

Kemisk model for spiralgalaxer

Thøger Juul Thorsen
Rantzausgade 50b, 4.tv
thoeger@fys.ku.dk
CPR-nr: 300779-2777

Dat-f hold 1

Program udarbejdet og opgave
løst selvstændigt af undertegnede

Afleveret: 20. December 2002

Indhold

1	Problemstilling/Opgaveformulering	3
1.1	Problemstilling	3
1.2	Opgaveformulering	4
1.2.1	Opgaveformulering	4
1.2.2	Opgaveløsning	4
2	Fortranprogrammet	5
2.1	brugervejledning	5
2.2	Kildekoder med kommentarer	6
3	Grafer/Databehandling	11
3.1	Hvad skal gøres	11
3.1.1	Opgave 1	11
3.1.2	Opgave 2	11
3.1.3	Opgave 3	11
3.1.4	Opgave 4	11
3.2	Her bliver det gjort	12
3.2.1	Gastæthed mod radius	12
3.2.2	Stjernedannelseshastighed ξ mod radius	13
3.2.3	Metaltæthed i solens nabolag	14
3.2.4	Fordeling af stjerner med forskellig metaltæthed i solens nabolag	15
4	Kommentarer	16
5	Afslutning	16
6	Bilag: Programkoder og GnuPlot-scripts	17
6.1	Programmet	17
6.2	Gnuplot-scripts	22
6.2.1	Plot af $\log(\rho)$ mod radius	22
6.2.2	Plot af ξ mod radius	23
6.2.3	Plot af Z mod tiden for $r=8$ kpc	24
6.2.4	Plot af S mod Z for $r=8$ kpc	24
6.2.5	Plot af $\xi * \alpha$ mod Z	25

1 Problemstilling/Opgaveformulering

1.1 Problemstilling

Problemstillingen er, som ses på den udleverede opgave:

“En af teorierne for dannelsen af spiralgalakser går på, at galakser dannes af store gasskyer, der oprindeligt bestod af ren brint og helium. Disse skyer falder sammen under deres eget gravitationsfelt, og samtidig dannes der stjerner af gassen. De første generationer af stjerner dannes i en sfærisk halo. Den resterende del af gassen falder sammen til en roterende, flad skive.

Opgaven går ud på at følge udviklingen i gasskiven og beregne hvordan gassen langsomt omdannes til stjerner samtidig med, at indholdet af tungere grundstoffer øges. *Stjernerdannelsehastigheden* ξ afhænger af *gastætheden* ρ i en potens n samt af *afstanden* r til galaksens centrum, således at vi har $\xi = C * r^{-1/2} * \rho^n$, hvor n ligger i intervallet 1.5 - 2.0.

Af de nydannede stjerner vil en del α have masser mindre end solens masse M_{\odot} . Disse stjerner har en levetid, der er længere end eller sammenlignelige med galaksens alder og vil ikke bidrage til den videre udvikling af galaksen, men kan antages at gå permanent over i galaksens stellarkomponent. En del $1 - \alpha$, vil blive til tunge stjerner, hvis levetid er så kort, at vi i denne model kan regne med, at de umiddelbart efter deres dannelse vil dø og blive til fossiler (hvide dværge, neutronstjerner eller evt. sorte huller). Disse stjerner vil ved deres død sende en del β af deres masse tilbage til det interstellare stof. En del γ af det stof der sendes tilbage vil bestå af tungere grundstoffer, dannet i stjernernes indre eller under et supernovaudbrud.

Modellen skal beregnes numerisk ved skridtvis at følge de ændringer der sker med gassens tæthed ρ , med stjernernes massetæthed S , og med det relative indhold af tunge grundstoffer Z i gassen (og i de nydannede stjerner). Disse ændringer er beskrevet ved:

- $\frac{d\rho}{dt} = -Cr^{-1/2}\rho^n + Cr^{-1/2}\rho^n(1 - \alpha)\beta$
- $\frac{dS}{dt} = Cr^{-1/2}\rho^n\alpha$
- $\frac{d(Z\rho)}{dt} = -Cr^{-1/2}\rho^nZ + Cr^{-1/2}\rho^n(1 - \alpha)\beta(\gamma + (1 - \gamma)Z)$

Enheder:

- Masse måles i enhed af solmasser, $M_{\odot} = 1.9891 * 10^{30}$ kg;
- Afstande måles i enhed af kiloparsec, $1kpc = 10^3pc$, hvor

$$1pc = 3.262 \text{ lysår} = 3.08568 * 10^{16};$$

- Tid måles i enhed af megar, $1My = 10^6$ år;
- Massetæthed måles i solmasser pr kiloparsec, M_{\odot}/pc^3

1.2 Opgaveformulering

1.2.1 Opgaveformulering

Ligningerne integreres skridtvis numerisk ved hjælp af den simple metode:

$$f(t + \Delta t) = f(t) + \Delta t \frac{df}{dt}$$

Ved denne metode fås en tilnærmet værdi for hvert nyt tidsskridt. Det siger sig selv, at det kræver små tidsskridt for, at den akkumulerede usikkerhed ikke skal løbe løbsk

Til tiden $t=0$ antages, at $\rho(r) = Ar^{-2}$; S sættes lig 0 og $Z=0$. Desuden indgår de følgende konstanter:

- $n = 2$ (som standard, dette kan forsøgsvis ændres);
- $C = 0.0071 M_{\odot}/pc^3/My/kpc^{1/2}$ (Med $n=2$);
- $\alpha = 0.70$;
- $\beta = 0.60$;
- $\gamma = 0.10$;
- $A = 9.6 M_{\odot} kpc^2/pc^3$

Data gemmes i anvendelige kombinationer på datafiler, fortolkes og præsenteres på en nogenlunde pædagogisk måde.

1.2.2 Opgaveløsning

- Der skrives et Fortran-program, der ud fra de givne begyndelsesbetingelser udregner gastætheden ρ , stjernedannelseshastigheden ξ og metal- indholdet Z som funktion af tiden i intervallet 0 - 15.000 My, ved forskellige afstande r fra galaksens centrum. I starten, hvor ændringerne sker hurtigt, bruges tidsskridt på 0.1 My; senere, når udviklingen har stabiliseret sig, bruges tidsskridt på 1 My. Dette udføres for værdierne 1 - 12 kpc. Programmet gemmer for alle værdier af r alle beregnede resultater for hvert 1000 My i datafiler, så data senere kan plottes i fx. GnuPlot.
- Der laves en graf, der viser gastætheden ρ som funktion af tiden. $\text{Log}(\rho)$ plottes mod r med en graf for hvert 1000 My i en samlet graf.
- En tilsvarende graf laves, hvor $\text{log}(\xi)$ plottes mod r for hvert 1000 My. Denne graf viser, hvor i galaksen stjernedannelsen går hurtigtst.

- I solens afstand fra galaxens centrum vises med et plot af Z mod t metalkoncentrationens udvikling med tiden.
- Den forventede fordeling af metalindhold i stjernerne i solens afstand fra galaksens centrum (8 kpc) angives ved en graf.

2 Fortranprogrammet

Her følger først en brugervejledning til programmet 'galaxer', derefter en gennemgang af kildekoderne med forklaringer og kommentarer.

2.1 brugervejledning

Programmet kaldes fra konsollen og køres. Først spørger det, om bruger ønsker løbende at få udskrevet resultater på skærmen mens programmet arbejder. Herefter beder det om en værdi af n , som ligger mellem 1.5 og 2.0. Sidstnævnte er standardværdien, som også bliver indsat, hvis en ugyldig værdi indtastes. Funktionen er lavet for at give mulighed for at se på alternative udviklingsmodeller for ændrede værdier af n .

Mens programmet kører, udskriver det, hvis det ønskes, for hver 1000 Megaår (My) de aktuelle værdier af hhv. radius, tid, ρ , S , Z og ξ til skærmen. Desuden gemmes datafiler til brug for bl.a. følgende plots:

- $\log(\rho)$ mod radius for hver 1000 My.
- $\log(\xi)$ mod radius for hver 1000 My.
- Z mod tiden i solens afstand fra galaxens centrum, dvs. $r=8$ kpc.
- S mod Z for solens afstand fra galaksens centrum (forklares senere).
- ξ mod Z for solens afstand fra galaxens centrum

filernes navne er udskrives til skærmen ved afslutning af programmet. Herefter kan disse filer plottes i gnuplot vha. de scripts, som følger med denne opgavebesvarelse. For hvert af de ovenstående plots er scriptnavnet hhv.:

- ~/modelscript.gp
- ~/ksiscript.gp
- ~/zscript.gp
- ~/Zsol.gp
- ~/alfaxiscript.gp

Med disse scripts fås alle de ønskede plots.

2.2 Kildekoder med kommentarer

Kildekoderne til mit fortranprogram er angivet med kommentarer nedenfor. Programmet uden 'reklamepauser' er vedlagt sammen med de anvendte GnuPlot-scripts sidst i opgaven.

Bemærk: Teksten er ikke helt identisk med originalen, da \LaTeX ikke kan skrive æ, ø eller å i verbatim.

Først åbnes programmet, de anvendte konstanter og variable defineres, og datafiler åbnes. Desuden spørges efter værdien af n, og der spørges, om programmet løbende skal udskrive resultater til skærmen under arbejde:

```
program galaxer

implicit none

real::ro, ksi, r, s,z, n, C, alfa, beta, gamma, A, dt, tid, funcro, funcs, funcr
real:: arrksi(13,16), model(13,16), metalsol(2,20), Zro, altmetalsol(2,20)
integer::t, i, j
character::yesno

print*, 'skal programmet udskrive resultater til skrmen under arbejde?(y/n)'
read*, yesno

print*, 'Indtast den nskede vrdi for n, mellem 1.5 og 2.0 (standardvrdi: 2.0)'
read*, n
if(n<1.5.or.n>2.)then
  n=2.
endif

!*****konstanter
C=0.0071
alfa=0.70
beta=0.60
gamma=0.10
A=9.6

!*****bning af datafiler
open(1, file='gastthed_ro.dat', status='unknown', action='write')
open(2, file='stjernestof_S.dat', status='unknown', action='write')
open(3, file='metaltthed_z.dat', status='unknown', action='write')

open(30, file='ksi.dat', status='unknown', action='write')
```

```

open(31, file='model.dat', status='unknown', action='write')
open(32, file='Zsol.dat', status='unknown', action='write')
open(33, file='altsol.dat', status='unknown', action='write')

```

'Rogem', 'sgem' og 'zgem' er matrix-arrays for de udregnede værdier af hhv. ρ , S og Z, med radius i første søjle og værdierne af den gemte variable som funktion af radius angivet i de følgende søjler.

Derefter åbnes datafilerne for disse tre arrays og får hvert deres unit-nr., hhv. 1, 2 og 3. Desuden åbnes tre datafiler mere med unitnumrene 30, 31 og 32, som kommer til at indeholde arrays'ne 'arrksi', 'model' og 'metalsol'. Disse datafiler skal bruges til at plotte hhv. $\log(\xi)$ mod r for hvert 1000 My, $\log(\rho)$ mod r for hvert 1000 My og S mod Z for r=8 kpc (forklaring følger i senere afsnit).

Videre konstrueres en tælleløkke, som for hver af de tolv radier gennemløber alle de skridtvise udregninger af de søgte variable gennem det angivne tidsinterval. For hver gang denne gennemløbes nulstilles de tidsafhængige variable.

```

!*****Gennemløbning af udregningerne for alle tolv radier
do i=1,12

    r=1.0*i
    ro=A*r**(-2.0)
    S=.0
    Z=.0
    Zro=Z*ro

```

Først gennemløbes udregningerne ved små tidsskridt $dt=0.1$ My. Tællevariablen t er erklæret som en integervariabel og er ikke identisk med tiden.

Denne første løkke løber frem til $t=900$ My. Således gemmes intet i arrays indtil nu:

```

!****Gennemgang af de tidligste trin med tidsskridt 0.1 My. Ingen værdier gemt.
do t=1,9000
    dt=0.1

    ro=ro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta)
    ksi=C*r**(-0.5)*ro**n
    S=S+dt*(C*r**(-0.5)*(ro**n)*alfa)

```

```

Zro=Zro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n*Z+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta*
                                                    (gamma+(1.0-gamma)*Z))
Z=Zro/ro

!if(m od(t,10000)==0)then

!  print*, i
!  print*, t
!  print*, ro
!  print*, s
!  print*, Z
!  print*, ksi
!endif

enddo

```

Herefter gennemløbes udregningerne med større tidsskridt $dt=1.0$. Med en *if*-sætning gemmes for hver 1000 My værdierne i deres respektive array. Med en anden *if*-sætning gemmes værdierne for S mod Z for radius $r=8$ kpc:

```

!*****Gennemlb af de senere trin med tidsskridt = 1 My.
!*****Vrdier gemt i arrays for hver t=1000 My.
do t=9000,150000, 10
  dt=1.
  tid=t*0.1 !Regnet i MegaYears

  ro=ro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta)
  ksi=C*r**(-1/2)*ro**n
  S=S+dt*(C*r**(-0.5)*(ro**n)*alfa)
  Zro=Zro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n*Z+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta*
                                                    (gamma+(1.0-gamma)*Z))
  Z=Zro/ro

  if(mod(t,10000)==0)then

    j=t/10000

    if(i==8)then

```

```

        metalsol(1,j)=S
        metalsol(2,j)=Z

        altmetalsol(1,j)=Z
        altmetalsol(2,j)=ksi*alfa
    endif

    rogem(j, 1)=tid
    rogem(j, i+1)=ro

    model(i,1)=r
    model(i,j+1)=log10(ro)

    arrksi(i, 1)=r
    arrksi(i,j+1)=ksi

    sgem(j, 1)=tid
    sgem(j, i+1)=S

    zgem(j, 1)=tid
    zgem(j, i+1)=Z

```

Mens programmet kører udskrives værdierne af radius, tid, ρ , S, Z og ξ . Dels fordi det giver et clue om, hvad der evt. går galt (mest til glæde for programmøren), dels fordi det er rart at se programmet arbejde undervejs. Funktionen kan fravælges ved at svare 'n' til det første spørgsmål:

```

    if(yesno=='y')then

        print*, i      ! Fordi det er rart at have noget at kigge p p skrmen,
        print*, tid   !   og fordi det giver en bedre ide om hvad der gr galt,
        print*, ro    !   hvis noget gr det
        print*, s
        print*, Z
        print*, ksi
        print*, ' '
        print*, ' '
        endif

    endif

```

Nu afsluttes alle løkker, og de gemte værdier skrives fra deres arrays over på de respektive datafiler, som herefter lukkes.

For brugervenlighedens skyld udskrives desuden navnene på de gemte datafiler og hvad de indeholder ud på skærmen, så de senere kan bruges til at plotte i GnuPlot:

```
        enddo

!*****Hele lkken afsluttes
enddo

!*****Arrays'ne gemmes p datafiler
do i=1, 15
    write(1,*) rogem(i, 1:13)
    write(2,*) sgem(i, 1:13)
    write(3,*) Zgem(i, 1:13)
    write(32,*)metalsol(1:2,i)
    write(33,*)altmetalsol(1:2,i)
enddo

do i=1, 12
    write(30,*)arrksi(i,1:16)
    write(31,*) model(i,1:16)

enddo

!*****Datafiler lukkes - resultater gemmes
close(1)
close(2)
close(3)

close(30)
close(31)
close(32)
close(33)

Print*, 'ro som funktion af tiden for forskellige radier er gemt i filen
"gasstthed_ro.dat"'
print*, 'Z som funktion af tiden for forskellige radier er gemt i filen
"metalthed_z.dat"'
print*, 'S som funktion af tiden for forskellige radier er gemt i filen
"stjernestof_S.dat"'
```

```

print*, 'Ksi som funktion af tiden er gemt i datafilen "ksi.dat"'
print*, 'Log10(ro) som funktion af tiden er gemt i datafilen "model.dat"'
print*, 'S som funktion af Z ved radius 8 kpc (et udtryk for mngden af'
print*, 'stjerner med en givet koncentration af tunge grundstoffer ved den'
print*, 'aktuelle radius) er gemt p datafilen "Zsol.dat"'
print*, 'Tilsvarende er ksi*alfa som funktion af Z gemt p filen 'altzsol.dat'

end program galaxer

```

3 Grafer/Databehandling

Her følger først lidt teori om databehandlingen, derefter de faktiske grafer med kommentarer.

3.1 Hvad skal gøres

3.1.1 Opgave 1

I GnuPlot plottes $\log(\rho)$ mod radius fra galaksens centrum med en graf for hver 1000 My. Heraf ses for hvert tidspunkt, hvor stor Gastæthed er i et tværsnit af gasskyen fra Centrum og ud til radius $r=12$ kpc.

3.1.2 Opgave 2

Tilsvarende plottes $\log(\xi)$ mod radius for hver 1000 My. Dette giver et billede af hvor i det tilsvarende snit stjernedannelsen foregår hurtigst. En sammenligning af dette plot med det foregående er nærliggende...

3.1.3 Opgave 3

I solens afstand fra galaksens centrum laves et plot af Z mod tiden. Dette er et udtryk for koncentrationen af tunge grundstoffer i den stjernedannende sky til en givet tid og dermed for metalindholdet af de stjerner, der dannes på dette tidspunkt.

3.1.4 Opgave 4

Her skal den forventede fordeling af metalindhold i stjernerne angives. Dette er en kende tricky og kan gøres på flere måder.

- En måde er at plote S som en funktion af Z . Dette er ikke noget direkte udtryk, men derimod et udtryk for, hvor stor en del af gasskyen, der er på stjerneform ved en given Z -værdi. Ved at betragte, hvor hurtigt grafen for S vokser for forskellige værdier af Z kan man derfor få en idé om, hvor mange stjerner der findes med en given Z -værdi i forhold til den øvrige udvikling.

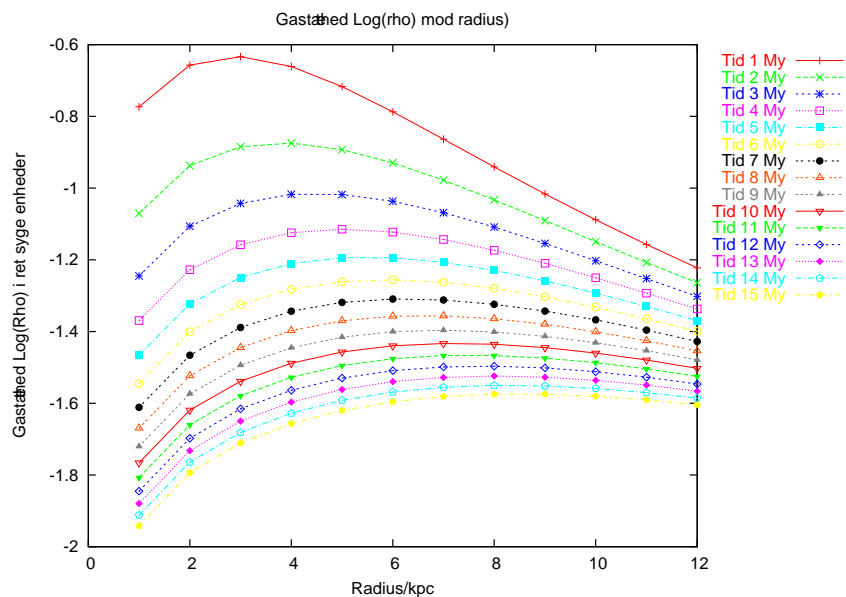
På et Z -interval med hurtig vækst af S vil der således være dannet mange stjerner; ved Z -værdier med lav vækst af S vil der ikke være dannet så mange.

- En alternativ metode er at plote $\xi\alpha$ som funktion af Z . Størrelsen $\xi\alpha$ er et udtryk for, med hvilken hast, der dannes blivende stjerner. Plottes den mod Z fås et billede af hastigheden, hvorved der dannes blivende stjerner ved en given værdi af Z .

Arealet under denne graf kan ses som et billede af, hvor mange stjerner der er dannet indenfor et givet interval af Z .

3.2 Her bliver det gjort

3.2.1 Gastæthed mod radius

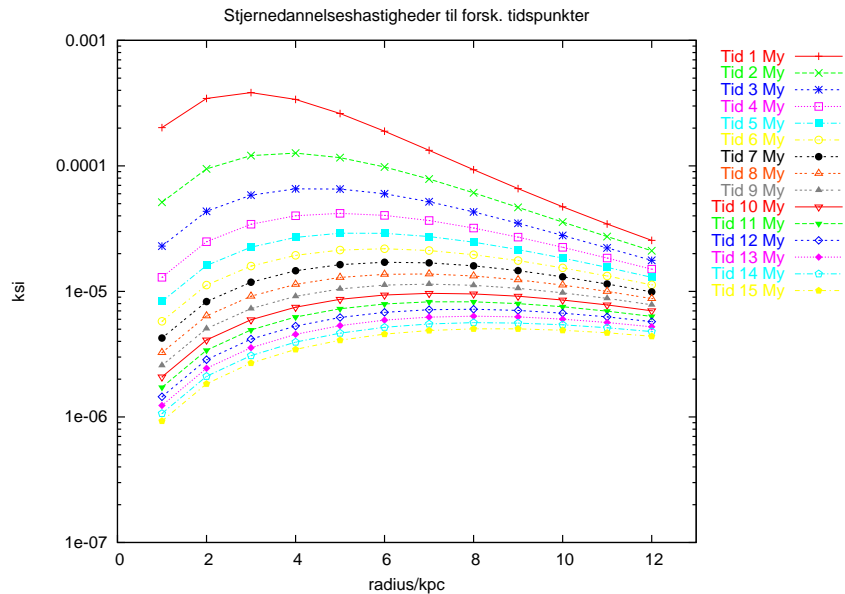


Her ses det dels, at gastætheden generelt falder med tiden, hvilket jo er ganske logisk, da en hvis del af de dannede stjerner på et givet tidspunkt antages permanent at overgå til galaksens stellarkomponent.

Desuden ses det, at gassen er tættest i en afstand af ca. 3 til tiden $t=1\text{My}$, og at dette maximum langsomt bevger sig udad med tiden. Dette må ikke misforstås som at galaxens samlede massekoncentration bevæger sig udad.

Det er et udtryk for, at stjernedannelsen, der hvor den foregår hurtigst, også hurtigst opbruger den gas, som stjernerne dannes af. Dermed bliver koncentrationen af gasser højere længere ude i galaksen, skønt den samlede stoftæthed stadig er størst inde i galaksens centrum.

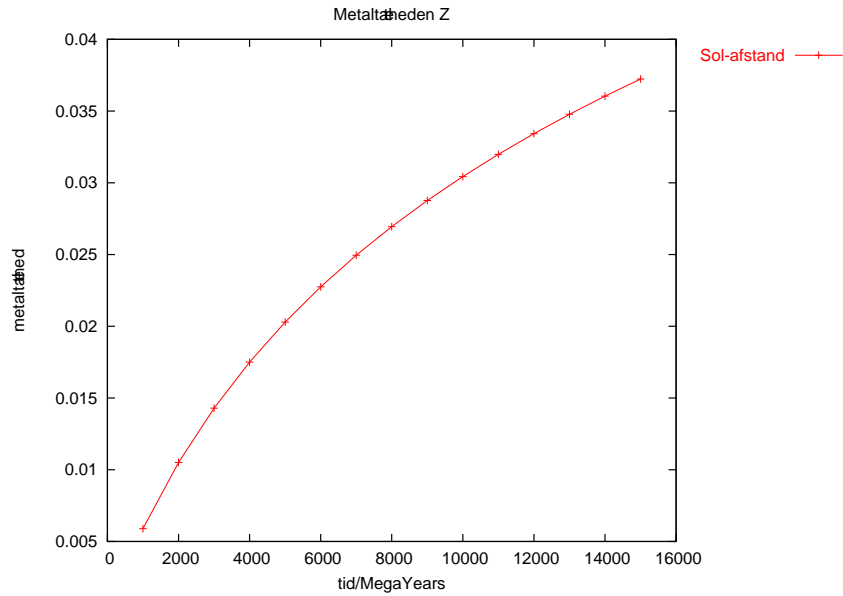
3.2.2 Stjernedannelseshastighed ξ mod radius



Her ses, at stjernedannelseshastigheden er størst, hvor koncentrationen af gasser er størst (næppe overraskende, da det er, hvad vi forudsatte i vores model).

Desuden kan man se, at grafens maximum - galaksens 'vækstlag' - rykker udad, væk fra den 'udpinte jord', på samme måde som en heksering af svampe gør det.

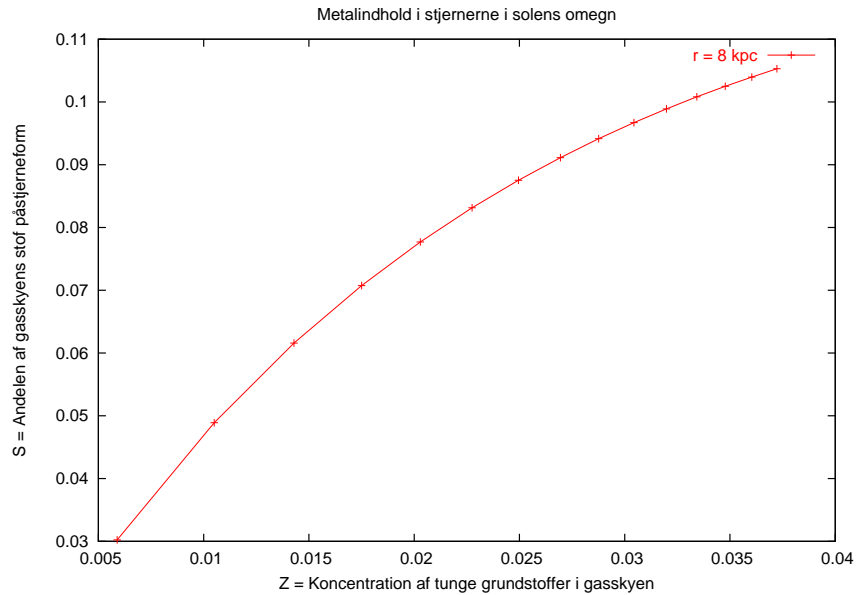
3.2.3 Metaltæthed i solens nabolag



I ovenstående graf ses, hvordan koncentrationen af tunge grundstoffer, primært metaller, udvikler sig med tiden i den radius fra galaksens centrum, som vor egen sol befinder sig i.

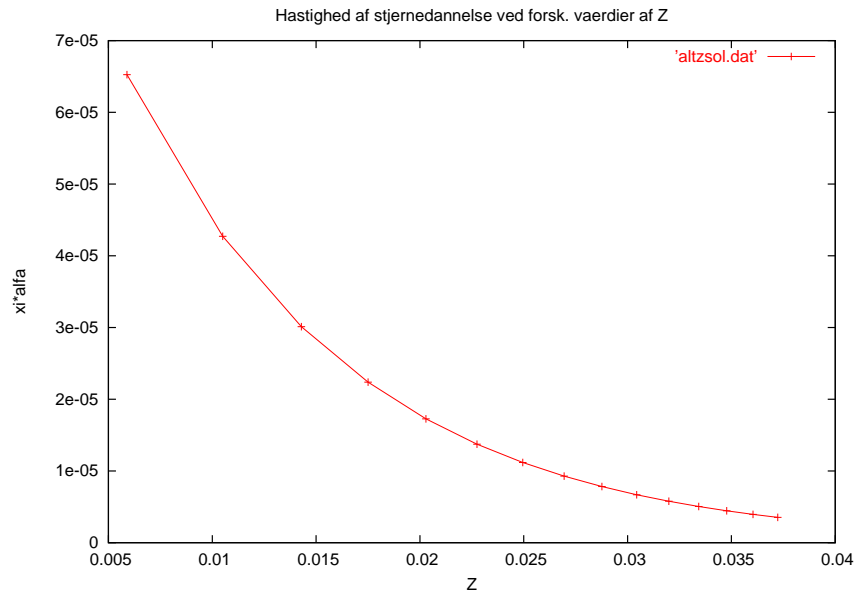
Koncentrationen vokser, men med dalende væksthastighed, fordi der bliver dannet færre stjerner med tiden, og de tunge grundstoffer netop dannes i de tunge stjerner.

3.2.4 Fordeling af stjerner med forskellig metaltæthed i solens nabolag



Den omtalte graf for fordelingen af stjerner med forskelligt metalindhold. Det ses, at ved de lave værdier af Z er stjernedannelsen hurtigst, hvorfor flest stjerner har et lavt indhold af tunge grundstoffer/metaller.

Alternativt kan det vises ved:



Det ses også her, at $\xi \alpha$ (hastigheden for dannelse af blivende stjerner) er faldende, som også kunne ses på den anden graf. Arealet under denne graf

kan ses som antallet af blivende stjerner, der er dannet, mens Z befandt sig indenfor et vist interval. Også her ses fin overensstemmelse med forrige graf, men det er måske lidt nemmere intuitivt at se sammenhængen på dette plot.

4 Kommentarer

Opgaven har gået ud på to hoveddele: Fortran-programmet og fremlæggelsen af de data, som er kommet ud af det. Til fortran-delen kan siges, at det måske kunne have været en smule mere fancy, om der havde været mulighed for at ændre indtaste forskellige værdier for flere af de implicerede variable. Jeg medtog én for at have vist princippet, og kun én for at spare arbejde.

I Rapporten kunne jeg eventuelt have kørt datafiler ud under antagelse af flere forskellige værdier af de fastsatte konstanter. Det kunne være meget interessant at se på alternative udviklinger, men ville først og fremmest give en forfærdelig masse bilag.

Hvis jeg selv skulle skrive en ønskeliste (det er jo sæsonen) over ting, jeg ville forbedre i programmet, så skulle det nok være:

- En mulighed for selv at vælge størrelsen af konstanterne n , α , β og γ og en medfølgende mulighed for at taste sit eget filnavn ind for de forskellige datafiler, så disse ikke automatisk overskriver de eksisterende.
- En mulighed for at variere størrelsen (og antallet) af tælleskridt for hhv. radius og tid., så man kunne iagttage, hvordan valget af skridtlængde påvirker modellens nøjagtighed.

Som helhed er det svært for mig at udtale mig om, om modellen er korrekt, men jeg kan i det mindste konstatere, at den med mit utrænede øje ser rimelig konsistent ud og derfor nok næppe er helt ude i skoven.

5 Afslutning

Glædelig Jul og Godt Nytår!

6 Bilag: Programkoder og GnuPlot-scripts

Her kommer først fortranprogrammet i sin fulde længde uden tissepauser, derefter de anvendte GnuPlot-scripts:

6.1 Programmet

```
program galaxer
```

```
implicit none
```

```
real::ro, ksi, r, s,z, n, C, alfa, beta, gamma, A, dt, tid, funcro, funcs  
real::funcz, funcx, rogem(15,13), sgem(15,13), zgem(15,13)  
real:: arrksi(13,16), model(13,16), metalsol(2,20), Zro, altmetalsol(2,20)  
integer::t, i, j  
character::yesno
```

```
print*, 'skal programmet udskrive resultater til skermen under arbejde?(y/n)'  
read*, yesno
```

```
print*, 'Indtast den nskede vrldi for n, mellem 1.5 og 2.0'  
print*, '(standardvrldi: 2.0)'  
read*, n  
if(n<1.5.or.n>2.)then  
    n=2.  
endif
```

```
!*****konstanter:  
C=0.0071  
alfa=0.70  
beta=0.60  
gamma=0.10  
A=9.6
```

```
!*****bning af datafiler  
open(1, file='gastthed_ro.dat', status='unknown', action='write')  
open(2, file='stjernestof_S.dat', status='unknown', action='write')  
open(3, file='metaltthed_z.dat', status='unknown', action='write')  
  
open(30, file='ksi.dat', status='unknown', action='write')  
open(31, file='model.dat', status='unknown', action='write')  
open(32, file='Zsol.dat', status='unknown', action='write')
```

```

!*****Gennemlbning af udregningerne for alle tolv radier
do i=1,12

    r=1.0*i
    ro=A*r**(-2.0)
    S=.0
    Z=.0
    Zro=Z*ro

!****Gennemgang af de tidligste trin med tidsskridt 0.1 My. Ingen vrdier gemt.
do t=1,9000
    dt=0.1

    ro=ro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta)
    ksi=C*r**(-0.5)*ro**n
    S=S+dt*(C*r**(-0.5)*(ro**n)*alfa)
    Zro=Zro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n*Z+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta*(gamma+(1.0-alfa)*Z))
    Z=Zro/ro

    !if(m od(t,10000)==0)then

        ! print*, i
        ! print*, t
        ! print*, ro
        ! print*, s
        ! print*, Z
        ! print*, ksi
    !endif

enddo

!*****Gennemlb af de senere trin med tidsskridt = 1 My.
!*****Vrdier gemt i arrays for hver t=1000 My.
do t=9000,150000, 10
    dt=1.
    tid=t*0.1 !Regnet i MegaYears

    ro=ro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta)
    ksi=C*r**(-1/2)*ro**n
    S=S+dt*(C*r**(-0.5)*(ro**n)*alfa)

```

```
Zro=Zro+dt*(-C*r**(-0.5)*ro**n*Z+C*r**(-0.5)*ro**n*(1.0-alfa)*beta*(gamma+(1.0-alfa)*beta))
Z=Zro/ro
```

```
if(mod(t,10000)==0)then
```

```
  j=t/10000
```

```
  if(i==8)then
```

```
    metalsol(1,j)=S
```

```
    metalsol(2,j)=Z
```

```
    altmetalsol(1,j)=Z
```

```
    altmetalsol(2,j)=ksi*alfa
```

```
  endif
```

```
  rogem(j, 1)=tid
```

```
  rogem(j, i+1)=ro
```

```
  model(i,1)=r
```

```
  model(i,j+1)=log10(ro)
```

```
  arrksi(i, 1)=r
```

```
  arrksi(i,j+1)=ksi
```

```
  sgem(j, 1)=tid
```

```
  sgem(j, i+1)=S
```

```
  zgem(j, 1)=tid
```

```
  zgem(j, i+1)=Z
```

```
if(yesno=='y')then
```

```
print*, i      ! Fordi det er rart at have noget at kigge p p skrmen,
```

```
print*, tid   !   og fordi det giver en bedre ide om hvad der gr galt,
```

```
print*, ro    !   hvis noget gr det
```

```
print*, s
```

```
print*, Z
```

```
print*, ksi
```

```
print*, ' '
```

```
print*, ' '
```

```

endif

endif

enddo

!*****Hele lkken afsluttes
enddo

!*****Arrays'ne gemmes p datafiler
do i=1, 15
  write(1,*) rogem(i, 1:13)
  write(2,*) sgem(i, 1:13)
  write(3,*) Zgem(i, 1:13)
  write(32,*)metalsol(1:2,i)
  write(33,*)altmetalsol(1:2,i)
enddo

do i=1, 12
  write(30,*)arrksi(i,1:16)
  write(31,*) model(i,1:16)

enddo

!*****Datafiler lukkes - resultater gemmes
close(1)
close(2)
close(3)

close(30)
close(31)
close(32)
close(33)

Print*, 'ro som funktion af tiden for forskellige radier er gemt i filen "gastthed_
print*, 'Z som funktion af tiden for forskellige radier er gemt i filen "metaltthed_
print*, 'S som funktion af tiden for forskellige radier er gemt i filen "stjernesto

print*, 'Ksi som funktion af tiden er gemt i datafilen "ksi.dat"'
print*, 'Log10(ro) som funktion af tiden er gemt i datafilen "model.dat"'
print*, 'S som funktion af Z ved radius 8 kpc (et udtryk for mngden af'

```

```
print*, 'stjerner med en givet koncentration af tunge grundstoffer ved den'  
print*, 'aktuelle radius) er gemt p datafilen "Zsol.dat"'  
  
end program galaxer
```

6.2 Gnuplot-scripts

Her følger de anvendte gnuplot-scripts. Igen henledes opmærksomheden på, at L^AT_EX ikke skriver æ, ø og å i Verbatim, så visse filnavne osv. er ikke korrekte ift. den oprindelige .gp-fil.

6.2.1 Plot af $\log(\rho)$ mod radius

Det brugte script har navnet 'modelscrip.gp' og ser ud som følger:

```
#Dette script plotter log(rho) mod radius med en graf for hvert 1000 My.

reset
set tittle 'Gastthed Log(rho) mod radius)'
set xlabel 'Radius/kpc'
set ylabel 'Gastthed Log(Rho) i ret syge enheder'
set key outside

plot 'model.dat' using 1:2 title 'radius 1 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:3 title 'radius 2 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:4 title 'radius 3 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:5 title 'radius 4 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:6 title 'radius 5 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:7 title 'radius 6 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:8 title 'radius 7 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:9 title 'radius 8 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:10 title 'radius 9 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:11 title 'radius 10 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:12 title 'radius 11 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:13 title 'radius 12 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:14 title 'radius 12 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:15 title 'radius 12 kpc' with linespoints,\
      'model.dat' using 1:16 title 'radius 12 kpc' with linespoints

set terminal postscript eps
set output 'gastaethed.eps'
replot
set terminal x11
```

6.2.2 Plot af ξ mod radius

Her er ξ plottet direkte ind på en logaritmisk skala i stedet for at tage den logaritmiske værdi af ξ først. Scriptet bærer navnet 'ksiscript.gp' og ser således ud:

```
#Dette script plotter ksi mod radius på en logaritmisk skala med en graf for
#hver 1000 My. Desuden laves grafen som .eps-fil.

reset
set title 'Stjernedannelseshastigheder til forsk. tidspunkter'
set logscale y
set xrange [0:13]
set xlabel 'radius/kpc'
set ylabel 'ksi'
set key outside

plot 'ksi.dat' using 1:2 title 'Tid 1.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:3 title 'Tid 2.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:4 title 'Tid 3.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:5 title 'Tid 4.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:6 title 'Tid 5.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:7 title 'Tid 6.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:8 title 'Tid 7.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:9 title 'Tid 8.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:10 title 'Tid 9.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:11 title 'Tid 10.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:12 title 'Tid 11.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:13 title 'Tid 12.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:14 title 'Tid 13.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:15 title 'Tid 14.000 My' with linespoints,\
'ksi.dat' using 1:16 title 'Tid 15.000 My' with linespoints

set terminal postscript eps
set output stjernehist.eps
replot
set terminal x11
```

6.2.3 Plot af Z mod tiden for r=8 kpc

Det anvendte script har navnet 'zscript.gp' og er opbygget som følger:

```
reset

set title 'Metaltheden Z'
set xlabel 'tid/MegaYears'
set ylabel 'metalthed'
set key outside

plot 'metalthed_z.dat' using 1:9 title 'Sol-afstand' with linespoints

set terminal postscript eps
set output 'metal.eps'
replot
set terminal x11
```

6.2.4 Plot af S mod Z for r=8 kpc

Scriptet bærer navnet 'Zsol.gp'.

```
#Dette script plotter S mod Z for r= 8 kpc og udskriver samtidig plottet som
#en .eps-fil.

reset
set title 'Metalindhold i stjernerne i solens omegn'
set xlabel 'Z = Koncentration af tunge grundstoffer i gasskyen'
set ylabel 'S = Andelen af gasskyens stof p stjerneform'

plot 'Zsol.dat' using 2:1 title 'r = 8 kpc' with linespoints

set terminal postscript eps color
set output 'metalsol.eps'
replot
set terminal x11
```

6.2.5 Plot af $\xi * \alpha \bmod Z$

Scriptet bærer navnet 'alfaxiscript.gp'

```
reset
set title 'Hastighed af stjernedannelse ved forsk. vaerdier af Z'
set ylabel 'xi*alfa'
set xlabel 'Z'

plot 'altzsol.dat' with linespoints

set terminal postscript eps color
set output 'altzsol.eps'
replot
set terminal x11
```