

# OPGAVER TIL KAPITEL 1

## Opgave 1.1

Jordens afstand fra Solen er 149,6 millioner km.

- Beregn Jordens fart i sin bane om Solen, idet vi antager, at banen er en cirkel. Neptun har en afstand fra Solen på 4.500 millioner km og en omløbstid på 164,8 år.
- Find Neptuns banehastighed.
- Overvej, hvorfor Neptuns banehastighed er mindre end Jordens.

## Opgave 1.2

Solens afstand til Mælkevejens centrum er 27.000 lysår og vi antager, at Solen følger en cirkelbane om Mælkevejens centrum.

Beregn Solens fart, idet omløbstiden er et galaktisk år.

## Opgave 1.3

På planetstien i Lemvig er der opbygget en model af solsystemet i forholdet 1:1 milliard. Beregn ud fra tabellen bag i bogen følgende:

- Solens størrelse.
- Jordens afstand til Solen og dens diameter.
- Jupiters afstand til Solen og dens diameter.
- Hvor langt skal man vandre, før man møder Pluto?

## Opgave 1.4

Det er for nylig lykkedes at sende et radarsignal til Saturns store måne Titan. Radarekkoet blev opfanget efter 2 timer 49 minutter og 32,8 sekunder.

Hvor stor er afstanden mellem Jorden og Titan ved denne radarmåling?

## Opgave 1.5

Himlens klareste stjerne Sirius har en parallakse på  $0,377''$ .

- Beregn dens afstand i pc og ly. Afstanden til den klare stjerne Vega i Lyren er 26 ly.
- Beregn dens afstand i pc og find dens parallakse.

## Opgave 1.6

Tycho Brahe kunne ikke observere parallakser med det blotte øje, fordi øjet ikke kan skelne vinkler, der er mindre end ca.  $30''$ .

Hvor langt borte skulle den nærmeste stjerne befinde sig, hvis Tycho Brahe skulle have observeret dens parallakse?

## Opgave 1.7

Fra satellitten Hipparchos har det været muligt at bestemme parallaksevinkler med en nøjagtighed på helt ned til  $0,001''$ . Dette er en betydelig forbedring sammenlignet med målinger her fra Jorden, hvor nøjagtigheden kun er  $0,02''$ .

Hvis man ønsker en nøjagtighed på 10 % i afstandsbestemmelsen, hvor store afstande kan man da bestemme fra Jorden og fra Hipparchos?

## OPGAVER TIL KAPITEL 2

### Opgave 2.1

Den klare stjerne Capella i stjernebilledet Kusken har en deklination på  $46^\circ$ .

Vi observerer Capella fra et sted i Danmark på breddegraden  $56^\circ$ .

- Hvad bliver Capellas højde over horisonten i øvre kulmination?
- Er Capella circumpolar?
- Hvor langt sydpå skal man, før Capella står i zenit ved øvre kulmination?

### Opgave 2.2

Sommertrekanten består af de tre stjerner med deklinationerne

Deneb  $\delta = 45,2^\circ$       Vega  $\delta = 38,7^\circ$       Altair  $\delta = 8,8^\circ$

Undersøg, om sommertrekanten er circumpolar set fra Danmark.

### Opgave 2.3

Månens bane danner en vinkel på  $5,2^\circ$  med ekliptika.

Beregn største og mindste værdi af højden i øvre kulmination for Månen set fra Danmark.

### Opgave 2.4

Hvor på Jorden kan man se Solen kulminere i zenit på følgende datoer

- Forårsjævndøgn
- Sommersolhverv
- Efterårsjævndøgn
- Vintersolhverv

### Opgave 2.5

- Hvor lang tid er Solen circumpolar set fra nordpolen?
  - Hvad er den største højde over horisonten Solen kan have set fra nordpolen?
- Den 21. august har Solen en deklination på  $12^\circ$ . Beregn for denne dato følgende:
- Solens højde på nordpolen.
  - Hvor langt nordpå skal man, før Solen bliver circumpolar?
  - Solens øvre kulminationshøjde i Danmark.

### Opgave 2.6

En circumpolar stjerne har øvre kulmination  $H = 50^\circ$  og nedre kulmination  $h = 10^\circ$ .

Beregn i følgende to tilfælde stjernens deklination og observationsstedets geografiske bredde.

- Stjernen har øvre kulmination syd for zenit.
- Stjernen har øvre kulmination mellem himlens nordpol og zenit.

### Opgave 2.7

Den klare stjerne Alfa Centauri på den sydlige himmel er med en afstand på 4,3 lysår Solens nærmeste nabo. Stjernen har en deklination på  $-61^\circ$ .

Beregn hvor langt sydpå man skal bevæge sig, før Alfa Centauri

- kommer over horisonten
- får en øvre kulminationshøjde på  $40^\circ$

### Opgave 2.8

En dag har Solen en kulminationshøjde på  $20^\circ$  set fra et sted i Danmark på bredden  $b = 56^\circ$ .

- Beregn Solens deklination.
- Find ud af, hvilke datoer der kan være tale om ved at benytte en almanak eller et planetarieprogram.

## OPGAVER TIL KAPITEL 3

### Opgave 3.1

Himlens klareste stjerne Sirius har en lille ledsagestjerne kaldet Sirius B. Den har en temperatur på 24.000 K, men dens lysstyrke er på kun  $0,02 L_{\odot}$ .

Beregn størrelsen af Sirius B i forhold til Solen. Hvor stor er Sirius B i forhold til Jorden?

### Opgave 3.2

Den klare stjerne Altair i Sommertrekanten har en overfladetemperatur på 8.200 K, og den har en radius på  $1,7R_{\odot}$ . Beregn lysstyrken af Altair i forhold til Solens lysstyrke.

### Opgave 3.3

Den klare røde stjerne Betelgeuze i Orion lyser mindst 50.000 gange stærkere end Solen, og den har efter de nyeste skøn en radius på omkring 1.100 gange Solens radius.

a) Beregn, hvor meget Betelgeuze ville fylde i vort solsystem, hvis den blev anbragt på Solens plads. Hvilke planeter ville blive opslugt?

b) Beregn temperaturen af Betelgeuze.

### Opgave 3.4

Stjernen Antares i stjernebilledet Skorpionen udsender mest lys ved en bølgelængde på 1210 nm.

a) Hvad er stjernens temperatur?

Antares er, hvad astronomerne kalder en rød kæmpestjerne. Trods sin lave temperatur lyser den 61.000 gange stærkere end Solen.

b) Beregn størrelsen af Antares i forhold til Solen.

c) Hvor omtrent i solsystemet ville overfladen af Antares befinde sig, hvis den blev anbragt på Solens plads?

### Opgave 3.5

Stjernen A er varm og blå. Den har sin største lysintensitet ved  $\lambda = 200$  nm.

Stjernen B er kølig og rød. Den har sin største lysintensitet ved  $\lambda = 650$  nm.

a) Beregn de to stjerners temperaturer.

Antag, at de to stjerner udsender lige meget stråling.

b) Beregn forholdet mellem de to stjerners radier.

### Opgave 3.6

I 1965 opdagede man, at der fra alle retninger på himlen kommer en såkaldt baggrundsstråling.

Denne stråling stammer fra universets begyndelse, fra en tid længe før stjerner og galakser blev dannet. Strålingen følger meget præcist en Planckkurve med en temperatur på 2,7 K.

a) Ved hvilken bølgelængde er baggrundsstrålingen mest intens?

b) Hvor i spektret ligger denne stråling?

### Opgave 3.7

For en stjerne har man observeret en bestemt bølgelængde for Calcium ved 393,21 nm.

Laboratoriebølgelængden for denne linje er 393,37 nm.

a) Er lyset fra stjernen rødforskudt eller blåforskudt?

b) Beregn stjernens radialhastighed i forhold til os.

### Opgave 3.8

En galakse bevæger sig bort fra os med en hastighed på 7.400 km/s.

Beregn rødforskydningen for den røde Balmerlinje med laboratoriebølgelængden 656,3 nm.

## OPGAVER TIL KAPITEL 4

### Opgave 4.1

Verdens største radioteleskop er det 300 meter store Arecibo teleskop på Puerto Rico. Verdens største optiske teleskop er det 10,4 meter store spejlteleskop på Gran Canaria. Sammenlign opløsningsevnen for de to teleskoper, ved observation af Mælkevejens centrum, 27.000 lysår borte. Gran Canaria observerer centret i infrarødt lys med en bølgelængde på 1 mm, mens Arecibo observerer ved en bølgelængde på 21 cm.

### Opgave 4.2

Det store europæiske VLT kompleks i Chile består af fire teleskoper hver med et spejl på 8,2 meter. Det er muligt at få de fire spejle til at samarbejde, så de virker som et stort teleskop. Vi tænker os, de fire VLT spejle erstattet af et enkelt spejl, der har samme lyssamlingssevne.

- Beregn diameteren af dette spejl.
- Beregn i dette tilfælde lyssamlingssevnen sammenlignet med Hubbleteleskopet, der har en spejldiameter på 2,4 meter.
- Beregn, hvor små detaljer, VLT kan skelne i Andromedagalaksen 2,7 millioner lysår borte, hvis det benyttes som interferometer med en største afstand mellem spejlene på 200 meter. Der observeres ved bølgelængden  $\lambda = 550 \text{ nm}$ .

### Opgave 4.3

a) Beregn den teoretiske opløsningsevne for Hubble teleskopet ved bølgelængden 550 nm. Teleskopet er blevet brugt til at observere de 4 store jupitermånere i en afstand på omkring 700 millioner km.

- Hvor små detaljer på månerne vil Hubble kunne skelne?
- Overvej, om Hubble vil være i stand til at skelne detaljer på Pluto i en afstand på 6 milliarder km.

### Opgave 4.4

Inden for radioastronomien benyttes betegnelsen VLBI for *Very Long Baseline Interferometry*.

Det betyder i praksis, at man kobler radioteleskoper sammen, der befinder sig i meget store afstande.

Vi forestiller os, at Andromedagalaksen observeres med to teleskoper i Europa og USA med en indbyrdes afstand - en basislinje - på 8000 km.

- Beregn opløsningsevnen ved en bølgelængde på 21 cm.
- Overvej, hvor små afstande man kan skelne i Andromedagalaksen 2,7 millioner lysår borte.
- Hvor stor en forbedring opnås ved at indkoble det japanske radioteleskop i bane om Jorden, således at basislinjen nu bliver 20.000 km?

### Opgave 4.5

Stjernen Vega har en tilsyneladende størrelsesklasse på  $m = 0,0^m$  og en afstand på 26 lysår.

- Beregn Vegas absolutte størrelsesklasse  $M$ . Vega har en temperatur på 10 000 K. Solens absolutte størrelsesklasse er  $4,8^m$ .
- Beregn Vegas radius i forhold til Solens radius.

**Opgave 4.6**

Den lille røde dværgstjerne Ross 128 har absolut størrelsesklasse  $M = 13,5^m$  og afstand 3,32 pc.

Beregn stjernens tilsyneladende størrelsesklasse.

**Opgave 4.7**

Selv om den lille røde dværg Proxima Centauri er Solens nærmeste nabo, kan den ikke ses med det blotte øje. Dens lysstyrke er nemlig på kun  $0,0017 L_{\odot}$ . Afstanden er 1,30 pc.

a) Beregn den tilsyneladende størrelsesklasse af Proxima Centauri.

Proxima Centauri udsender 85 % af sin stråling som usynligt infrarødt lys. I det synlige område er dens lysstyrke kun  $0,00006 L_{\odot}$ .

b) Beregn den tilsyneladende visuelle størrelsesklasse af Proxima Centauri.

Proxima Centauri kredser omkring dobbeltstjernen Alfa Centauri A og B i en afstand på  $1/6$  lysår eller 0,05 pc.

c) Beregn den tilsyneladende visuelle størrelsesklasse af Proxima Centauri set fra en planet, der kredser omkring Alfa Centauri A og kommenter resultatet.

**Opgave 4.8**

Den klare stjerne Deneb i Svanen har den absolutte visuelle størrelsesklasse  $M_v = -7,1^m$ .

Den tilsyneladende blå størrelsesklasse  $B = 1,35^m$  og farveindekset  $B - V = 0,09^m$ .

Beregn Denebs afstand.

**Opgave 4.9**

I definitionen på størrelsesklasse indgår en konstant, hvis talværdi sjældent oplyses.

a) Hvorfor ignorerer de fleste lærebøger værdien af  $k$ ?

Talværdien af  $k$  er historisk bestemt. Den kan for eksempel beregnes ud fra følgende oplysninger:

Solens tilsyneladende størrelsesklasse  $m = -26,74^m$ .

Fluxen, vi modtager fra Solen, har værdien  $F = 1353 \text{ W/m}^2$ .

b) Omregn værdien af fluxen fra solen til enheden  $\text{W/pc}^2$ .

c) Vis, at talværdien af  $k$  er 63,54.

d) Beregn den flux vi modtager fra himlens klareste stjerne Sirius, hvis tilsyneladende størrelsesklasse er  $m = -1,45^m$ .

e) Omregn fluxen fra Sirius til enheden  $\text{W/m}^2$ .

## OPGAVER TIL KAPITEL 5

### Opgave 5.1

- Beregn lysstyrkeforholdet  $L/L_{\odot}$  for en orange dværg og for en rød dværg.
- Beregn ved brug af Wiens lov  $\lambda_{\max}$  for disse to stjernetyper.

### Opgave 5.2

Vi betragter en solplet med temperaturen 4.000 K.

Beregn forholdet  $F_{\text{plet}} / F_{\odot}$  mellem fluxen fra solpletten og fluxen fra den omgivende fotosfære.

### Opgave 5.3

Beregn, hvor lang tid det tager for Solen at omdanne en jordmasse af brint til helium.

### Opgave 5.4

Ved hver pp-proces frigøres en energi på  $4,3 \cdot 10^{-12}$  J. Samtidig produceres to neutrinoer, der uhindret bevæger sig gennem Solen med lysets hastighed og således når ud til Jordens afstand på 8 minutter.

- Beregn antallet af pp-processer og antallet af neutrinoer, der produceres pr. sekund.
- Beregn neutrinofluxen her på Jorden.

Neutrinoer er meget vanskelige at opfange. Trods den meget høje værdi af fluxen kan vi ikke forvente at opfange mere end 1-3 neutrinoer om dagen, afhængig af hvilken detektor man bruger.

### Opgave 5.5

a) Beregn ved brug af Einsteins formel Solens massetab pr. sekund som følge af energiproduktionen.

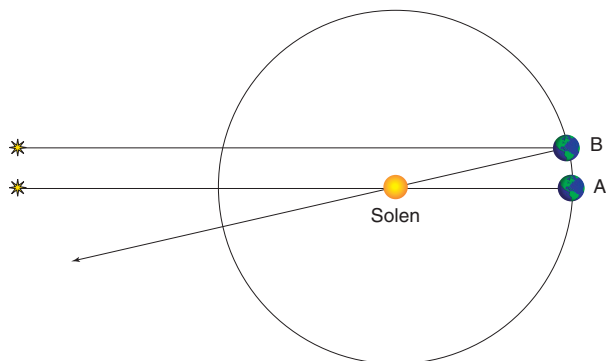
Solvinden transporterer en masse på knap to millioner tons bort fra Solen hvert sekund.

b) Beregn forholdet mellem massetabet gennem solvinden og det massetab, der skyldes energiproduktion.

### Opgave 5.6

For Jorden og alle andre planeter skelner vi mellem et soldøgn og et stjernedøgn (siderisk døgn).

*I A kulminerer Solen og stjernen samtidig. Et soldøgn senere har Jorden nået B og har derved drejet sig mere end  $360^\circ$  i forhold til stjernen.*



Et soldøgn er tiden mellem to kulminationer af Solen i syd. Tilsvarende er et stjernedøgn tiden mellem to kulminationer af en stjerne i syd. Her på Jorden er et soldøgn 24 timer. På grund af Jordens bevægelse om Solen, bliver et stjernedøgn lidt kortere. Vis, at stjernedøgnet med god tilnærmelse er  $23^{\text{h}} 56^{\text{m}}$ .

### Opgave 5.7

Månens meteorkraterer viser, at mange meteorer har ramt Månen i løbet af solsystemets levetid. Det betyder, at også Jorden må være ramt mange gange, selv om det er svært at vurdere præcist, da kraterer hurtigt eroderes bort af vind og vejr. Men vi kan vurdere risikoen for et sammenstød med en komet eller asteroide.

- Beregn arealet af en kugleflade med radius 1 AE i  $\text{km}^2$ .
- Beregn Jordens tværsnitsareal i  $\text{km}^2$ .
- Beregn forholdet mellem de to arealer.

Dette forhold giver sandsynligheden for, at en komet eller asteroide vil ramme Jorden, når den fra en vilkårlig retning passerer afstanden 1 AE fra Solen. Risikoen er i virkeligheden dobbelt så høj, idet kometer og asteroider normalt slår et sving rundt om Solen, og således passerer jordbanen igen på vej væk fra Solen.

### Opgave 5.8

Det er i dag en udbredt teori, at dinosaurerne uddøde for 65 millioner år siden, fordi Jorden blev ramt af en 10 km stor asteroide.

- Beregn asteroidens masse, idet vi antager den var kugleformet og havde en massefylde på  $2 \text{ g/cm}^3$ .
- Beregn den kinetiske energi ved nedslaget, idet vi antager, at sammenstødshastigheden var  $20 \text{ km/s}$ .  
Energien i 1 kg af sprængstoffet TNT er  $4,15 \cdot 10^6 \text{ J}$ . Hiroshimabomben havde en energi svarende til 13.000 tons TNT.
- Beregn Hiroshimabombens energi i Joule.
- Beregn, hvor mange Hiroshimabomber nedslaget for 65 millioner år siden svarede til.
- Find ud af, hvad Hiroshimabomben var, og hvor store skader den anrettede.

### Opgave 5.9

Der er en teori om, at Jorden har fået sine have fra isen i kometer, der har ramt Jorden. Det skønnes, at en typisk komet indeholder  $10^{13} \text{ kg}$  is. I Jordens have findes rundt regnet  $2 \cdot 10^{21} \text{ kg}$  vand.

- Beregn, hvor mange kometer der skal til at levere denne mængde vand.
- Hvis Jordens have er dannet over en periode på en halv milliard år, hvor hyppigt er Jorden da blevet ramt af en komet?

## OPGAVER TIL KAPITEL 6

### Opgave 6.1

Den amerikanske rumsonde NEAR har i perioden februar 2000 til februar 2001 kredset omkring asteroiden Eros og grundigt kortlagt dens overflade. Den 12. februar 2001 blev NEAR den første rumsonde, der landede på en asteroide.

For Eros bane om Solen gælder følgende banedata

$$r_a = 1,783 \text{ AE og } r_p = 1,133 \text{ AE}$$

a) Beregn banens halve storakse og excentriciteten.

b) Beregn omløbstiden for Eros.

I aphel har Eros en fart på 19,7 km/s.

c) Beregn farten i perihel.

Vi tænker os, at NEARs raketmotorer blev slukket i en højde af 100 meter over overfladen på et tidspunkt, hvor NEAR var i hvile i forhold til Eros. Tyngdeaccelerationen på Eros kan sættes til 0,01 m/s<sup>2</sup>.

d) Beregn faldtiden for NEAR og den fart, hvormed den når overfladen.

### Opgave 6.2

Planeten Merkur bevæger sig om Solen i en ellipsebane.

Længden af den halve storakse er  $a = 0,387 \text{ AE}$ .

Banens excentricitet er 0,206.

Beregn Merkurs perihelafstand og aphelafstand samt omløbstiden.

### Opgave 6.3

Kometen Giacobini-Zinner blev opdaget i år 1900 og i 1985 udforsket af en amerikansk rumsonde. Kometen har en omløbstid på 6,6 år, og dens aphelafstand er 6,0 AE.

Beregn banens halve storakse samt perihelafstanden.

### Opgave 6.4

Beregn Jordens fart i dens bane omkring Solen. De nødvendige oplysninger hentes i tabellerne bag i bogen.

### Opgave 6.5

Den internationale rumstation ISS bevæger sig i en cirkelbane om Jorden i en højde på ca. 400 km. Den har en banehældning på 51,6° med ækvator.

a) Beregn rumstationens afstand fra Jordens centrum.

b) Beregn rumstationens fart i banen om Jorden.

c) Beregn rumstationens omløbstid.

d) Hvor mange solopgange og solnedgange oplever astronauterne på et døgn?



**Opgave 6.6**

Den lille marsmåne Phobos har en masse på  $9,6 \cdot 10^{15}$  kg og en gennemsnitsradius på 12 km. Phobos bevæger sig om Mars i en cirkelbane med omløbstiden 7,65 timer og afstanden til centrum af Mars er 9.400 km.

- Beregn undvigelseshastigheden fra Phobos.
- Beregn tyngdeaccelerationen på overfladen af Phobos og sammenlign med Jordens tyngdeacceleration.
- En astronaut vejer 70 kg her på Jorden. Hvor meget vil han føle, at han vejer på Phobos?
- Beregn farten af Phobos i dens bane om Mars.
- Benyt formlen for farten i en cirkelbane til at bestemme massen af Mars både i kg og i forhold til Jordens masse.

**Opgave 6.7**

Et rumskib er nået frem til Mars efter 259 døgn rejse ad en Hohmann-bane.

- Beregn afstanden mellem Jorden og Mars ved ankomsten både i AE og i km.
- Beregn, hvor lang tid et radiosignal vil være om at nå fra Jorden til rumskibet, idet radiosignalet bevæger sig med farten 300.000 km/s.

**Opgave 6.8**

Et rumskib skal flyve til Venus ad en Hohmann-bane.

- Beregn flyvetiden til Venus.
- Beregn den indbyrdes stilling af Jorden og Venus ved opsendelsen. Nødvendige data tages fra tabeller bag i bogen.

**Opgave 6.9**

For de to små marsmåner Phobos og Deimos gælder følgende banedata

	<u>Afstand til centrum af Mars</u>	<u>Omløbstid</u>
Phobos	9.400 km	7,65 timer
Deimos	23.500 km	30,3 timer

Et rumskib skal flyve fra Phobos til Deimos ad en Hohmann-bane.

- Beregn flyvetiden.
- Beregn den indbyrdes stilling af Phobos og Deimos ved opsendelsen.

**Opgave 6.10**

Den største asteroide er Ceres med en diameter på 940 km. For dens bane om Solen gælder

$$a = 2,766 \text{ AE} \qquad e = 0,0078$$

- Beregn omløbstiden for Ceres, samt perihel og aphelafstand. Massen af Ceres er vurderet til  $9 \cdot 10^{20}$  kg.
- Beregn tyngdeaccelerationen på overfladen af Ceres og sammenlign med Jorden.
- Hvor meget vil en astronaut på 80 kg føle, at han vejer på overfladen af Ceres?
- Beregn undvigelseshastigheden fra Ceres i km/s.

## OPGAVER TIL KAPITEL 7

### Opgave 7.1

De to inderste planeter Merkur og Venus ses fra Jorden altid ret tæt ved Solen. Beregn den største vinkelafstand, de to planeter kan have fra Solen.

### Opgave 7.2

Fra det 300 meter store Arecibo radioteleskop på Puerto Rico sendes et radarsignal til Venus. Sendeeffekten er 1 MW, og Venus har på det tidspunkt, signalet afsendes, en afstand på 100 millioner km. Når signalet når frem dækker det lige præcis Venusskiven, som har en radius på 6.000 km. Vi antager, at radarsignalet kastes tilbage ligeligt i alle retninger og uden tab. Beregn den effekt, Areciboteleskopet modtager, når radarekkoet rammer Jorden.

### Opgave 7.3

Saturns store måne Titan har en radius på 2.575 km og en masse på  $1,4 \cdot 10^{23}$  kg. Overfladetemperaturen er 90 K.

- Beregn tyngdeaccelerationen på overfladen af Titan og sammenlign med Jordens.
- Beregn undvigelseshastigheden fra Titan.
- Vis, at Titan kan holde på en atmosfære af kvælstof.
- Undersøg, om Titan kan holde på en atmosfære af brint.

### Opgave 7.4

Neptuns store måne Triton har en radius på 1.350 km og en masse på  $2,1 \cdot 10^{22}$  kg. På Triton har man målt den laveste temperatur i solsystemet, nemlig 37 K. Det betyder, at selv flygtige stoffer som  $N_2$  kun findes i frossen tilstand på overfladen. Der vil dog altid være en vis fordamning fra overfladen.

Vis, at Triton vil være i stand til at fastholde disse kvælstofmolekyler, selv om de fordamper.

### Opgave 7.5

Vis, at brintatomer i Solens centrum bevæger sig med en middelhastighed på omkring 600 km/s.

### Opgave 7.6

Gennemfør beregningerne for flux og solindstråling på Venus og Mars (tabellen side 109).

### Opgave 7.7

Det er almindelig antaget, at mange kometer har deres oprindelse i Oortskyen. Vi betragter en sådan komet, der af tyngdepåvirkningen fra nærliggende stjerner er sendt ind mod Solen i en aflang bane med en perihelafstand på 0,5 AE og en aphelafstand på 50.000 AE. Beregn kometens omløbstid.

### Opgave 7.8

Komet Hale Bopp, der besøgte det indre solsystem i 1997, fik ved passagen gennem solsystemet ændret sin omløbstid fra 4.200 år til 2.400 år. Dette skete bl.a. på grund af tyngdekraften fra Jupiter. Perihelafstanden blev uændret på 0,914 AE.

- Beregn aphelafstanden før og efter mødet med de store planeter  
Man har skønnet, at kometen hvert sekund mistede 350 tons stof i de godt 100 dage, den tilbragte tæt på Solen.
- Beregn det samlede massetab for kometen.
- Beregn massetabet i %, når det vurderes, at kometens masse var  $5 \cdot 10^{15}$  kg.

**Opgave 7.9**

Efter de nuværende skøn rækker Kuiperbæltet 50 AE ud i rummet. Beregn omløbstiden for en isplanet i afstanden 50 AE.

**Opgave 7.10**

Tidevandskræfterne, der her på Jorden skaber ebbe og flod, kan ude i universet rive måner i stykker. Således mener man, at Saturns ringe er opstået ved, at en måne er kommet for tæt på Saturn og derved er blevet slidt i stykker af tidevandskræfterne.

Omkring enhver planet findes en grænse, kaldet Roche grænsen, efter den franske astronom Eduard Roche (1820-1883), som første gang beregnede den i 1848. Inden for denne grænse vil småpartikler ikke kunne samle sig til en måne og derfor danne et ringsystem. Uden for denne grænse vil en ring af småpartikler hurtigt klumpe sig sammen og danne en eller flere måner.

Grænsen for, hvor tæt en Måne uden sammenhængskraft – en ”flydende” Måne – kan komme, før den bliver slidt i stykker, er givet ved:

$$d = 2,45 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{planet}}}{\rho_{\text{Måne}}}} \cdot R$$

I denne ligning er  $\rho_{\text{planet}}$  planetens massefylde og  $\rho_{\text{Måne}}$  er Månens massefylde.

Et solidt klippestykke, eller en kunstig satellit kan naturligvis komme meget tættere på en klode uden at gå i stykker på grund af de kræfter, som holder legemet sammen. I det følgende bruger vi ovenstående formel, da sammenhængskraften i de fleste kloder ikke er stor – det er tyngdekraften, der holder dem sammen.

a) Beregn Roche grænsen for Jorden og Månen og sammenlign med Månens nuværende afstand. Tidligere har Månen dog været meget tættere på Jorden.

b) Beregn Roche grænsen for Saturn for en måne, der har en massefylde på 1,2 gange vands massefylde.

c) Sammenlign dette resultat med ringenes udstrækning. Den inderste ring er 67.000 km fra Saturn og den yderste F-ring 140.600 km fra Saturn.

d) Hvor langt ligger Mars månen Phobos fra Roche grænsen?

Phobos har en massefylde på 1.900 kg/m<sup>3</sup> og en afstand til Mars på 9.400 km. Alle øvrige tal tages fra tabellerne bag i bogen.

## OPGAVER TIL KAPITEL 8

### Opgave 8.1

En planet med samme masse og radius som Jupiter kredser om en stjerne i så kort afstand, at dens temperatur er 1.000 K.

Vis, at planeten let kan holde på en brintatmosfære.

Undvigelseshastigheden fra Jupiter er 60 km/s.

### Opgave 8.2

Stjernen 70 Virginis befinder sig 59 lysår fra Solen og er omkredset af en planet med følgende data

$$T = 116,7 \text{ døgn} \quad a = 0,482 \text{ AE} \quad e = 0,40$$

a) Beregn massen af 70 Virginis i solmasser, idet vi ser bort fra planetens masse.

b) Beregn planetens største og mindste afstand fra 70 Virginis i AE og sammenlign med vort solsystem.

### Opgave 8.3

Stjernen HD 195019 er omkredset af en planet, se figur 8.6. Følgende data er kendte

$$T = 18,19 \text{ døgn} \quad V = 269 \text{ m/s} \quad e = 0,01$$

Her er  $V$  stjernens maksimale radialhastighed. Massen for HD 195019 sættes til  $1 M_{\odot}$ . Beregn planetens afstand fra stjernen i AE og dens masse i forhold til Jupiters masse.

### Opgave 8.4

Planeten omkring stjernen HD 6434 har en observeret masse på 0,5 Jupitermasser. Hvis banens hældning i mod himmelkuglens tangentplan er tilstrækkelig lille, er der dog en mulighed for, at planeten i virkeligheden er en brun dværg med en masse på mindst 20 gange Jupiters masse.

a) Vis, at vinklen  $i$  skal være mindre end  $1,4^{\circ}$ , hvis den sande værdi af  $m$  skal være over 20 gange Jupiters masse

b) Hvad er sandsynligheden for, at  $i$  er mindre end denne værdi?

### Opgave 8.5

En teori går ud på, at langt de fleste af de exoplaneter vi observerer, i virkeligheden er brune dværge. Argumentet bygger på, at den observerede masse for planeten altid er mindre end den sande masse  $m$ , idet der gælder

$$m_{\text{obs}} = m \cdot \sin(i)$$

Vi sætter  $i$  i denne opgave den nedre grænse for en brun dværg til 20 gange Jupiters masse.

Vi tænker os, at vi har observeret 25 exoplaneter, der alle har en observeret masse på under 2 gange Jupiters masse. Vi vil nu teste hypotesen: Disse exoplaneter er i virkeligheden brune dværge.

a) Beregn sandsynligheden  $p$  for, at vi observerer en planet med en masse på over 20 gange Jupiters masse som en exoplanet med en masse på under 2 gange Jupiters masse.

Lad  $X$  være antallet af brune dværge, der ses som planeter med en observeret masse på under 2 gange Jupiters masse.  $X$  er da binomialfordelt  $b(25, p)$

b) Beregn  $P(X=0)$ ,  $P(X \geq 1)$  og  $P(X \geq 2)$  og kommenter resultatet.

**Opgave 8.6**

Vi tænker os en stjerne omkredset af en brun dværg med følgende data

$$R = 0,1 R_{\odot} \quad T = 1.000 \text{ K}$$

- Beregn  $L/L_{\odot}$  og den absolutte størrelsesklasse  $M$  for den brune dværg.
- Beregn  $\lambda_{\max}$  for den brune dværg. I hvilket bølgelængdeområde ligger  $\lambda_{\max}$ ?
- I hvor stor en afstand kan et infrarødt teleskop med en grænsestørrelsesklasse på  $25^m$  observere den brune dværg?

**Opgave 8.7**

Astronomen George Gatewood mener at have fundet en astrometrisk bevægelse af den røde dværgstjerne Lalande 21 185 med følgende data

$$T = 30 \text{ år} \quad \text{Vinkelforskydning} = 0,005'' \text{ (se figur 8.5)}$$

Lalande 21185 har en parallakse på  $p = 0,392''$  og en skønnet masse på  $0,3 M_{\odot}$ .

- Beregn afstanden til Lalande 21185 i pc og lysår.
- Beregn banens halve storakse  $a$ .
- Beregn planetens masse i forhold til Jupiters.

**Opgave 8.8**

Vi tænker os vort solsystem observeret fra en planet i et andet solsystem. Herfra kan man se planeterne formørke Solen.

- Beregn, hvor lang tid Jorden vil formørke Solen. Jorden bevæger sig med 30 km/s i sin bane om Solen.

På grund af formørkelsen svækkes Solens lys, så den nu observeres at lyse med styrken  $L$  i stedet for den normale lysstyrke  $L_{\odot}$ .

- Beregn  $L/L_{\odot}$  og ændringen af Solens absolutte størrelsesklasse  $M$ .
- Hvor mange grader må Jordens baneplan højst afvige fra synslinjen til stjernen, for at man kan observere formørkelsen?
- Gentag disse beregninger for Jupiter.

**Opgave 8.9**

I vort solsystem ser det ud som om, der er en vis systematik i planeterne afstand fra Solen, udtrykt i *Titius-Bodes Lov*:

Afstanden fra planet nr.  $n$  ( $n \geq 2$ ) fra Solen er givet ved

$$a_n = 0,4 \text{ AE} + 0,075 \text{ AE} \cdot 2^n, \quad n = 2,3,\dots$$

I denne formel svarer planet nr. 1, Merkur, med afstanden 0,4 AE til  $n = -\infty$

- Opskriv en tabel over de beregnede planetafstande og sammenlign med de virkelige afstande.
- Man forsøgte at redde formlen ved at postulere en 5. planet mellem Mars og Jupiter. Hvad skulle planetens afstand være ifølge formlen? Hvad findes i denne afstand?
- Hvis man regner med en planet nummer 5 mellem Mars og Jupiter, så bliver Jupiter planet nummer 6 og Pluto planet nummer 10. Hvordan hjælper det på formlen?
- Vurder, om overensstemmelsen mellem Titius-Bodes lov og virkeligheden er så overbevisende, at man bør basere en teori for solsystemets dannelse på denne formel.

## OPGAVER TIL KAPITEL 9

### Opgave 9.1

En protostjerne trækker sig sammen, hvorved den ændrer sin temperatur og lysstyrke på følgende måde:

Begyndelse af sammentrækningen:  $T = 3.500 \text{ K}$       $L = 5.000 L_{\odot}$

Afslutning af sammentrækningen:  $T = 5.000 \text{ K}$       $L = 3 L_{\odot}$

Beregn, hvor meget stjernens radius  $R$  har ændret sig, udtrykt i solradier.

### Opgave 9.2

Når en stjerne udvikler sig til kæmpestjerne, begynder den at producere energi ved at omdanne helium til kulstof, i den såkaldte triple-alfa proces. Ved denne proces omdannes kun 0,065 % af massen til energi. Til sammenligning omdanner pp-processen 0,7 % af massen til energi. For en stjerne som Solen er den masse af helium, som er til rådighed for triple-alfa processen, kun 10 % af den samlede masse, altså  $2 \cdot 10^{29} \text{ kg}$ .

- Beregn den samlede energi, der udvikles af triple-alfa processen.
- Hvor lang tid kunne denne proces forsyne Solen med energi, under forudsætning af at lysstyrken er den samme som nu?

I kæmpefasen har Solen imidlertid en langt større lysstyrke end nu. Man skønner, at lysstyrken  $L$  vokser til 2.000 gange den nuværende værdi. Men kun en del - omkring 10 % - af den nødvendige energi kommer fra heliumforbrænding. Resten leveres ved omdannelse af brint til helium i en ydre skal af "kæmpesolen".

- Giv under disse forudsætninger et skøn over, hvor længe Solen kan opretholde heliumforbrændingen.

### Opgave 9.3

Når Solen bliver rød kæmpestjerne er dens lysstyrke steget til  $2.000 L_{\odot}$  og temperaturen faldet til  $3.000 \text{ K}$ .

- Beregn Solens radius i forhold til den nuværende radius, både i solradier og i AE. Hvilke planeter vil blive opslugt?
- Beregn gennemsnitsmassefylden for Solen og sammenlign med den nuværende værdi.
- Godt halvdelen af Solens masse er samlet i en lille, kompakt kugle med radius  $15.000 \text{ km}$ . Hvad bliver massefylden for centralområdet?

Solen kan altså i kæmpestjernefasen beskrives som et lille, meget varmt og kompakt centralområde, omgivet af en udstrakt, men meget tynd atmosfære. Solen vil til den tid fylde det meste af himlen set fra Jorden.

- Beregn Jordens temperatur ud fra Stefans lov, idet vi antager, at den flux, Jorden skal udstråle til rummet, også skal vokse med en faktor 2.000 for at opretholde ligevægt.

Jordens nuværende temperatur kan sættes til  $15 \text{ }^{\circ}\text{C} = 288 \text{ K}$ .

I virkeligheden vil Solen i kæmpestjernefasen være temmelig ustabil, således at både størrelse og lysstyrke varierer.

### Opgave 9.4

Ringtågen i Lyren er en af de smukkeste og bedst kendte planetariske tåger. Dens afstand er omkring  $850 \text{ pc}$ , eller  $2.800 \text{ lysår}$ . Tågen ses under en vinkel på  $72'' = 0,02^{\circ}$ .

Dopplermålinger af gasserne i tågen viser, at de bevæger sig bort fra den centrale stjerne med en fart på  $20 \text{ km/s}$ .

- Beregn tågens diameter i lysår og i AE.
- Beregn tågens alder, idet vi antager, at den udvider sig med konstant fart.

**Opgave 9.5**

Den røde kæmpestjerne Betelgeuze i stjernebilledet Orion er en af de få stjerner i Solens omegn, som man mener kan blive til supernova. Der er ingen, som kan sige, hvornår det sker. Det kan være i morgen eller om en million år. Når det sker, så regner man med, at Betelgeuze vil få en absolut størrelsesklasse på omkring  $-17^m$  - den præcise værdi er umulig at forudsige. Vi antager i det følgende, at Betelgeuze er eksploderet som supernova.

a) Beregn den tilsyneladende størrelsesklasse af Betelgeuze set her fra Jorden, og sammenlign med Solen og fuldmånen. Afstanden til Betelgeuze er ca. 500 lysår.

Under meget gunstige forhold kan man se Venus kaste skygge. Det kræver, at Venus har sin maksimale lysstyrke, svarende til  $m = -4^m$

b) Vil Betelgeuze kaste skygge? Vil Betelgeuze stadig være rød?

c) Hvor tæt på Solen skulle Betelgeuze være for at lyse lige så stærkt som Solen?

d) Overvej faren ved en supernovaeksplosion i nærheden af os.

(Hvad andet end lys kan der tænkes at komme fra en supernova?)

**Opgave 9.6**

Krabbetågen er resterne af en supernova, kinesiske astronomer så på himlen i 1054. På sit højeste kunne den også ses om dagen, men mærkeligt nok har vi ingen optegnelser af den fra Europa - til gengæld har vi klippetegninger udført af indianere i Nordamerika. Afstanden til Krabbetågen er ca. 6.000 lysår, og dens nuværende diameter er ca. 10 lysår

a) Hvornår fandt eksplosionen sted? Hvilke samfund havde vi på Jorden dengang?

Vi antager, at gasserne har bevæget sig med konstant fart siden udbruddet.

b) Med hvilken hastighed har gasserne bevæget sig?

I midten af Krabbetågen sidder en pulsar med en rotationstid  $T = 0,031$  sekunder. Der er optaget film, hvor man direkte kan se pulsaren glimte 30 gange i sekundet. Pulsaren har en *rotationsenergi* givet ved formlen

$$E = 7,9 \cdot \frac{M \cdot R^2}{T^2}$$

c) Beregn pulsarens rotationsenergi i Joule. Massen kan sættes til  $1,5 M_{\odot}$  og R til 20 km.

d) Hvor lang tid bruger Solen til at udstråle denne energimængde?

Pulsaren er koblet til den omgivne tåge gennem kraftige magnetfelter, og overfører derved gradvist noget af sin rotationsenergi til tågen. Det kan man direkte observere, idet rotationstiden hvert år øges med lidt over 13  $\mu$ s.

e) Beregn den effekt, der herved overføres til tågen, og sammenlign med Solens udstråling.

**Opgave 9.7**

Den amerikanske fysiker Robert Forward har i romanen *Dragons Egg* beskrevet et rumskib, som er i en stationær bane 406 km over en neutronstjerne. Det betyder, at rumskibet har samme omløbstid som neutronstjernens rotationstid på 0,1993 sekunder. Stjernens radius kan sættes til 10 km.

a) Beregn farten af rumskibet i km/s.

b) Beregn massen af neutronstjernen i solmasser.

c) Beregn gravitationsrødforskydningen af det lys, som udsendes fra neutronstjernen. Antag, at lyset udsendes med en frekvens på  $6 \cdot 10^{14}$  Hz

d) En to meter høj astronaut i rumskibet udsættes for tidevandskræfter fra neutronstjernen. Beregn  $\Delta a$  for en astronaut i rumskibet mellem hoved og fødder, når vi antager, at astronauten har fødderne rettet mod neutronstjernen.

## OPGAVER TIL KAPITEL 10

### Opgave 10.1

- a) Lav et skema som det viste og udfyld de manglende pladser. Lysstyrke og radius skal angives i enheder af Solens.
- b) Hvor i HR diagrammet befinder disse stjerner sig?

Lysstyrke $L$	Temperatur $T$	Radius $R$
	10.000 K	$3 R_{\odot}$
$64 L_{\odot}$	$2 T_{\odot}$	
$1.000 L_{\odot}$		$5 R_{\odot}$

### Opgave 10.2

Følgende tabel giver et udsnit af Solens fremtidige udvikling. Tiden er angivet i milliarder år siden Solens dannelse. Solens lysstyrke og radius er angivet i forhold til de nuværende værdier.

- a) Lav et skema som det viste og udfyld kolonnen med Solens temperatur.
- b) Indtegn Solens udviklingsspor i et HR diagram.

Solens alder (mia år)	Solens lysstyrke ( $L/L_{\odot}$ )	Solens radius ( $R/R_{\odot}$ )	Solens temperatur ( $T/T_{\odot}$ )
5,5	1,08	1,04	
6,6	1,19	1,08	
7,7	1,32	1,14	
8,8	1,50	1,22	
9,8	1,76	1,36	

### Opgave 10.3

I nedenstående tabel er angivet typiske værdier for masser og radier af kæmpe og superkæmpe stjerner.

Stjerne	$M/M_{\odot}$	$R/R_{\odot}$	$g/g_{\odot}$	$\rho/\rho_{\odot}$
Superkæmpe	20	1000		
Kæmpe	2	10		
Solen	1	1		
Hvid dværg	0,7	0,007		

Lav et skema som det viste og udfyld de manglende kolonner og kommenter resultatet. Formlen til beregningen af tyngdeaccelerationen  $g$  på overfladen af stjernen er angivet i kapitel 6 side 80.

### Opgave 10.4

En dobbeltstjerne består af en rød dværg af spektraltype  $M$  og en hvid dværg.

Stjerne	$T$	$R/R_{\odot}$	$L/L_{\odot}$	$M/M_{\odot}$
Rød dværg	3.000 K	0,5		0,3
Hvid dværg	18.000 K	0,007		0,7



- Lav et skema som det viste og udfyld den manglende kolonne over lysstyrker.
- Beregn dobbeltstjernens samlede lysstyrke og dens absolutte størrelsesklasse.
- Find den mindst mulige omløbstid i systemet, bestemt ved at afstanden mellem stjernerne skal være større end summen af de to stjerners radier.
- Beregn den relative fart af de to stjerner i dette tilfælde. Banen antages at være en cirkel. Hvis en hvid dværg kredser meget tæt på en anden stjerne, kan den med sin stærke tyngdekraft tiltrække atmosfære fra den anden stjerne. Herved får den hvide dværg tilført brinholdig gas, der lægger sig som et lag på overfladen. Når laget bliver tilstrækkeligt tykt, kan det eksplodere, idet brinten undergår en løbsk fusionsproces. Vi får da det fænomen, der kaldes en *nova*.

### Opgave 10.5

Solens nærmeste nabo er Alfa Centauri systemet. Alfa Centauri består af tre stjerner:

Alfa Centauri A med spektraltype G2 V og afstand 4,40 lysår

Alfa Centauri B med spektraltype KO V og afstand 4,40 lysår

Proxima Centauri med spektraltype M5 V og afstand 4,22 lysår

Som det fremgår, er Proxima Centauri den stjerne, som er nærmest på Solen. Den er så lyssvag, at det først i 1915 blev klart, at den er Solens nærmeste nabo. Proxima betyder i øvrigt "den nærmeste".

Alfa Centauri A og B kredser om hinanden i en elliptisk bane med en omløbstid på 80 år. Den største afstand mellem stjernerne er 35 AE og den mindste afstand 11 AE.

- Beregn den halve storakse  $a$  og excentriciteten  $e$  i banen.
- Beregn massesummen af de to stjerner og kommenter resultatet.

I princippet er det muligt for både Alfa Centauri A og B at have hvert sit lille solsystem. De to stjerner kommer trods alt aldrig hinanden nærmere, end hvad der svarer til afstanden mellem Solen og Saturn. Alfa Centauri B har en radius på ca.  $0,8 R_{\odot}$ .

- Vil det være muligt med det blotte øje at se Alfa Centauri B som en skive fra en jordlignende planet, der kredser om Alfa Centauri A?

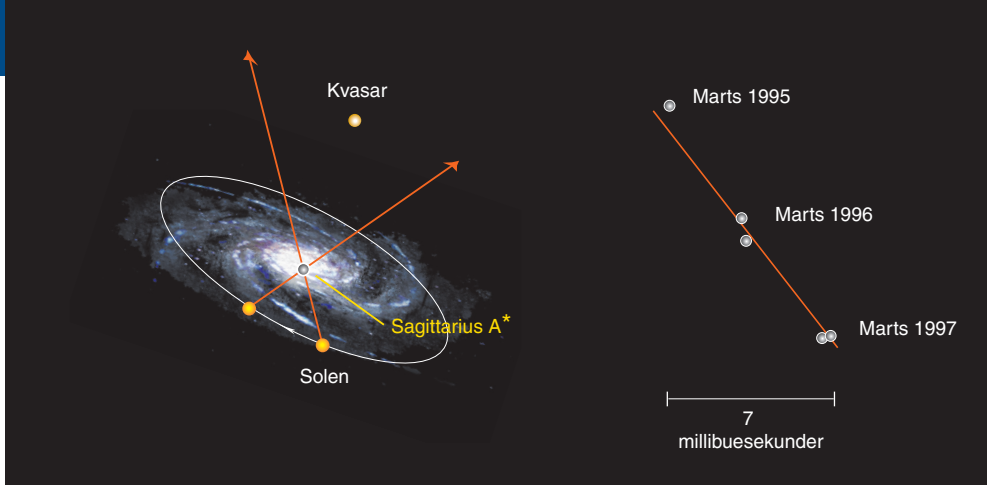
Proxima Centauri har en absolut størrelsesklasse på  $15,45^m$ . Afstanden til de to andre stjerner er 0,18 lysår.

- Beregn omløbstiden af Proxima Centauri om de to andre stjerner.
- Beregn den tilsyneladende lysstyrke af Proxima set fra en planet omkring Alfa Centauri A. Tabelværdierne for lysstyrkerne af en G2 V stjerne er  $1 L_{\odot}$  og for en KO V stjerne  $0,4 L_{\odot}$ . De målte værdier er henholdsvis  $1,77 L_{\odot}$  og  $0,55 L_{\odot}$ .
- Hvad siger det om stjernernes udvikling og alder?

### Opgave 10.6

Et dobbeltstjernesystem består af to helt ens stjerner. Omløbstiden er  $T = 3$  døgn og banen er en cirkel med  $a = 0,04$  AE.

- Beregn stjernernes masser.
- Beregn farten  $v$  i den relative bevægelse af de to stjerner om hinanden. Vi ser systemet lige fra kanten ( $i = 90^{\circ}$ ). Derfor formørker de to stjerner hinanden. Hver formørkelse varer to timer fra begyndelse til slut.
- Beregn stjernernes radier.
- Hvilke typer stjerner kan der være tale om?



## OPGAVER TIL KAPITEL 11

### Opgave 11.1

Det er lykkedes direkte at måle, hvorledes radiokilden Sgr A\* i Mælkevejens centrum ser ud til at bevæge sig i forhold til fjerne galakser og kvasarer som følge af Solens rotation om centret. Resultatet er vist på figuren.

Bestem ved direkte udmåling på figuren Solens omløbstid om Mælkevejens centrum.

### Opgave 11.2

På figur 11.18 i bogen er vist nogle rotationskurver for forskellige galakser.

Beregn ved aflæsning på figuren massen inden for 10 kpc og inden for 20 kpc for de 5 viste galakser. Kommenter resultatet ud fra din viden om en spiralgalakses udseende (se evt. kap.12)

### Opgave 11.3

I stjernebilledet *Reticulum* (Nettet) på den sydlige himmel findes to stjerner *Zeta Reticuli 1 og 2*, der begge ligner Solen, og som befinder sig meget tæt på hinanden. Data for de to stjerner er følgende:

	Spektraltype	m	Parallakse	Egenbevægelse
Zeta 1	G2	5,53 <sup>m</sup>	0,083''	2,58''/år
Zeta 2	G1	5,24 <sup>m</sup>	0,083''	2,58''/år

- Beregn afstanden til stjernerne i pc og lysår.
- Beregn stjernernes absolutte størrelsesklasser.  
Set fra Jorden er vinkelafstanden mellem stjernerne  $0,08^\circ$ .
- Beregn afstanden mellem de to stjerner i AE og lysuger.
- Beregn stjernernes tangentialhastighed.
- Vurder, hvilken population stjernerne tilhører.

Man har beregnet, at de to stjerner bevæger sig i elliptiske baner om Mælkevejens centrum med excentriciteten  $e = 0,2$ . Det antages, at stjernerne for tiden er i apogalaktikon, det vil sige i deres største afstand fra Mælkevejens centrum.

- Beregn den halve storakse  $a$  i banen for stjernerne og deres perigalaktikonafstand
- Beregn stjernernes omløbstid om Mælkevejens centrum.
- Beregn den tilsyneladende størrelsesklasse af Zeta 2 set fra en planet omkring Zeta 1. Kan stjernen ses på daghimmelen?

**Opgave 11.4**

Kuglehoben M 13 indeholder omkring 500.000 stjerner, og den har en diameter på 150 lysår. Hobens afstand er 23.000 lysår.

- Beregn gennemsnitsafstanden mellem stjernerne.
- Beregn hobens absolutte lysstyrke, hvis vi antager, at hobens stjerner i gennemsnit har samme lysstyrke som Solen.
- Beregn hobens tilsyneladende størrelsesklasse, og overvej, om den kan ses med det blotte øje.

**Opgave 11.5**

Der observeres to helt identiske stjernehobe A og B. Det betyder, at hobene indeholder lige mange stjerner, har samme udstrækning og samme absolutte størrelsesklasse. Hob A antages at have en så ringe afstand, at vi kan se bort fra absorptionen.

Hob A ses under en vinkel på  $0,2^\circ$  med  $m = 7^m$

Hob B ses under en vinkel på  $0,02^\circ$  med  $m = 13^m$

- Beregn den forventede værdi af  $m$  for hob B, hvis man ser bort fra absorption.
- Beregn absorptionens størrelse.

Det var overvejelser af denne art, der førte Trumpler på sporet af absorptionens betydning.

**Opgave 11.6**

En ikke-rødfarvet A0V stjerne har  $(B - V)_0 = 0,0^m$ .

Den absolutte størrelsesklasse er  $M_V = 0,8^m$ .

En stjerne af denne type observeres i UB<sub>V</sub>-systemet, og man måler

$$B = 13,3^m$$

$$V = 12,5^m$$

- Beregn farveexcessen  $E_{B-V}$  og absorptionens størrelse.
- Beregn afstanden til stjernen.

**Opgave 11.7**

I denne opgave skal du udlede formelen for tangentialhastigheden i tema 11.3.

Vis først, at for en stjerne i afstanden  $d$  pc med egenbevægelsen  $\mu''$  på et år gælder med god tilnærmelse

$$\mu'' = \frac{v_t \cdot 1 \text{ år}}{2\pi \cdot (d \text{ pc})} \cdot 360 \cdot 3600''$$

Vis herudfra, at  $v_t = \mu \cdot d \cdot 4,74 \text{ km/s}$ .

**Opgave 11.8**

For en stjerne med den tilsyneladende størrelsesklasse  $V = 3,08^m$  har man målt en radialhastighed  $v_r = -30 \text{ km/s}$  og en egenbevægelse på  $0,444''/\text{år}$ .

Den absolutte størrelsesklasse  $M_V = 1,2^m$  og absorptionen  $A$  antages at være  $0,82^m$ .

Beregn stjernens afstand og rumhastighed.

## OPGAVER TIL KAPITEL 12

### Opgave 12.1

Den rige galaksehob Coma Berenices omfatter næsten 10.000 galakser. Gennemsnitshastigheden for hobens galakser er bestemt til 7.400 km/s.

Beregn rødforskydningen  $z$  og hobens afstand.

### Opgave 12.2

En Seyfert-galakse har inden for 1 pc af selve kernen Dopplerudbredte spektrallinjer, der kan fortolkes som følgerne af en hurtig rotation af gasser omkring centret. Udbredningen vil i så tilfælde svare til en rotationshastighed på 1.000 km/s omkring centret.

Beregn massen af det centrale område inden for 1 pc af centret.

### Opgave 12.3

Når stjerner eller gas opsluges af et sort hul, frigøres typisk 10-20 % af hvilemassen til energi i form af stråling.

Kvasaren 3C 273 har en udstråling på 230 gange Mælkevejens lysstyrke, som vi sætter til  $10^{37}$  W.

a) Beregn, hvor meget energi der kan frigøres ved at omdanne 10 % af Solens masse helt til energi. Solens masse er  $2 \cdot 10^{30}$  kg.

b) Beregn, hvor ofte det sorte hul i 3C 273 skal sluge en stjerne på størrelse med Solen for at opretholde denne udstråling.

### Opgave 12.4

Der er en øvre grænse, kaldet *Eddington-grænsen*, for, hvor meget stråling der kan komme fra tilvækstskiven af et sort hul, når hullet sluger masse.

Formlen lyder

$$\frac{L_{\text{Eddington}}}{L_{\odot}} = 30000 \cdot \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)$$

hvor  $L_{\text{Eddington}}$  er den maksimale udstråling fra et sort hul med massen  $M$ .

Overskrides grænsen, vil strålingstrykket fra det sorte huls omgivelser simpelthen blæse al gas væk fra tilvækstskiven.

I vor Mælkevej mener man, at der findes et sort hul i centret med en masse på  $2,5 \cdot 10^6 M_{\odot}$ . Mælkevejens samlede udstråling sættes til ca.  $10^{37}$  W.

a) Beregn Eddington-grænsen for det sorte hul i Mælkevejens centrum.

b) Sammenlign denne grænse med Mælkevejens nuværende udstråling.

**Opgave 12.5**

Sammenstød mellem galakser er ret almindelige. Når galakser støder sammen, så er det på grund af den store afstand mellem stjernerne kun gasskyerne i galakserne, som støder sammen. Vi betragter to galakser, der støder sammen med en fart på 1.000 km/s.

Dette er en typisk fart for galakser i store hobe. Hver galakse indeholder  $5 \cdot 10^{10}$  solmasser i form af brintskyer med temperaturer på nogle få grader over det absolutte nulpunkt. Det oplyses, at det kræver  $2,5 \cdot 10^{34}$  J at opvarme en solmasse brint en grad.

Sammenstødet betragtes fra massemidtpunktet mellem de to galakser. Set herfra vil begge galakser nærme sig med en fart på 500 km/s. Efter sammenstødet er de to galakser blevet til en stor galakse, som ligger stille i forhold til massemidtpunktet.

- Beregn den kinetiske energi af gasskyerne før sammenstødet.
- Beregn temperaturstigningen af skyerne, idet det antages, at hele den kinetiske energi går til opvarmning af brintskyerne.
- De opvarmede skyer udsender termisk stråling. Bestem  $\lambda_{\max}$  for denne stråling

**Opgave 12.6**

I den store E galakse M87 har Hubbleteleskopet fotograferet en 10.000 grader varm gassky, der roterer med voldsom fart omkring galaksens centrum. Hastigheden i en afstand på 60 lysår fra centret er målt til 750 km/s.

- Beregn massen af det stof, der befinder sig inden for en afstand af 60 lysår fra centret, både i kg og i solmasser.

En model kunne være, at denne masse består af stjerner ligesom vor sol.

- Beregn gennemsnitsafstanden mellem disse stjerner.

En anden model kunne være, at der i centret findes et sort hul.

- Beregn radius for begivenhedshorisonten for dette hul og sammenlign med størrelsen med vort solsystem.
- Diskuter disse to modeller i forhold til hinanden.

**Opgave 12.7**

Radiogalaksen Cygnus A udsender en kraftig radiostråling, der her på Jorden modtages ved bølgelængden 30 cm. Rødforskydningen for galaksen er målt til  $z = 0,17$ .

- Beregn den oprindelige bølgelængde, da strålingen blev udsendt fra Cygnus A.
- Beregn afstanden til Cygnus A.

**Opgave 12.8**

En kvasar har en afstand på 3 milliarder lysår. Kvasaren udsender en plasmasky, der kan observeres i radioområdet. Man har målt, at plasmaskyen fjerner sig fra kvasaren med  $0,002''$  pr. år.

- Vis, at denne måling tilsyneladende kan fortolkes som en bevægelse af skyen bort fra kvasaren med en hastighed på 2,9 gange lysets hastighed.
- Fortolk i stedet målingen ud fra teorien i tema 12.1 og beregn den vinkel, plasmaskyens bevægelsesretning danner med synslinjen.

## OPGAVER TIL KAPITEL 13

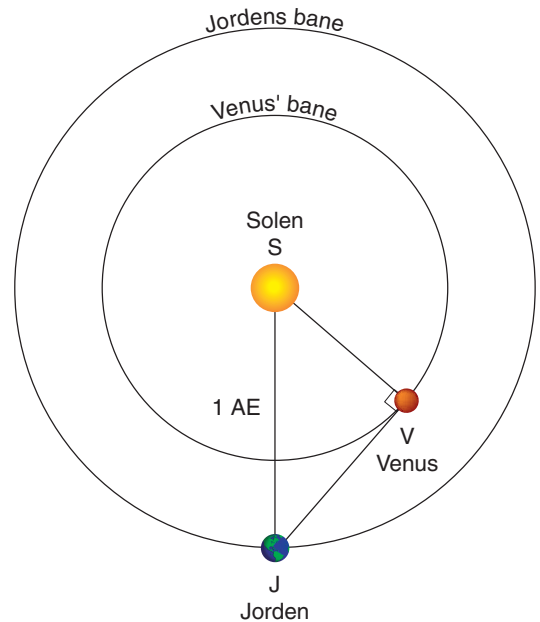
### Opgave 13.1. Den astronomiske enhed

Når Mars er nærmest Jorden, har den en afstand på 0,382 AE. Denne position udnyttede Cassini til sin bestemmelse af den astronomiske enhed ved hjælp af Marsparallaksen. Cassini målte en parallakse for Mars på  $19,4''$  ved at sammenholde observationer af planeten fra to steder med en indbyrdes afstand på 5.000 km. Hvilken værdi fandt Cassini for den astronomiske enhed?

### Opgave 13.2. Den astronomiske enhed

Venus kredser om Solen i (næsten) en cirkelbane med en omløbstid på  $T = 224,7$  døgn.

- Beregn Venus afstand til Solen i AE. Et radarsignal sendes til Venus, når planeten står i den viste stilling.
- Beregn afstanden JV i AE. Radarekkoet modtages efter 11 min 28,7 s.
- Beregn afstanden JV i km.
- Beregn værdien af 1 AE i km.



### Opgave 13.3. Parallaksemetoden

Den klare stjerne Aldebaran ("Tyrens røde øje") har en parallakse på  $0,048''$  og en tilsyneladende visuel størrelse  $m_v = 0,85^m$ .

- Beregn stjernens afstand. Usikkerheden på parallaksen er imidlertid  $0,002''$ .
- Beregn den største og den mindste værdi for Aldebarans afstand.
- Beregn usikkerheden på den absolutte størrelsesklasse  $M_v$  og lysstyrken  $L$ .

### Opgave 13.4. Spektroskopisk afstandsbestemmelse

Himlens næstklareste stjerne er Canopus i det sydlige stjernebillede Carina (Kølen). Stjernen bruges ofte som navigationsstjerne for rumsonder. Canopus er af spektralklasse FO I og har en visuel størrelsesklasse  $m_v = -0,6^m$ .

- Giv ud fra et HR-diagram et skøn over den absolutte lysstyrke af Canopus.
- Find afstanden til Canopus.

### Opgave 13.5. Dynamisk Parallakse

Dobbeltstjernen Kappa Persei har en omløbstid på  $T = 11,35$  år. Vi ser den halve storakse i banen under en vinkel på  $0,29''$ .

Ud fra stjernernes spektraltyper skønnes, at de begge har samme masse som Solen.

- Bestem den halve storakse i banen i AE.
- Bestem afstanden til dobbeltstjernen. Denne afstandsmetode kaldes *dynamisk parallakse*.

**Opgave 13.6. Klassifikation af stjerner**

I denne opgave bruger vi rødfarvningsloven fra tema 11.1.

For en G5 stjerne har man observeret følgende

$$V = 9,85^m$$

$$B - V = 1,15^m$$

På dette grundlag vil vi nu forsøge at klassificere stjernen som hovedseriestjerne, kæmpestjerne eller superkæmpe, altså luminositetsklasse V, III eller I. For G5 stjerner gælder følgende data

Luminositetsklasse	I	III	V
$M_V$	$-3,8^m$	$1,0^m$	$5,0^m$
$(B-V)_0$	$0,85^m$	$0,79^m$	$0,70^m$

- Beregn for hvert af de tre tilfælde farveexcessen og absorptionen for G5-stjernen. Man kan antage, at absorptionen opfylder loven  $A = 0,003^m$  pr. pc.
- Beregn for hvert af de tre tilfælde stjernens absolutte størrelsesklasse.
- Bestem stjernens luminositetsklasse og dens afstand.

**Opgave 13.7. RR Lyrae stjerner**

RR-Lyrae stjerner er variable stjerner med perioder mellem 1,5 og 24 timer, typisk omkring 12 timer. Deres spektraltyper varierer fra A2 til F6, men i modsætning til cepheider afhænger deres absolutte lysstyrke ikke af perioden. For RR-Lyrae stjerner gælder  $L \approx 100 L_\odot$ .

- Beregn den absolutte størrelsesklasse for en RR-Lyrae stjerne.

En RR-Lyrae stjerne observeres med en visuel størrelsesklasse  $m_V = 7,2^m$  i en retning, hvor absorptionen er skønnet til  $0,3^m$  i det visuelle område.

- Bestem stjernens afstand.

**Opgave 13.8. Cepheidemetoden**

For galaksen NGC 925 har man observeret følgende cepheider af population I

Cepheidenummer	Periode (døgn)	$m_V$
5	48,5	23,68
8	37,3	24,67
15	30,1	24,85
36	20,2	25,35
77	10,8	25,90

- Bestem afstanden til galaksen, idet absorptionen  $A$  sættes til  $0,42^m$ .
- Hvordan ville afstanden ændre sig, hvis man havde taget fejl, og de observerede cepheider i virkeligheden tilhører population II?
- Hvordan kan man på stor afstand skelne mellem population I og population II cepheider?

**Opgave 13.9. Hovedserietilpasning**

For en stjernebob har man bestemt et HR-diagram. På den lodrette akse har man dog kun kunnet angive  $m_V$ , da man ikke kender afstanden til hoben.

For Hyaderne har man et HR-diagram, hvor det har været muligt at angive  $M_V$  på den lodrette akse, idet man kender afstanden til hoben.

De to hovedserier forløber parallelt, men med en afstand på  $9^m$ .

Bestem hobens afstand.

**Opgave 13.10. Kuglehobe**

Gennemsnitslysstyrken for en kugleformet hob er bestemt til

$$\langle M_B \rangle = -6,6^m \pm 0,26^m$$

For galaksen M33 har man observeret kuglehobe og bestemt deres middellysstyrke til

$$\langle B \rangle = 17,6^m$$

a) Bestem afstanden til M33, hvis vi antager, at kuglehobene i M33 er af samme type som i vor Mælkevej.

b) Angiv usikkerheden på afstanden.

**Opgave 13.11. Supernovae**

De kraftigste supernovae man kender, de såkaldte type I supernovae, har en absolut størrelsesklasse på  $-20^m$ .

Et teleskop kan observere ned til størrelsesklassen  $28^m$ .

a) Hvor langt ud kan man observere en type I supernova?

b) Kunne vi se en type I supernova med det blotte øje i Andromedagalaksen, hvis afstand vi kan sætte til 690 kpc?

c) Kunne man se en type I supernova med et stort amatørteleskop i Virgo-hoben, der har afstanden 15,7 Mpc. Grænsestørrelsesklassen for teleskopet kan sættes til  $14^m$ .

**Opgave 13.12. Hubbles lov**

I den store E galakse NGC 4889 har man observeret en Ca-linje ved bølglængden 401,8 nm. Laboratoriebølglængden er 393,3 nm.

a) Beregn rødforskydningen og galaksens fart bort fra os.

b) Beregn galaksens afstand, idet vi benytter værdien  $71 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$  for  $H_0$ .



## OPGAVER TIL KAPITEL 14

### Opgave 14.1

En af søjlerne for Big Bang teorien er universets heliumindhold  $Y$  som er ca. 25 %. Denne heliummængde kan nemlig ikke være dannet ved fusion i stjernerne, som følgende udregning skal vise. Vi antager følgende talværdier for Mælkevejen

$$\text{Alder } T \approx 10^{10} \text{ år}$$

$$\text{Lysstyrke } L \approx 10^{37} \text{ W}$$

$$\text{Masse } M \approx 10^{11} M_{\odot}$$

a) Beregn den samlede energi  $E$ , der er produceret af stjernerne i Mælkevejens levetid, idet vi regner lysstyrken for konstant.

Ved en fusionsproces, hvor brint omdannes til helium, omdannes 0,7% af massen til energi.

b) Beregn den energimængde, der udvikles ved at omdanne en solmasse brint til helium.

c) Beregn, hvor mange solmasser brint der i Mælkevejens levetid er omdannet til helium, og gør rede for, om dette kan forklare universets indhold af helium.

### Opgave 14.2

En anden af søjlerne for Big Bang teorien er baggrundsstrålingen. COBE satellitten har målt den præcise temperatur af baggrundsstrålingen til 2,725 K.

a) Bestem  $\lambda_{\max}$  for strålingen.

Strålingen blev skabt, da universet blev gennemsigtigt. Dette skete ved en temperatur på ca 3.000 K.

b) Bestem  $\lambda_{\max}$  for strålingen ved dannelsen.

c) Bestem rødforskydningen for baggrundsstrålingen og universets størrelse, da strålingen blev udsendt.

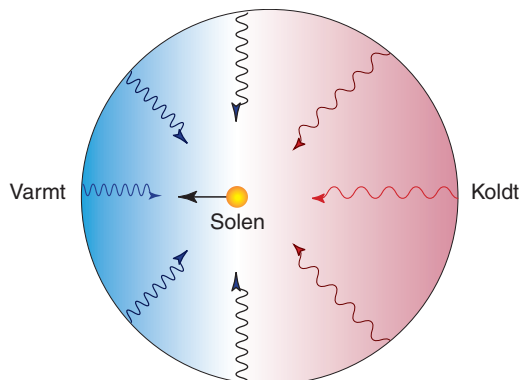
### Opgave 14.3

COBE satellitten har vist, at Solen bevæger sig i forhold til baggrundsstrålingen. Det viser sig ved, at vi ser en lille blåforskydning i en retning og en tilsvarende lille rødforskydning i den modsatte retning. Måler vi  $\lambda_{\max}$ , følger det af Wiens lov, at disse Dopplerforskydninger svarer til temperaturforskelle, således at vi bevæger os fra et "koldere" mod et "varmere" område. I forhold til baggrundsstrålingens gennemsnitstemperatur  $T_0 = 2,725 \text{ K}$  har det "kolde" område en temperatur, der er 0,0033 K lavere. Det kolde områdes temperatur kaldes  $T_1$ .

a) Vis ud fra Wiens lov, at den målte rødforskydning  $z = T_0/T_1 - 1$ .

b) Beregn Solens hastighed i forhold til baggrundsstrålingen.

Også Mælkevejen som helhed bevæger sig i forhold til baggrundsstrålingen. Farten er beregnet til 600 km/s, altså en del hurtigere end Solens bevægelse. Bevægelsen sker i retning mod en superhob,



og kan måske skyldes tiltrækningen fra galakserne i superhoben. Ved Mælkevejens fart forstås normalt farten af Mælkevejens centrum.

Lad os antage, at vi observerer baggrundsstrålingen fra en position nær Mælkevejens centrum.

c) Beregn temperaturen af baggrundsstrålingen i den retning, som Mælkevejen bevæger sig hen imod.

#### Opgave 14.4

Man kan vise, at universets kritiske massefylde  $\rho_c$  kan udregnes efter formlen

$$\rho_c = \frac{3 \cdot H_0^2}{8 \cdot \pi \cdot G}$$

a) Omregn  $H_0 = 71 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$  til SI enheder.

b) Vis, at den kritiske massefylde  $\rho_c$  bliver ca.  $9 \cdot 10^{-27} \text{ kg}/\text{m}^3$ .

c) Beregn hvilken masse denne tæthed vil svare til i et rumfang på størrelse med Jordens.

#### Opgave 14.5

Et af de tidlige argumenter for, at vort univers har udviklet sig, var baseret på tælling af radiokilder. I et statisk univers ville vi forvente, at tætheden  $n$  af radiokilder med en vis udstråling  $L$  er konstant. Ifølge denne antagelse skulle der så inden for afstanden  $r$  befinde sig

$$N = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot n$$

radiokilder med udstrålingen  $L$ . For de radiokilder, der netop har afstanden  $r$ , modtager vi fluxen

$$F = \frac{L}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Vi forestiller os nu, at vi tæller radiokilder ned til grænsen  $F_0$ . Derefter gentages tællingen, men nu med grænsen  $F_1 = 1/4 F_0$ .

a) Hvor meget længere ud i universet observerer vi, når fluxgrænsen bliver sat ned til  $1/4$ ?

b) Hvor mange flere radiokilder kan vi da observere, hvis tætheden er konstant?

c) Vis, at antallet af radiokilder, vi kan observere i det statiske univers, afhænger af fluxgrænsen  $F$  ved formlen

$$N(F) = \frac{\textit{konst}}{F^{1,5}}$$

Tælling af radiokilder har imidlertid vist, at

$$N(F) = \frac{\textit{konst}}{F^{1,8}}$$

d) Vis, at dette resultat betyder, at der i virkeligheden er langt flere svage radiokilder, end vi ville forvente i et statisk univers. Prøv for eksempel at tabellægge de to funktioner for små værdier af  $F$  og se på forholdet mellem det målte og det forventede tælleantal.

e) Giv en fortolkning af dette resultat ud fra Big Bang modellen og din viden om kvasarer.

## OPGAVER TIL KAPITEL 15

### Opgave 15.1

Vi forestiller os, at vi skal sende en rumsonde til en anden stjerne. Hvis rejsen skal kunne gennemføres inden for et menneskeliv, skal vi op på en hastighed på mindst 10-15 % af lyshastigheden. Lad os tænke os, at sonden bringes op på 15 % af lysets hastighed med en acceleration på  $10 \text{ m/s}^2$ . Sondens masse sætter vi til 20 ton.

- Hvor lang tid tager det sonden at komme op på denne hastighed?
- Beregn, hvor langt sonden har fløjet i dette tidsrum (sammenlign med afstanden til Pluto).
- Beregn sondens kinetiske energi, når den er kommet op på 15 % af lyshastigheden. Sammenlign dette tal med verdens samlede energiforbrug på ca.  $3,2 \cdot 10^{20} \text{ J/år}$ .
- Beregn, hvor lang tid sonden vil være om at flyve gennem et solsystem som vores. Vi tænker os nu, at sonden i et fremmed solsystem lokaliserer en planet som Jorden, og at den ændrer kursen, så den flyver tæt forbi denne planet. For at kunne studere planeten i detaljer, skal den befinde sig inden for en afstand på 10 millioner km.
- Beregn den maksimale tid, sonden kan være inden for observationsafstand.
- Hvor lang tid vil sonden være om at tilbagelægge en afstand som den mellem Jorden og Månen?

Den umådeligt store energi, der skal til at give sonden den nødvendige sluthastighed, viser, at denne udvej måske ikke er så fornuftig, også fordi observationstiderne i de fremmede solsystemer bliver så korte i forhold til flyvetiderne. Arthur C. Clarke har foreslået en anden ide med i stedet at bygge en langsom rumsonde, som han kalder *Starglider*. Starglider skal bevæge sig med en fart på  $600 \text{ km/s}$  og med denne lave fart vil det være muligt at benytte tyngdefeltet fra en stjerne til at afbøje rumsondens bane mod den næste stjerne. På denne måde kan sonden i ro og mag udforske flere solsystemer, selv om det vil tage sin tid.

- Beregn flyvetiden for Starglider til Alfa Centauri.
- Beregn flyvetiden gennem et solsystem som vores eget for en Starglider sonde.
- Beregn observationstiden for en enkelt planet, hvis Starglider skal være inden for en afstand af 10 millioner km.

En Starglider sonde vil desuden kræve et samfund, der er stabilt over mange tusinde år, og det er næppe realistisk at forestille sig det i dag.

### Opgave 15.2

- Beregn livszonens bredde og beliggenhed for tabellens typer af hovedseriestjerner. De angivne lysstyrker er middelværdier.
- Beregn, hvor meget Solens lysstyrke skal ændre sig, før Jorden kommer til at befinde sig uden for livszonen.

Spektraltype	Lysstyrke $L/L_{\odot}$
B5	800
A0	60
F0	8
F5	4
G0	1,4
K0	0,4
K5	0,2
M0	0,06

**Opgave 15.3**

Vi forestiller os en SETI eftersøgning i vandhullet fra 18 til 21 cm. Den bedste signalopfangning opnås, hvis det modtagne signal er koncentreret inden for en meget smal båndbredde fra 1 til 100 Hz.

- Omregn vandhullets bølgelængder til et frekvensområde.
- Hvor mange kanaler skal man søge på, hvis vi benytter en båndbredde på 100 Hz?

**Opgave 15.4**

Vi vil regne lidt på den radiostøj, som Jorden afslører sig ved over for andre civilisationer. Et rimeligt gæt er, at Jorden har 10.000 FM radiostationer, der hver sender med en effekt på 50 kW.

- Beregn Jordens samlede udstråling i FM området.
- Sammenlign dette tal med Solens radiostråling, der i FM området kan sættes til 1 MW.

**Opgave 15.5**

Man kan godt forestille sig liv på en planet, der både i størrelse og tyngdekraft afviger fra Jorden. Vi betragter en sådan planet, hvis radius vi sætter til  $0,77 R_{\text{jord}}$ . Vi antager, at planeten har samme massefylde som Jorden. Den kredser om en stjerne lidt mindre end Solen med en udstråling på  $0,5 L_{\odot}$ .

- Beregn planetens tyngdeacceleration i forhold til Jordens.
- Beregn ud fra masse–lystyrke relationen stjernens masse.
- Overvej, hvilken spektraltype stjernen tilhører.
- Beregn planetens afstand fra stjernen i AE, hvis den skal modtage samme strålingsflux som Jorden.
- Beregn planetens omløbstid om stjernen i år.
- Beregn undvigelseshastigheden fra planeten og overvej, om den kan holde på en atmosfære som Jordens.
- Overvej, hvorledes en lavere tyngdekraft kan tænkes at have påvirket livets udvikling.

**Opgave 15.6**

Vi betragter Drake ligningen fra tema 15.3. Gennemgå de forskellige faktorer i ligningen og forsøg at begrunde eller ændre de valg af talværdier, der er foretaget. En mulighed kunne være at opstille et tredelt skema og give hver faktor en optimistisk, en konservativ og en pessimistisk vurdering. Hvilke grænser for antallet af civilisationer når du da frem til?