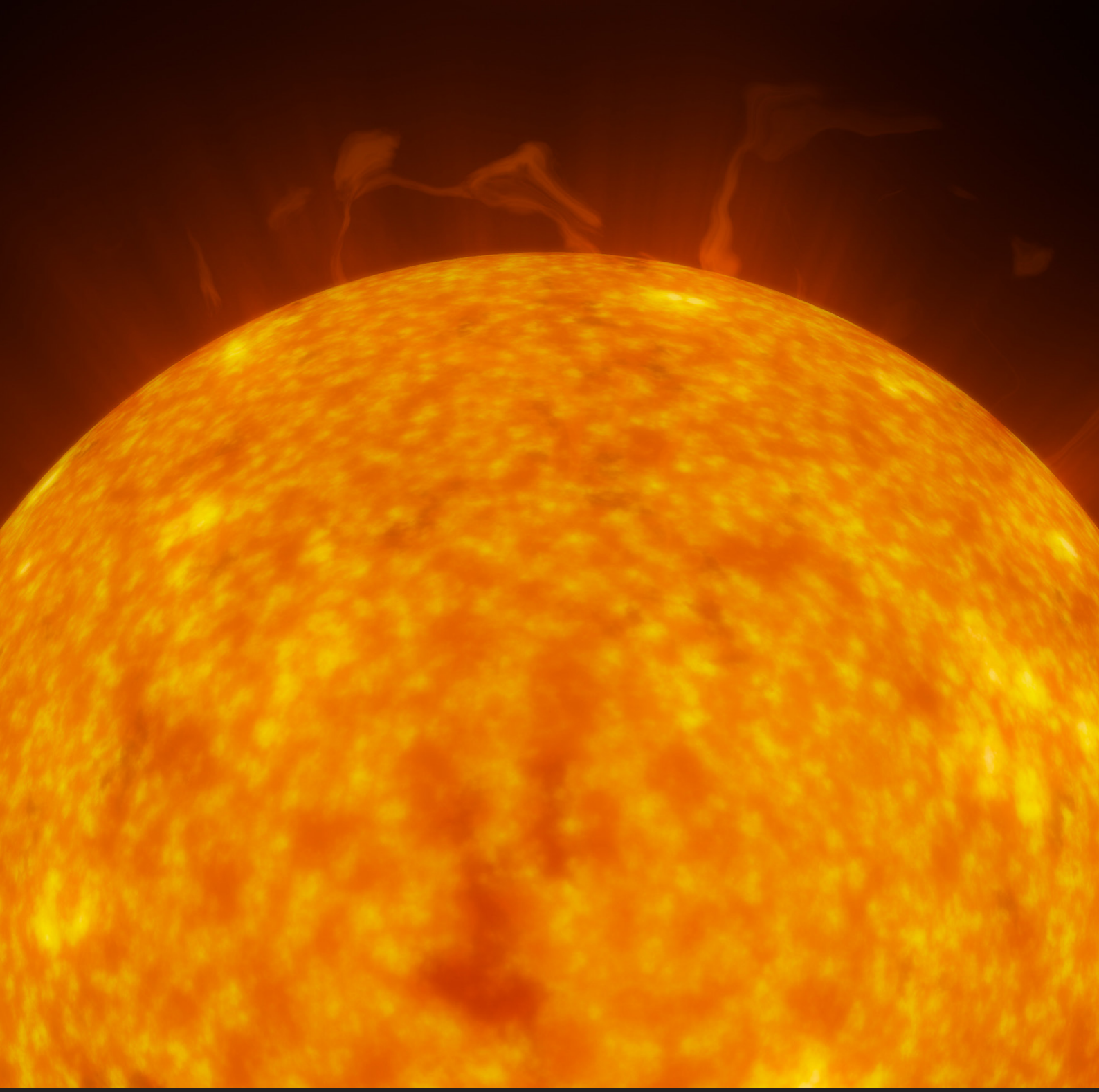


Stjernernes klang

Lærervejledning og opgaver til UV 1 - Origins2017

rigins2017

Stjernernes klang

Lærervejledning og opgaver til UV 1 - Origins2017

Forfattere: Torben Arentoft, SAC (Aarhus Universitet), Kristian Jerslev, VUC Aarhus og Christina Ena Skovgaard, VUC Aarhus

UV1: Stjernernes klang

Hvordan ved astronomerne, hvordan stjernerne opfører sig indeni? Hvordan er det muligt at undersøge den indre struktur af stjerner? Hvordan er det muligt at bestemme en præcis alder og størrelse for en stjerne, når den er så langt væk?

Astronomi er videnskaben, der søger svarene på de spørgsmål, som kun himlen og dens objekter kan besvare. Netop dette stiller store krav til opfindsomheden blandt de metoder, som astronomerne benytter i deres arbejde med stjernerne. Ofte findes inspirationen til disse metoder blandt astronomernes hverdag på Jorden, og stjernernes klang er ikke nogen undtagelse.

Med inspiration fra både jordskælv og musikinstrumenter er asteroseismologien skabt. Asteroseismologien lader astronomerne kigge ind i stjerners indre ud fra deres svingninger på overfladen.

I dette forløb arbejdes der med at bygge bro fra kernestoffet på fysik B til en forståelse for, hvordan stjerner kan undersøges ved hjælp af deres klang.

Fag og niveau

Fysik B (fysik C kan lade sig gøre, men forløbet skal stilladseres en del)

Forløbets faglige mål

Eleverne
- Opnår viden om et vigtigt moderne astronomisk arbejdsredskab.
- Opnår forståelse for, hvordan lyden fra blæseinstrumenter og svingningerne i stjerner kan forklares ud fra samme grundlæggende model.
- Forstår hvorledes astronomerne så præcist kan bestemme stjerners aldre og størrelser.
- Vurdere forskellige stjerners svingninger for at kunne sammenligne dem.

Udgangspunkt for forløbet

Eleverne har på forhånd arbejdet med kernestoffet i fysik B omkring bølgelære, hvor de muligvis har stiftet bekendtskab med fænomenet stående bølger som udgangspunktet for at forstå lyd.

Inkluderet kernestof

Grundstoffernes dannelseshistorie - det er i stjernerne, at de tunge grundstoffer dannes, og da det netop er essentielt at eleverne kan skelne mellem forskellige stadier af stjerneudvikling, er det oplagt at inkludere (de tunge) grundstoffers dannelseshistorie.

Baggrundsmateriale

Kapitlet om "Tonernes Klang" i Spektrum II, Gyldendal, der fortæller om koblingen mellem stående bølger og musikinstrumenter ved hjælp af sammensætningen af overtoner.

Artikel fra Kvant, som kan læses af eleverne:
Hans Kjeldsen og Tim Bedding, Kvant, Årgang 14, nr. 3 (2003):
Observationer af stjerneskælv: Seismiske undersøgelser af stjernernes indre

Artikel fra Kvant med baggrundsviden for undervisere:
Torben Arentoft, Jørgen Christensen-Dalsgaard, Hans Kjeldsen m.fl., Kvant, Årgang 20, nr. 2 (2009): Helio- og asteroseismologi

Yderligere baggrundsmateriale til undervisere:
Hans Kjeldsen og Torben Arentoft, De Dynamiske Stjerner, Fysikforlaget 2009, side 75-76

Forslag til tidsramme

Modul 1
Stående lydbølger introduceres som begreb og benyttes til forklaring af, hvorledes blæseinstrumenter virker samt belyser, hvordan trykbølger også kan skabe stående bølger. Der arbejdes med forskellene på lydene, der kommer ud af åbne og halvåbne resonansrør – orgelpiben nævnes som et kendt eksempel på et halvåbent resonansrør.

Forudsætning for at gå videre
Eleverne har en idé om, hvorledes trykbølger kan danne stående bølger samt at disse kan beskrive forskellige instrumenters lyde. De kan også forbinde lange instrumenter med lave frekvenser (dybe toner) og korte instrumenter med høje frekvenser (høje toner) og forklare dette ud fra grundtonen i de forskellige instrumenter.

Modul 2
Klang introduceres som begreb til at beskrive sammensætningen af overtoner i en bestemt lyd. Forskellige instrumenters klang måles/vises og klassen arbejder med at beskrive instrumenternes lyde og skelne dem fra støj. Frekvensspektret introduceres, hvor det er oplagt at lade eleverne selv måle forskellige lydes frekvensspektre og forklare resultaterne.

Forudsætning for at gå videre
Eleverne kan ud fra frekvensspektre overveje størrelsen af et instrument sammenlignet med et andet instrument. De er i stand til at lave et frekvensspektrum af en lyd og finde lydens grundtone. Eleverne er i stand til at skelne mellem lyd og støj.

fortsættes næste side

Modul 3
Stjernerne kobles på forløbet ved en gennemgang af en almindelig stjernes udvikling (Solen er et glimrende eksempel på en almindelig stjerne). Fokus lægges hovedsageligt på de to faser "hovedseriestjerne" (hvor Solen befinder sig nu) og "rød kæmpestjerne" samt forskellene mellem disse (fokus: størrelsesforskellen). Eleverne kan dernæst arbejde med informationssøgning omkring de to faser og indsamle karakteristika for henholdsvis hovedseriestjerner og røde kæmpestjerner. For at fuldende koblingen til forløbet skal eleverne stifte bekendtskab med, hvorledes trykbølger (lydbølger) kan opstå i Solen (og dermed stjerner generelt). Her er videoer af Solens overflade en oplagt mulighed, idet disse netop viser, hvor voldsomt et sted Solens overflade er. Det er også oplagt at perspektivere til jordskælvsbølger på Jorden og dermed omtale trykbølgerne i Solen som "solskælvsbølger".

Det er i dette modul oplagt at inkludere kernestof i form af grundstoffernes dannelseshistorie.
Links til videoer af Solens overflade
https://www.youtube.com/watch?v=ipvfwPqh3V4 - tidsserie af Solens overflade.
https://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/filaments.html - Arkiv over SOHO satellittens videoer af Solen
https://www.youtube.com/watch?v=GSVv40M2aks - SDO satellittens 5 års jubilæumsvideo af Solens overflade.

Forudsætning for at gå videre
Eleverne kan skelne mellem forskellige stjernetyper (hovedseriestjerne og rød kæmpestjerne) og er klar over, hvad der karakteriserer de forskellige typer (størrelsen). Eleverne kan også forstå, at der opstår trykbølger i stjernerne.

Modul 4
Svingninger i stjerner introduceres ved hjælp af animationer, der viser hvordan stjerner kan svinge. Mens de stående lydbølger eleverne har arbejdet med tidligere i forløbet bliver karakteriseret med ét tal, så bliver svingningerne i stjerner karakteriseret med to tal: n og l. Disse tal introduceres, og eleverne arbejder fænomenologisk med at genkende forskellige typer svingninger ud fra animationer og figurer. Dette kan også blot diskuteres i plenum.
Da skridtet fra svingninger i én dimension til svingninger i tre dimensioner kan være abstrakt, kan svingninger i to dimensioner ved hjælp af en metalplade, sand og violinbue være en måde at visualisere stoffet på (se link nedenfor for videoklip).

Stjernernes klang introduceres gennem målinger af stjernernes "lyde". Kobling mellem tidsserier og lyde gennem Jenkins' Sonifications (link nedenfor). Der laves yderligere en kobling til de lyde, som eleverne tidligere selv har haft optaget, og derfra opnås en forståelse af frekvensspektre over stjernens klang. Eleverne skal selv arbejde med frekvensspektre for stjerner observeret med NASA's Kepler-satellit og sammenligne dem for at kunne klassificere stjerner som værende enten hovedseriestjerner eller røde kæmpestjerner (figurer er vedlagt på hjemmesiden).
Figurer af stjernesvingninger fra Kepler-hjemmeside (link nedenfor) kan med fordel inddrages.

Links om Chladni-plader
https://www.youtube.com/watch?v=lRFysSAxWxI - videoklip af vibrationer på en to-dimensionel overflade (engelsk).
http://www.frederiksen.eu/shop/product/klangfigurplade - det er muligt selv at købe en plade til at vise fænomenet i klassen.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Chladni - artikel om manden, der navngav fænomenet. Indeholder figurer af forskellige mønstre.

Links med forskellige stjernesvingninger og baggrundsmateriale
https://kepler.nasa.gov/news/nasakeplernews/20101026webcast/ - figurer af stjernesvingninger samt beskrivelser af dem (engelsk).
https://www.youtube.com/watch?v=bQs2Krd0LqU - animation af stjernesvingninger.
https://www.youtube.com/watch?v=RHbKBRCAbW8&t=33s - animation af stjernesvingninger.
https://kepler.nasa.gov/multimedia/Audio/sonifications/ - stjernesvingninger omsat til hørbare lyde.

Forudsætning for at gå videre
Eleverne kan karakterisere en svingning på en stjerne og finde svingningens n og l-værdier. Eleverne har derudover opnået en forståelse af stjernesvingninger som lydbølger og kan kende forskel på frekvensspektre for hovedseriestjerner og røde kæmpestjerner.

Forberedelse til modul 5
Som forberedelse til modul 5 læses Kvant-artiklen fra 2003 af Hans Kjeldsen og Tim Bedding. Denne artikel giver den baggrundsinformation, der er nødvendig for arbejdet med asteroseismologi i modul 5. Man kan nævne, at der især pga. NASA's Kepler-satellit er sket en enorm udvikling de senere år inden for asteroseismologi, men at artiklen fra 2003 giver en god beskrivelse af asteroseismologi som metode.

Modul 5
Eleverne laver en analyse af stjernesvingninger for Solen og herefter for fire stjerner for at komme frem til deres alder, masse og radius. Arbejdet med opgaven om asteroseismologi, som findes på hjemmesiden, kan struktureres som følger:
Del 1 og del 2 laves som par-samarbejde og gennemgås i plenum.
Del 3 laves i 8 grupper, hvor grupperne to og to arbejder med den samme stjerne. Efterfølgende samles op på klassen. Resultaterne for grupper, der har arbejdet med den samme stjerne, sammenlignes. Stjernerne er dobbeltstjerner, så alderen af alpha Cen A og B, og alderen af 16 Cyg A og B, bør være ens. Dette bruges som afsæt for en diskussion af metodens usikkerheder og præcision.

Perspektiver, der ikke er medtaget i dette forslag

Eksperimentelt arbejde

- Målinger af lydens hastighed i forskellige gasser ved hjælp af et lukket resonansrør (perspektiveringen til forløbets formål går her på, at lydbølgerne i stjerner rejser med forskellig hastighed afhængig af det materiale, som de rejser gennem, hvormed bølger afbøjes på deres vej fra stjernens overflade ind mod centrum. Dermed afhænger svingningerne af indholdet i stjernestoffet, som derfor kan udledes fra observationer af svingningerne).
- Målinger på lydbølger fra orgelpiber (perspektiveringen til forløbets formål går her ud på, at de stående bølger i orgelpiber fungerer på samme måde som bølgerne i en stjerne). Her foreslås et samarbejde med en lokal kirke, hvor eleverne kan tage dataopsamlingsudstyr med for at optage et rigtigt orgel. Optagelserne foreslås omdannet til frekvensspektre (de fleste dataopsamlings-programmet indeholder en mulighed for at lave FFT på svingninger), hvorefter sammensætningen af overtoner kan relateres til de forskellige orgelpibers frekvens (som direkte kan oversættes til stjerner: små stjerner svinger med høje frekvenser, mens store stjerner svinger med lave frekvenser).

Kobling til andet kernestof

- Universets udviklingshistorie og kosmologi, hvor forløbets formål kan benyttes som perspektivering til, hvorledes målinger reelt set kan udføres på fjerne stjerner for derigennem at blive brugt til kosmologiske undersøgelser.
- Rød- og blåforskydning som målemetode for at måle på Solens overflades bevægelser (svingninger).
- Afstandsbestemmelse i universet gennem analyse af stjernesvingninger (Cepheider).

Kobling til andet supplerende stof

- Udviklingen af stjerner, hvor stjernernes klang kan benyttes som grundstenen til at diskutere, hvorledes stjerner udvikler sig fra de dannes til de ender deres liv som hvide dværgstjerner. Her vil hovedspørgsmålet være, hvorledes en stjernes klang ændres gennem dens levetid samt hvorfor.

Stjernernes klang - opgaver

Opgaver til UV 1 (modul 4 og 5) - Origins2017

Del 1: Analyse af frekvensspektre

Datamateriale:
Frekvensspektre for 9 stjerner baseret på tidsseriedata optaget med NASA's Keplersatellit (se side 9-13).

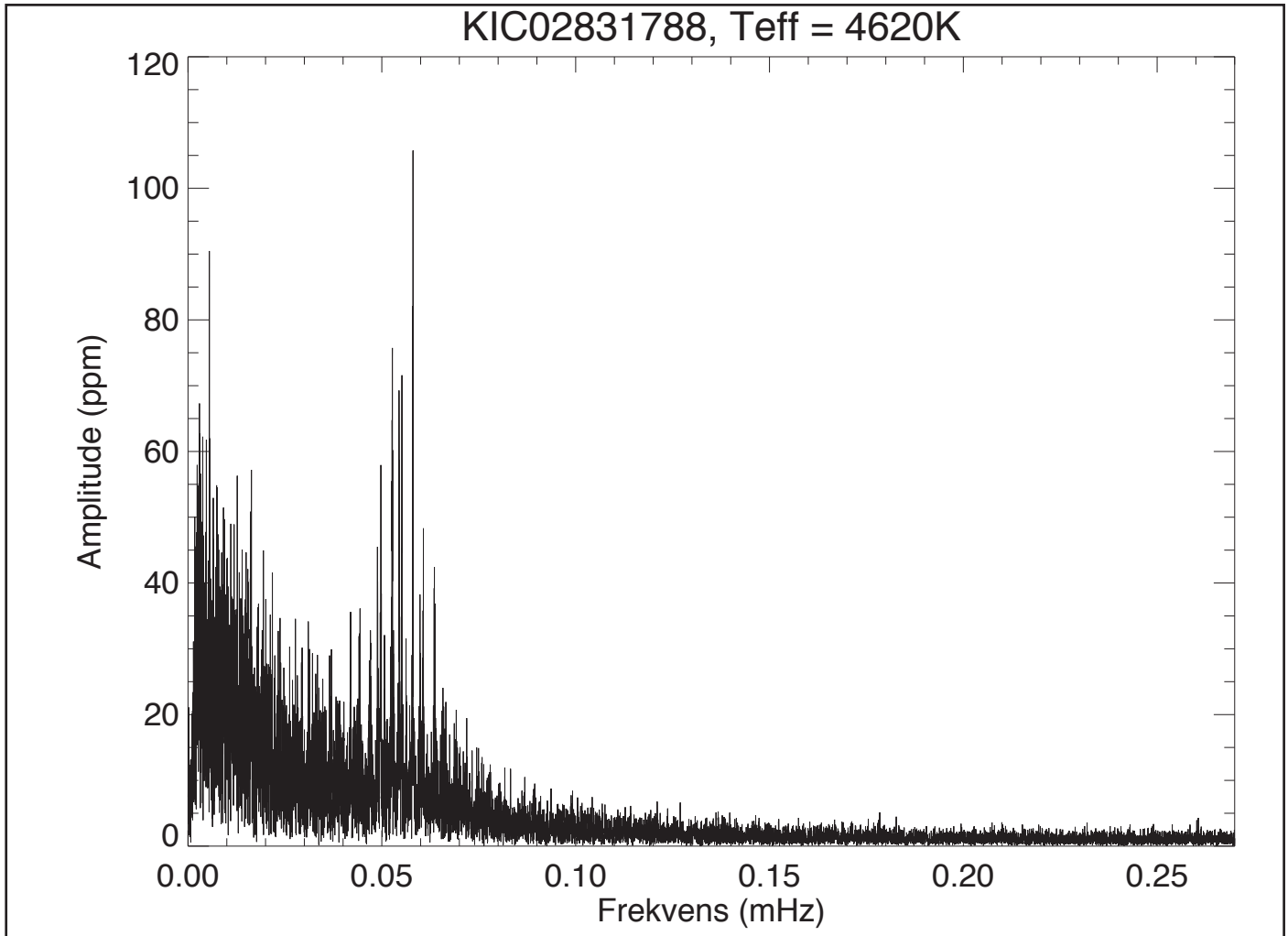
A) I hvert af de 9 frekvensspektre identificeres signalet fra svingningerne. Find for hver stjerne den centrale (midterste) frekvens af svingnings-signalet.

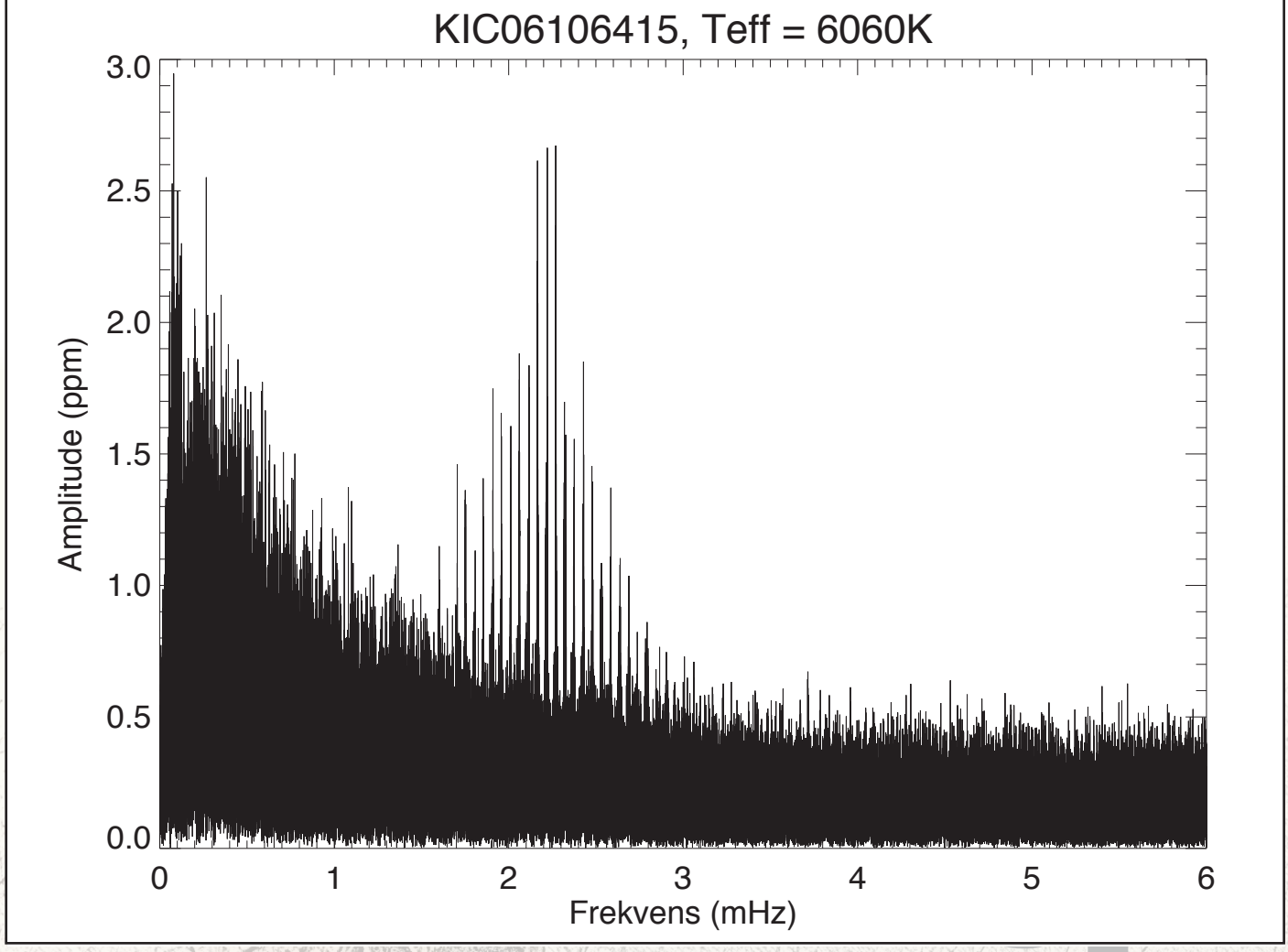
B) Klassificer hver enkelt stjerne som hovedseriestjerne eller rød kæmpestjerne. Begrund dit svar.

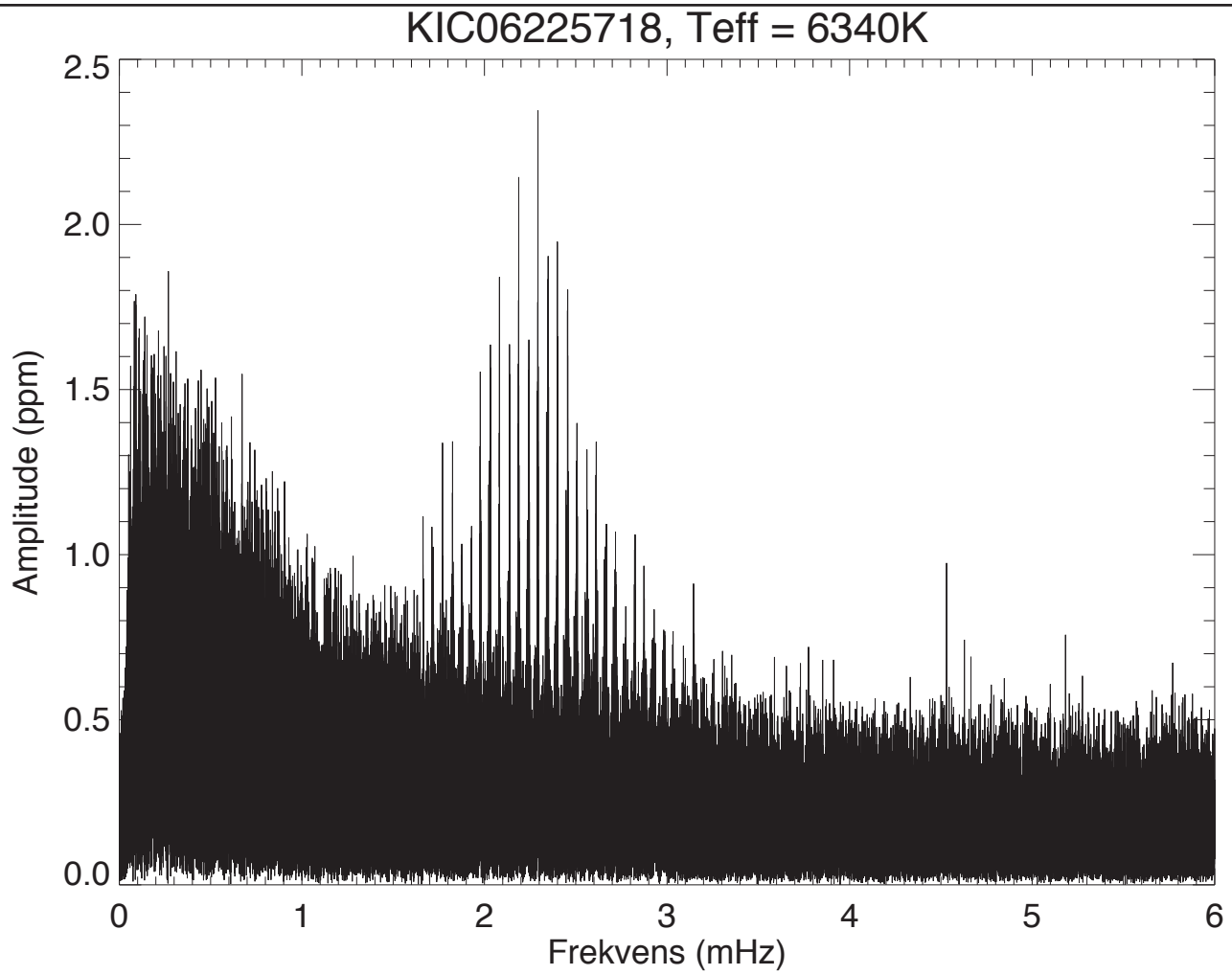
C) Sammenlign amplituderne for hovedseriestjernerne og de røde kæmpestjerner. Hvilken stjernetype har overordnet set de højeste amplituder, er det hovedseriestjernerne eller de røde kæmpestjerner?

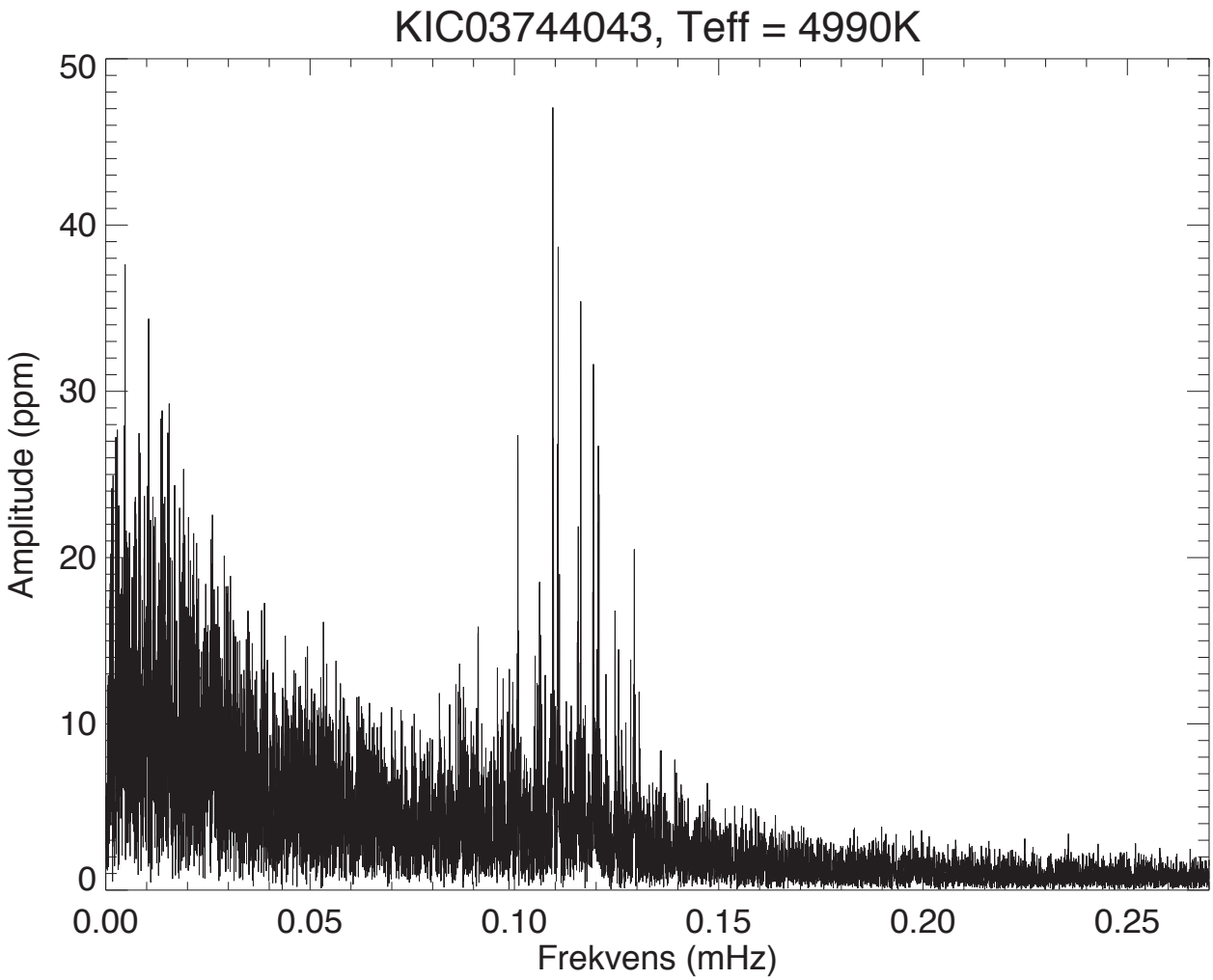
D) Hvilke stjerner inden for hver af de to grupper af stjerner, tror du er størst, og hvilke tror du er mindst? Begrund dit svar.

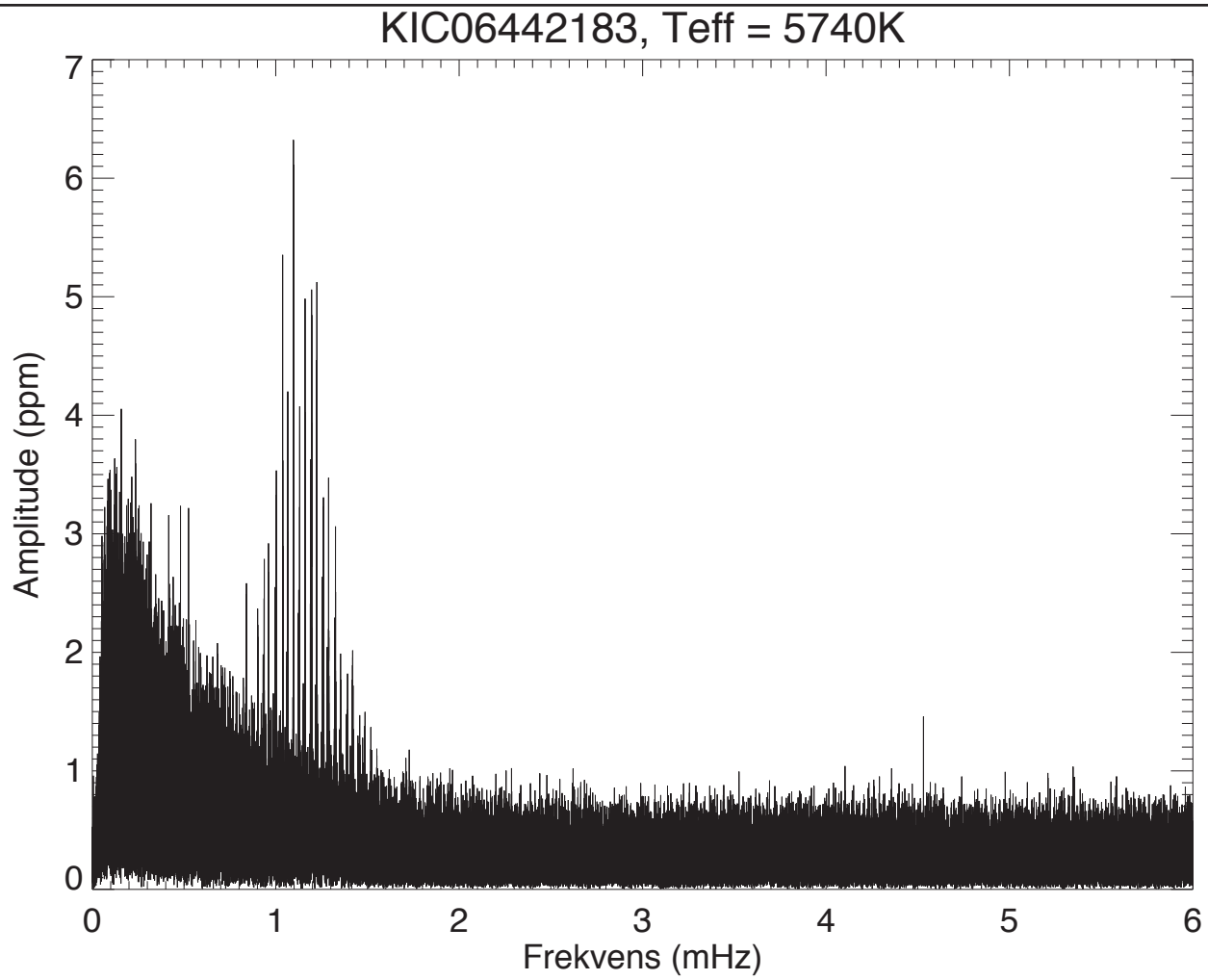
Stjerne	Central frekvens	Stjernetype	Højeste amplitude
KIC02831788			
KIC06106415			
KIC06225718			
KIC03744043			
KIC06442183			
KIC07976303			
KIC04760954			
KIC08006161			
KIC12258514			

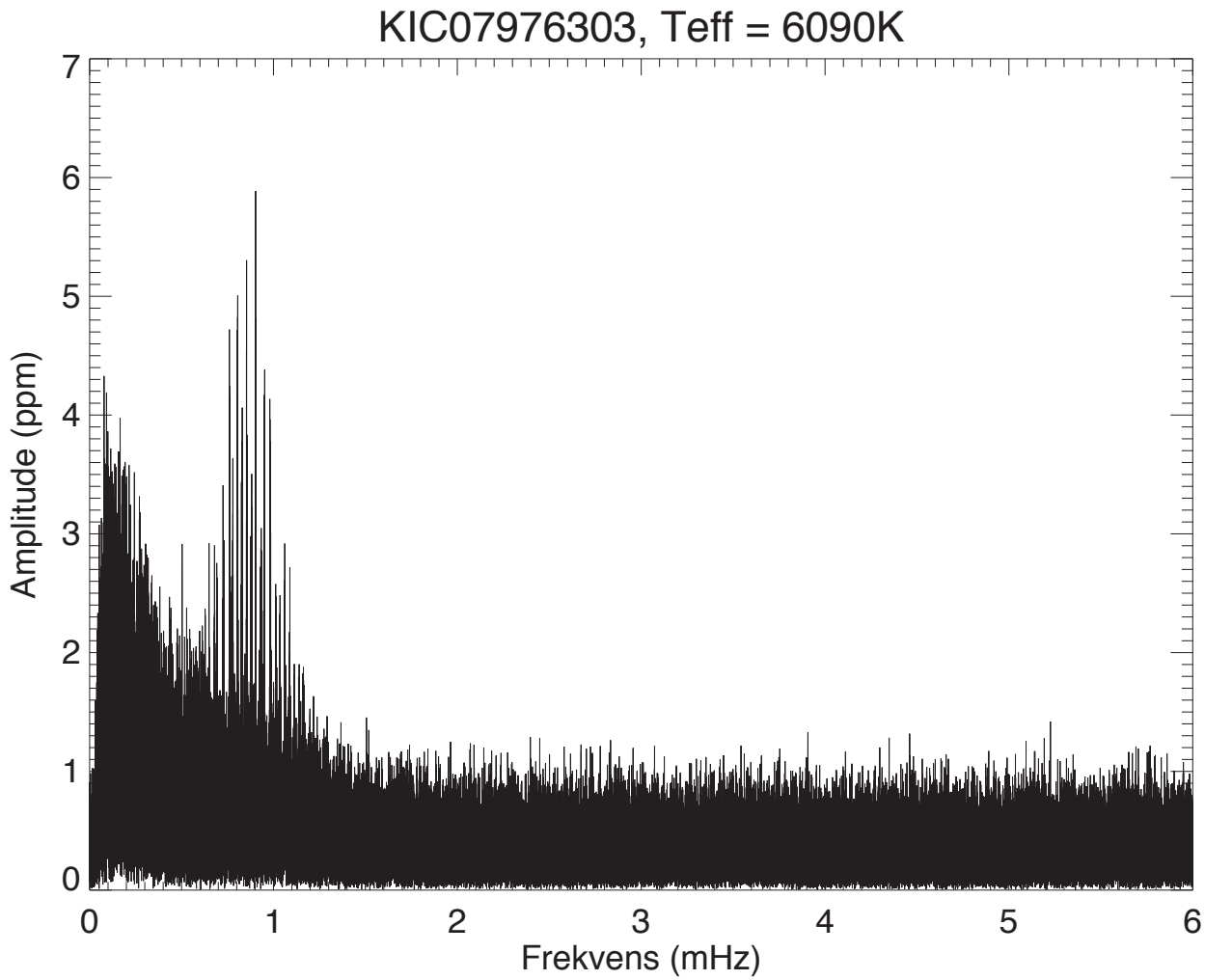

KIC02831788, Teff = 4620K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0
20
40
60
80
100
120
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25

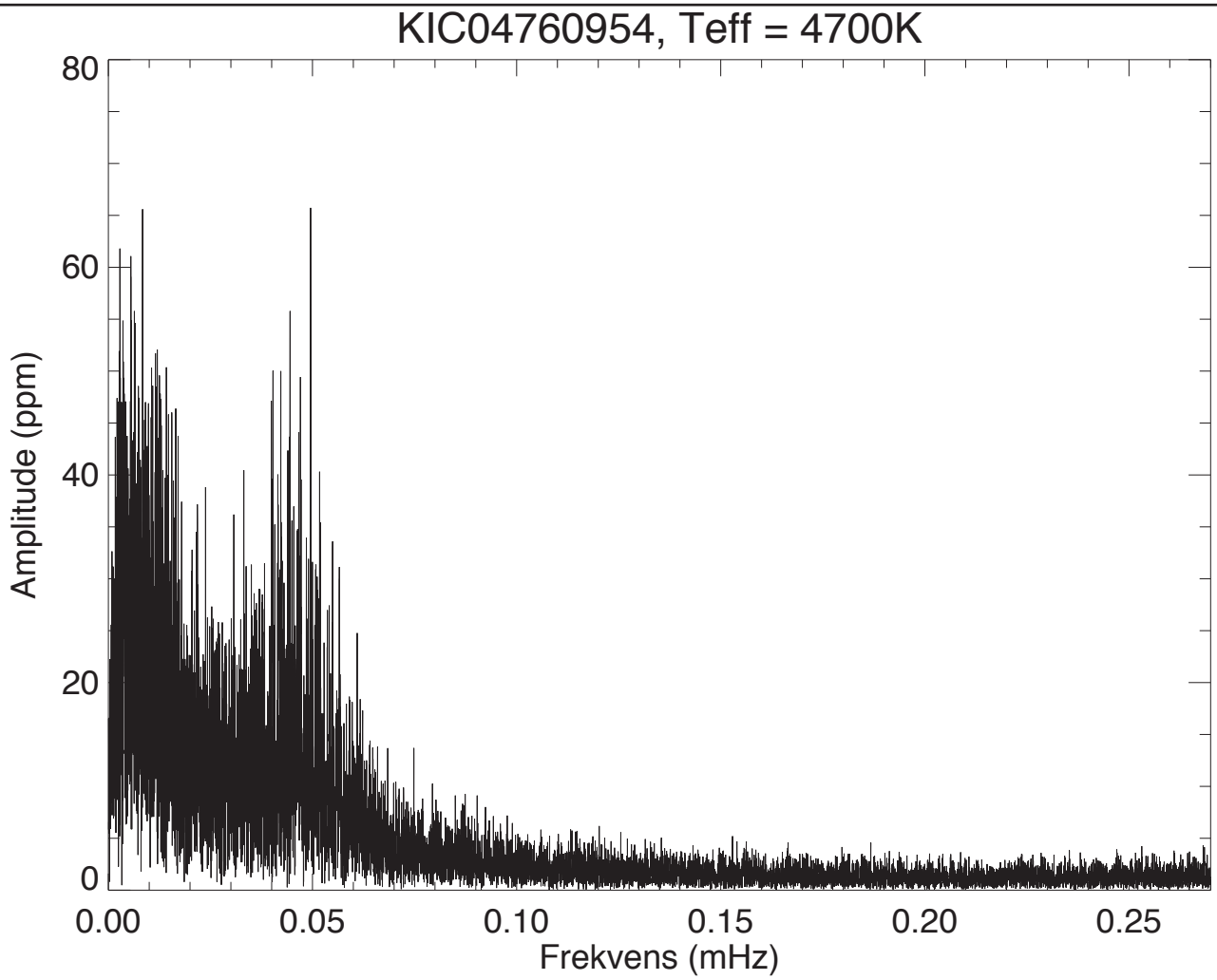

KIC06106415, Teff = 6060K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
0
1
2
3
4
5
6

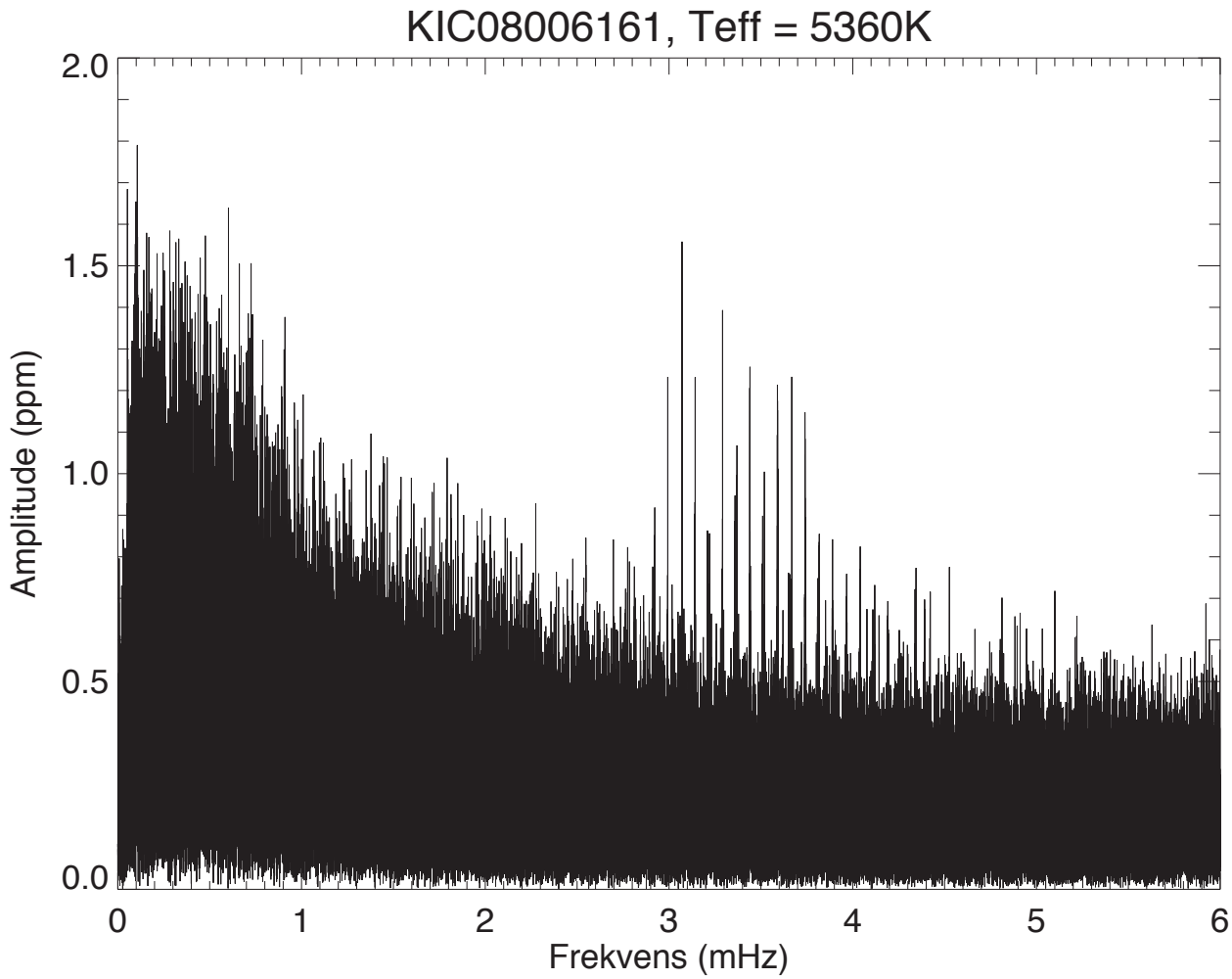

KIC06225718, Teff = 6340K
Amplitude (ppm)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
1
2
3
4
5
6
Frekvens (mHz)

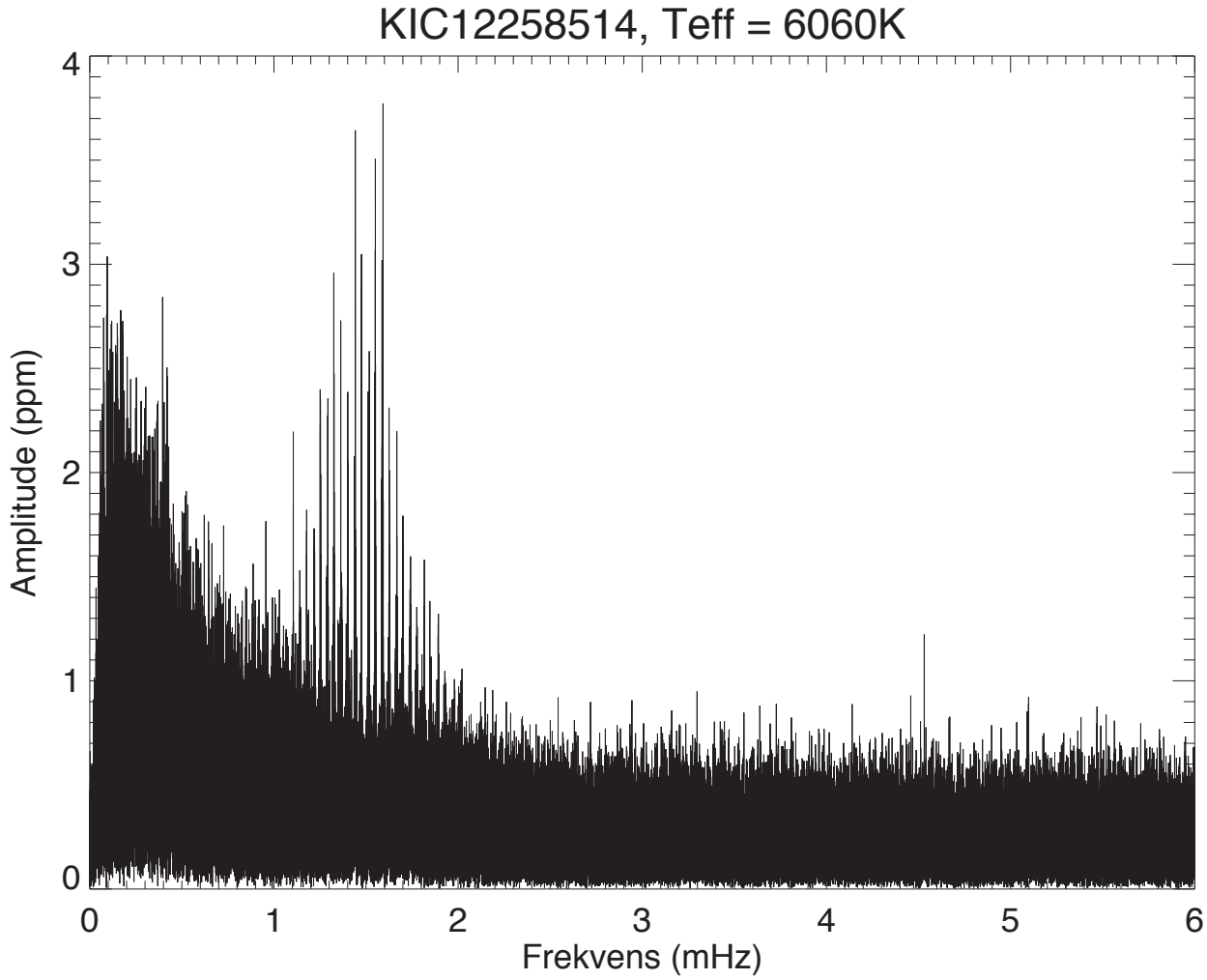

KIC03744043, Teff = 4990K
Amplitude (ppm)
50
40
30
20
10
0
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
Frekvens (mHz)


KIC06442183, Teff = 5740K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0
1
2
3
4
5
6
7


KIC07976303, Teff = 6090K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0
1
2
3
4
5
6
7


KIC04760954, Teff = 4700K
Amplitude (ppm)
80
60
40
20
0
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
Frekvens (mHz)


KIC08006161, Teff = 5360K
Amplitude (ppm)
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
1
2
3
4
5
6
Frekvens (mHz)


KIC12258514, Teff = 6060K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0
1
2
3
4
5
6

Del 2: Analyse af Solens frekvensspektrum

Stjernesvingninger er lydbølger. Hver svingning har et svingningsmønster; på overfladen ses svingningens l-værdi og ind gennem stjernen ses n-værdien. Hver svingning har også en tilhørende frekvens (eller periode) og amplitude. I denne opgave anvender vi frekvensspektre af Solen og af fire andre stjerner til at lave en asteroseismisk analyse af de i alt fem stjerner.

A) Benyt figur 1 (side 3) til at give et bud på den store ($\Delta\nu_0$) og den lille (δ_{02}) frekvens-opsplitning for Solen. Se side 3 i Kvant-artiklen for en beskrivelse af den store og den lille frekvensopsplitning.

B) Find det spor i figur 2 (side 3), der svarer til en stjerne med samme masse som Solen. Argumentér ud fra figuren for, at stjernens udvikling starter ved toppen af sporet og beskriv, hvordan den store og den lille frekvensopsplitning udvikler sig som funktion af tiden, dvs. om opsplitningerne bliver større eller mindre, efterhånden som stjernen udvikler sig.

C) Afmærk Solens værdier i figur 2. Hvad er brøkdelen af hydrogen nær Solens centrum?

Brøkdelen af hydrogen (X) nær en stjernes centrum afhænger af stjernens alder. Ud fra de teoretiske stjernemodeller kan man finde følgende sammenhænge:

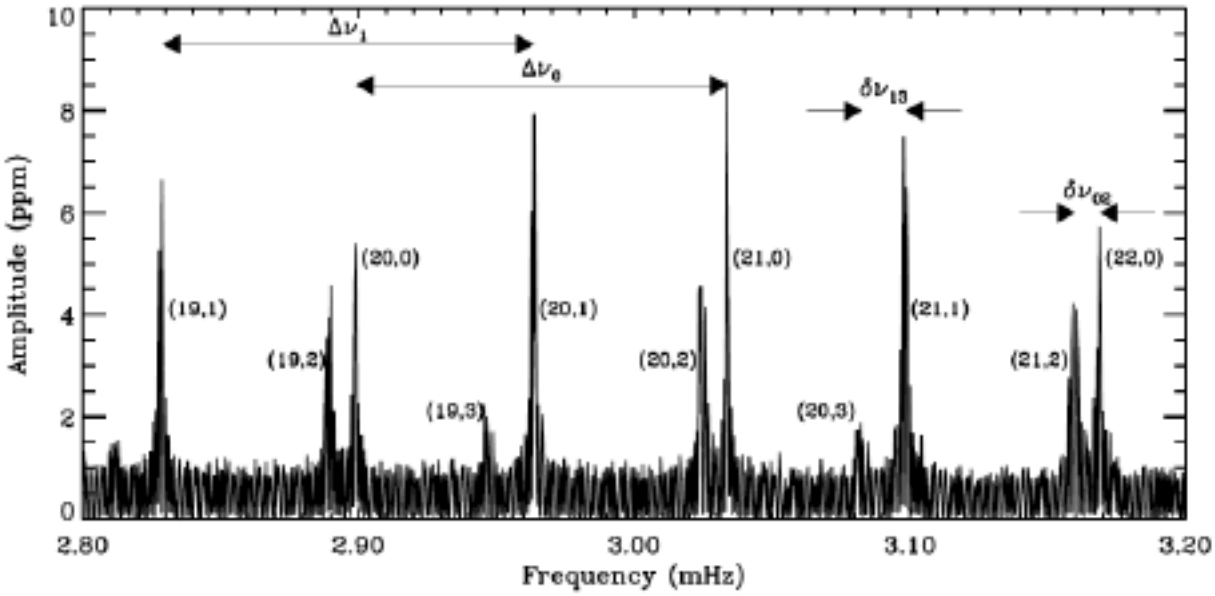
$$Alder \approx \frac{10 - 14{,}3 \cdot X}{M^3} \cdot 10^9 \, år$$

$$\Delta\nu_0 \approx 135 \mu Hz \cdot \sqrt{\frac{M}{R^3}}$$

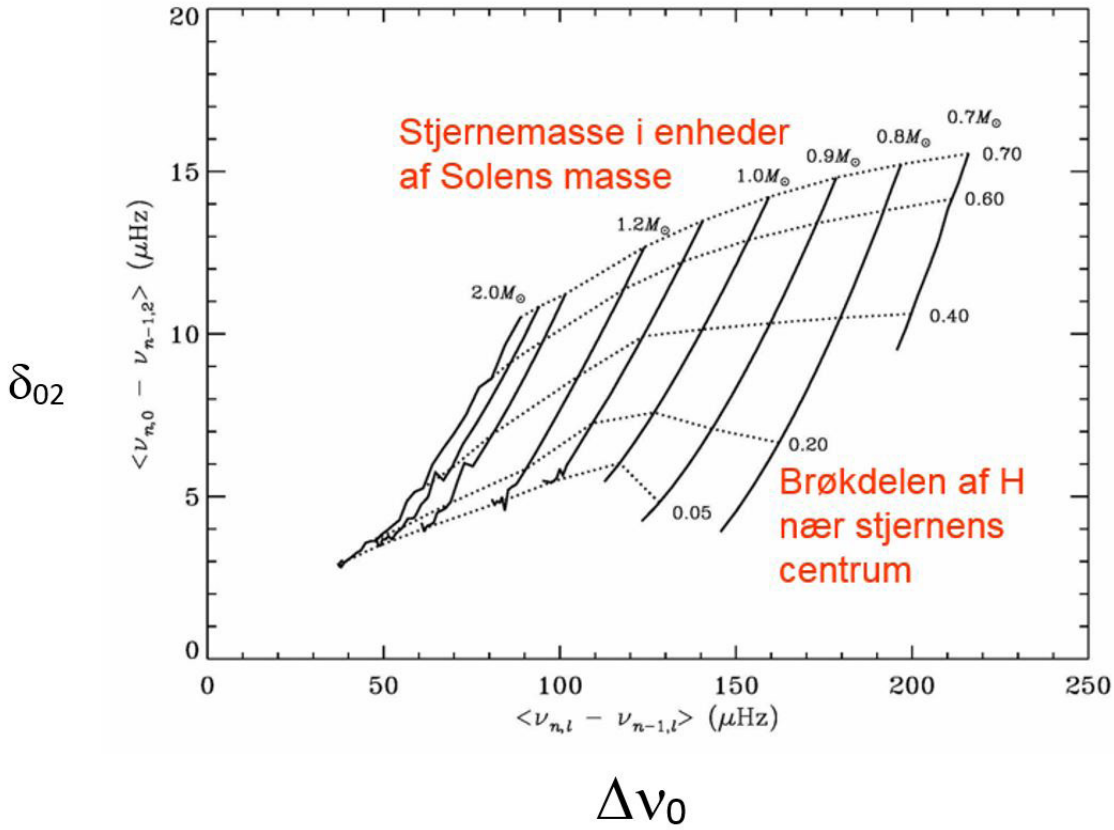
Masse (M) og radius (R) regnes i enheder af Solens værdier.

D) Indsæt de fundne værdier for Solen og bestem Solens alder. Hvor godt passer tallet med Solens alder på ca. 4,6 milliarder år?

E) Find værdierne for Solens masse (i kg) og radius (i meter) på nettet. Sammenlign med de tilsvarende værdier for Jorden.



Figur 1: Et udsnit af Solens spektrum, med de store og små frekvensopsplitninger vist. Figuren er fra Kvant-artiklen af Hans Kjeldsen og Tim Bedding (2003).



Figur 2: Teoretiske modelberegninger, der viser hvordan den store og den lille frekvensopsplitning ændrer sig efterhånden som en stjerne udvikler sig. Det samme diagram kan bruges til at bestemme en stjernes masse og alder, hvis man har målt den store og den lille frekvensopsplitning.

Del 3: Vurdering af frekvensspektrene for fire stjerner

På side 5-7 finder du frekvensspektre og tabeller over svingningsfrekvenser for fire stjerner.

F) Sammenlign frekvensspektrene for α Cen A og α Cen B – hvilken stjerne er størst, og hvilken er mindst? Begrund din vurdering.

G) Sammenlign frekvensspektrene for 16 Cyg A og 16 Cyg B – hvilken stjerne er størst, og hvilken er mindst? Begrund din vurdering.

Del 4: Asteroseismisk analyse af frekvensspektrene for de fire stjerner

For hver enkelt stjerne foretages nu en analyse af de asteroseismiske målinger:

H) Benyt l=0 frekvenserne til at beregne den store frekvensopsplitning. Anvend så mange af frekvenserne som muligt; der er forskellige måder at gøre dette på, fx et gennemsnit af frekvensforskelle eller lineær regression med n-værdierne på x-aksen og de tilhørende frekvenser på y-aksen.

I) Find for hver enkelt stjerne 2-3 par af l=0 og l=2 frekvenser i midten af frekvensspektret, og beregn den lille frekvensopsplitning. Husk, at l=2 frekvensen skal have en n-værdi, der er en mindre end den tilhørende l=0 frekvens. I midten af frekvensspektret betyder, at man fx for α Cen A vælger frekvenser med n-værdier omkring 19 – 21.

J) Brug figur 2 til at bestemme stjernernes masse og indhold af hydrogen nær deres centrum.

K) Anvend formlerne til at bestemme stjernernes alder og radius (i enheder af Solens radius).

L) Passede forudsigelsen om, hvilke af stjernerne der var størst, og hvilke der var mindst?

Stjerne	($\Delta\nu_0$)	(δ_{02})	M	R	Alder
α Cen A					
α Cen B					
16 Cyg A					
16 Cyg B					

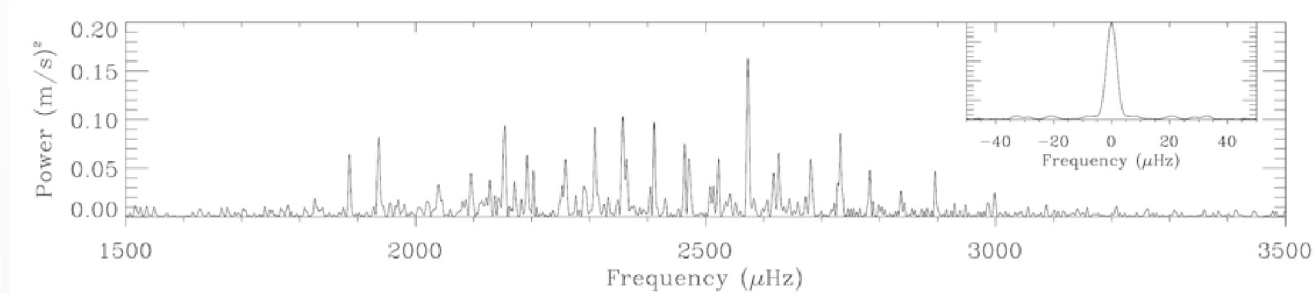
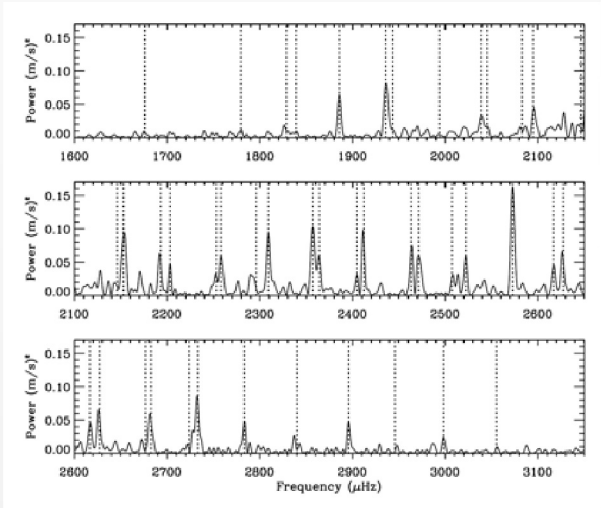


TABLE 1

Oscillation Frequencies for α Cen A (μHz)

n	$l = 0$	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$
14	...	1675.9	...	...
15	...	1779.7	1828.6	...
16	1839.2	1885.9	1935.7	...
17	1943.3	1993.8	2038.9	2082.9
18	2045.5	2094.6	2146.3	2193.1
19	2152.9	2203.2	2253.4	2296.3
20	2258.1	2309.1	2357.3	2404.8
21	2364.0	2412.4	2463.4	2507.5
22	2471.5	2522.1	2572.7	2616.8
23	2572.7	2627.1	2676.8	2723.5
24	2682.7	2733.2	2783.4	...
25	...	2840.2	...	...
26	2895.9	2945.7	2998.3	...
27	...	3055.1	...	...



Tim Bedding, Hans Kjeldsen m.fl., The Astrophysical Journal 614, 380 (2004):

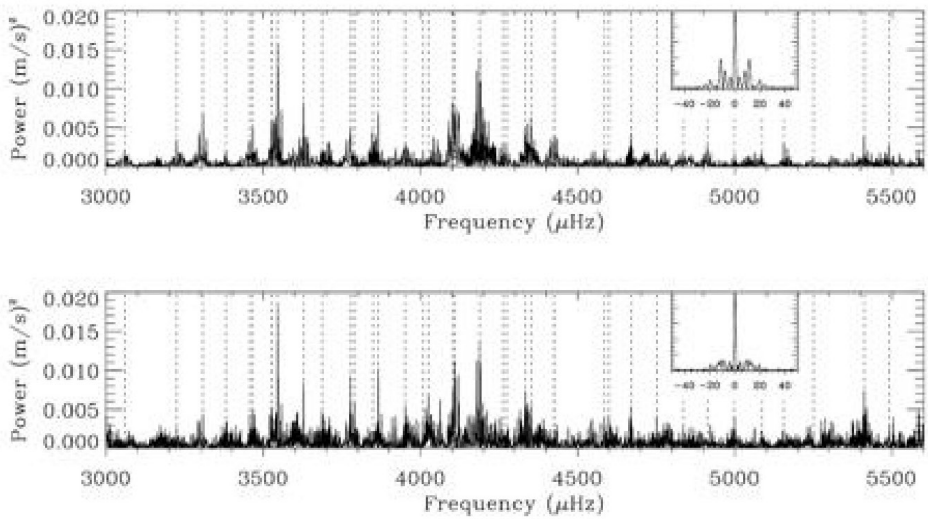


Fig. 4.—Power spectrum of α Cen B from the combined UVES and UCLES data. *Top*: Noise-optimized power spectrum, in which weights were based on the measurement uncertainties, which minimizes the noise. *Middle*: Same as top, but expanded to show only the central region. *Bottom*: Sidelobe-optimized power spectrum, in which weights were adjusted to minimize the aliases. The spectral windows are shown as insets, and vertical dotted lines show our final oscillation frequencies, as listed in Table 1.

TABLE 1

OSCILLATION FREQUENCIES FOR α CENTAURI B (μHz)

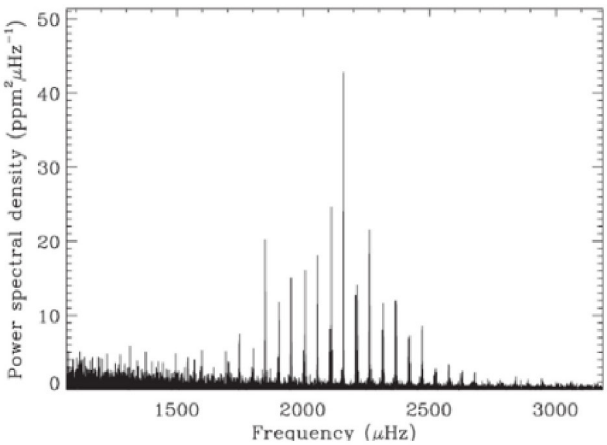
n	$l = 0$	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$
17.....	...	3059.7 ± 0.9	...	...
18.....	...	3224.2 ± 0.9	...	...
19.....	3306.6 ± 0.9	3381.9 ± 1.1	3456.6 ± 1.1	3526.3 ± 1.1
20.....	3466.9 ± 1.0	3544.9 ± 0.8	...	3685.6 ± 1.1
21.....	3628.2 ± 1.0	...	3778.8 ± 1.1	3849.3 ± 1.3
22.....	3789.2 ± 1.2	3865.9 ± 1.1	...	4008.5 ± 1.5
23.....	3951.1 ± 1.2	4025.9 ± 1.2	4102.0 ± 1.2	...
24.....	4109.5 ± 1.1	4188.0 ± 1.1	4262.0 ± 1.5	4333.3 ± 1.4
25.....	4275.7 ± 1.5	4351.0 ± 1.4	4425.4 ± 1.5	...
26.....	...	...	4585.6 ± 1.8	...
27.....	4598.4 ± 1.6	4670.3 ± 1.7	4750.8 ± 1.8	...
28.....	...	4835.4 ± 2.0	4912.4 ± 2.0	...
29.....	...	4998.8 ± 1.9	...	...
30.....	5085.7 ± 2.2	5155.6 ± 2.1	...	...
31.....	5248.8 ± 2.4	...	...	...
32.....	5411.4 ± 1.9	5489.0 ± 2.3	...	...

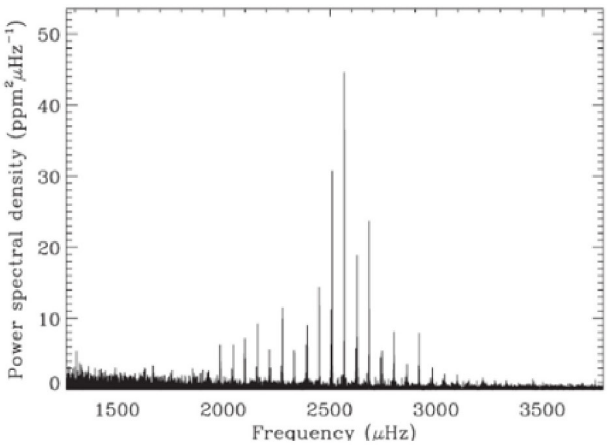
Hans Kjeldsen, Tim Bedding m.fl., The Astrophysical Journal 635, 1281 (2005)

Table 1

Observed Oscillation Frequencies for 16 Cyg A and B

n^a	16 Cyg A				16 Cyg B			
	$\ell = 0$ (μHz)	$\ell = 1$ (μHz)	$\ell = 2$ (μHz)	$\ell = 3$ (μHz)	$\ell = 0$ (μHz)	$\ell = 1$ (μHz)	$\ell = 2$ (μHz)	$\ell = 3$ (μHz)
13	...	...	1591.21 ± 0.86	...	...	...	...	...
14	1598.51 ± 0.27	1644.24 ± 0.33	1693.73 ± 0.46	1736.03 ± 1.84	...	...	1920.99 ± 0.24	...
15	1700.43 ± 0.34	1746.93 ± 0.24	1795.87 ± 0.40	1839.07 ± 1.64	1928.81 ± 0.28	1982.66 ± 0.16	2036.59 ± 0.20	...
16	1802.15 ± 0.17	1849.11 ± 0.13	1898.08 ± 0.27	1944.07 ± 1.57	2044.21 ± 0.15	2098.20 ± 0.17	2152.91 ± 0.19	2202.75 ± 0.65
17	1904.62 ± 0.15	1951.98 ± 0.16	2001.82 ± 0.17	2045.09 ± 0.80	2159.36 ± 0.16	2214.00 ± 0.18	2269.07 ± 0.21	2317.08 ± 0.44
18	2007.45 ± 0.13	2055.41 ± 0.16	2105.60 ± 0.15	2150.15 ± 0.19	2276.03 ± 0.12	2330.88 ± 0.16	2386.30 ± 0.17	2436.78 ± 0.33
19	2110.94 ± 0.11	2158.89 ± 0.12	2208.90 ± 0.19	2253.41 ± 0.35	2392.87 ± 0.14	2448.17 ± 0.11	2503.56 ± 0.13	2553.00 ± 0.23
20	2214.33 ± 0.17	2262.32 ± 0.16	2312.49 ± 0.29	2356.92 ± 0.46	2509.75 ± 0.13	2565.35 ± 0.10	2619.99 ± 0.23	2672.34 ± 0.28
21	2317.18 ± 0.17	2366.15 ± 0.16	2416.24 ± 0.33	2461.26 ± 1.04	2626.43 ± 0.11	2682.38 ± 0.14	2737.44 ± 0.31	2788.74 ± 1.40
22	2420.75 ± 0.30	2470.23 ± 0.25	2520.91 ± 0.81	...	2743.15 ± 0.25	2799.67 ± 0.22	2854.52 ± 0.39	2906.96 ± 0.93
23	2524.94 ± 0.39	2575.97 ± 0.31	2624.05 ± 0.51	...	2860.63 ± 0.26	2917.75 ± 0.22	2972.73 ± 0.70	...
24	2629.36 ± 0.36	2678.47 ± 0.47	2730.06 ± 1.03	...	2978.95 ± 0.40	...	3089.46 ± 0.87	...
25	2736.22 ± 1.45	2783.71 ± 1.22	...	...	3096.00 ± 0.54	3152.45 ± 0.61	...	...
26	2838.68 ± 0.38	2889.61 ± 0.38	...	...	3215.94 ± 0.91	3274.63 ± 0.55	...	...





T. S. Metcalfe, W. J. Chaplin m. fl., The Astrophysical Journal Letters 748, L10 (2012)

Cen A og B:

	A	B
$M/M_\odot$	1.105 ± 0.007	0.934 ± 0.006
T_{eff}	(5830 ± 30) K	(5255 ± 50) K
$L/L_\odot$	1.556 ± 0.011	0.504 ± 0.008
$R/R_\odot$	1.224 ± 0.003	0.863 ± 0.005
$Z_{\mathrm{s}}/X_{\mathrm{s}}$	0.037 ± 0.004	0.037 ± 0.004

Alder: ca. 6 milliarder år

16 Cyg A og B:

ed properties of the system.

	16 Cyg A	16 Cyg B	16 Cyg Bb
Age (Gyr)	6.8 ± 0.4^{a}	6.8 ± 0.4^{a}	6.8 ± 0.4
Mass	1.11 ± 0.02^{a} $M_\odot$	1.07 ± 0.02^{a} $M_\odot$	2.38 ± 0.04^{c} M_{Jup}
Radius	1.243 ± 0.008^{a} $R_\odot$	1.127 ± 0.007^{a} $R_\odot$	-
$B-V$	$0.64^{b} \pm 0.01$	$0.66^{b} \pm 0.01$	n/a
T_{eff}	5825 ± 50^{e} (G2V)	5750 ± 50^{e} (G2V)	n/a
[Fe/H]	0.096 ± 0.026^{e}	0.052 ± 0.021^{e}	n/a
Orbital Period	$> 13000^{c}$ yr	$> 13000^{c}$ yr	798.5 ± 1.0^{c} days
Eccentricity	0.54 to 1^{d}	0.54 to 1^{d}	0.689 ± 0.011^{c}
Orbital Inclination (°)	100 to 160^{d}	100 to 160^{d}	$45/135^{c}$

[a] Metcalfe et al. (2012) ; [b] Perrin & Spite (1981b) ; [c] Plávalová & Solovaya (2013) ; [d] Hauser & Marcy (1999) ; [e] Ramírez, Meléndez & Asplund (2009).

Om Origins2017

- Hvor kommer universet fra - og hvordan ender det?
- Hvordan opstod livet - og hvordan udviklede det sig?
- Hvordan kan mennesket erobre rummet - og er der liv derude?
- Hvordan reagerer mennesker på opdagelser, der ryster deres verdensbillede?

Det er disse spørgsmål, som de fire værker i Origins2017 handler om.

Origins2017 vil gerne vise, at ny klassisk musik kan formidle den følelsesmæssige dybde i mødet med naturvidenskabens svar på de allerstørste spørgsmål. Der er et enormt behov for at fortælle historien om naturvidenskaben, så den kan få den plads i befolkningens bevidsthed, som den fortjener: Som en stor åndelig kraft; en tredje dannelsesdisciplin sammen med kunst og humaniora. For naturvidenskaben kan besvare nogle af de største spørgsmål, vi kan stille os selv.

Origins2017 består af fire selvstændige værker skrevet af Niels Marthinsen, to om astrofysik og to om evolutionsbiologi:

- En korsymfoni om universets begyndelse og slutning: A Universe from Nothing (titel venligst udlånt af Lawrence Krauss)
- En opera om Charles Darwin; om videnskab, moral og kærlighed: DARWIN
- Et evolutionsoratorium om livets begyndelse og udvikling: EVOLUTION!
- En big band-symfoni om solsystemet og rummets erobring: Solar Walk

Origins2017-ensembler
Aarhus Sommeropera, Aarhus Symfoniorkester, Aarhus Jazz Orchestra samt Århus Sinfonietta og Vokalensemblet GAIA.

Origins2017-teamet
Komponist: Niels Marthinsen
Forfattere: Ursula Andkjær Olsen, Pia Juul, Bent Nørgaard og Susi Hyldgaard
Fagkonsulenter: Anja C. Andersen, Niels Bohr Institutet og Peter C. Kjærgaard, Statens Naturhistoriske Museum
Producent og formidler: Christina Blangstrup Dahl

Forestillinger, DARWIN: 29. og 30. august samt 6. og 8. september 2017 kl. 19.30
Skolekoncerter desuden: 1. og 5. september 2017 kl. 11
Tilmelding: Christina Blangstrup Dahl (chbd@aarhus.dk)

Kontakt

Origins2017
Producent Christina Blangstrup Dahl
Musikhuset Aarhus
Skovgaardsgade 2C
8000 Aarhus C
www.origins2017.cvom
chbd@aarhus.dk
25772395