

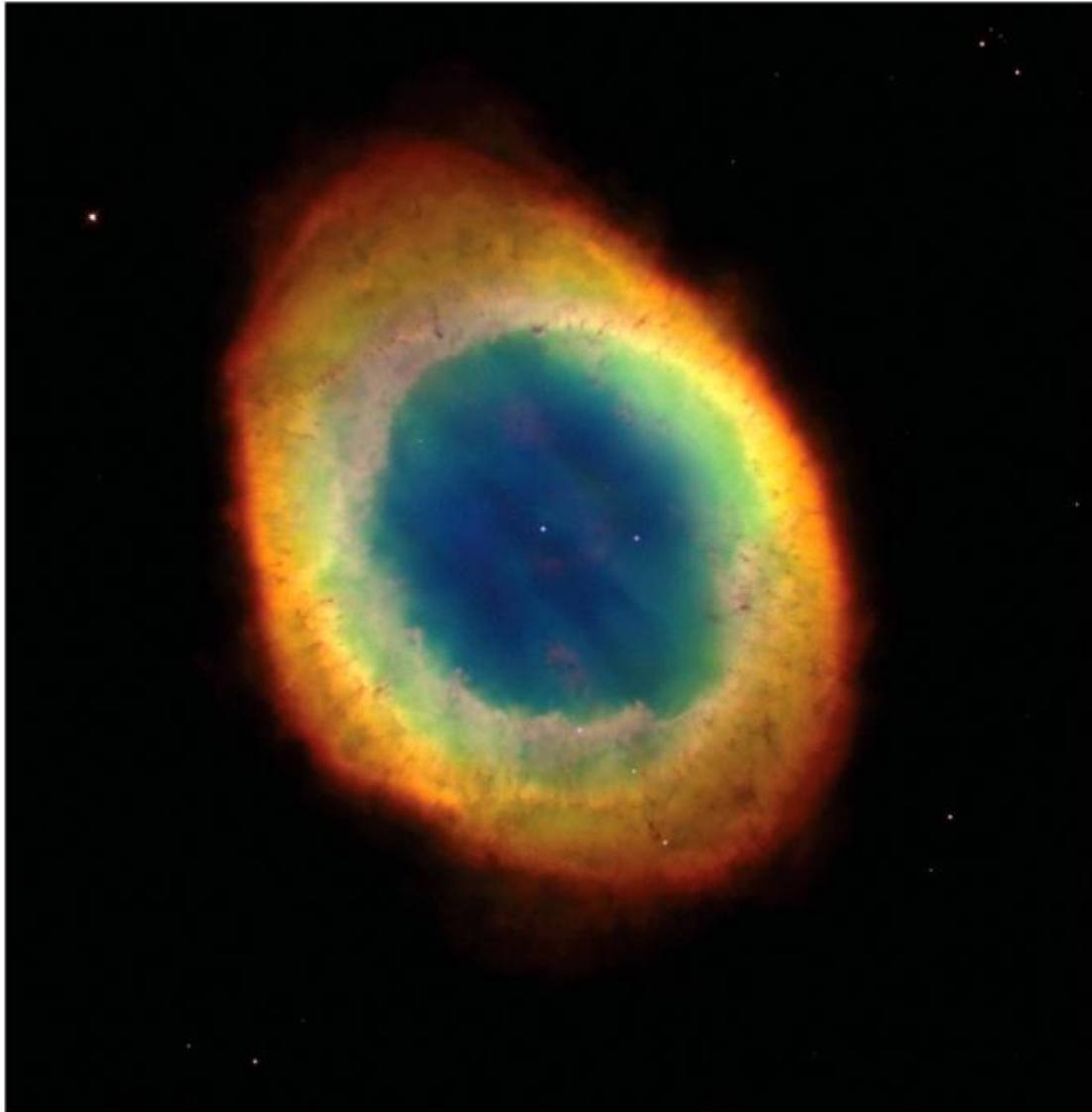
Innhold

1	LEKSJON 4: LYSETS NATUR.....	1
1.1	ELEKTROMAGNETISK STRÅLING FRA VERDENSROMMET.....	2
1.2	STJERNEBILDET TUCANA.....	5
1.3	ET PRISME OG ET SPEKTRUM.....	6
1.4	DEMONSTRASJONSFORSØK: YOUNGS DOBBELT SPALT FORSØK	7
1.5	DET ELEKTROMAGNETISKE SPEKTRUMET	10
1.6	ELEKTROMAGNETISKE BØLGER	14
1.7	LYSHASTIGHETEN.....	15
1.8	TEMPERATURENHETENE	16
1.9	STRÅLINGSKURVEN FOR ET SORT LEGEMET OG TEMPERATUR	17
1.10	DEN KOSMISKE BAKGRUNNSSTRÅLINGEN VISER UNIVERSET LIKE ETTER BIG BANG	18
1.11	SOLEN ER TILNÆRMET ET SORT LEGEME.....	19
1.12	NØYTRINOSTRÅLING FRA SOLA	20
1.13	SOLARKONSTANTEN	21
1.14	STEFAN-BOLTZMANN'S LOV:	21
1.15	WIENS LOV FOR ET SORT LEGEME:.....	22
1.16	ENERGIFLUKSEN SOM TREFFER SOLPANELENE.....	23
1.17	SPEKTRALANALYSE	24
1.18	KIRCHHOFFS TRE SPEKTRALLOVER:.....	25
1.19	FRAUNHOFER LINJENE I SOLSPEKTERET.....	26
1.20	STJERNEN VEGA HAR HYDROGEN I ATMOSFÆREN	27
1.21	BOHR'S ATOMMODELL	27
1.22	EINSTEIN OG PLANCK	29
1.23	DOPPLEREFEKTEN	30
1.24	KRAFTIGE STRÅLINGSKILDER	31
1.25	AKTIVITETER	35
1.26	OPPGAVER	35

1 Leksjon 4: Lysets natur

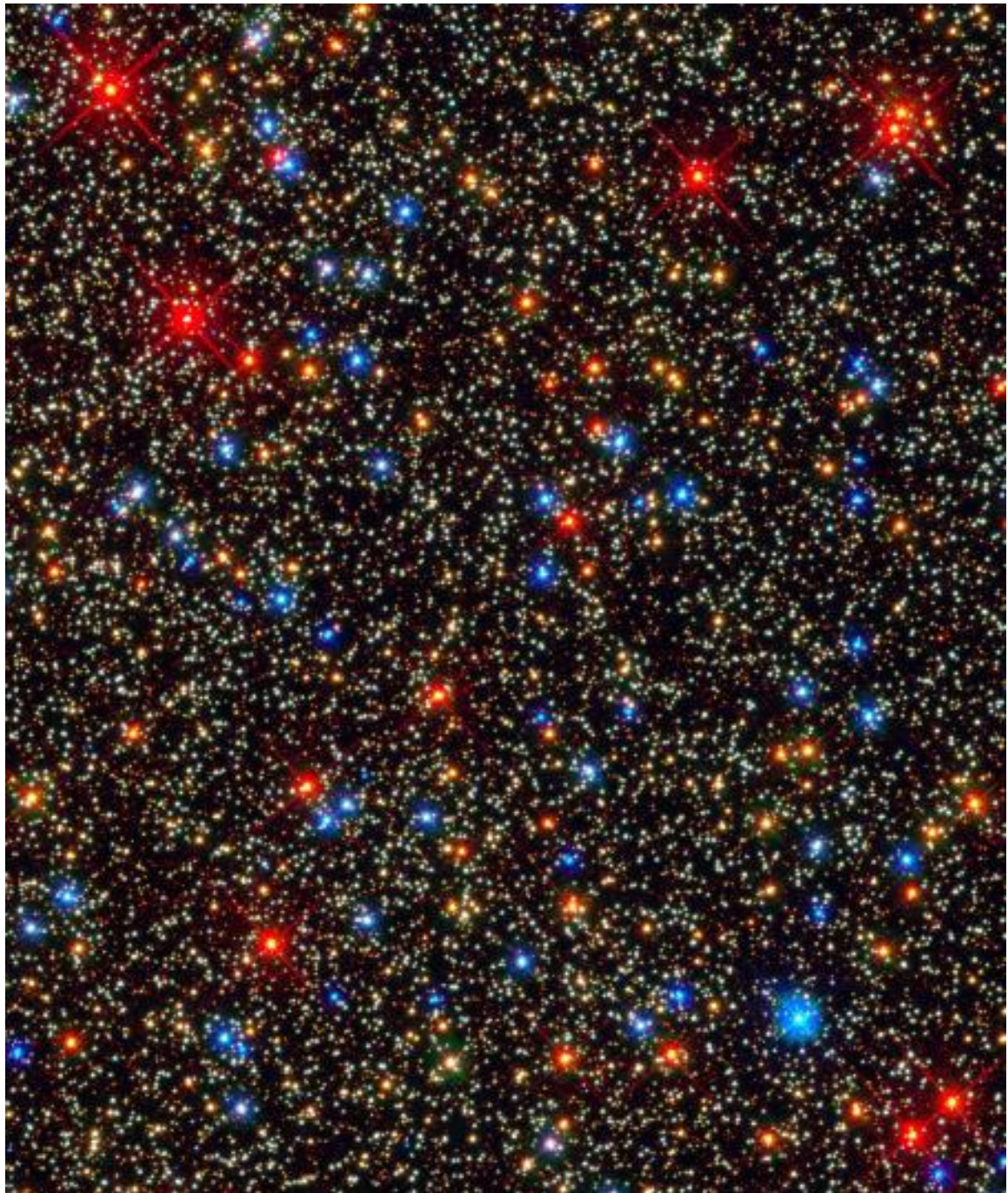
Lyset fra stjernene har gitt oss den kunnskapen vi har om Universet. Astronomene studerer fargemønstret i lyset, dette mønstret gir blant annet informasjon om stjernens kjemiske sammensetning og overflatetemperatur. Metoden astronomene benytter i denne sammenheng kalles for spektralanalyse. De kopler et spektroskop til teleskopet, spektroskopet spalter lyset og fokuserer spektrallinjene på CCD brikken. Det er lysets bølgenatur som fører til interferensmønstret bak gitteret i spektroskopet

1.1 Elektromagnetisk stråling fra verdensrommet

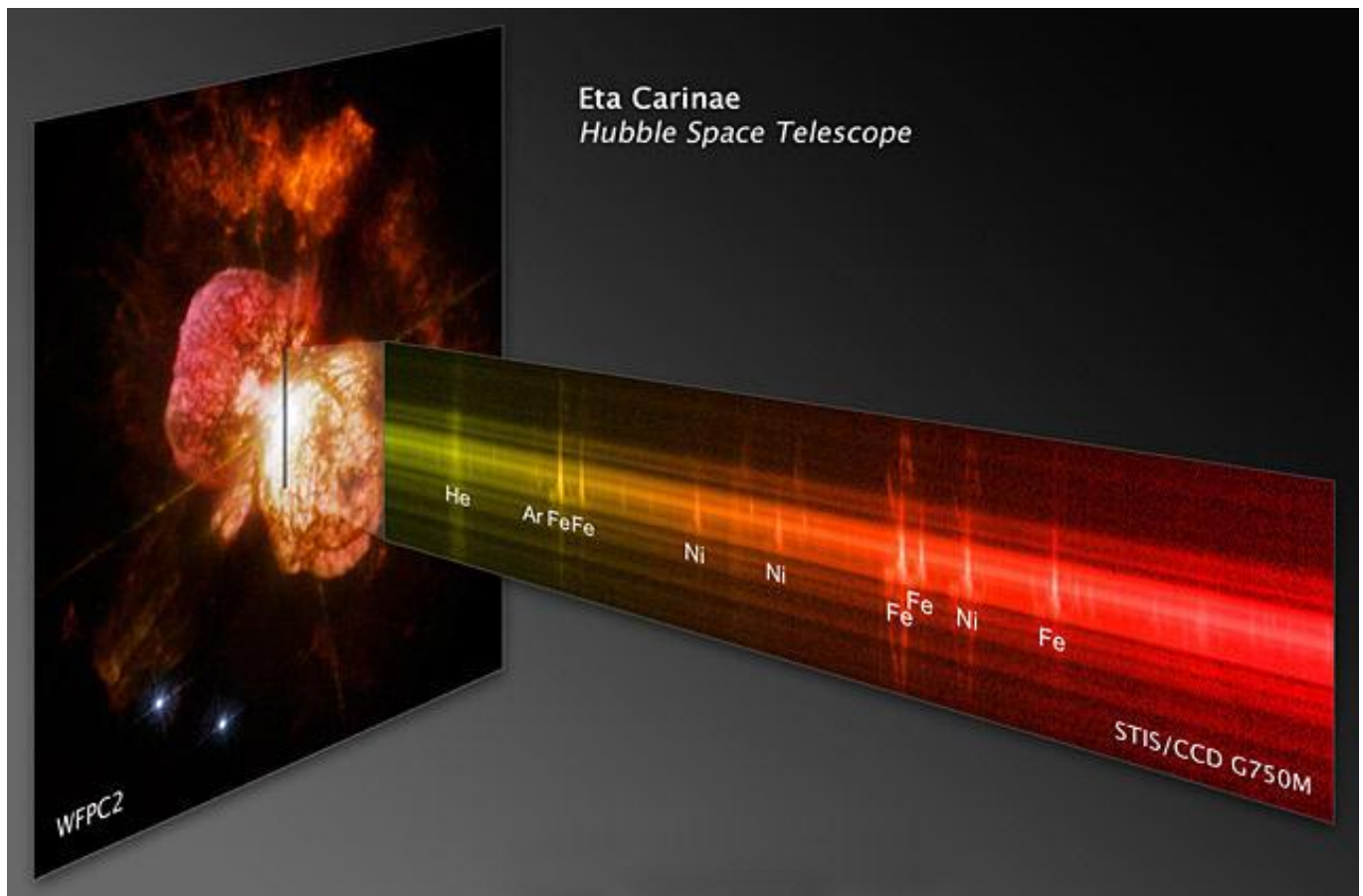


Chapter 5 Opener
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Ringtåken ("The Ring Nebula", M57 , NGC 6720) er et skall av glødende gas med en døende stjerne i midten. Spekteret av lyset som tåken sender ut viser hvilke gasser som er tilstede. **Nitrogen sender ut det røde lyset**, **oksygenet gir grønt lys** og **helium gir det blåe lyset**. Ring tåken ligger på linjen mellom Vega og Altair (Sommertrekanten). Vinkelavstanden mellom Vega og Ring tåken er omtrent 7 grader (Aktivitet 1 og 2).



Et av de første bildene tatt med Hubbles nye [WFC3-kamera](#) (Dagbladet 2009) viser 100 000 fargerike stjerner i hopen Omega Centauri. Totalt består hopen av nær 10 millioner stjerner som ligger 16 000 lysår unna jorda. De fleste av stjernene er voksne og gulhvite, som vår egen sol, mens de røde, blå og oransje stjernene nærmer seg slutten av livet. Foto: AFP PHOTO/NASA/ESA (Aktivitet 6)



Spektrografen om bord i Hubble kan granske lyset fra objektet for å se hvilke grunnstoffer det er bygd opp av. Her har teleskopet påvist helium, argon, jern og nikkel hos stjernen Eta Carina
Foto: NASA



Dette er et av de siste nærbildene tatt av Hubble, mens romferja Atlantis var på vei hjem. Hubble vil brenne opp i atmosfæren en gang etter 2014. Foto:AP Photo/NASA

1.2 Stjernebildet Tucana

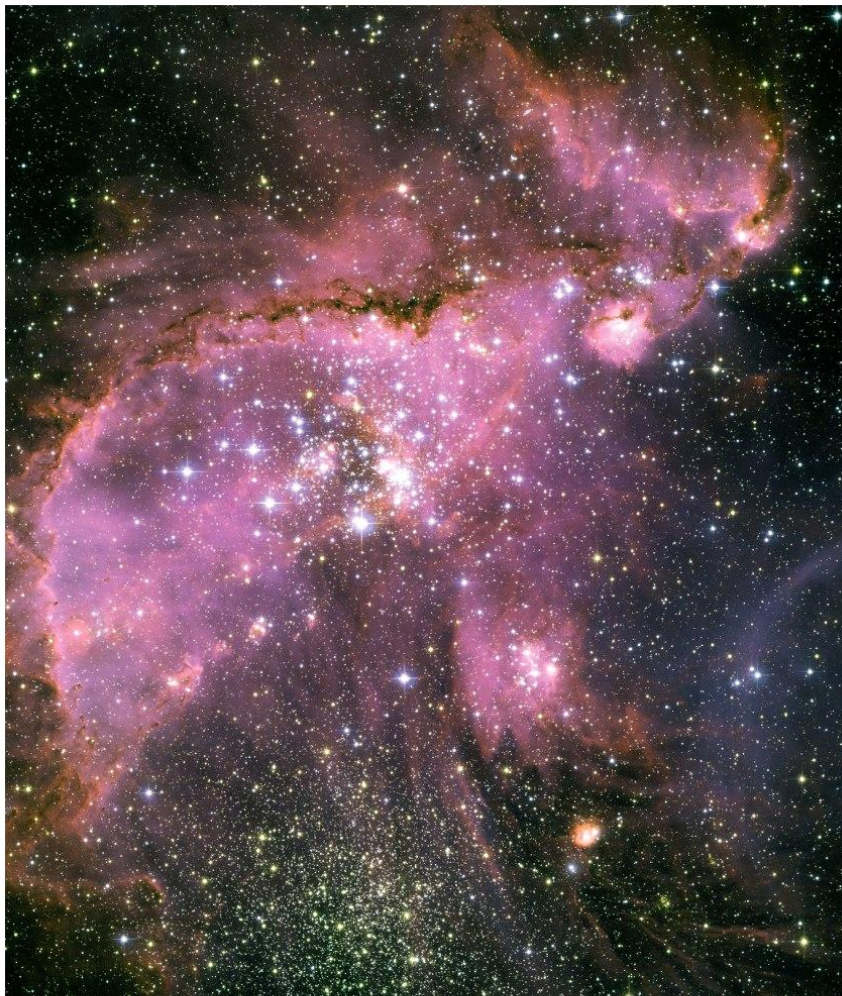


Figure 5-18
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet av denne glødende gass tåken er tatt med Hubble Space Telescope. Avstanden ut til tåken (NGC 346) er 210 000 lysår og den ligger i stjernebildet Tucana (the Toucan). De varme stjernene i tåken emitterer (sender ut) UV-fotoner, disse absorberes av gassen som ligger i rommet rundt stjernene og gassen lyser. Gassen lyser på bestemte bølgelengder, altså et emisjons spektrum. Det røde lyset har bølgelengden 656 nm, en bølgelengde som er karakteristisk for en hydrogengass.



Fuglen Toucan

1.3 Et prisme og et spektrum



Figure 5-3
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Når lyset passerer gjennom et glassprisme, brytes lyset og vi får ut lys med alle regnbuens farger. Dette fargemønsteret kalles for et spektrum. Vi ser bølgelengden for de forskjellige fargene til høyre (1 nm (nanometer) 10^{-9} m).

De ulike fargene i hvit lys har ulik hastighet i glass. Fiolett brytes mest (størst brytningsindeks) fordi fiolett har mindre hastighet i glass sammenliknet med de andre fargene.

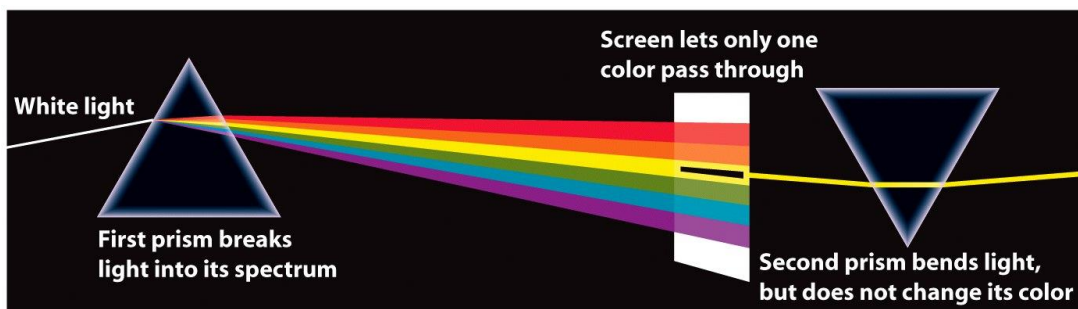


Figure 5-4
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Figuren viser hvordan Newton eksperimenterte med lysets natur.

Det var Newton rundt 1670 som testet den gamle oppfatningen at det var prismet som tilførte fagene i det hvite lyset som kom fra Solen. Newton lot fagene i solspekteret passe en trang spalt og deretter passerte det gule lyset (for eksempel) et prisme nummer 2, det skjedde ikke noe med det gule lyset. Rødt forble rødt osv. Hans konklusjon var at prismet separerte fagene, prismet tilførte ikke fargene. Prismet synliggjør alle regnbuens fager i sollyset.

En varm sommerdag på stranda har vi erfart at lys er energi. Men hva er lys? Hvordan produseres lys? Hvordan kan lys gå gjennom verdensrommet som tilnærmet er vakuum? Dette er spørsmål vi skal besvare i de påfølgende avsnitt.

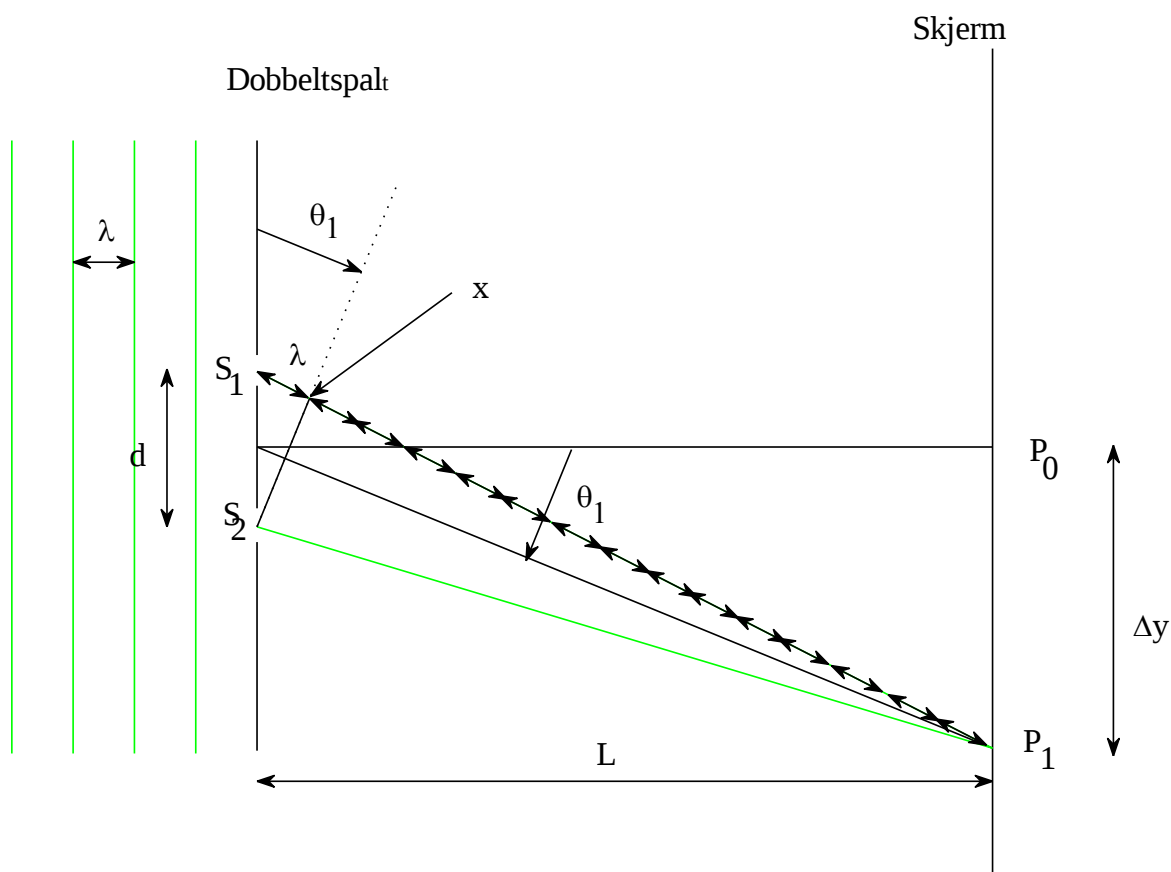
1.4 Demonstrasjonsforsøk: [Youngs dobbelt spalt forsøk](#)

Utleddningen er ikke pensum i Fys110 våren 2012

Youngs forsøk med dobbelt spalt viser at lyset har bølgenatur. På fysikklaben skal vi vise dette forsøket, sender laserlys gjennom en dobbelt spalt, bak spaltene kan vi fange opp et interferensmønster (et bånd av mørke og lyse bånd) på en skjerm. (Aktivitet 3)

Gitter og dobbeltespaltformelen - utledning av spektrallinjeformelen:

$$d \cdot \sin(\theta_n) = n \cdot \lambda$$



NB: teksten er mangelfull, henviser til forelesningene og læreboka.

Vi antar at trekanten S_1S_2x er rettvinklet, god tilnærming når skjermen ligger langt unna dobbeltspalten og spaltebredden (d) er liten i forhold til skjermavstanden (L). Den minste kateten

i trekanten (S_1x) har lengden en bølgelengde fordi avstanden S_1P_1 er en bølgelengde lenger enn avstanden S_2P_1 .

Forholdet mellom den minste kateten og hypotenusen i trekanten S_1S_2x er sinus til vinkelen θ_1 .

$$\sin(\theta_1) = \frac{\lambda}{d}$$

Vinkelen θ_1 finner vi igjen som vinkelen mellom sentralstrålen ($n=0$) og første stråle ($n=1$)

Når avstanden til skjermen er stor forhold til avstanden mellom spaltene e :

$$\sin(\theta_1) = \frac{\Delta y}{L}$$

Disse to likningene gir:

$$\lambda = \frac{d}{L} \cdot \Delta y$$

Sender vi hvitt lys mot dobbeltspalten vil den første strålen splittes opp i regnbuens farger. Vi får et fargespektrum på skjermen. Det røde lyset vil ligge lenger vekk fra sentralstrålen, det blå lyset vil ligge nærmest sentralstrålen.

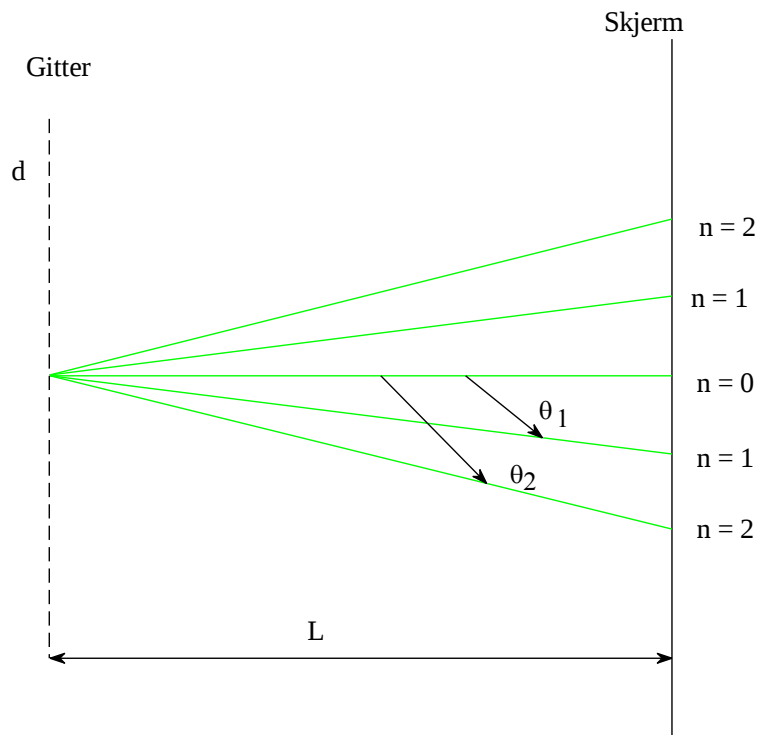
Vinkelen ut til stråle nummer n er gitt av uttrykket:

$$\sin(\theta_n) = n \cdot \frac{\lambda}{d}$$

Legg merke til at antall strålelinjer er gitt av uttrykket:

$$n \cdot \frac{\lambda}{d} = 1$$

Fordi $\sin(\theta_n)$ kan ikke bli større enn en.



I spektrometre benyttes gitter i stedet for dobbelt spalt eller prisme. Et gitter er et system av mange spalt åpninger. Gitterkonstanten (d : avstanden mellom hver spalt) er liten, en liten avstand mellom spaltene gir god avstand mellom fargene (god fargeoppløsning).

For et gitter benytter vi samme formelen som for dobbeltspalten (Oppgave 5):

$$d \cdot \sin(\theta_n) = n \cdot \lambda$$

1.5 Det elektromagnetiske spektrumet

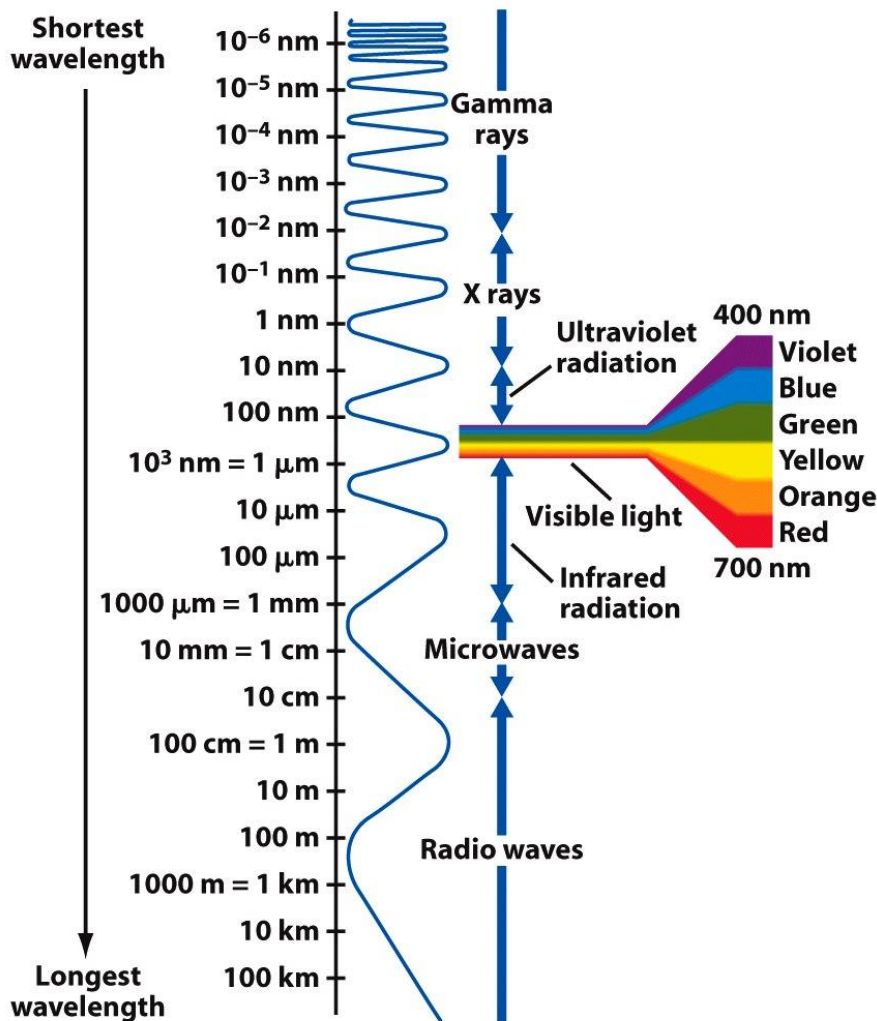


Figure 5-7
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Det elektromagnetiske spekteret inneholder elektromagnetisk stråling på alle bølgelengder, fra de lengste radiobølgene til de korte gammabølgelengdene. Den synlige delen av spekteret er bare en liten del av hele det elektromagnetiske. Infrarød stråling (mikrometerstråling) har lenger bølgelengde enn det synlige lyset, denne strålingen ble første gang oppdaget av William Herschel rundt 1800. Heinrich Hertz (1888) var den første som tok i bruk radiobølger, de har bølgelengder lengre enn 10 cm. Når det gjelder radiobølger benytter man som regel begrepet frekvens, enheten for denne størrelsen er Hertz (til ære for Heinrich Hertz). FM radioen sender i frekvensområdet fra 88 til 108 MHz. I 1895 klarte Wilhelm Røntgen å lage røntgenstråling, kjent som "X-rays".

En elektromagnetisk bølge beveger seg med konstant hastigheten i tomt rom:

$$c = 2.998 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Bølgetoppen beveger seg en strekning lik bølgelengden (λ) i løpet av en periode (T)

Vi benytter bevegelseslikningen: $s = v \cdot t$

Ved innsetting får vi $\lambda = c \cdot T$

Sammenhengen mellom frekvens og periode: $T = \frac{1}{f}$

Ved innsetting får vi $\lambda \cdot f = c$

Eksempel: Finn følgelengden for FM radioen når frekvensen er 100 mega Hertz:

$$f := 100 \cdot 10^6 \cdot \text{Hz}$$
$$\lambda := \frac{c}{f} \quad \lambda = 3.0 \text{m}$$



(a) Mobile phone:
radio waves



(b) Microwave oven:
microwaves



(c) TV remote:
infrared light



(d) Tanning booth:
ultraviolet light



(e) Medical imaging:
X rays.



(f) Cancer radiotherapy:
gamma rays

Figure 5-8
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Figuren viser nyttig bruk av stråling vi ikke kan se

- En mobiltelefon sender og mottar radiobølger. disse bølgene ligger I området fra 16 til 36 cm.
- Strålingen i mikrobølgeovnen har en bølgelengde omkring 10 cm. Det er vannet i maten som absorberer denne strålingen og maten blir varm.
- Det er infrarødt lys som overfører signalene mellom fjernkontrollen og TVen
- Ultrafiolett lys gir huden brunfarge. Overdreven bruk av denne strålingen kan gi forbrenning og hudkreft.
- Røntgen stråling kan gå gjennom bløtt vev men ikke gjennom ben. Denne egenskapen er nyttig benyttes til medisinsk fotografering
- Gamma ødelegger kreftseller.

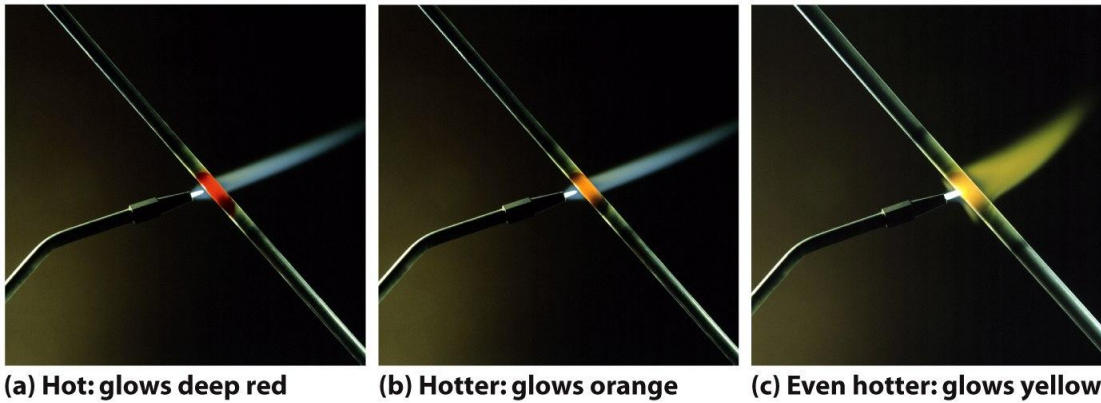


Figure 5-9
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Figuren viser jern som varmes opp (Aktivitet 4)

Den enkleste måten å produsere elektromagnetiske bølger er å varme opp et objekt. Et godt eksempel er glødelampen. I strålingen fra et legeme som er varmt ligger der mye informasjon om det legemet som stråler. Solen og stjerner er gasser som har høy temperatur og vi kan lære mye om strålingen fra objekter på himmelen ved å undersøke stråling fra varme gasser og legemer i laboratoriet her på Jorden. På bildet ser vi hvordan jern forandrer fargen når temperaturen øker. Det blir en forandring av bølgelengden når temperaturen øker. Vi kjenner det røde lyset fra brødristeren eller komfyren. (dere får demonstrert oppvarming av en spiker). Desto varmere et objekt blir jo mer energi sendes ut og under oppvarmingen sendes strålingen ut på kortere bølgelengder.

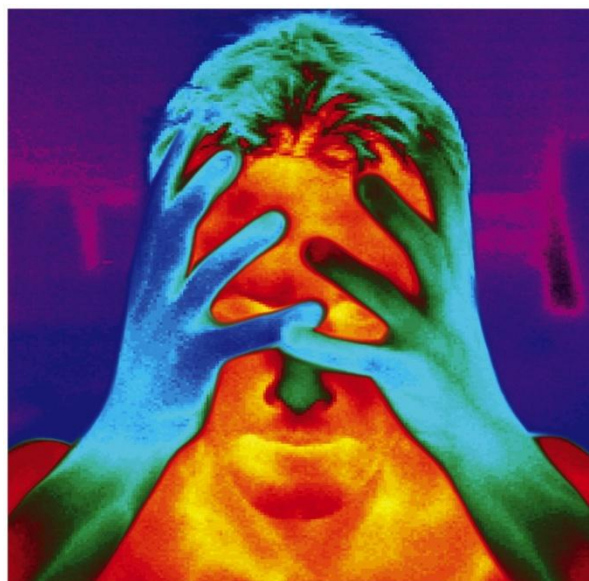


Figure 5-10
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Figuren viser et infrarødt portrett

Dette bildet er tatt med et kamera som er følsomt for infrarød stråling. Vårt øye er ikke følsomt for denne strålingen, men vi kan føle energien som stråler ut fra det varme legemet. Skal vi forstå den infrarøde strålingen må vi først vite hvordan temperaturbegrepet er definert i fysikken. Kort fortalt er temperaturen et mål på hvor raskt atomene beveger seg. Vi sier at legemet har temperaturen null kelvin dersom atomene i et stoff beveger seg med en hastighet som er tilnærmet null. Det absolutte nullpunktet er starten på kelvinskalaen. Bildet viser at håret er kaldere enn mannens ansikt.

1.6 Elektromagnetiske bølger

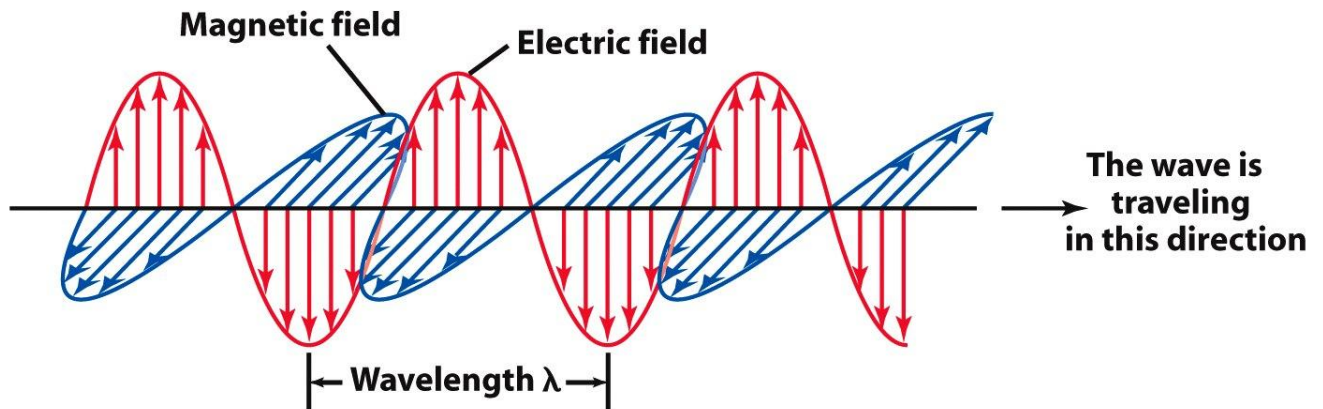


Figure 5-6
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Figuren viser et øyeblikksfotografi av en elektromagnetisk bølge (oscillerende elektriske og magnetiske felter)

Bølger trenger normalt å ha et medium og gå i (lydbølge, vannbølger). Hva er det som går fram og tilbake i lysbølger? Det var viktige oppdagelser i 1821 og 1831 dannet grunnlaget for svar på dette spørsmålet. Dansken Ørsted oppdaget i 1821 at elektrisk strøm er kilden til magnetfeltet. Faraday oppdaget i 1831 at variasjonen i magnetfeltet er kilden til det elektriske feltet.

I 1860 (ca 200 år etter at Newton oppdaget solens fargespektrum) oppdaget James Clark Maxwell at der måtte gå en strøm gjennom en kondensator som koples til en vekselstrømskilde, han kalte denne strømmen for en forskyvningsstrøm. Etter denne oppdagelsen klarte Maxwell å beskrive hele elektromagnetismen i fire likninger.

Det er han og mange andre fysikere (Gauss, Ampere, Faraday for å nevne de største) vi kan takke når vi løper rundt med mobiltelefonene våre.

Maxwell kombinerte disse fire likningene og fant at det måtte være elektriske og magnetiske felter som beveget seg gjennom verdensrommet med lysets hastighet. På grunn av at lyset består av elektriske og magnetiske felter kalte han lyset for elektromagnetisk stråling (Pensum i Fys 102).

1.7 Lyshastigheten

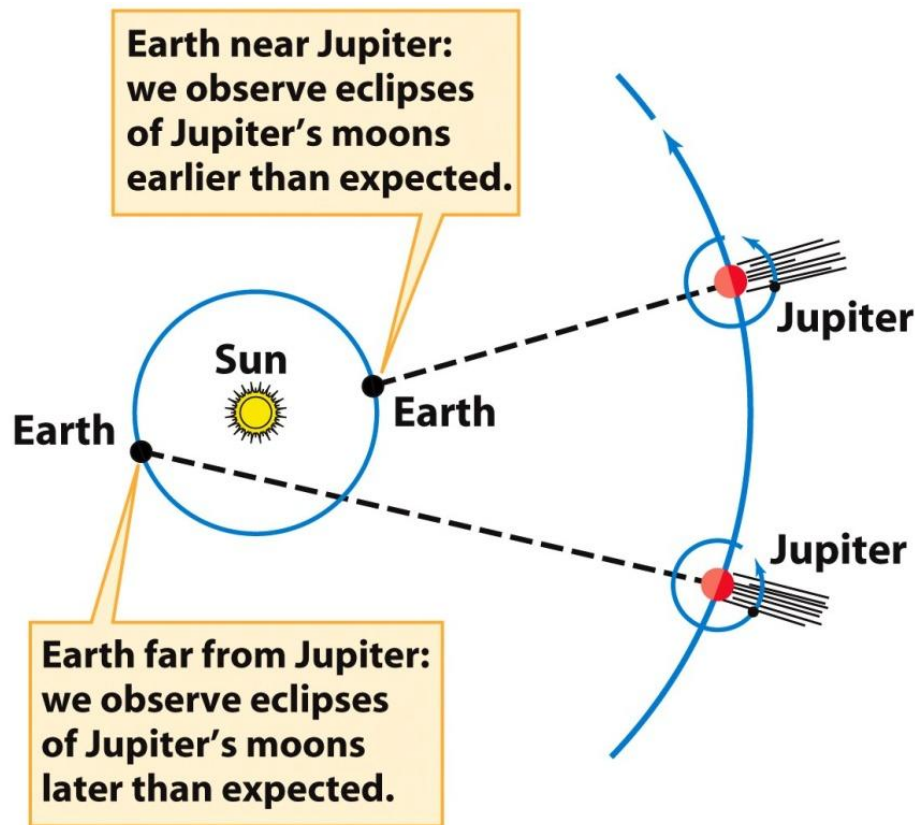


Figure 5-1
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

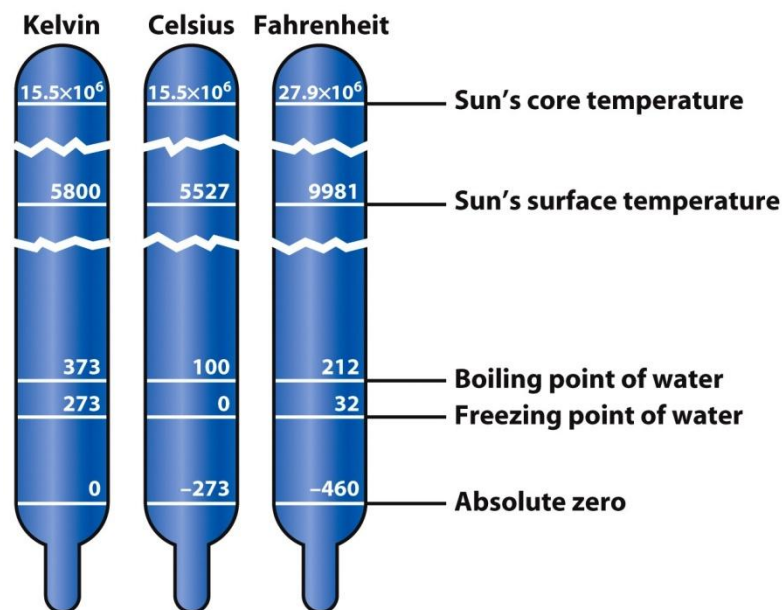
I 1676 fant den danske astronomen Ole Rømer at Io (en av de fire galileiske månene) hadde en formørkelsestidspunkt (tidspunktet for første kontakt) som var avhengig av avstanden mellom Jorden og Jupiter. Rømer målte formørkelsestidspunktet når Jupiter var i konjunksjon og i opposisjon, han fant formørkelsen startet 22 minutter senere når Jupiter var i konjunksjon (Aktivitet 5). I konjunksjon er avstanden til Jupiter størst. I opposisjon er avstanden til Jupiter minst. I konjunksjon måtte lyset fra Io tilbakelegge seg ca 2 astronomiske enheter lenger vei enn når planeten er i opposisjon (2AU).

En tidsforsinkelse på 22 minutter gir en lyshastighet på 227,000 km/s (Aktivitet 5). Bruker vi tidsforsinkelsen 16,6 minutter og verdien på en AU, slik vi kjenner den i dag får vi:

$$v = \frac{s}{t} \quad c = \frac{2 \cdot \text{AU}}{16,6 \text{ min}} = 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

På den tiden Rømer levde var ikke den astronomiske enheten kjent med tilstrekkelig nøyaktighet, derfor dette avviket på ca 25%.

1.8 Temperaturenhetene



Box 5-1
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

I hverdagen benytter vi som regel skalaen som svensken Andreas Celsius innførte i 1742, den baserer seg på vannets egenskaper ved havoverflaten. Nullpunktet er vannets frysepunkt og vannet koker ved 100 grader celsius.

Astronomene bruker vanligvis temperaturkalaen til Kelvin. Nullpunktet for denne skalaen er når atomene har minst mulig bevegelse., det skjer ved -273 grader Celsius. Vann fryser ved 273 grader kelvin og koker ved 373 grader kelvin. Fahrenheit (1700) skalaen benyttes i USA, den er foreldet. 32 grader Fahrenheit svarer til frysepunktet for vann og vannet koker ved 212 grader fahrenheit. (Mathcad har alle tre enhetene blant standardenhetene)

1.9 Strålingskurven for et sort legemet og temperatur

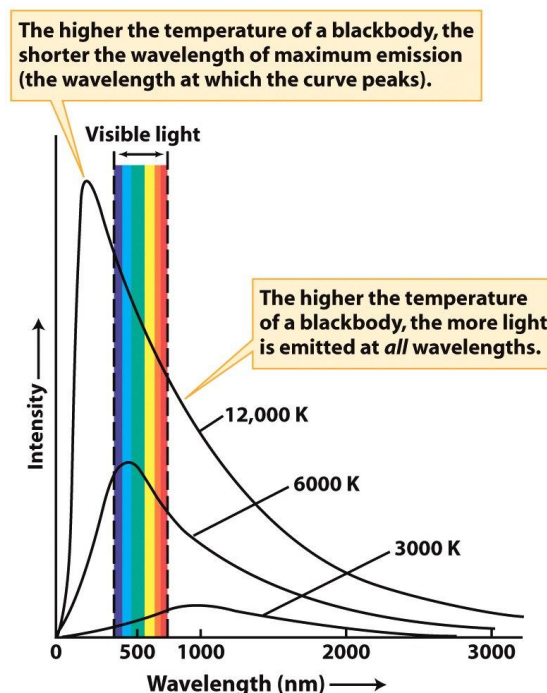


Figure 5-11
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

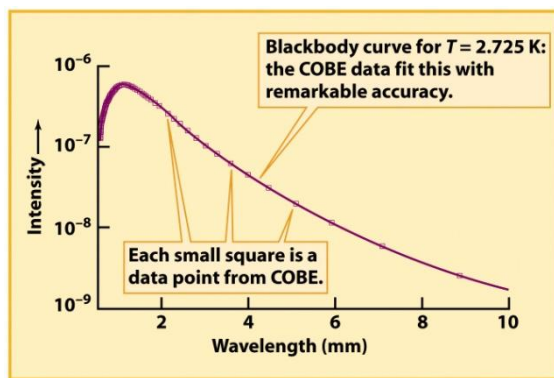
Figuren viser Strålingskurven (“blackbody-kurven”) for et sort legeme.

Et sort legeme er i termisk likevekt med omgivelsene, det emitter like mye energi som det absorberer. Hver kurve viser hvordan den elektromagnetiske strålingen varierer med bølgelengden. Regnbuen viser bølgelengdeområdet for synlig lys. Den vertikale aksen er komprimert fordi kurvene skal bli synlige i samme figur. Intensiteten for 12 000 K kurven er 1000 ganger større enn intensiteten for 3000K kurven.

Legg merke til at kurvens topp-punkt forskyves mot kortere bølgelengder når temperaturen øker. Solen overflatetemperatur er ca 6000 K. Grafen viser at kurvens topp-punkt ligger i den synlige delen av spektret.

Vi ser at en stjerne med høy temperatur (12000 K) har et spekter der blått dominerer. Den samme erfaringen når vi varmer opp en spiker, fargen går fra rød mot blått. Stjernen Rigel i Orion har en høy tempertur og er derfor blå. Betelgeuse er en rød kjempe i Orion, en stjerne med lav temperatur.

1.10 Den kosmiske bakgrunnsstrålingen viser Universet like etter Big Bang



The spectrum of the cosmic microwave background

Figure 26-7b
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company



The COBE spacecraft

Figure 26-7a
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Romfartøyet COBE målte reststrålingen etter Big Bang, strålingskurven er i samsvar med målepunktene når temperaturen er 2,725 K. Personene bak denne oppdagelsen ble hedret og fikk nobelprisen i fysikk i 2006. COBE observerte oldtidens fotoner eller den kosmiske bakgrunnsstrålingen som vi sier. Denne oppdagelsen viser at Universet 380 000 år etter Big Bang hadde Universet en temperatur på 2,725 K.

Astronomene trengte en radiomottaker med bedre oppløsning enn COBE. En vinkeloppløsning på 7 grader var ikke tilstrekkelig dersom målet var å finne et svar på hvor galaksene grupperer i seg hoper. En ny radiomottaker ble i 2001 plassert i L2-punktet, romfartøyet ble oppkalt etter David Wilkinson, han var pioneren i studie av bakgrunnsstrålingen (WMAP)

[WMAP på jakt etter oldtidens fotoner](#) . Animasjonen viser en reise fra Jorden til kanten av det observerbare Univers (den kosmiske horisont).

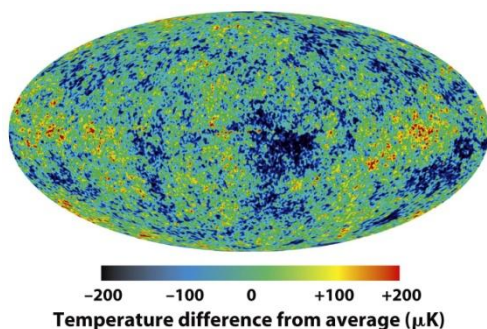


Figure 26-14
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Kartet viser temperaturvariasjonen i den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Kartet viser med andre ord opprinnelsen til vårt univers slik vi i dag kan observere det. Denne variasjonen i temperaturen viser at materien og strålingen var ikke isotrop i rekombinasjons øyeblikket, 380 000 år etter Big Bang. I rekombinasjons øyeblikket ble materien og strålingen "decoupled", det vil si strålingen hadde ikke nok energi til å "ødelegge" materien.

Astronomene benytter ordet rekombinasjon nå de frie elektronene finner frie protoner og danner hydrogen. I rekombinasjons øyeblikket koples elektronet og protonet sammen og de forblir sammenkoplet helt til nye stjerner dannes. Har fordelingen av materien i rekombinasjons øyeblikket hatt innflytelse på massefordelingen i "dagens" Univers?

Astronomene ønsker med andre ord å undersøke om der finnes en sammenheng mellom massetetthetsfordelingen i universet 380 000 år etter Big Bang og dagens observerte konsentrasjon av galakser i superhoper.

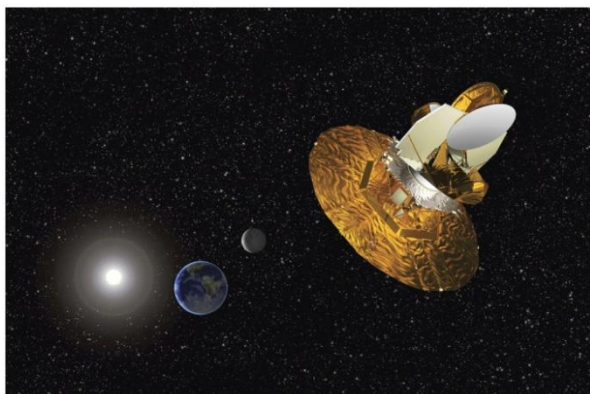


Figure 26-13
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser Solen, Jorden, Månen og sonden (WMAP). WMAP 1.5 millioner kilometer fra Jorden på motsatt side av Solen. Sonden vil "oppleve" en solformørkelse året rundt fordi Solen, Jorden og WMAP ligger tilnærmet på samme linje. Det er viktig at radiomottakeren er kald når lavtemperatur fotonene ($T = 2.725 \text{ K}$) i den kosmiske bakgrunnsstrålingen skal fanges inn.

Romfartøyet WMAP viser variasjonen i den kosmiske strålingen, astronomene studerer om denne variasjonen speiler massefordelingen i "dagens" Univers

1.11 Solen er tilnærmet et sort legeme

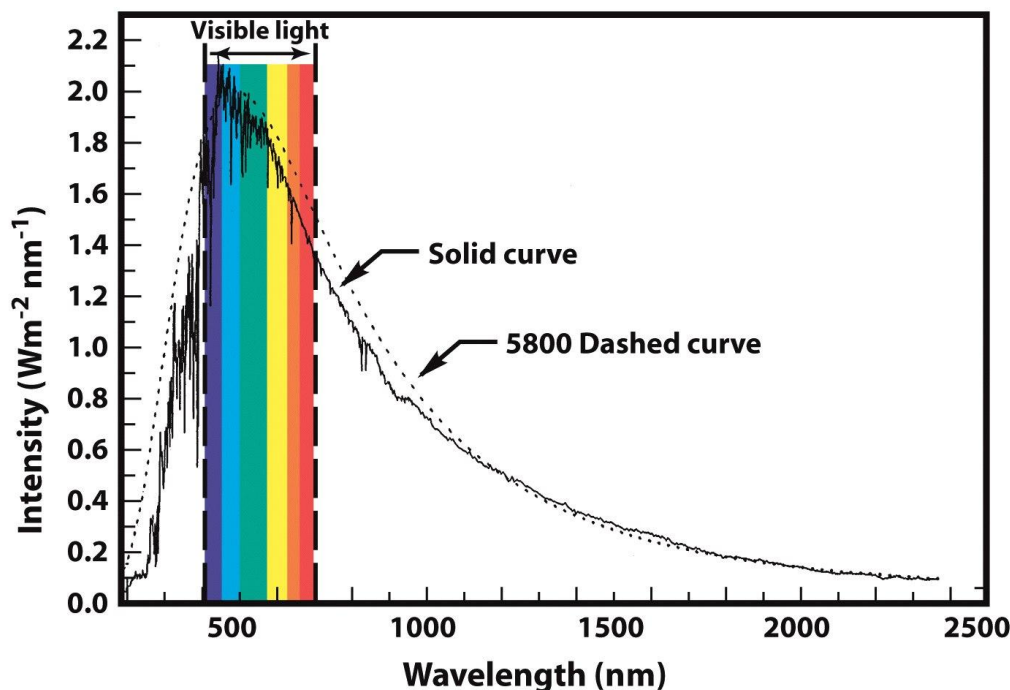


Figure 5-12
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser Solens intensitetskurve ("Solid curve"), den "matcher" Solen "black body" kurven når temperatur på overflaten er 5800 K. Det er den gode korrelasjonen mellom de observerte strålingskurvene og "black body" kurvene som gjør at astronomene er så interessert i fysikken bak "black body" kurvene. Kurven viser også at Solen sender ut størst energi på bølgelengden 500nm. Målingen av Solens intensitetskurve er gjort av satellitter over Jordens atmosfære fordi atmosfæren absorberer og sprer sollyset. Legg merke til at den synlige delen av sollyset ligger i kurvens topp punkt, vårt øye er utviklet til størst følsomhet for bølgelengder rundt 500nm. Differansen mellom solens observerte strålingskurve og solens "black body graph" gir solens kjemiske sammensetning. Legg merke til at energifluksen er lik arealet under intensitetskurven.

1.12 Nøytrinostråling fra Sola

Det viser seg at overgangen fra hydrogen til helium foregår i flere steg, vi kaller denne energiproduksjonen for hydrogenbrenning. Nøytrinostråling fra Sola dannes når hydrogen fusjonerer til Helium. På grunn av den enorme luminositetene vil 10^{14} nøytrinopartikler passere gjennom hver kvadratmeter på jordens overflate. Nøytrinodeleskoper forsøker å fange disse i store vannbeholdere plassert under Jordens overflate.

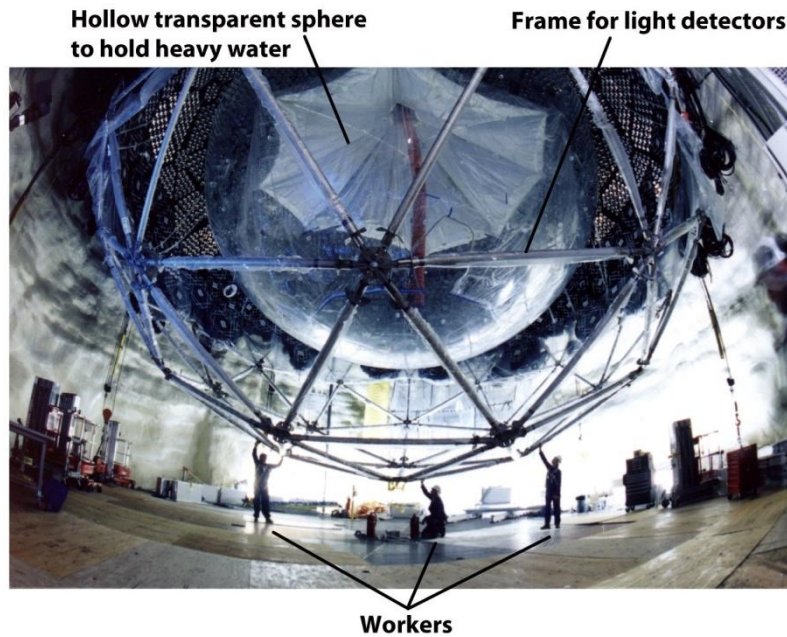
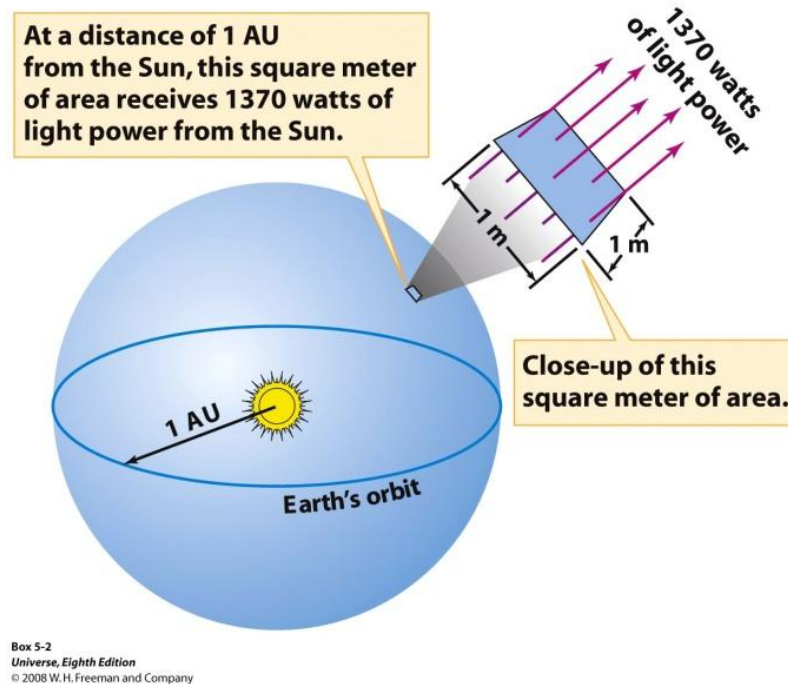


Figure 16-6
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser Sudbury Neutrino Observatory (SNO) i Canada.

Den gjennomsiktige kulen i midten inneholder 1000 tonn tungtvann. Nøytrinoene vekselvirker med tungtvannet og i denne prosessen oppstår et lysglimt. 9600 lyssensorer utenfor tanken har evnen til å observere lysglimtene.

1.13 Solarkonstanten



Figuren viser energien pr sekund som passerer en kvadratmeter målt på Jorden over atmosfæren, denne størrelsen kalles for solarkonstanten:

$$F = 1370 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

1.14 Stefan-Boltzmanns lov:

$$F = \sigma \cdot T^4$$

Stefan-Boltzmanns konstant

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Stefan-Boltzmanns lov gir energifluksen (F) for et sort legeme. **Energifluksen er den energimengden som pr sekund passerer gjennom en flate på en kvadratmeter.** Energifluksen er proporsjonal med temperaturen i fjerde potens. Enheten for denne størrelsen er W/m^2 .

Eksempel 1

Bestem Solens overflatetemperatur når solarkonstanten (energifluksen ved Jordens overflate) er

lik $F_{\text{Sol}} = 1370 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

I: Solarkonstanten (F_{Sol}) sier hvor stor energimengde som pr sekund passerer en kvadratmeter, når denne flaten er plassert over Jordens atmosfære. I beregningene antar vi at avstanden til Jorda er $d_{\text{Sol}} := 1 \cdot \text{AU}$. Vi må finne den totale energimengden som Solen sender ut i løpet av ett sekund. Denne størrelsen kalles for Solens **luminositet** (L_{Sol}). Deretter må vi finne energifluksen på Solens overflate, den kan vi finne når vi kjenner arealet av Solens overflate $4 \cdot \pi \cdot R_{\text{Sol}}^2$. Til slutt kan vi bruke Stefan-Boltzmann lov for et sort legeme og finne Solens overflatetemperatur (T_{Sol})

$$\begin{aligned}
 \text{S/E} \quad L &= 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot F & L_{\text{Sol}} &:= 4 \cdot \pi \cdot d_{\text{Sol}}^2 \cdot F_{\text{Sol}} & L_{\text{Sol}} &= 3.853 \times 10^{26} \text{ W} \\
 F &= \sigma \cdot T^4 & L_{\text{Sol}} &= 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{Sol}}^2 \cdot (\sigma \cdot T_{\text{Sol}}^4) & T_{\text{Sol}} &:= \left(\frac{L_{\text{Sol}}}{4 \cdot \pi \cdot R_{\text{Sol}}^2 \cdot \sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \\
 T_{\text{Sol}} &= 5.78 \times 10^3 \text{ K}
 \end{aligned}$$

E: Solarkonstanten gir Solens luminositet når vi kjenner avstanden til Solen. Vi finner deretter fluksen på Solens overflate. Det er denne fluksen som gir solens overflatetemperatur. Vi ser at Stefan-Boltzmann lov og Wiens lov gir samme resultat.

1.15 Wiens lov for et sort legeme:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{0.0029 \text{ K} \cdot \text{m}}{T}$$

Bølgelengden for maksimal strålingsintensitet er omvendt proporsjonal med temperaturen for legemet. Denne loven viser at kurvens topp-punkt forskyves mot kortere bølgelengder når temperaturen øker.

Eksempel 2

Solen har størst intensitet når bølgelengden er omtrent $\lambda_{\text{max}} := 500 \text{ nm}$. Benytt denne informasjonen og finn Solens overflatetemperatur.

I: Vi kan benytte Wiens lov for et sort legeme (forskyvningsloven) som sier at temperaturen for et sortlegeme er omvendt proporsjonal med legemets overflatetemperatur.

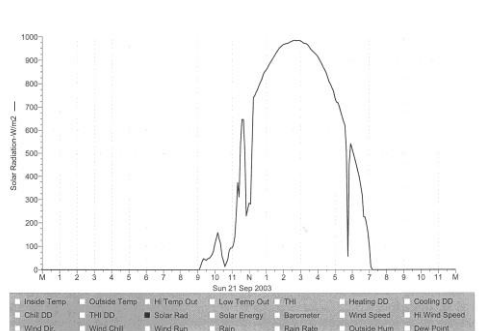
$$\begin{aligned}
 \text{S/E} \quad \lambda_{\text{max}} &= \frac{0.0029 \text{ K} \cdot \text{m}}{T} & T_1 &:= \frac{0.0029 \text{ K} \cdot \text{m}}{\lambda_{\text{max}} \cdot 1.0} & T_1 &= 5.8 \times 10^3 \text{ K}
 \end{aligned}$$

E: Temperaturen på Solens overflate er 5800 Kelvin (Smelte punktet for jern er 1700 K)

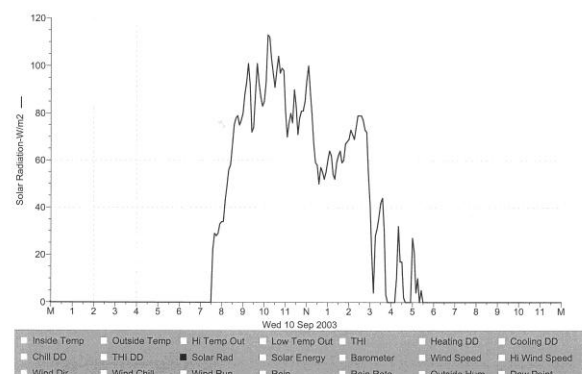
1.16 Energifluksen som treffer solpanelene



Et 12V solcellepanel leverer en strøm på ca 3A en flott sommerdag når Solens energifluks er 1000W/m^2 . Utenfor atmosfæren er energifluksen 1376 W/m^2 .(solarkonstanten) En sommerdag med skyer er energifluksen ca 200 W/m^2 .



Figuren viser Solens energifluks på UiAs tak 21. september 2003 time for time. Energisensoren måler energien i bølgelengdeområdet fra 300nm til 1100nm.

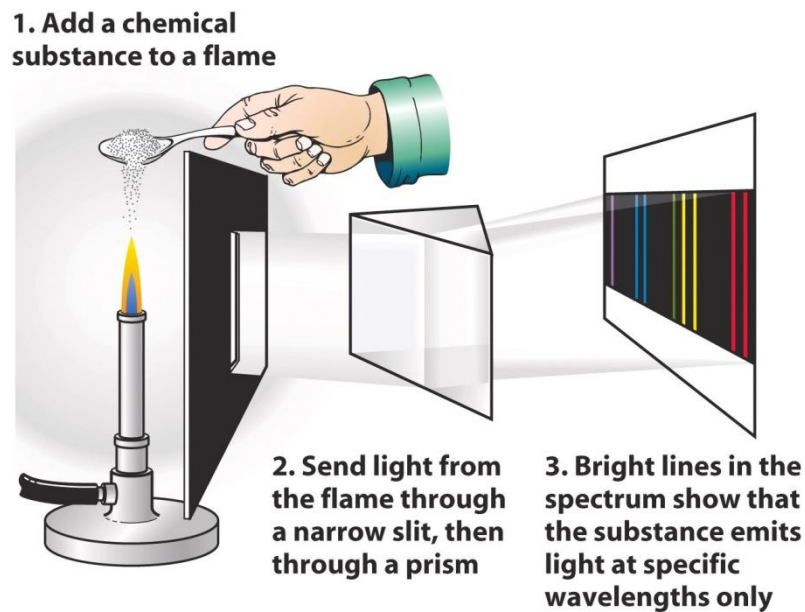


Figuren viser energifluksen 10. september 2003.

1.17 Spektralanalyse

Bildet under viser forsøket til Kirchhoff og Bunsen i prinsippet (1859), de oppdaget at cesium og rubidium lyste henholdsvis blått og rødt, disse fargestripene hadde en bestemt posisjon i det elektromagnetiske spektrat og ble kalt for spektrallinjer.

Astronomene undersøkte lyset fra Solens korona under solformørkelsen i 1868, de fant ett nytt sett spektrallinjer i sollyset som de kalte helium. Helium var et naturlig navn på den gassen fordi *helios* er et gresk ord som betyr sol. Helium ble første gang (1895) oppdaget her på Jorden i uranmalm. Vi skal senere se at grunnstoffet uran er radioaktivt og sender ut heliumkjerner med stor fart. Uran produserer med andre ord grunnstoffet helium.



Alle grunnstoffene og molekylene har bestemte sett spektrallinjer

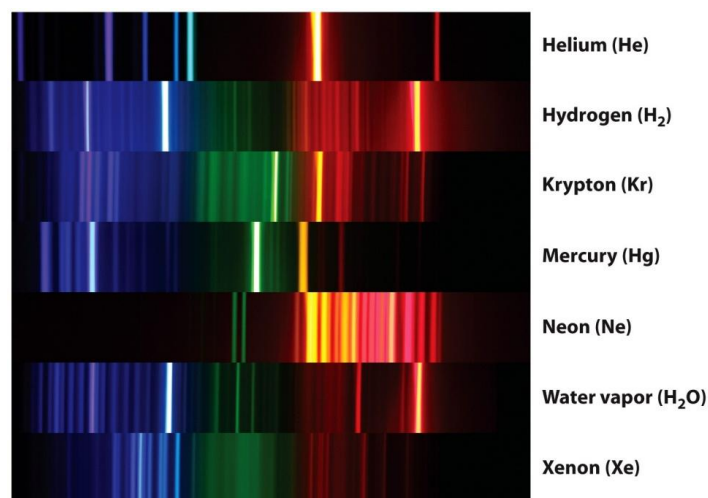
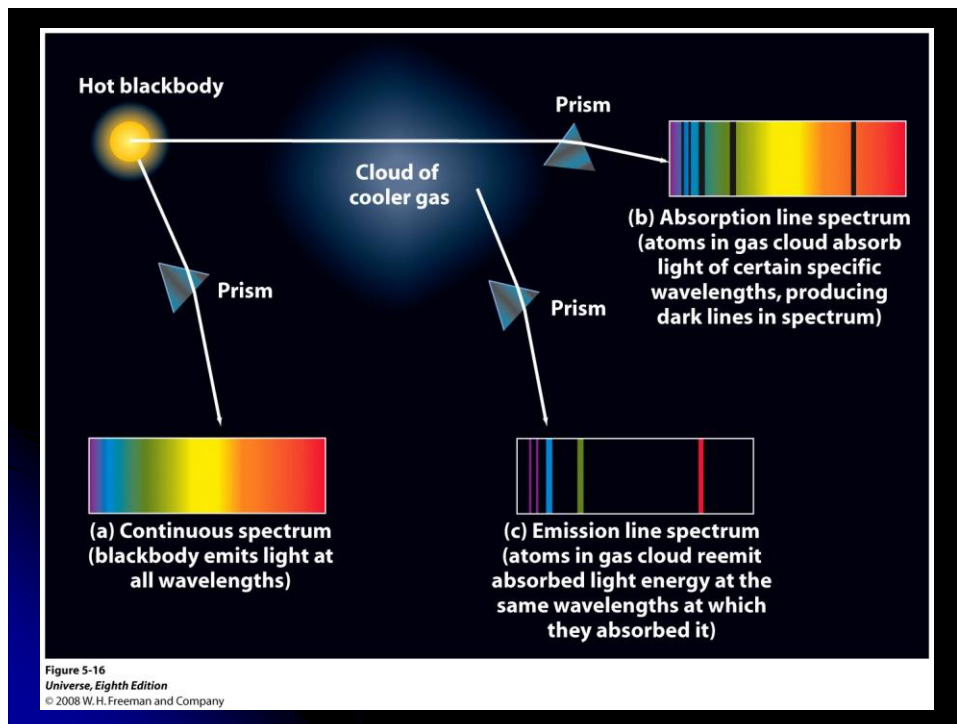


Figure 5-15
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Dette bildet viser spektra av forskjellige gasser fotografert i laboratoriet her på Jorden. Alle gasstypene har et unikt spektrum, et spektrum som ikke er avhengig av gassens posisjon i Universet.



Figuren viser et kontinuerlig spektrum, absorpsjon linje spektrum og emisjonslinje spektrum. Vi kan se absorpsjonslinjene dersom bakgrunnen er varmere enn gassen. Emisjonslinjene sees dersom bakgrunnen er kaldere enn gassen.

1.18 Kirchhoffs tre spektrallover:

1. **Et varmt ugjennomsiktig legeme produserer et kontinuerlig fargespektrum** (varme gasser med høy tetthet som for eksempel solens overflate eller et sort legeme)
2. **En varm gjennomsiktig gass produserer emisjonslinjer** (en serie av lyse linjer på mørk bakgrunn)
3. **En kald gjennomsiktig gass produserer absorpsjonslinjer når gassen blir bestrålt og sees mot en varm bakgrunn.** De mørke linjene i absorpsjonsspekteret har samme bølglengder som linjene i emisjonsspekteret. Det betyr at samme gassen absorberer og emitterer på de samme bølglengdene.

1.19 Fraunhofer linjene i Solspekteret

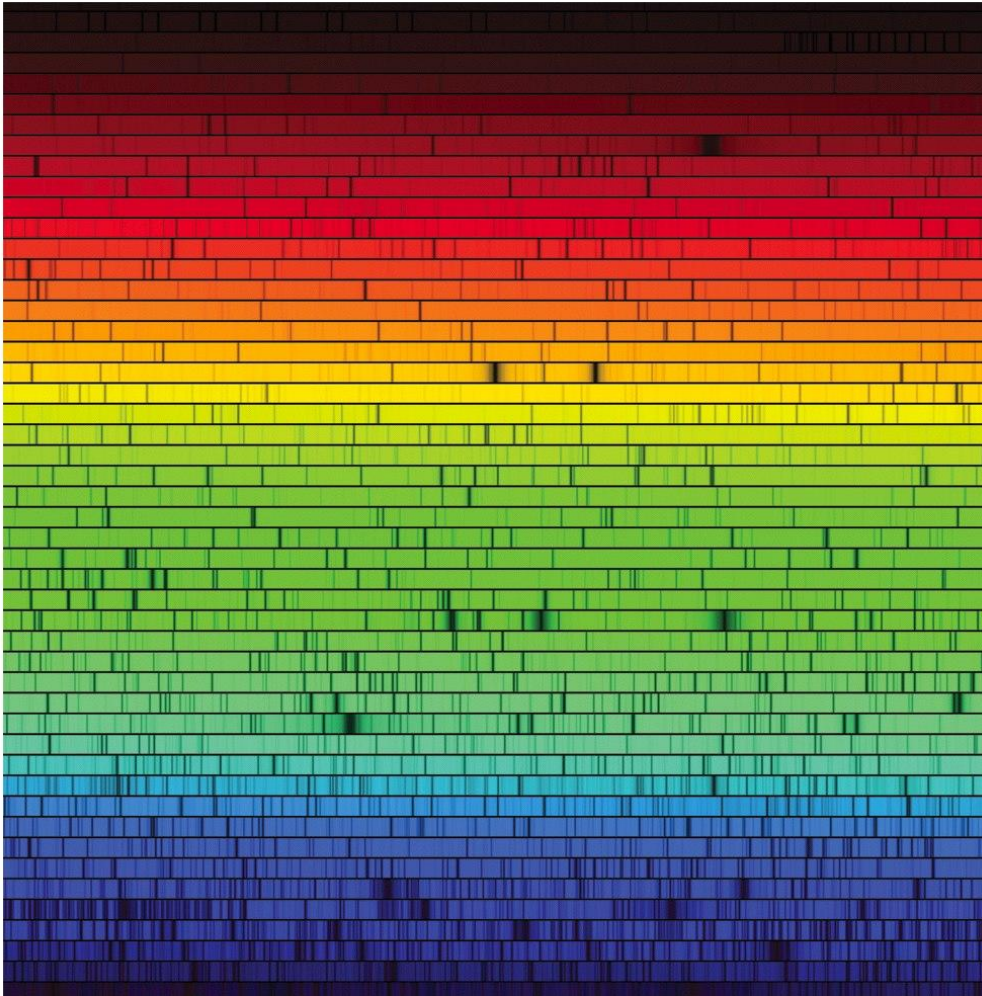


Figure 5-13
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser absorpsjonslinjene i Solens spektrum (Kitt Peak). De to kraftige absorpsjonslinjene i det gule området av spektret er natrium, Den kraftige linjen i rødt er hydrogen

I 1814 forbedret den tyske optikeren Joseph von Fraunhofer det klassiske prismeforsøket til Newton, han forstørret det kontinuerlige fargespekteret i sollyset og fant over 600 mørke linjer i spektret. I dag har astronomene funnet over 30 000 linjer, disse linjene forteller om et mangfold av kjemiske stoffer på Sola.

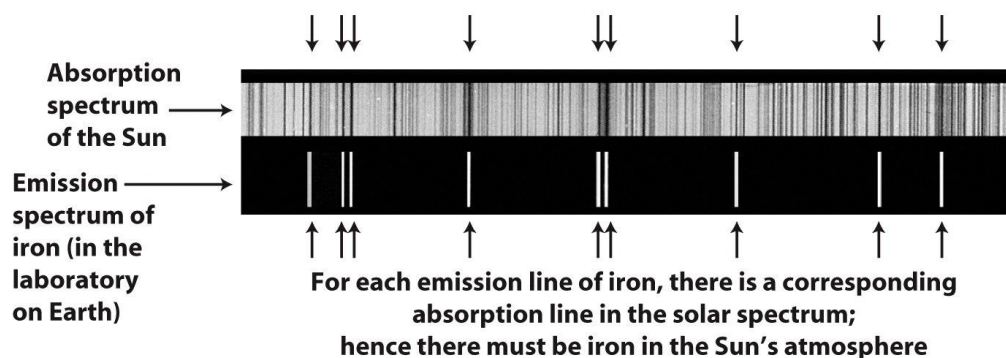


Figure 5-17
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser en del av Solens absorpsjonsspektrum (i fiolett området) og et emisjonsspektrum av jerdamp i samme bølglengdeområdet (under). Emisjonsspekteret som vi ser nederst er helt spesielt for jern. Vi kan si det slik at jern har et "fingeravtrykk" som ingen andre grunnstoffer kan "matche". Når vi sammenlikner disse to spektraene ser vi at Solens atmosfære må inneholde jern fordi linjene i emisjonsspekteret ligger på samme sted som linjene i absorpsjonsspekteret.

Vi kan nå forstå hvorfor Solspekteret har absorpsjonslinjer: Det kontinuerlige spekteret kommer fra Solens varme overflate (fotosfæren) som tilnærmet er et sort legeme. De mørke absorpsjonslinjene oppstår når lyset fra solens overflate passerer gjennom en kaldere gass, denne gassen er Solens atmosfære (kromosfæren og koronaen). Vi kan identifisere absorpsjonslinjene og bestemme den kjemiske sammensetning av Solens atmosfære

1.20 Stjernen Vega har hydrogen i atmosfæren

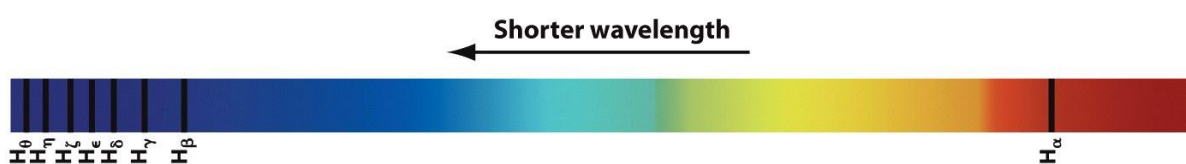


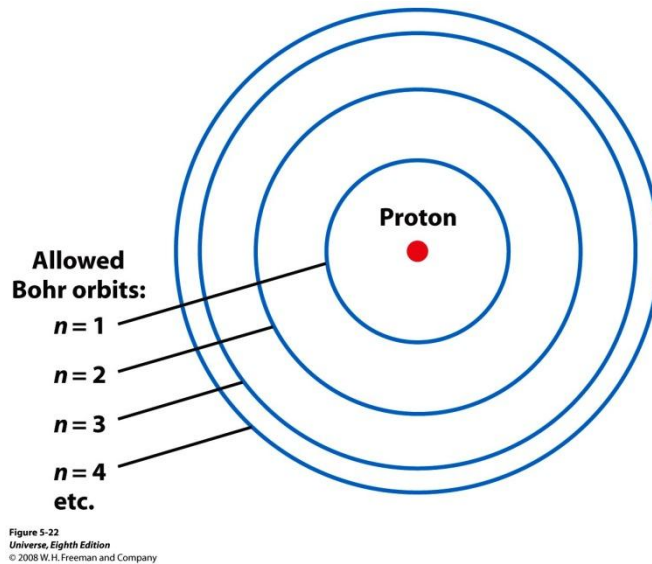
Figure 5-21
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Figuren viser åtte Balmerlinjer i spektret for stjernen Vega. Fra H-alfa (656.3 nm) til den siste H-tetha (388.9 nm), serien slutter ved bølglengden 364,6 nm. Vega er en av de tre stjernene i sommertrekanten.

1.21 [Bohrs atommodell](#)

Men hvordan kan spektrallinjene i lyset fra stjernene forklares?

Johann J Balmer (1885) beskrev de synlige spektrallinjene i hydrogenatomet matematisk. Glødende hydrogen lyser på bestemte bølgelengder i intervallet fra 656,3 nm til 364,6 nm. Den første linjen blir kalt for H α (H-alfa), bølgelengden for denne linjen er 656,3 nm (rødt lys). Den andre blir kalt for H β (H-beta), den neste for H γ (H-gamma) og så videre. Disse linjene er synlige og blir kalt for Balmerlinjene.



1. Elektronet i hydrogenatomet kan gå i stasjonære baner uten å sende ut energi.
2. Når elektronet hopper fra en stasjonær bane til en annen stasjonær bane emitterer eller absorberer atomet et foton som har en energi som tilsvarer energidifferansen mellom de to nivåer.
3. Bohrs teori ender opp i en matematisk modell som kan forutsi de synlige spektrallinjene i H-atomet.

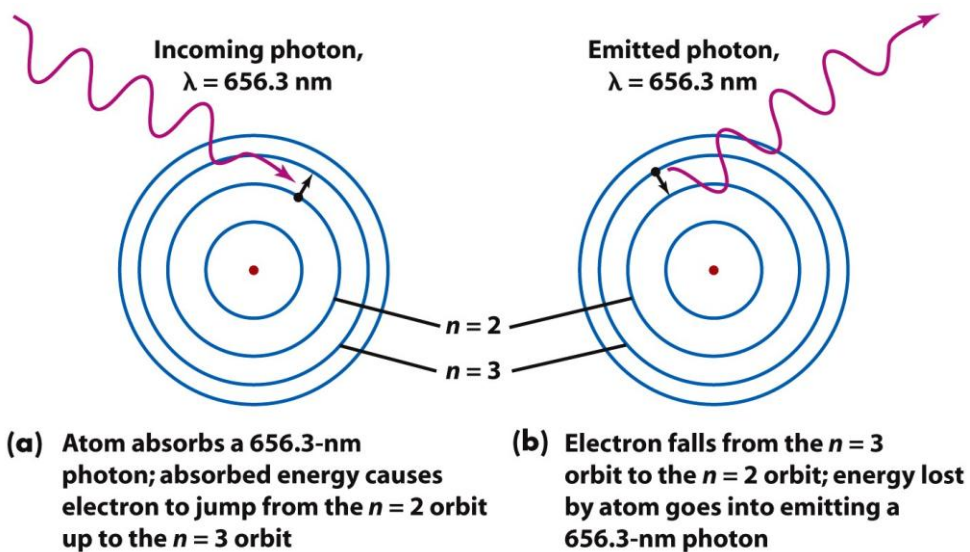


Figure 5-23
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Balmers formel

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$R = 1.097 \cdot 10^7 \cdot \text{m}^{-1}$$

Erstatter vi n i formelen med 3 får vi:

$$\lambda := \left[R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \right]^{-1} \quad \lambda = 6.563 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Vi endrer enheten til nm (nanometer = 10^{-9} m)

$$\lambda = 656.3 \text{ nm}$$

Setter vi n = 3 får vi bølgelengden for H-alfa, n=4 gir H-beta. Setter vi n lik uendelig får vi bølgelengden 363,6 nm.

1.22 Einstein og Planck

Max Planck mente at strålingen som et sort legemet sender ut er en strøm av energipakker (fotoner) som har en energi som er avhengig av frekvensen (eller bølgelengden). Lyset er altså både bølger og partikler. Det viser seg at hypotesen til Planck forklarer de observerte "black body" kurvene. Det er ikke mengden av lys som gir mennesket brunfargen, men om fotonene har en bølgelengde som eller en frekvens som ligger i den ultrafiolette delen av det elektromagnetiske spekteret. Det er med andre ord UV-fotonene som "trigger" de biologiske/kjemiske prosessen som gjør oss brune.

Fotonenergien er gitt av formelen:

$$E = h \cdot f$$

Sammenhengen mellom lyshastigheten, bølgelengden og frekvensen:

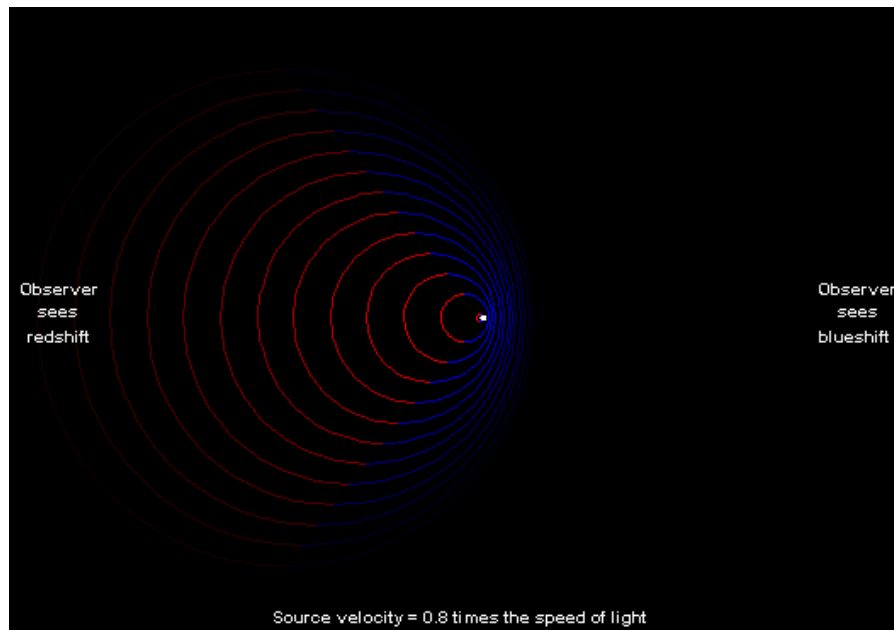
$$c = \lambda \cdot f$$

Plancks konstant:

$$h = 6.625 \cdot 10^{-34} \cdot \text{J} \cdot \text{s}$$

Einstein og Planck fikk begge Nobelprisen for deres bidrag til forståelse av lysets natur. Einstein tok utgangspunkt i foton-teorien til Planck og forklarte den fotoelektriske effekten. Demonstrer denne effekten "UV-lyset fjerner elektroner fra zink".

1.23 Dopplereffekten



Vi har sett at spektralanalyse gi informasjon om stjernens kjemiske sammensetning. Stjernespektret kan også avsløre hvordan stjernen beveger seg i forhold til observatøren. Det var Christians Doppler son første gang (1842) hadde ideen om at den relative bevegelsen til stjernen hadde innflytelse på bølgelengden. Lyset fikk lengre bølgelengde dersom lyskilden beveget seg vekk fra observatør (rødforskyvning), beveget lyskilden seg mot observatør ble bølgelengden kortere (blåforskyvning) Denne effekten kaller astronomene for Dopplereffekt.

Den røde kjempen Betelgeuse er ikke rød på grunn av dopplereffekten, men rød fordi temperaturen på overflaten er lav.

Dopplereffekten for elektromagnetiske bølger når stjernen har liten fart i forhold til observatør.

Dopplerlikningen

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Forandringen i bølgelengden:

$$\Delta\lambda$$

Bølgelengden når kilden er i ro:

$$\lambda_0$$

Hastigheten på kilden målt i forhold til siktelinjen:

$$v$$

Lyshastigheten

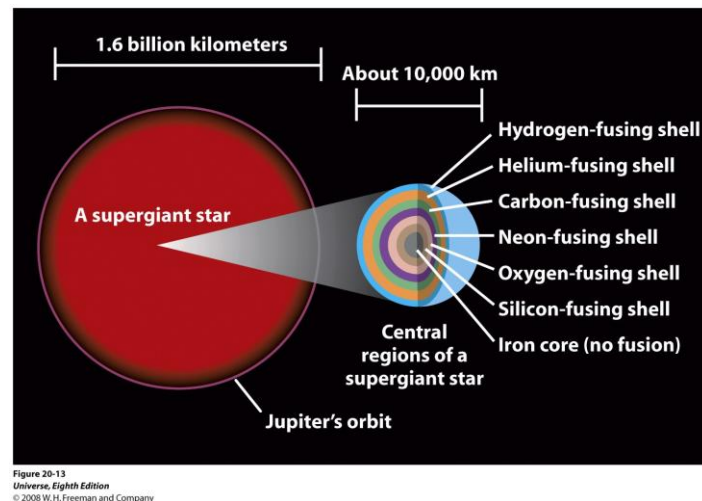
$$c$$

Legg merke til at når astronomene bestemmer hastigheten for en stjerne, er det stjernens hastighet langs siktelinjen mellom stjernen og observatør., den såkalte radielle hastighet. Stjernen kan også ha hastighet normalt på siktelinjen, denne hastighetskomponenten har ingen innvirkning på bølgelengden. Forandringen i bølgelengden på grunn av den relative radielle hastigheten mellom

observatør og stjernen er liten, den ble for første gang observert ca 50 år etter at Doppler fikk ideen.

1.24 Kraftige strålingskilder

Supernova – en stjerne som dør



Bildet viser strukturen i en gammel stjerne (en superkjempe) som har større masse større enn $8 M_{\odot}$. En superkjempe oppnår en radius som er like stor som halve storaksen i Jupiters ellipsebane. Stjernens energi kommer fra en kjerne som består av fusjonerende skall, denne kjernen er av samme størrelsesorden som Jorden.

En superkjempe kan ikke legge et ubegrenset antall lag til ”løken” fordi silikon er det siste grunnstoffet som fusjonerer. Når silikon fusjonerer dannes jern, **jern kan ikke fusjonere fordi massen av kjernepartiklene i jern har nådd et minimum**. Skal tyngre grunnstoffer produseres må energi tilføres.

Type Ia supernova

Hvite dverger i et dobbeltstjernesystem kan utvikle seg til å bli en supernova (Type Ia) når den hvite dvergen mottar materie fra ledsager stjernen. Ledsagerstjernen er en rød kjempe i utvikling, radien øker og tidevannskraftene sørger for masse fra den røde kjempen overføres til den hvite dvergen. Når massen når Chandrasekhar grensen (1,4 solmasser) øker trykket på grunn av karbonet og oksygenet fusjoner og dobbeltstjernesystemet blir en supernova når det degenererte elektrontrykket i kjernen opphører. **Type Ia supernova er en eksplosive termonukleær supernova, i motsetning til supernovaene (Type II, Ib, Ic), der kjernene kolliderer av gravitasjonskraftene.**

Tycho Brahe supernovaen (1572)

I dag vet vi at den nye stjernen Tycho Brahe oppdaget på himmelen var en Type Ia supernova. Astronomene funnet stamstjernen (stjernen som leverte masse til den hvite dvergen) som bidro til utløsning av eksplosjonen.

Pulsarer

Fyrlykt modellen antar at en pulsar er en roterende magnetisk nøytronstjerne

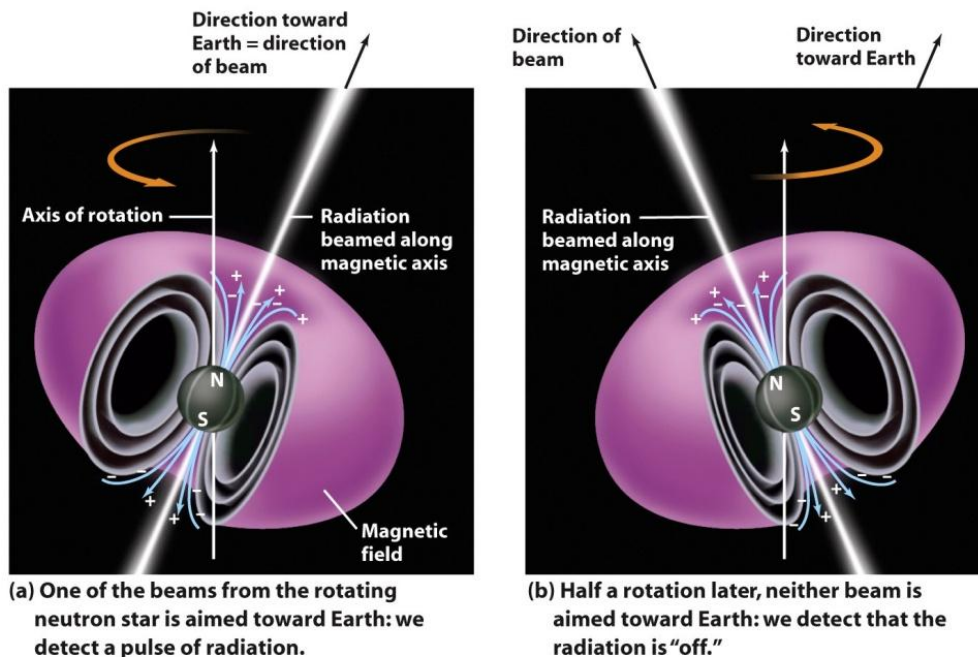


Figure 21-3
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser fyrlykt modellen, den forklarer radiostrålingen fra en pulsar. Strålingen sendes ut langs den magnetiske aksen, den går gjennom den magnetiske nordpol (N) og gjennom den magnetiske sydpolen (S). Den magnetiske aksen danner en vinkel i forhold til nøytronstjernens rotasjonsakse. Ladde partikler har akselerasjon ved nøytronstjernens magnetiske poler (merket med N og S), disse partiklene produserer to motsatte stråler. På grunn av vinkelen mellom de to nevnte akser vil strålens retning variere. Bilde til venstre viser at den magnetiske aksen peker mot Jorden. Bilde til høyre viser at Jorden ikke kan ta imot radiostråling fordi strålens ikke vil treffe Jorden. Radiopulsen vil på grunn av rotasjonen "slås på og av".

I løpet av en måned vil Solen rotere rundt en gang, dersom radius ble redusert til 20km (radien til en nøytronstjerne) vil Solen rotere 1000 ganger i sekundet. Nøytronstjernen har veldig stor tetthet, den kan derfor rotere hurtig uten at den går i stykker. Magnetfeltet vil øke når stjernens størrelse reduseres, vi må her anta at mengden av den ioniserende gassen ikke forsvinner når størrelsen på stjernen reduseres. Magnetfeltet på Sola har en styrke på 1 gauss, magnetfeltet på en nøytronstjerne har en styrke på 1000 milliarder gauss.

Fysikken lover sier at roterende magnetfelter produserer elektriske felter. Disse feltene er så sterke at energien i feltet kan gå over til masse. Peter Goldreich (1969) pekte på at elektroner og antielektroner kan dannes, en prosess som kalles pardannelse. Det er disse elektronene som sender ut elektromagnetisk stråling ut i rommet.

Et spørsmål som reiste seg i kjølvannet av de periodiske radiopulsene var: Finne der periodisk pulser i andre deler av det elektromagnetiske spekteret?

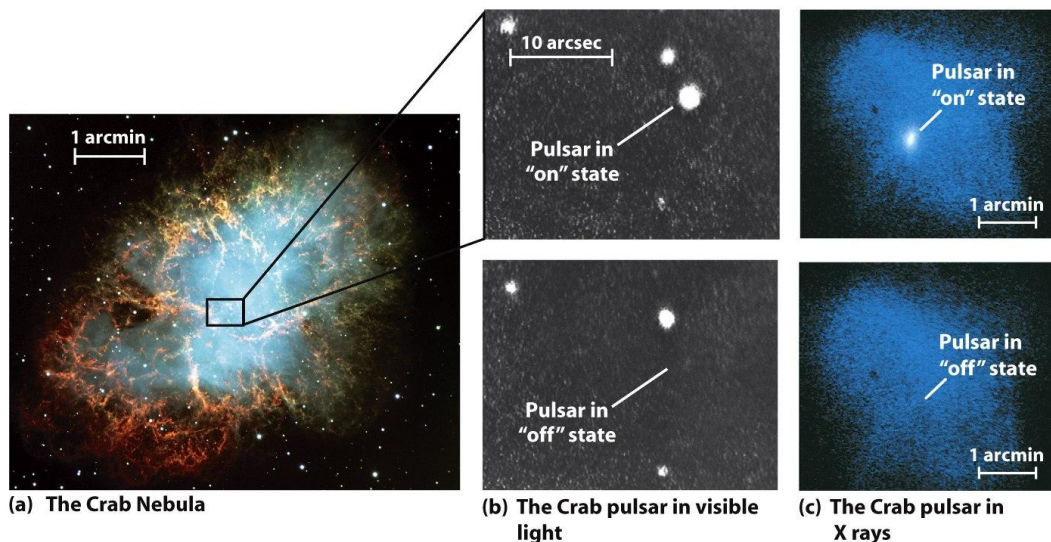


Figure 21-4
Universe, Eighth Edition
 © 2008 W.H. Freeman and Company

Vi kjenner igjen Krabbetåken på bildet, den har en pulsar i sentrum, den ligger 6500 ly fra Jorden og har en størrelse på 10ly. De to bildene i midten viser [pulsaren i synlig lys](#). På det øverste bildet peker lysstrålen mot oss og vi ser et lysglimt. På det nederste bildet har strålen passert oss og lysstrålen peker mot et annet punkt i rommet. **De to bildene til høyre viser at pulsaren i Krabbetåken også har “på” og “av” stråling i røtgenområdet.** Radiopulsene, de visuelle lysglimtene og røttinglimtene har alle en periode på 0,033s

Siden 1968 har radioastronomene oppdaget flere enn 1600 pulsarer, disse antas å være **nøytronstjerner, rester etter superkjemper**. Periodene for alle disse nøytronstjernene varierer fra 8,51s til 0,001396s.

Krabbetåken er meget lyssterk, har en luminositet som er 75000 sterkere enn Solen og kan derfor sees med et lite teleskop (M1, m=8,4, 6x4', i Taurus). Hvorfor er Krabbetåken så lyssterk? Den inneholder ingen unge stjerner som kan sørge for energi til H II emisjonsområder, ingen termionukleære finner sted i den sentrale nøytronstjernen. Astronomene mener at den hurtigroterende nøytronstjernen i sentrum av Krabbetåken har nok energi til å lyse opp Krabbetåken (Wheeler og Pacini). Radioastronomene har funnet at perioden for pulsaren i Krabbetåken øker med 3.8×10^{-8} s pr dag, en økning i perioden fører til tap i rotasjonsenergi, et tap som gir lys til Krabbetåken.

Hvordan kan denne rotasjonsenergien overføres til elektromagnetisk ståling? Det ”uhyggelige” blåe lyset i Krabbetåken fører til svaret. Et tilsvarende blått lys ble første gang produsert her på Jorden i 1947, utstyret som ble benyttet har fått navnet synkrotron.

Røntgenstråling fra sorte hull i vår galakse

Cygnus X-1 (87 000ly) er ikke en røntgenpulsar men en røntgen kilde som sender ut pulser med varierende periode og intensitet (”flickering X-ray” eller blafrende røntgenstråling)

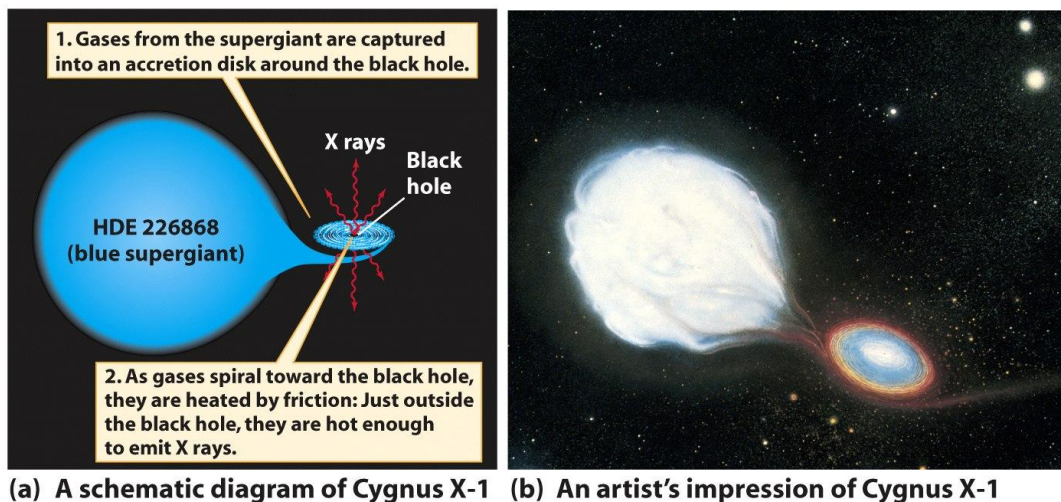
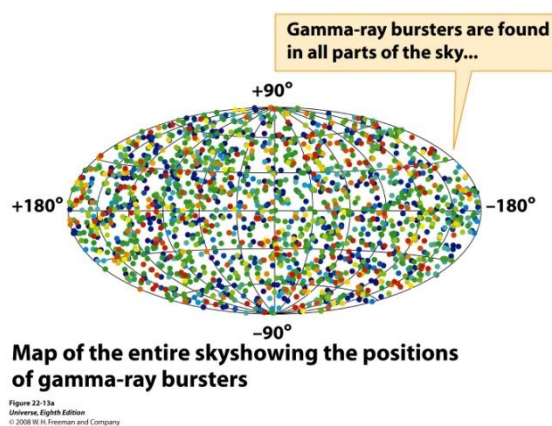


Figure 22-11
Universe, Eighth Edition
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Bilde (a) viser den store stjernen i Cygnus X-1 systemet, en superkjempe med masse omkring 30 solmasser, den andre stjernen i dobbeltstjernesystemet har minst 7 solmasser, den er trolig et sort hull. Spektrallinjene fra B0 stjernen pendler fram og tilbake med en periode på 5,6 dager. **Denne perioden og at en B0-stjerne er ikke varm nok til å gi røntgenstråling førte til at ledsakeren i dobbeltstjernesystemet må være et sort hull.** Tidevannskraftene fører gassene fra B0 stjernen nærmere "spacetime" brønnen, gassene varmes opp og sender ut røntgenstråling. Disse røntgenglimtene ("burst of X-ray") er et bevis for eksistensen av et sort hull. Bilde b er en illustrasjonen viser Cygnus X-1 slik tegneren ser systemet på kort avstand.. Astronomene har funnet flere enn 20 sorte hull i et stjernesystem som tilsvarer Cygnus X-1.

Gammaglimt fra supernova (hypernova) i galakser



Bilde viser posisjonen til 1776 gammaglimt (Compton Gamma Ray Observatory). Kartet som har oval form viser hele himmelkula. Fargene viser styrken på glimtene, de røde er sterke og de svakeste er fiolette.

[Animasjonen](#) viser hvordan en supernova med et sort hull i sentrum sender ut en gammastråle. Materien utenfor hullet faller innover og danner en gass-smultring (“accretion disk”). Strålen kommer ut av restene av superkjempen. Et gammaglimt vil bli observert når strålen treffer Jorden. Partiklene i strålen er relativistiske, den kinetiske energien avtar og sendes ut som gammaglimt.

1.25 Aktiviteter

1. Ta i bruk Starry Night og finn Ring tåka (M57)
2. Observer Ring tåken
3. Benytt et gitter, målestav med hull, laser, stativutstyr og finn bølgelengden for laserlyset.
4. Demonstrer for studentene forsøket: “Smelte jern”
5. Ta i bruk og finn formørkelsestidspunktet for Io 22. desember 2011
6. Ta i bruk Starry Night og finn Omega Centauri

1.26 Oppgaver

1. Sirius er den lyssterkeste stjernen på natthimmelen, stjernen har en overflatetemperatur på 10 000 K. På hvilken bølgelengde sender Sirius ut mest energi.
2. Hvor stor er energifluksen for Sirius sammenliknet med energifluksen for Solen
3. Den lyssterke stjernen Ballatrix i Orion har en overflatetemperatur på $T_{\text{Bal}} := 21500\text{K}$. Finn bølgelengden for maksimal strålingsintensitet, enheten skal være nm (naometer)
4. Antares er den stjernen i Skorpionen som lyser sterkest, den har størst strålingsintensitet på bølgelengden $\lambda_{\text{antares}} := 853\text{nm}$. Bestem overflatetemperaturen og hvilken farge den har
5. Finn gitterkonstanten når gitter har 80 linjer pr mm:. Finn bølgelengden når vinkelen mellom sentralstrålen og strålen av første orden ($n=1$) er 15 grader.
6. Vis at H-alfa linjen i hydrogenspekteret har bølgelengden 653,3nm og finn fotonets energi. Hvor stor energimengde absorberer H-atomet når elektronet går fra bane 2 til bane 5?
7. H α har en bølgelengde målt i laboratoriet på $\lambda_0 = 656,285\text{ nm}$. Vi finner den samme bølgelengden i spektret fra stjernen Vega, bølgelengden er da $\lambda = 656,255\text{ nm}$. Ka du si noe om hvordan denne stjernen beveger seg i forhold til Jorden?
8. Hydrogen kan også stråle på bølgelengden 21,12 cm (radio området). Galaksen NGC 3840 i Løven. Galaksen beveger seg fra oss med hastigheten 7370 km/s (omtrent 2,5% av lyshastigheten). Hvilken bølgelengde observerer radioastronomene her på Jorden?
9. Normal kroppstemperatur er . a) Hva slags strålingstype sender kroppen vår ut? b) Finn bølgelengden som gir maksimal stråling. b) På hvilke bølgelengder
10. Stjernen α Lupi har en overflatetemperatur på $T_{\text{lupi}} := 21600\text{K}$. Finn stjernens energifluks i forhold til Sola.

Fasit med løsningsforslag

Oppgave 1

I: Vi må her benytte oven til Wien, vi kan finne $\lambda_{\max}$ når overflatetemperaturen

$T_{\text{Sirius}} := 10000\text{K}$ er gitt .

$$\text{S/E} \quad \lambda_{\max} = \frac{0.0029\text{K}\cdot\text{m}}{T} \quad \lambda_{\max} := \frac{0.0029\text{K}\cdot\text{m}}{T_{\text{Sirius}}} \quad \lambda_{\max} = 290\text{nm}$$

E: Sirius er en UV-stråler, den sender mest energi ut i UV-område. Stålingskurven for Sirius viser at stjerne sender ut mer blått lys enn rødt lys, av den grunn er Sirius en blå stjerne

Oppgave 2

I: Vi benytter loven til Stefan -Boltzmann, forholdet mellom energifluksen for de to stjerner er gitt når vi kjenner temperaturene:

$$\text{S/E} \quad \frac{F_{\text{Sirius}}}{F_{\text{Sol}}} = \frac{\sigma \cdot T_{\text{Sirius}}^4}{\sigma \cdot T_{\text{Sol}}^4}$$
$$\frac{\sigma \cdot T_{\text{Sirius}}^4}{\sigma \cdot T_{\text{Sol}}^4} = 8.959$$

E: Sirius har en energifluks som er 8,8 ganger større enn Solens fluks. Hvilken luminositet har Sirius, svaret forutsetter at størrelsen på Sirius er kjent.

Oppgave 3

$$\lambda_{\max} = \frac{0.0029\text{K}\cdot\text{m}}{T} \quad \lambda_{\max} := \frac{0.0029\text{K}\cdot\text{m}}{T_{\text{Bal}}} \quad \lambda_{\max} = 135\text{nm}$$

Oppgave 4

$$\lambda_{\max} = \frac{0.0029\text{K}\cdot\text{m}}{T} \quad T_{\text{antares}} := \frac{0.0029\text{K}\cdot\text{m}}{\lambda_{\text{antares}}} \quad T_{\text{antares}} = 3.4 \times 10^3\text{K}$$

Bølgelengden 853nm er en infrarød bølgelengde dersom vi antar at grensen mellom rød og infrarød er 700nm

Oppgave 5

Oppgave 6

Oppgave 7
-14km/s (se side 122 i Universe)

Oppgave 8

21,54 cm (se side 122 i Universe)