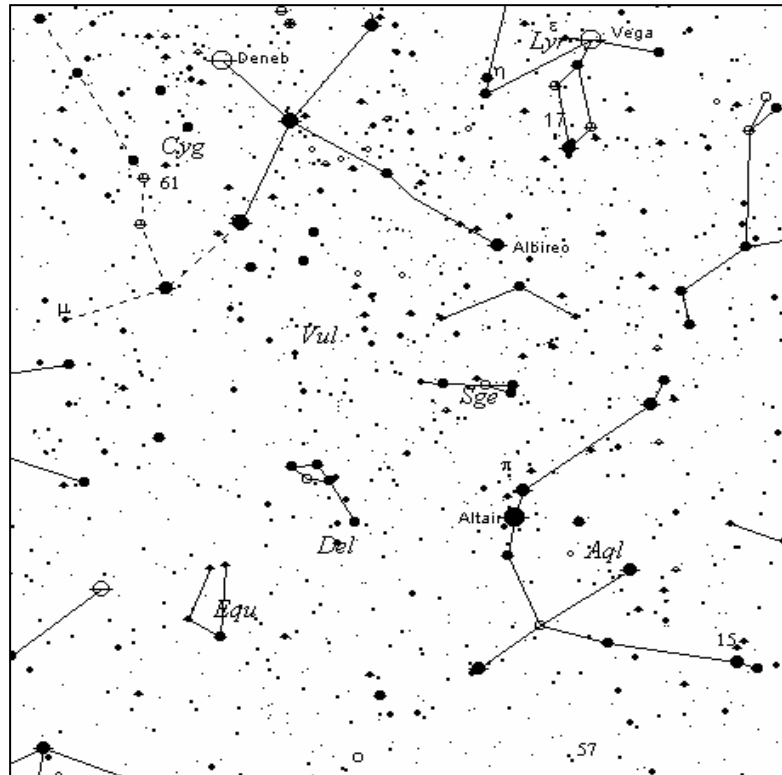
Meteorsvermen **Perseidene** har aktivitet mellom 17. juli og 24. august, med maksimum 12. august. Den er kjennetegnet ved mange lyssterke meteorer, ofte med røykspor. Typiske timerater er rundt 100 meteorer i timen ved maksimum, men vi kan neppe vente mer enn kanskje ¼ av dette med de lyse augustnettene i Trøndelag. Månen er i ne og er således ikke til sjenanse. Radianten ligger like over Perseus i retning Cassiopeia. Dette er ca. 60 grader over horisonten mot øst/sørøst ved midnatt. Det beste du kan gjøre er å se mot sør høyt på himmelen i perioden 23:30 til 01:30 siden sola da er på sitt laveste mot nord. De som er i Sør-Norge eller ferierer i Syden bør absolutt ikke glemme Perseidene. De kan være skikkelig fine når himmelen er helt mørk! Månen sjenerer ikke ved maksimum i år.

Stjerner

Til litt ut i august er det bare de sterkeste stjernene som er synlig midt på natten. I sør troner det såkalte Sommertriangleret som består av stjernene Vega i Lyren (Lyra), Deneb i Svanen (Cygnus) og Altair i Ørnen (Aquila).

Sommeren er tiden for sterke dobbeltstjerner. Den lyse himmelbakgrunnen kan faktisk være til hjelp her og gjøre det lettere å splitte stjerner, særlig der det er stor forskjell i lysstyrke mellom komponentene. Dette er fordi det da er mindre kontrast mellom stjernene og bakgrunnen.

Sommertriangleret er et velkjent "stjernebilde" på himmelen om sommeren. Dobbeltstjernene i tabellen under er også vist. Åpen sirkel betyr variabel stjerne.



Tabellen gir eksempler på noen fine dobbeltstjerner i Sommertriangleret (se også kart).

Stjerne	Posisjon (RA / dec.)	Lysstyrker - farger	Separasjon (buesek.) / Kikkert
15 Aql	19t 05m / -04° 02′	7.2/5.2 – rød/rød	38″ / Prismekikkert
57 Aql	19t 55m / -08° 13′	5.8/6.5 – blå/blå	36″ / Prismekikkert
π Aql	19t 49m / +11° 49′	6.2/6.8 – hvit/blåhvitt	1.5″ / 5-tommer
β Cyg (Albireo)	19t 31m / +27° 58′	3.2/5.4 – rød/blå	35″ / Prismekikkert (10 x forst.)
61 Cyg	21t 07m / +38° 45′	5.5/6.4 – rød/rød	27″ / Kraftig prismekikkert
μ Cyg	21t 44m / +28° 44′	6.1/4.7 – hvitt/hvitt	1.8″ / 5-tommer
ε Lyr	18t 44m / +39° 37′	4.7/4.5 – blåhvitt/blåhvitt	209″ / Synstest blotte øye
ε ₁ Lyr	18t 44m / +39° 37′	6.0/5.1 – blåhvitt/blåhvitt	2.8″ / 3-tommer
ε ₂ Lyr	18t 44m / +39° 37′	5.1/5.4 – blåhvitt/blåhvitt	2.3″ / 3-tommer
η Lyr	19t 14m / +39° 08′	4.5/8.7 – blå/blå	28″ / 4-tommer
17 Lyr	19t 07m / +32° 30′	5.0/9.4 – blåhvitt	3.7″ / 6-tommer

En annen interessant dobbeltstjerne er Polarstjernen (Polaris) i stjernebildet Lille Bjørn (Ursa Minor). Polaris har nemlig en blåhvitt kompanjong av ca. 9 mag som ligger 18 buesekunder unna.