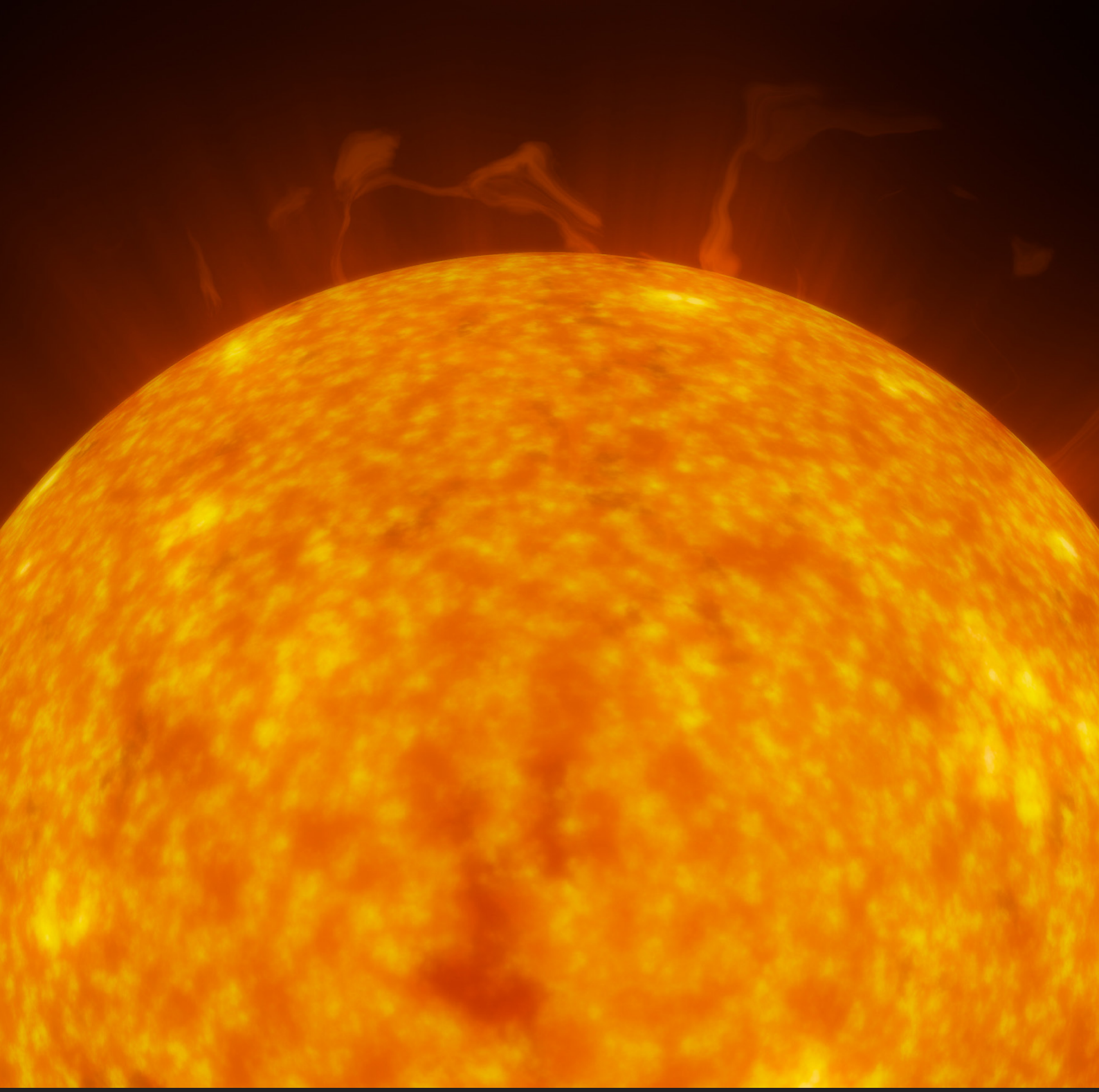


Stjernernes klang
Opgaver til UV 1 - Origins2017

Stjernernes klang
Opgaver til UV 1 - Origins2017

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

Del 1: Analyse af frekvensspektre

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

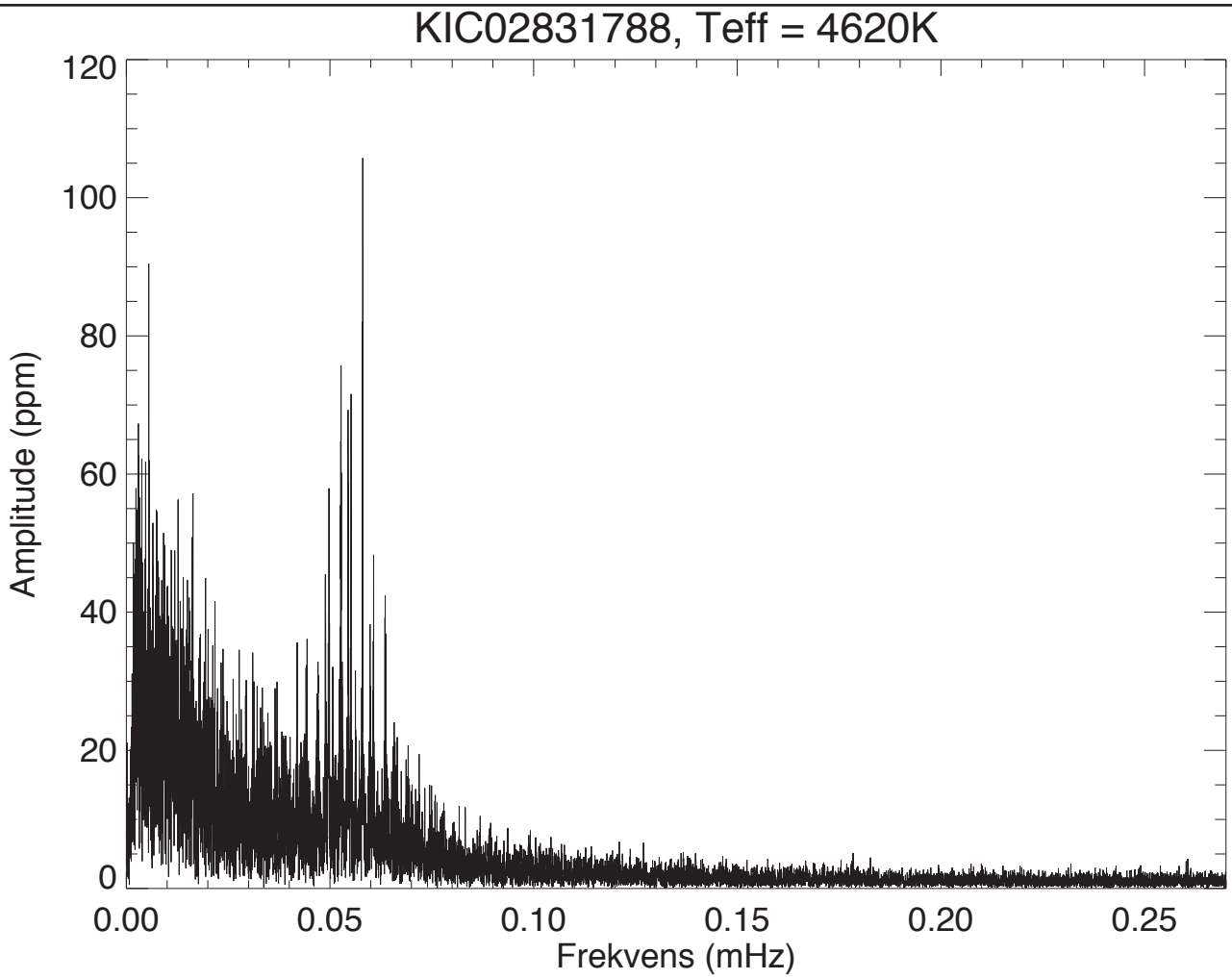
A) I hvert af de 9 frekvensspektre identificeres signalet fra svingningerne. Find for hver stjerne den centrale (midterste) frekvens af svingnings-signalet.

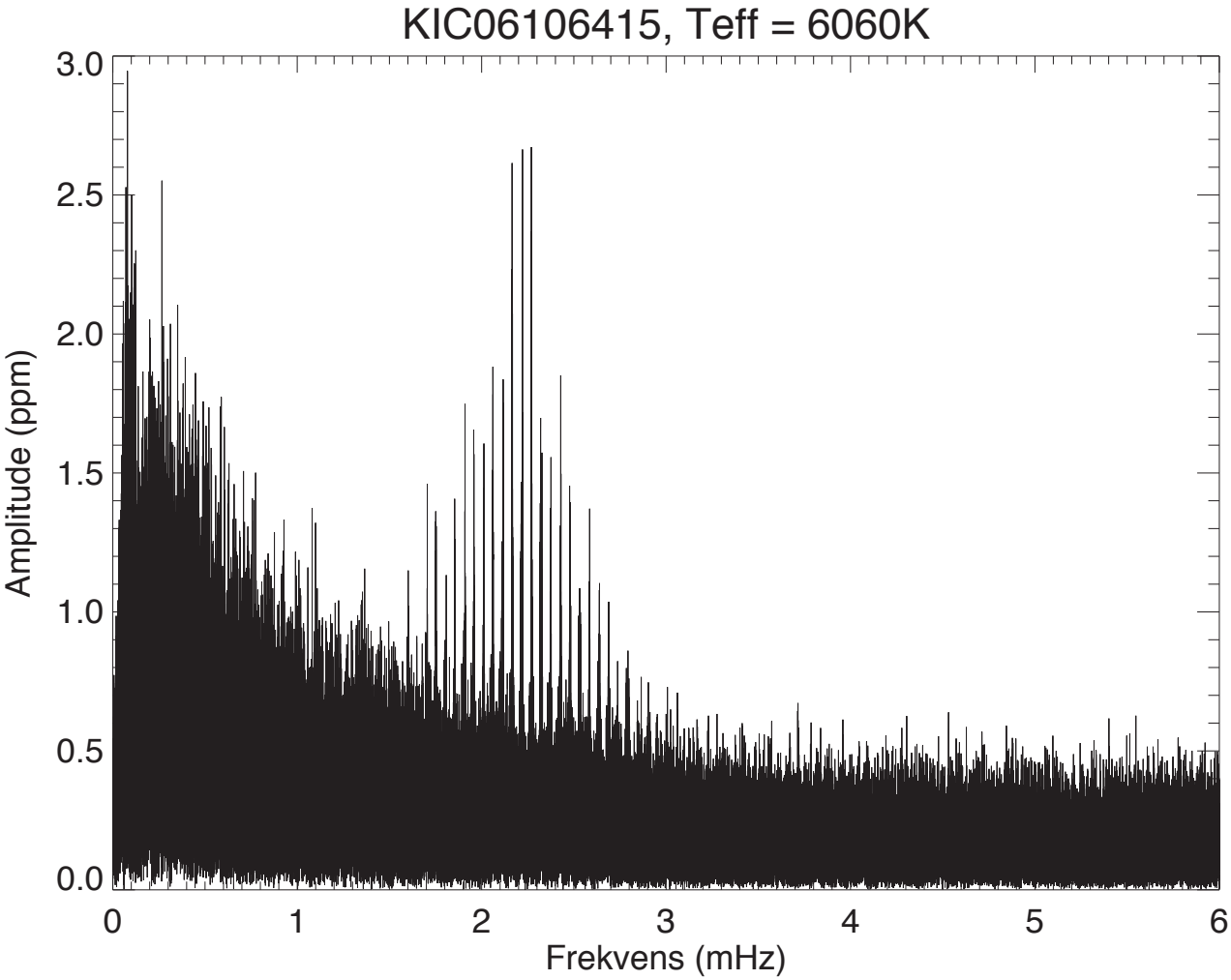
B) Klassificer hver enkelt stjerne som hovedseriestjerne eller rød kæmpestjerne. Begrund dit svar.

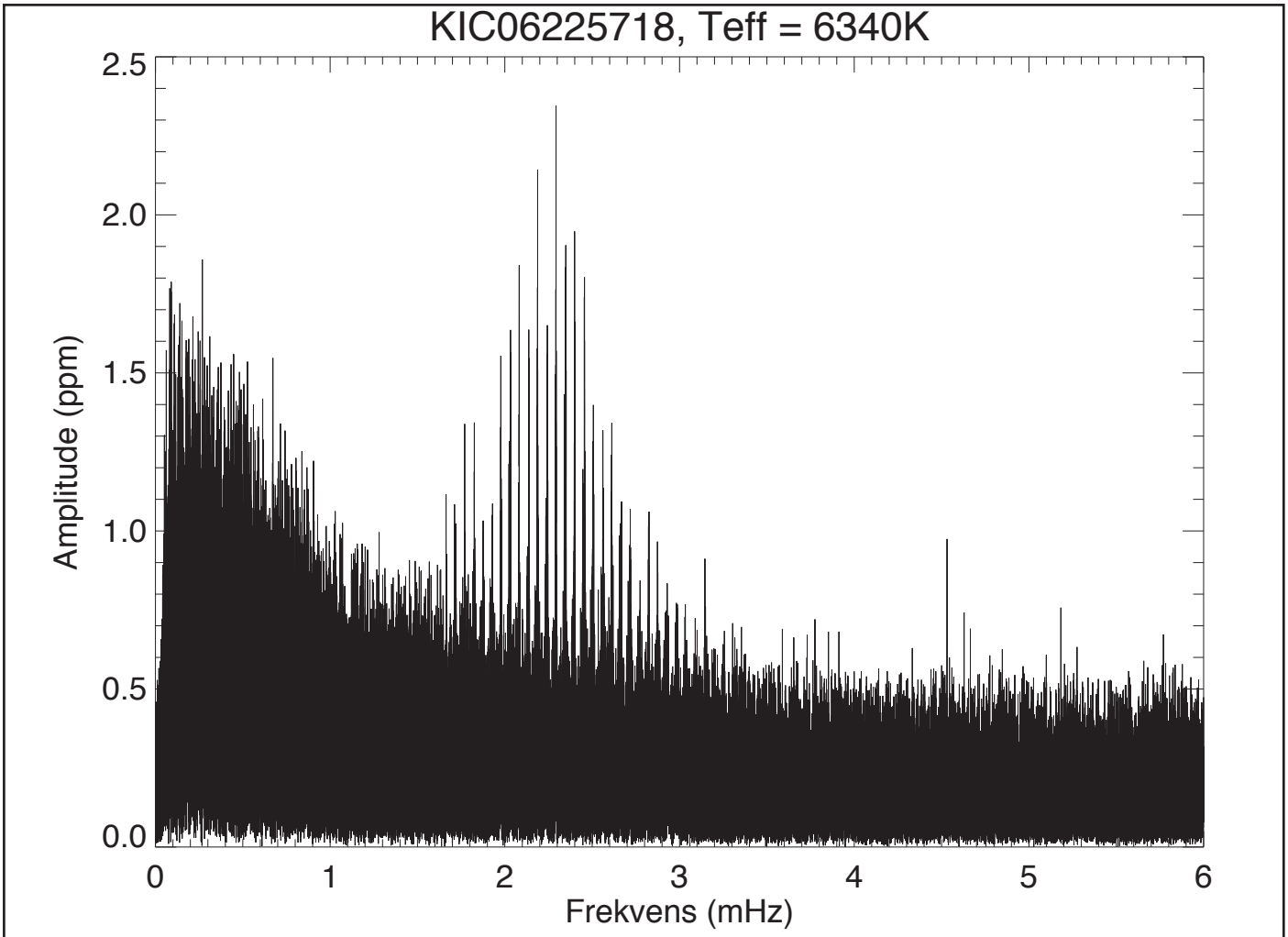
C) Sammenlign amplituderne for hovedseriestjernerne og de røde kæmpestjerner. Hvilken stjernetype har overordnet set de højeste amplituder, er det hovedseriestjernerne eller de røde kæmpestjerner?

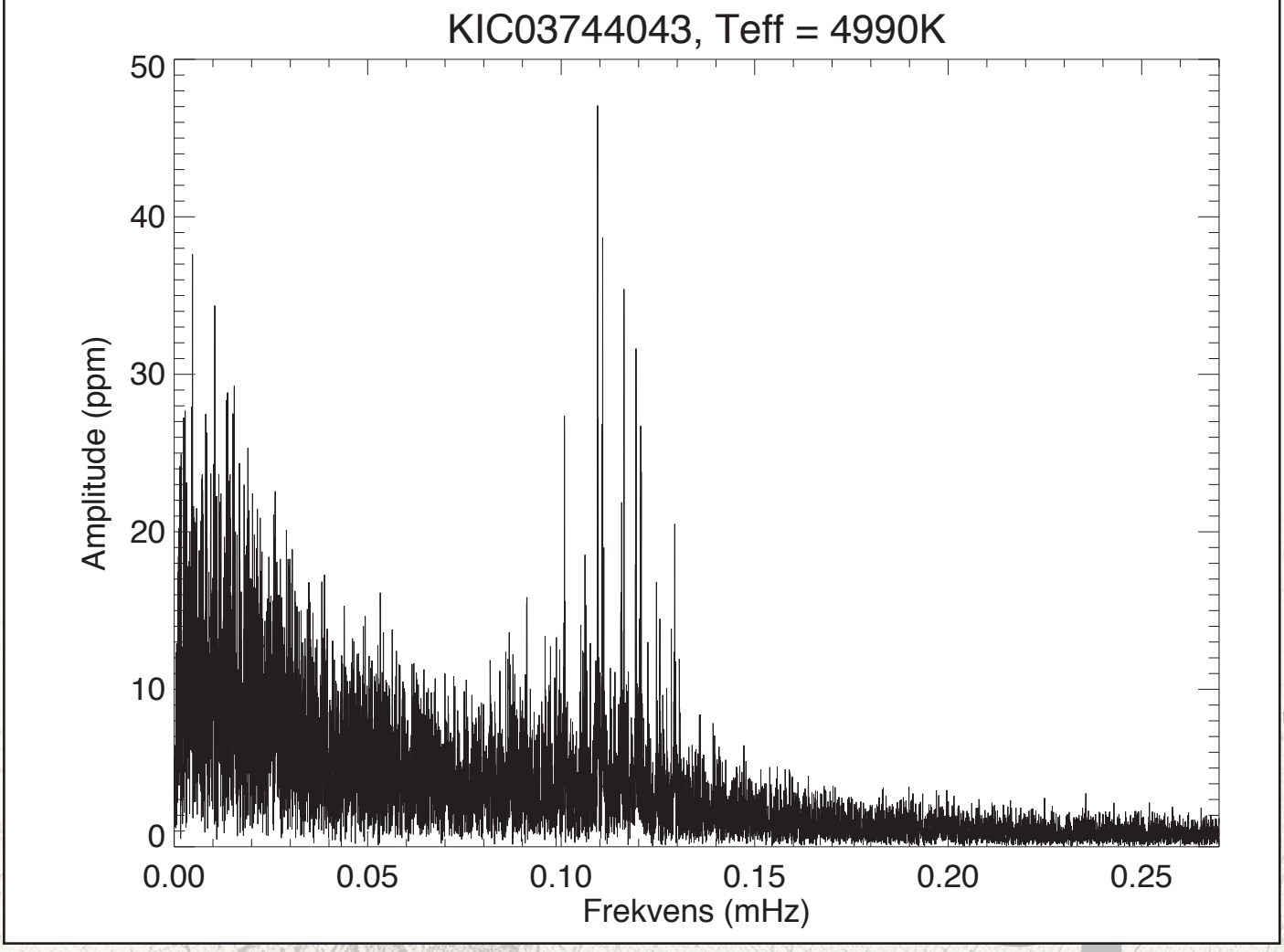
D) Hvilke stjerner inden for hver af de to grupper af stjerner, tror du er størst, og hvilke tror du er mindst? Begrund dit svar.

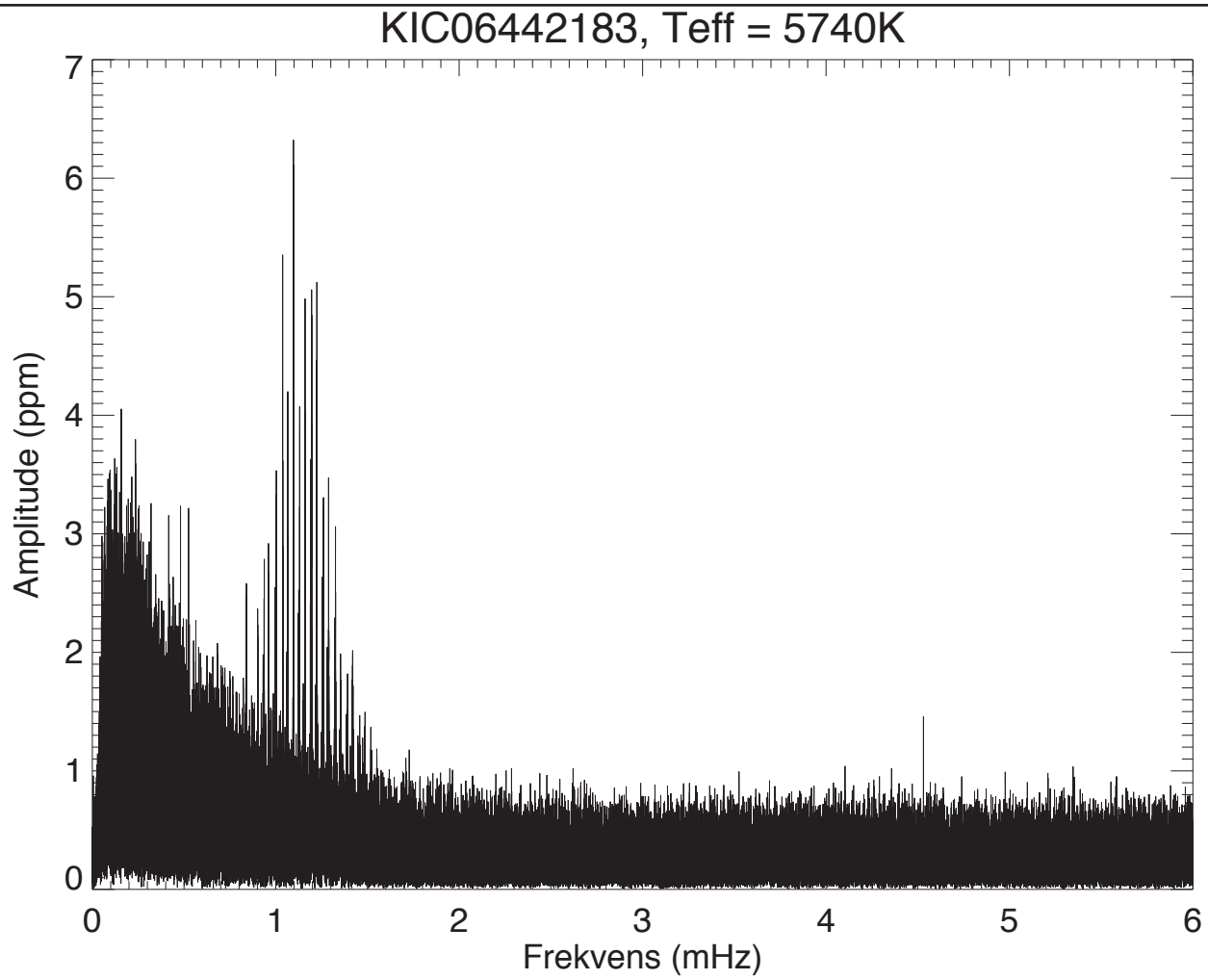
Stjerne	Central frekvens	Stjernetype	Højeste amplitude
KIC02831788			
KIC06106415			
KIC06225718			
KIC03744043			
KIC06442183			
KIC07976303			
KIC04760954			
KIC08006161			
KIC12258514			

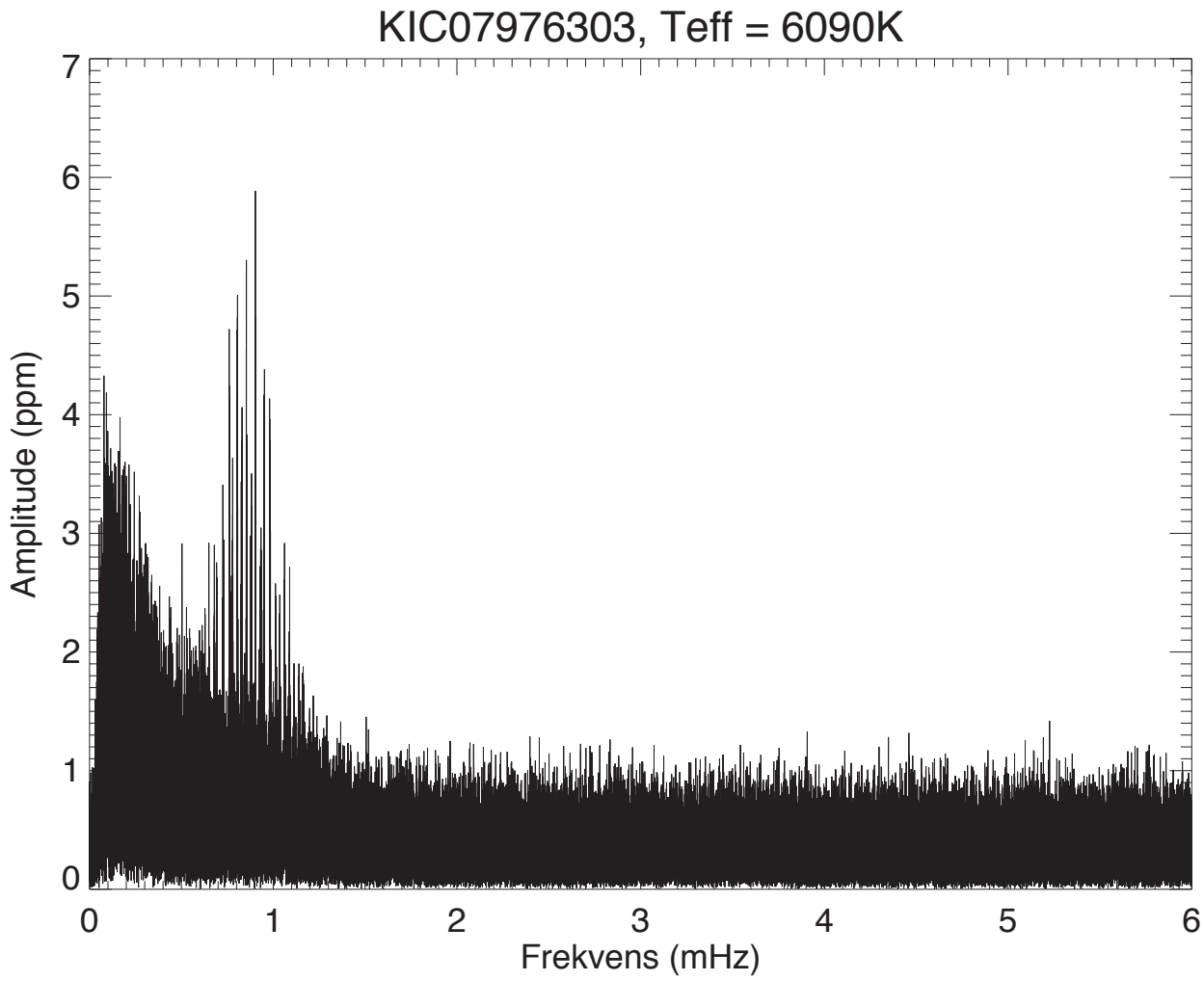

KIC02831788, Teff = 4620K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0
20
40
60
80
100
120
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25

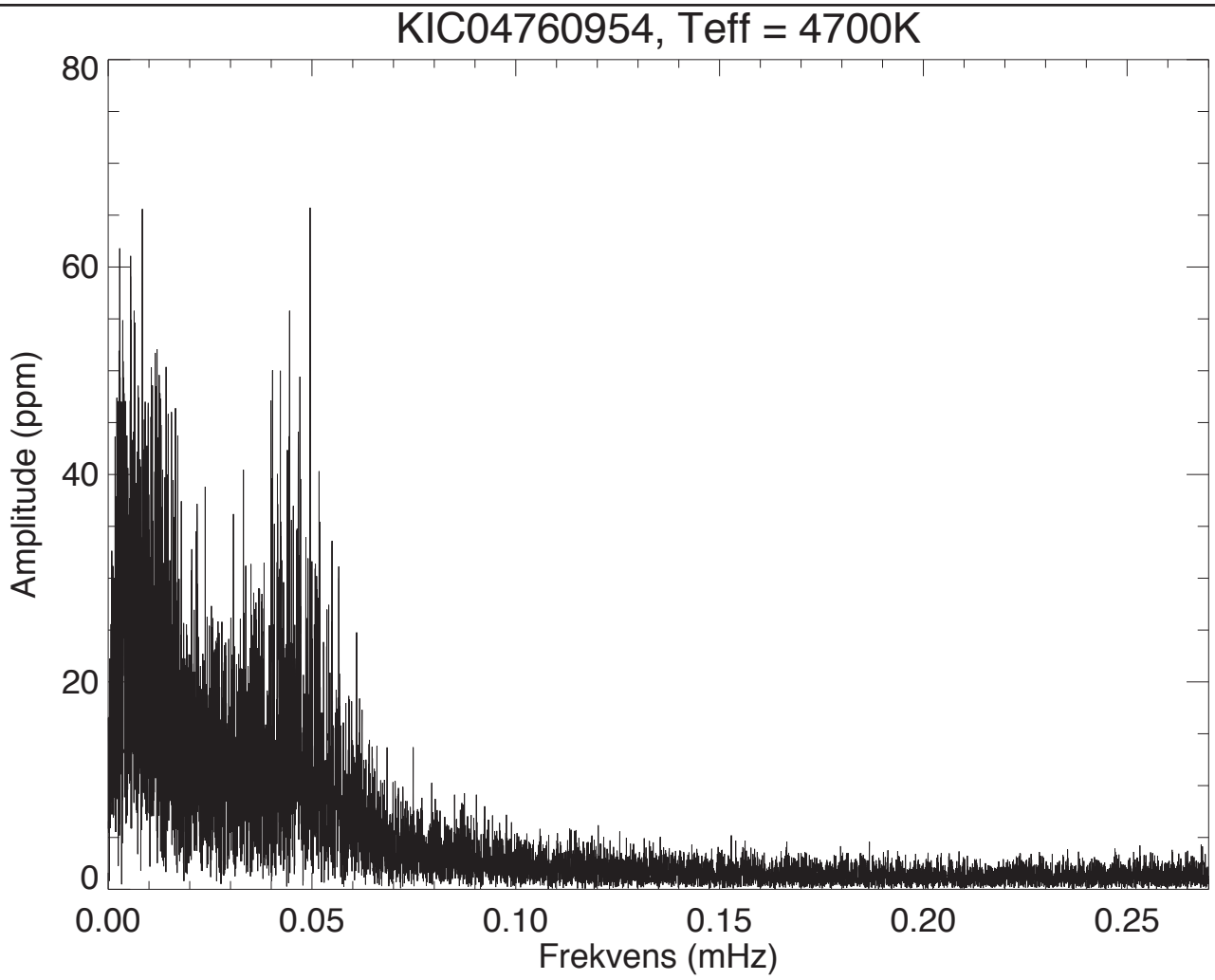

KIC06106415, Teff = 6060K
Amplitude (ppm)
Frekvens (mHz)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
0
1
2
3
4
5
6

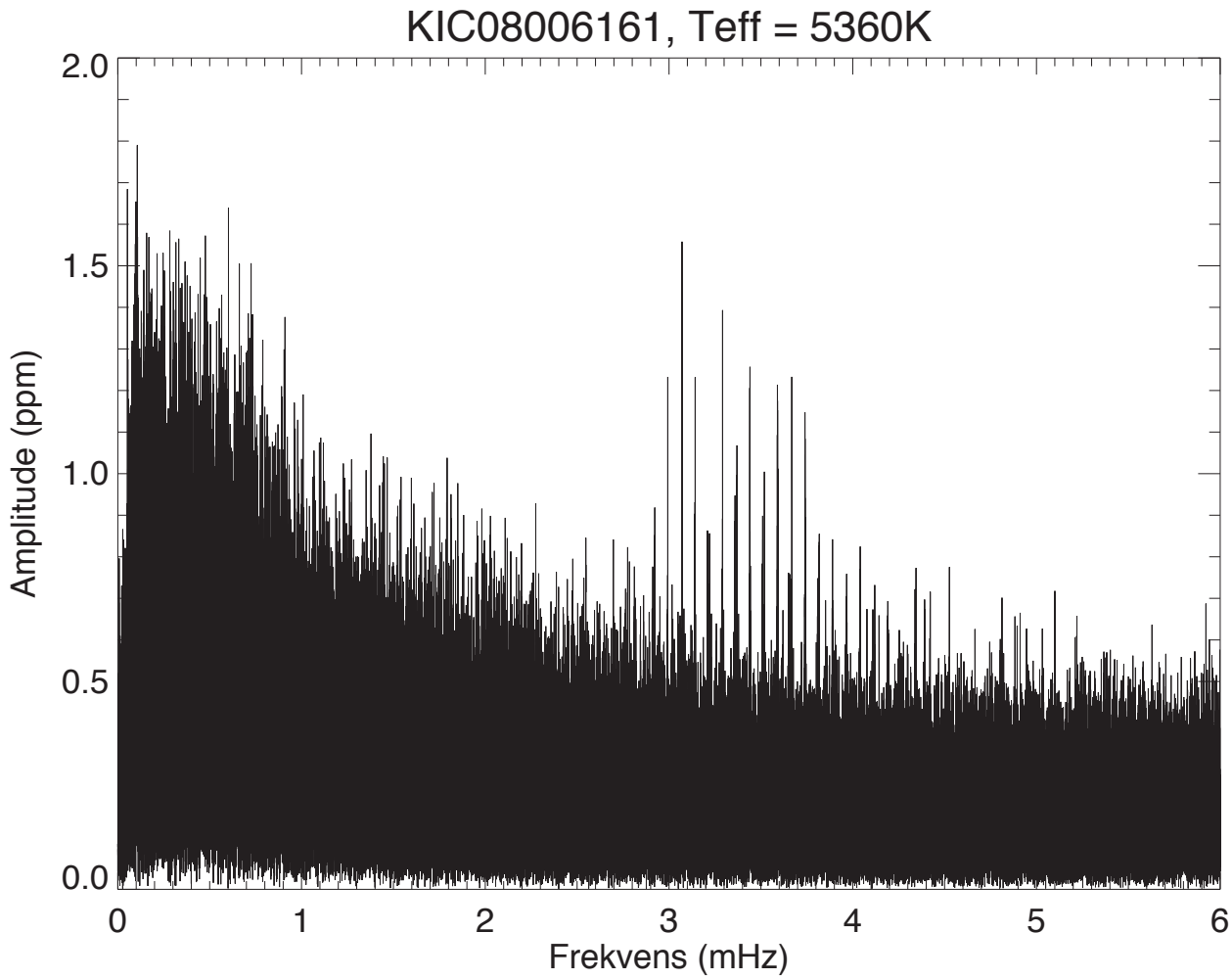

KIC06225718, Teff = 6340K
Amplitude (ppm)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0
1
2
3
4
5
6
Frekvens (mHz)

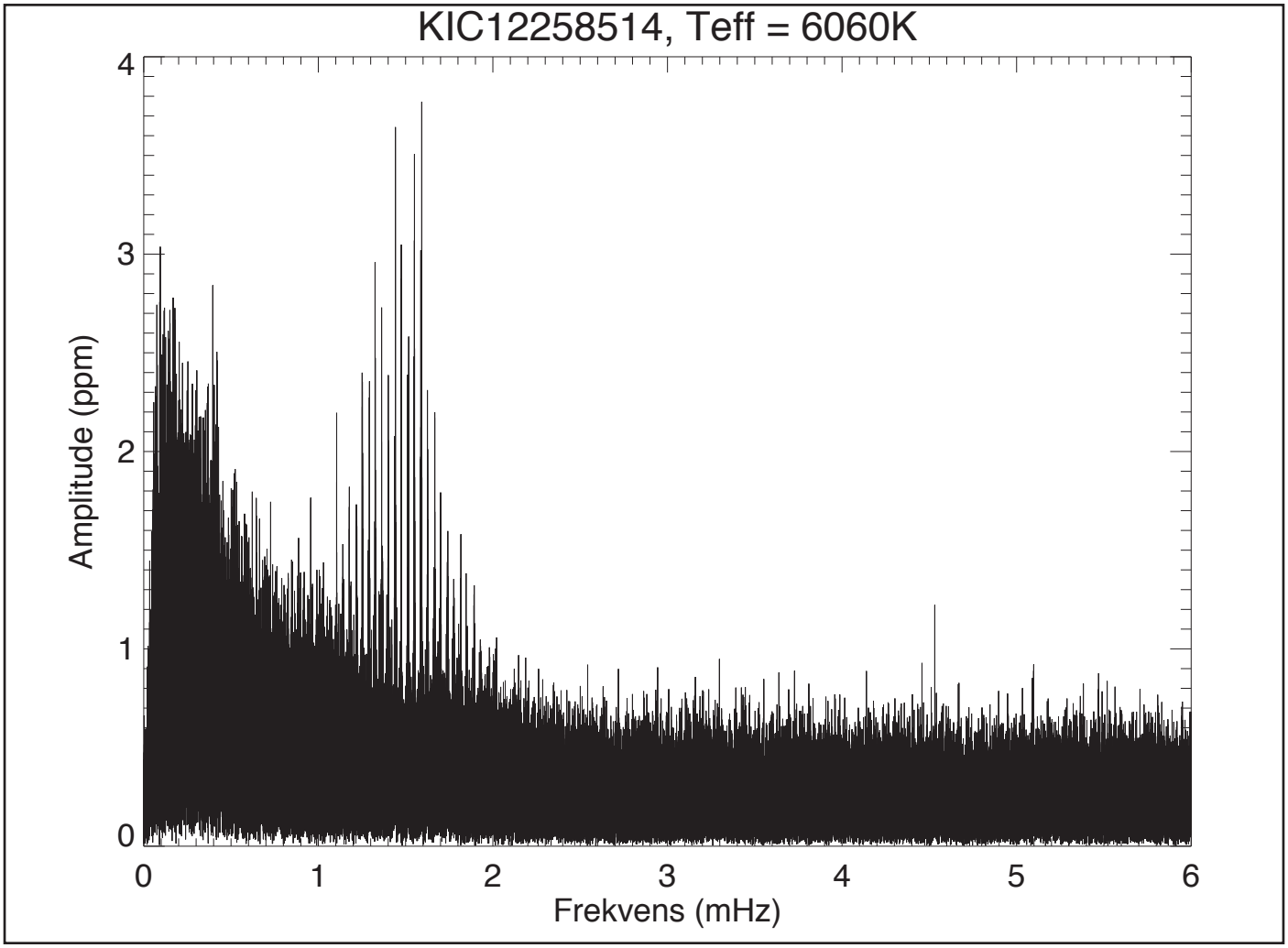

KIC03744043, Teff = 4990K
Amplitude (ppm)
50
40
30
20
10
0
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
Frekvens (mHz)


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:

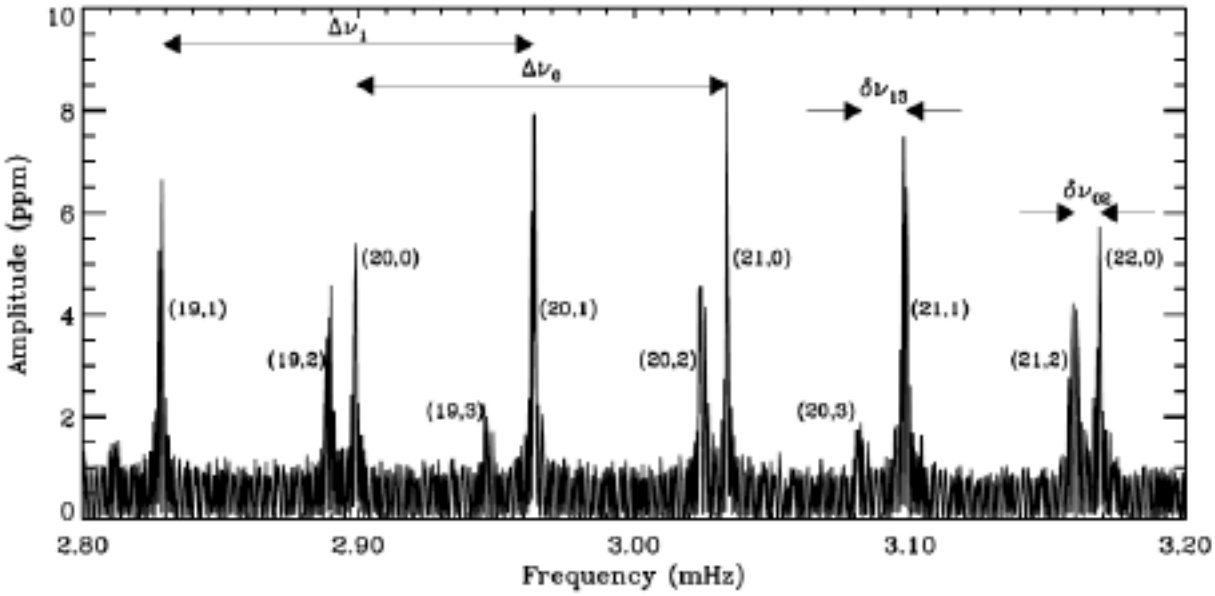
$$Alder \approx \frac{10 - 14{,}3 \cdot X}{M^3} \cdot 10^9 \, år$$

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

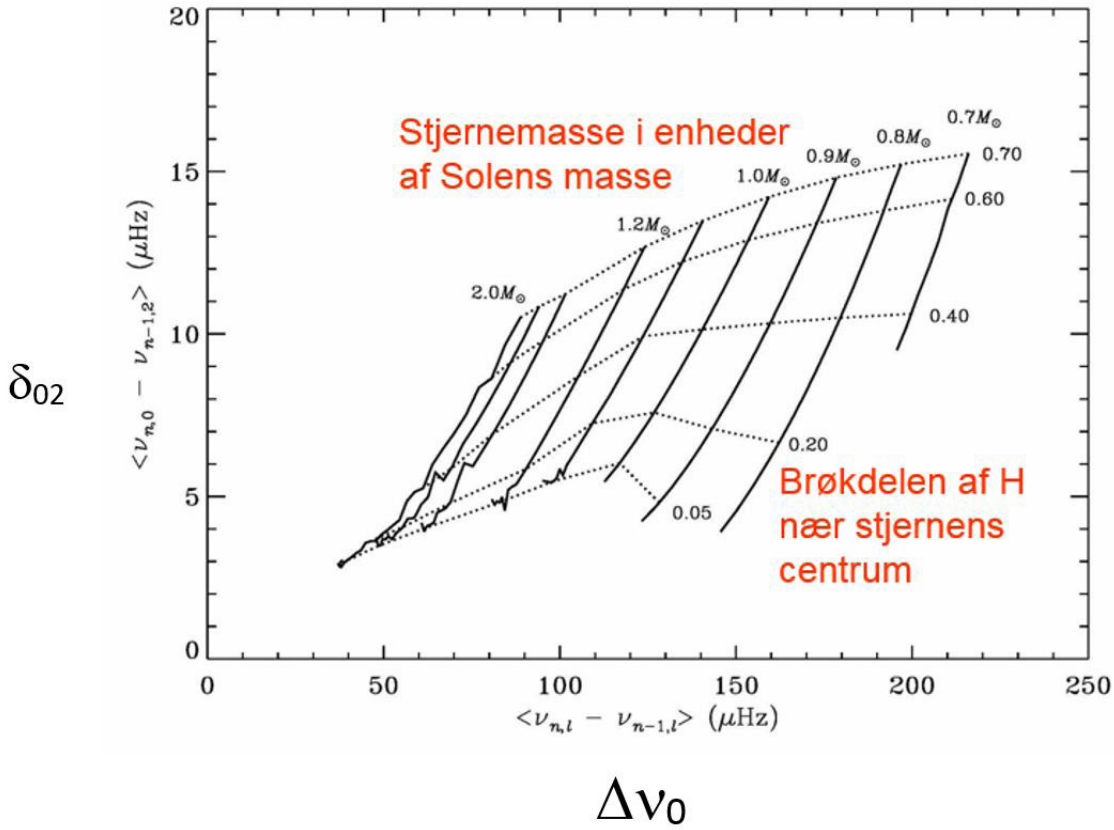
Masse (M) og radius (R) regnes i enheder af Solens værdier.

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					

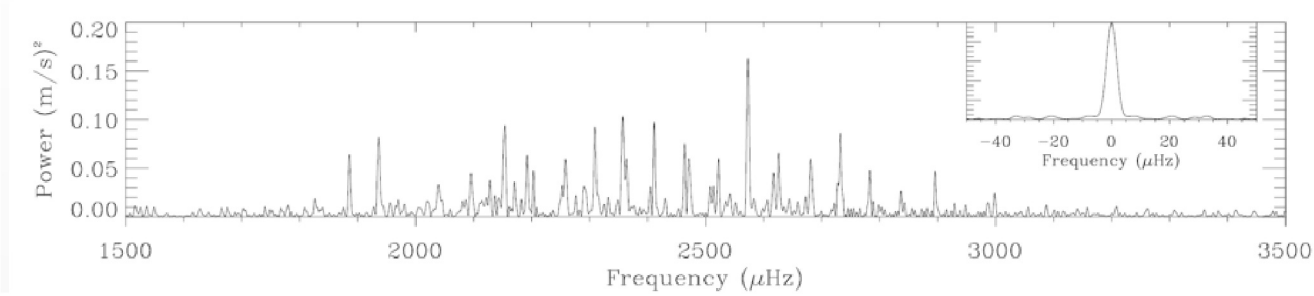
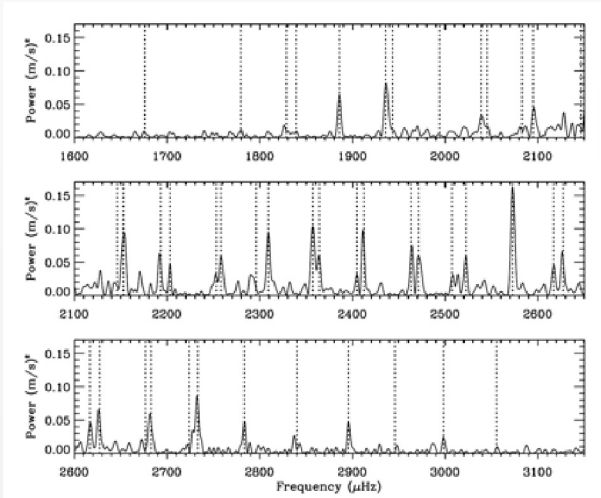


TABLE 1

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):

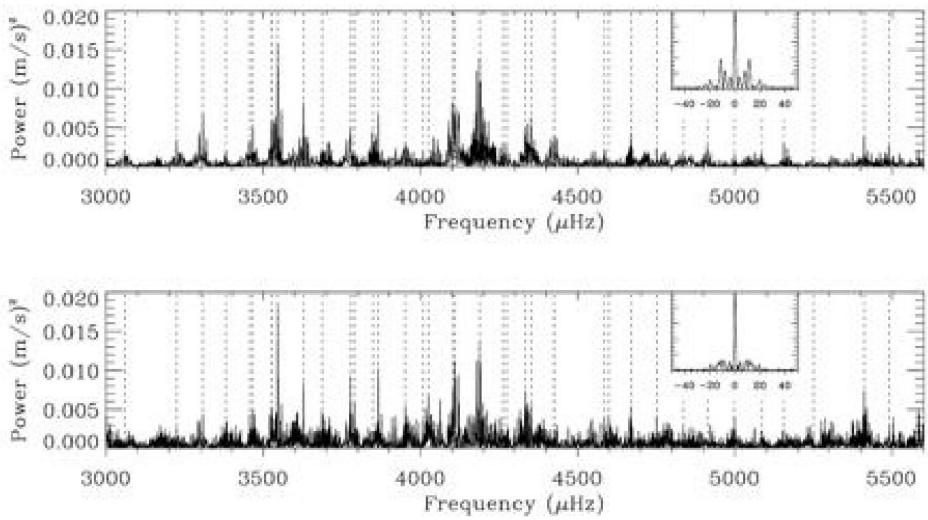


Fig. 4.—Power spectrum of α Cen B from the combined UVES and UCLES data. *Top*: Noise-optimized power spectrum, in which weights were based on the measurement uncertainties, which minimizes the noise. *Middle*: Same as top, but expanded to show only the central region. *Bottom*: Sidelobe-optimized power 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)

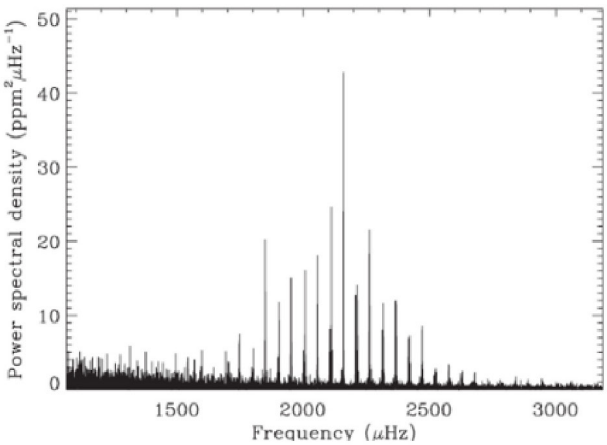
n	$l = 0$	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$
17.....	...	3059.7 ± 0.9	...	...
18.....	...	3224.2 ± 0.9	...	...
19.....	3306.6 ± 0.9	3381.9 ± 1.1	3456.6 ± 1.1	3526.3 ± 1.1
20.....	3466.9 ± 1.0	3544.9 ± 0.8	...	3685.6 ± 1.1
21.....	3628.2 ± 1.0	...	3778.8 ± 1.1	3849.3 ± 1.3
22.....	3789.2 ± 1.2	3865.9 ± 1.1	...	4008.5 ± 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	...	...

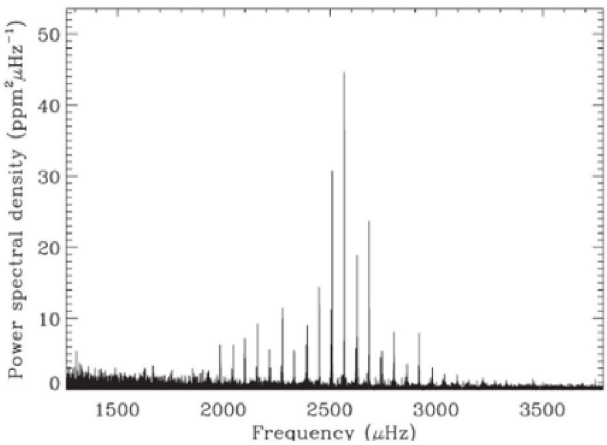
Hans Kjeldsen, Tim Bedding m.fl., The Astrophysical Journal 635, 1281 (2005)

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).

Litteraturliste

Hans Kjeldsen og Tim Bedding, Kvant, Årgang 14, nr. 3 (2003):
Observationer af stjerneskælv: Seismiske undersøgelser af stjernernes indre

Hjemmesider

Se links på www.origins2017.com

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