

Sejsmologia gwiazd

Andrzej Pigulski

Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

XXXIV Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, Kraków, 16.09.2009

Asteroseismologia: jak to działa ?

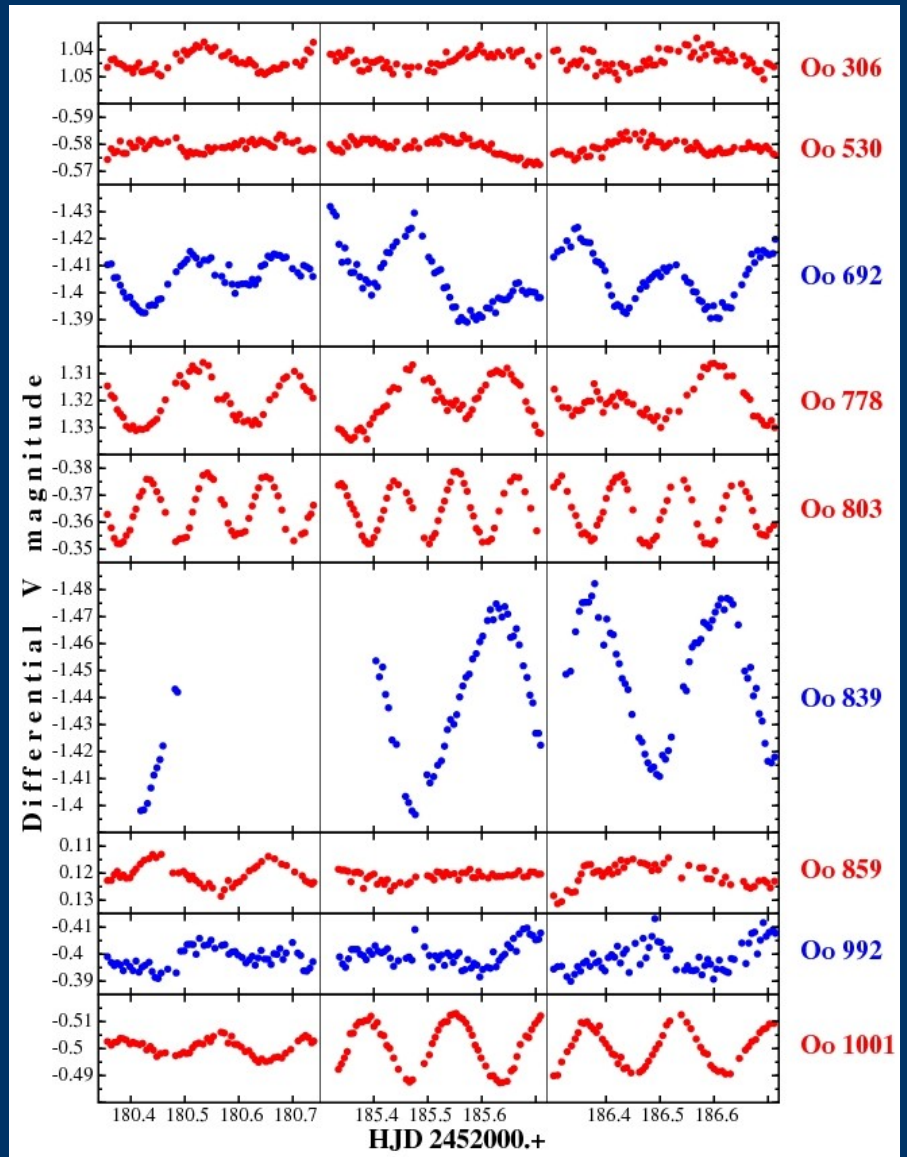
Z obserwacji mamy
(fotometria i spektroskopia)
dla modów pulsacji:

- częstotliwości,
- amplitudy,
- fazy

profile linii
widmowych

metody identyfikacji
modów

identyfikacja modów:
liczby kwantowe
 ℓ, m, n



Asteroseismologia: jak to działa ?

Z obserwacji mamy
(fotometria i spektroskopia)
dla modów pulsacji:

- częstotliwości,
- amplitudy,
- fazy

profile linii
widmowych

metody identyfikacji
modów

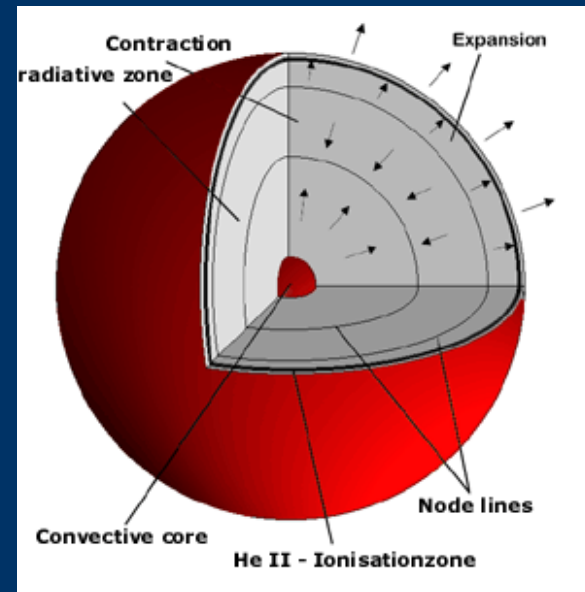
identyfikacja modów:
liczby kwantowe
 ℓ, m, n

Identyfikacja modów

ℓ – stopień (harmoniki sferycznej)

m – rząd

n – rząd radialny



Mody radialne ($\ell = m = 0$)

podstawowy ($n = 1$),
overtony ($n = 2, 3, 4, \dots$)

Asteroseismologia: jak to działa ?

Z obserwacji mamy
(fotometria i spektroskopia)
dla modów pulsacji:

- częstotliwości,
- amplitudy,
- fazy

profile linii
widmowych

metody identyfikacji
modów

identyfikacja modów:
liczby kwantowe
 ℓ, m, n

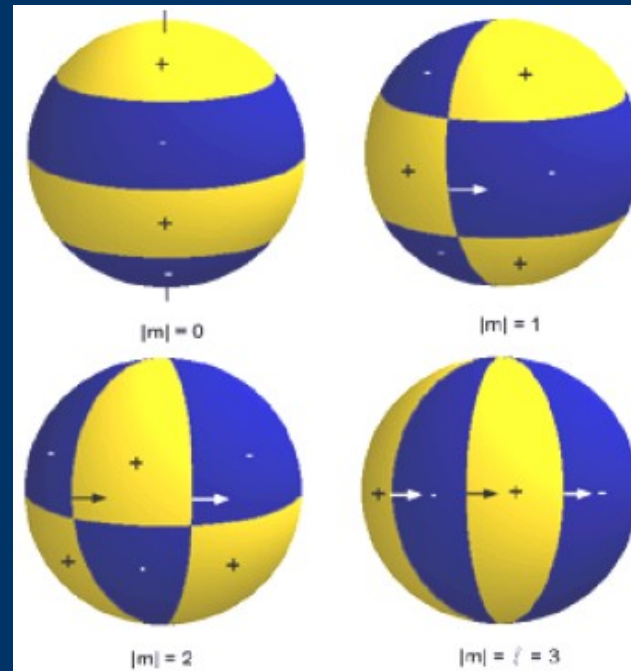
Identyfikacja modów

ℓ – stopień (harmoniki sferycznej)

m – rząd

n – rząd radialny

Mody nieradialne: $\ell > 0$



$\ell = 3$

$-\ell \leq m \leq +\ell$

$m = 0$: mody strefowe
 $|m| = \ell$: mody sektorálne
 $0 < |m| < \ell$: mody tesseralne

Asteroseismologia: jak to działa ?

Z obserwacji mamy
(fotometria i spektroskopia)
dla modów pulsacji:

- częstotliwości,
- amplitudy,
- fazy

profile linii
widmowych

metody identyfikacji
modów

identyfikacja modów:
liczby kwantowe
 ℓ, m, n

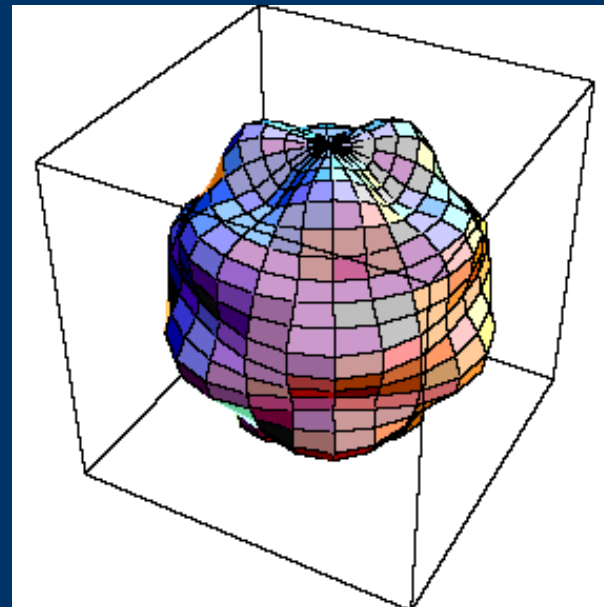
Identyfikacja modów

ℓ – stopień (harmoniki sferycznej)

m – rząd

n – rząd radialny

Mody nieradialne: $\ell > 0$



$\ell = 8$
 $m = 3$

$m > 0$: mody współbieżne, $f > f_{m=0}$

$m < 0$: mody przeciwbieżne, zwykle $f < f_{m=0}$

$$f_{n\ell m} = f_{n\ell} + C_{n\ell} m \Omega$$

Asteroseismologia: jak to działa ?

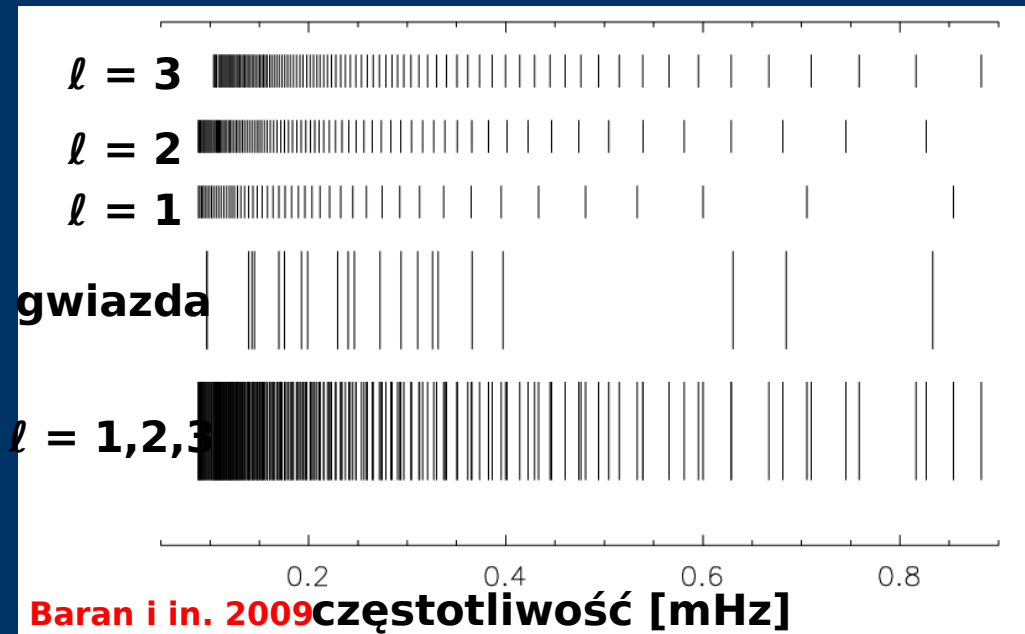
Z obserwacji mamy
(fotometria i spektroskopia)
dla modów pulsacji:

- częstotliwości,
- amplitudy,
- fazy

profile linii
widmowych

metody identyfikacji
modów

identyfikacja modów:
liczby kwantowe
 ℓ, m, n



Param. globalne:
 M, L, R, T_{eff}

modele ewolucyjne

częstotliwości teoretyczne

dopasowanie
częstotliwości
i
sprawdzanie
stabilności

Asteroseismologia: jak to działa ?

ASTEROSEISMOLOGIA

Z obserwacji mamy
(fotometria i spektroskopia)
dla modów pulsacji

- częstotliwości,
- amplitudy,
- fazy

profile linii
widmowych

metody identyfikacji
modów

identyfikacja modów:
liczby kwantowe
 ℓ, m, n

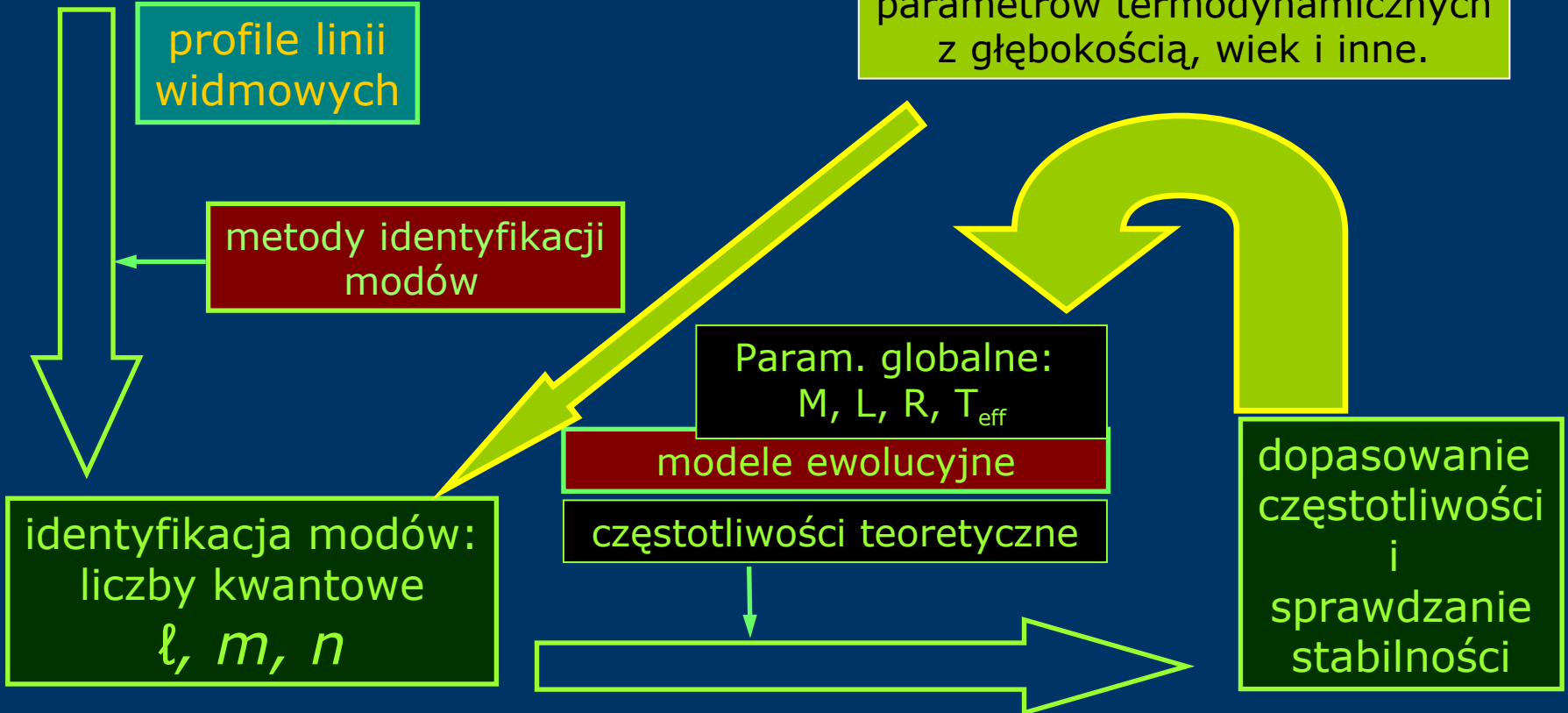
ograniczenia na konwekcję,
rotację we wnętrzu, stratyfikację
pierwiastków, przestrzeliwanie
konwektywne z jądra, rozkład
parametrów termodynamicznych
z głębokością, wiek i inne.

Param. globalne:
 M, L, R, T_{eff}

modele ewolucyjne

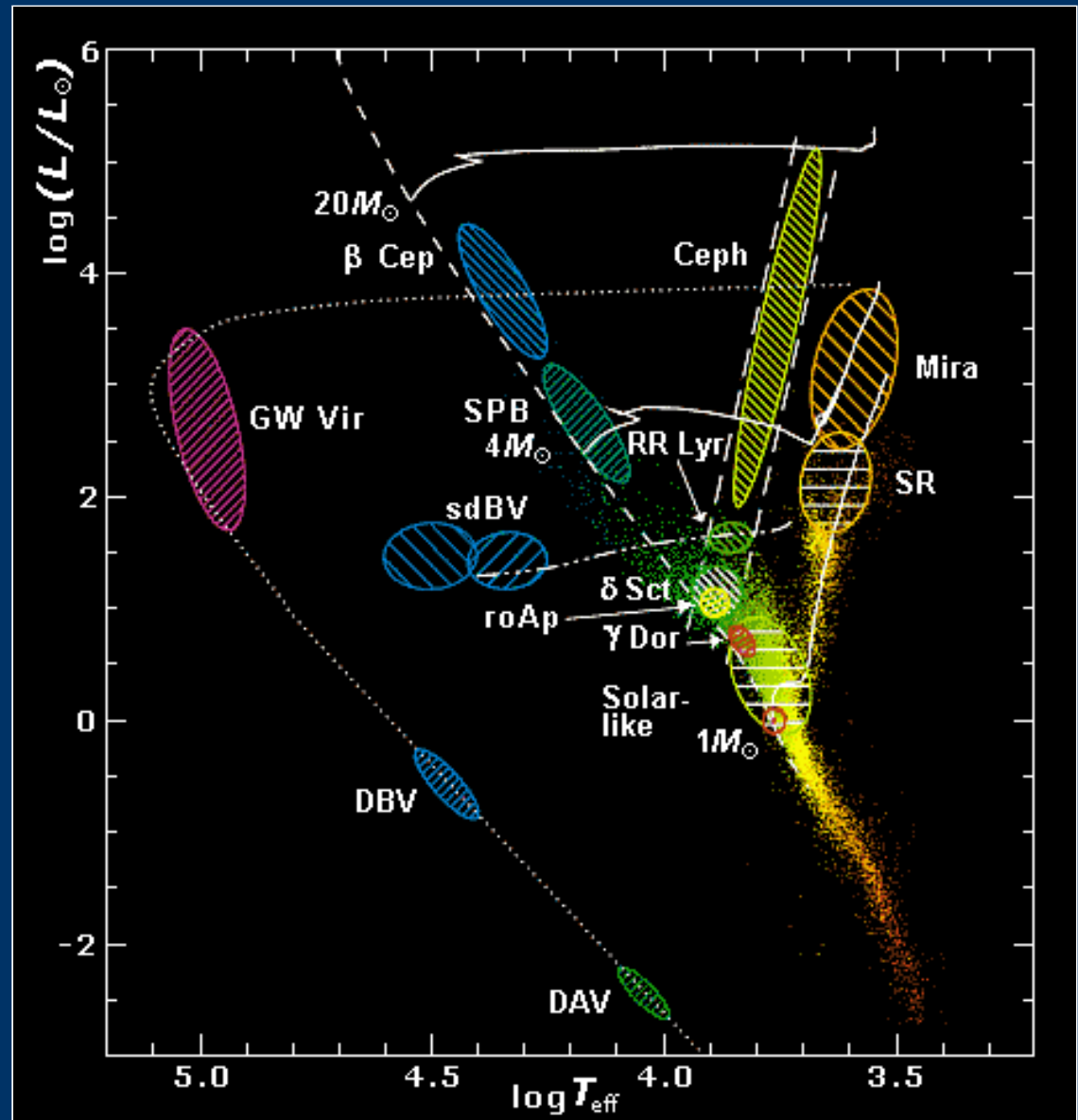
częstotliwości teoretyczne

dopasowanie
częstotliwości
i
sprawdzanie
stabilności



Asteroseismologia: po co ?

Testowanie fizyki
leżącej u podstaw
teorii ewolucji
i teorii pulsacji

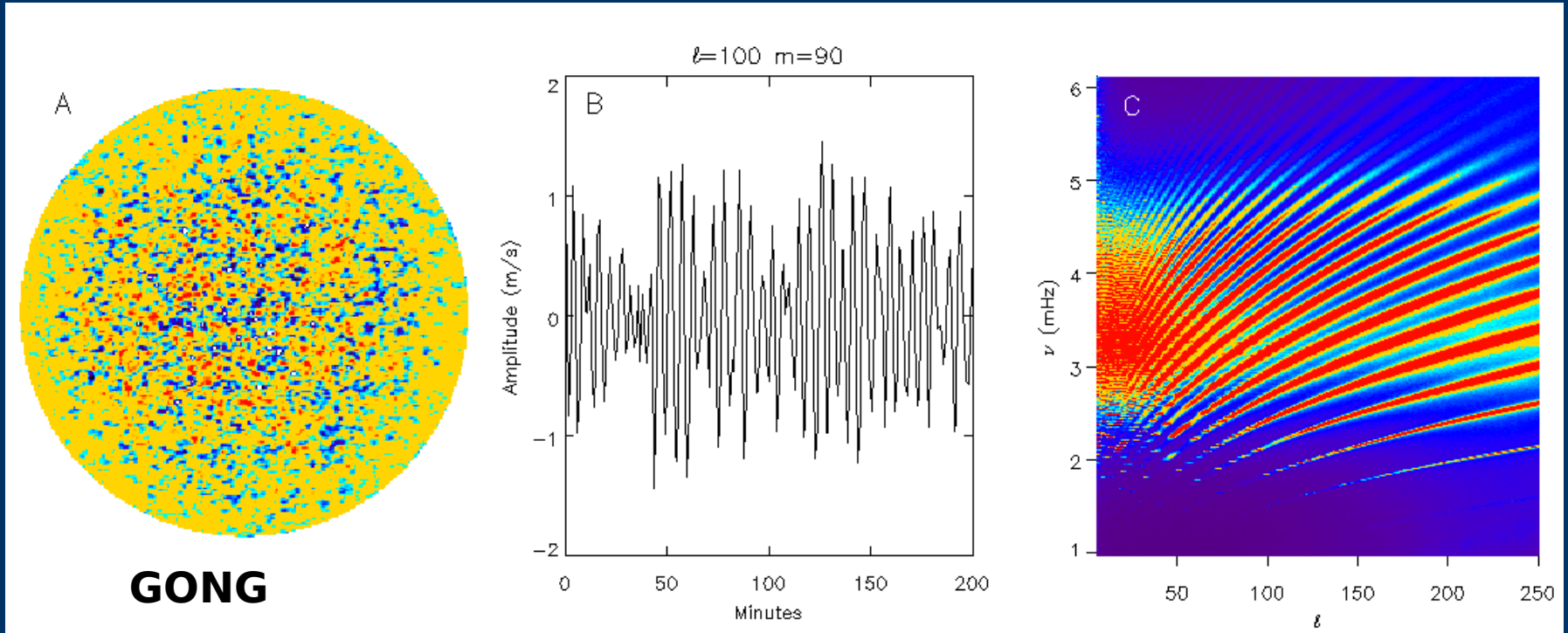


Asteroseismologia: jakie obiekty ?

Im więcej (zidentyfikowanych) modów mamy,
tym więcej o wnętrzach gwiazd możemy się
dowiedzieć.

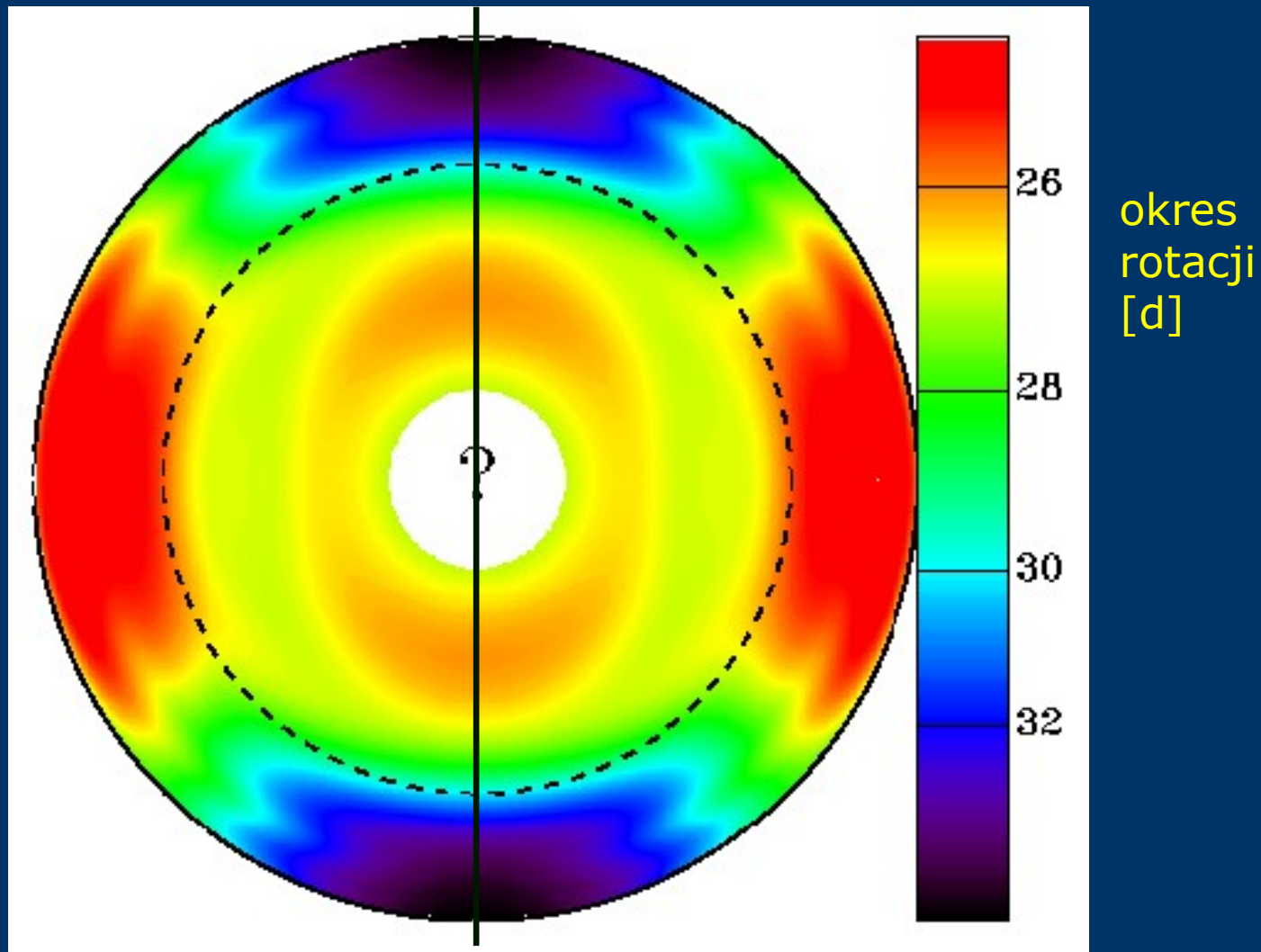
Typ	Przykłady	Liczba modów
Słońce		$\sim 10^7$
białe karły	GW Vir	125
gorące podkarły	Bal09, V338 Ser	50-70
δ Scuti	FG Vir	~ 80
pulsacje typu sł.	α Cen A i B	~ 40
β Cephei	12 Lac, ν Eri	~ 10
SPB, γ Dor	-	kilka
cefeidy	-	3,2+
RR Lyrae	-	2+

Przykład: heliosejsmologia



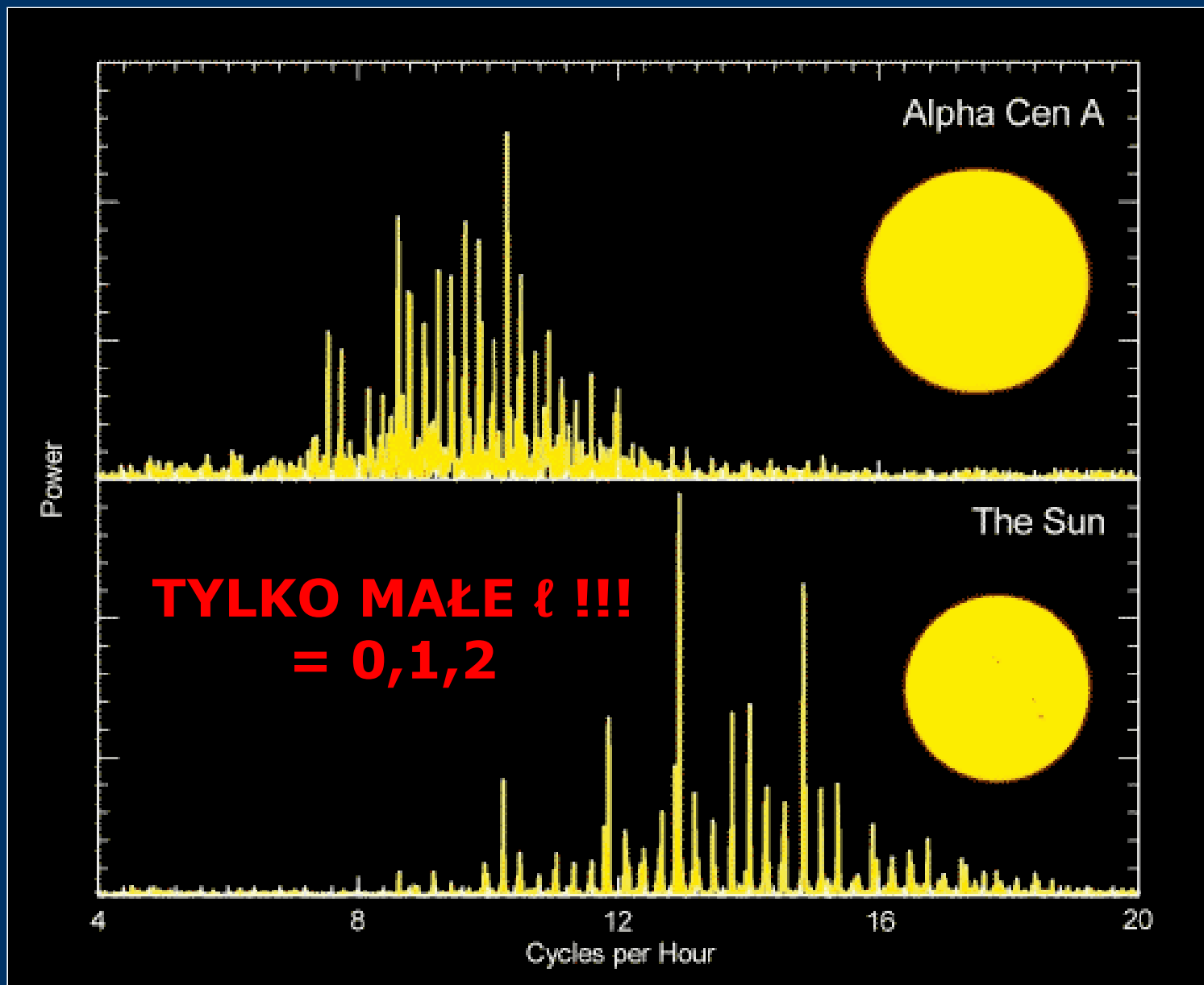
Wykres ℓ - częstotliwość
dla Słońca

Przykład: heliosejsmologia

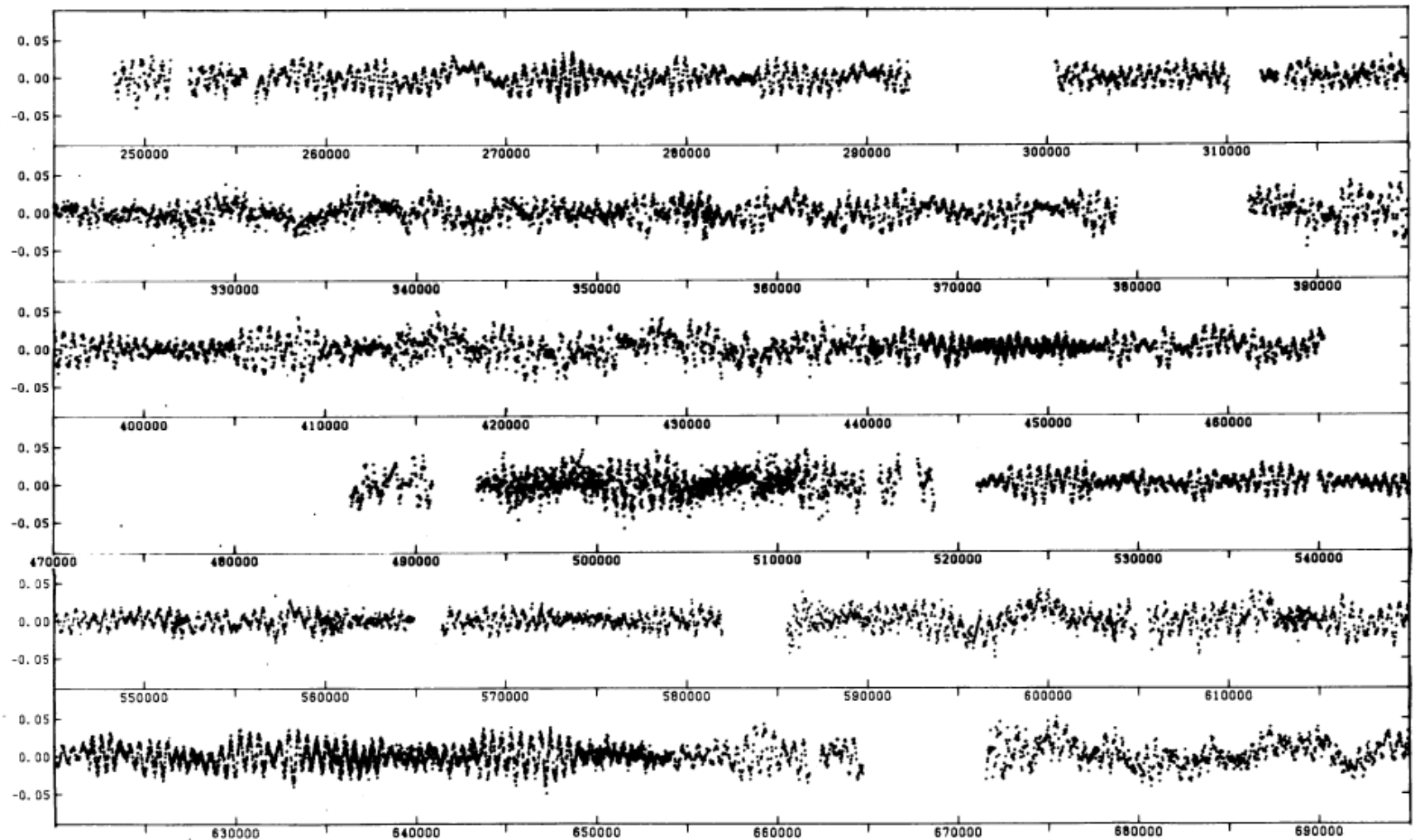


Wykres rozkładu okresu rotacji wewnątrz Słońca

Oscylacje typu Słońca



Przykład zastosowania asterosejsmologii: GW Vir



Winget i in. (1991)

Przykład zastosowania asterosejsmologii: GW Vir

Masa = $0,586 \pm 0,003 M_{\odot}$

Nachylenie osi rotacji $i \approx 60^{\circ}$

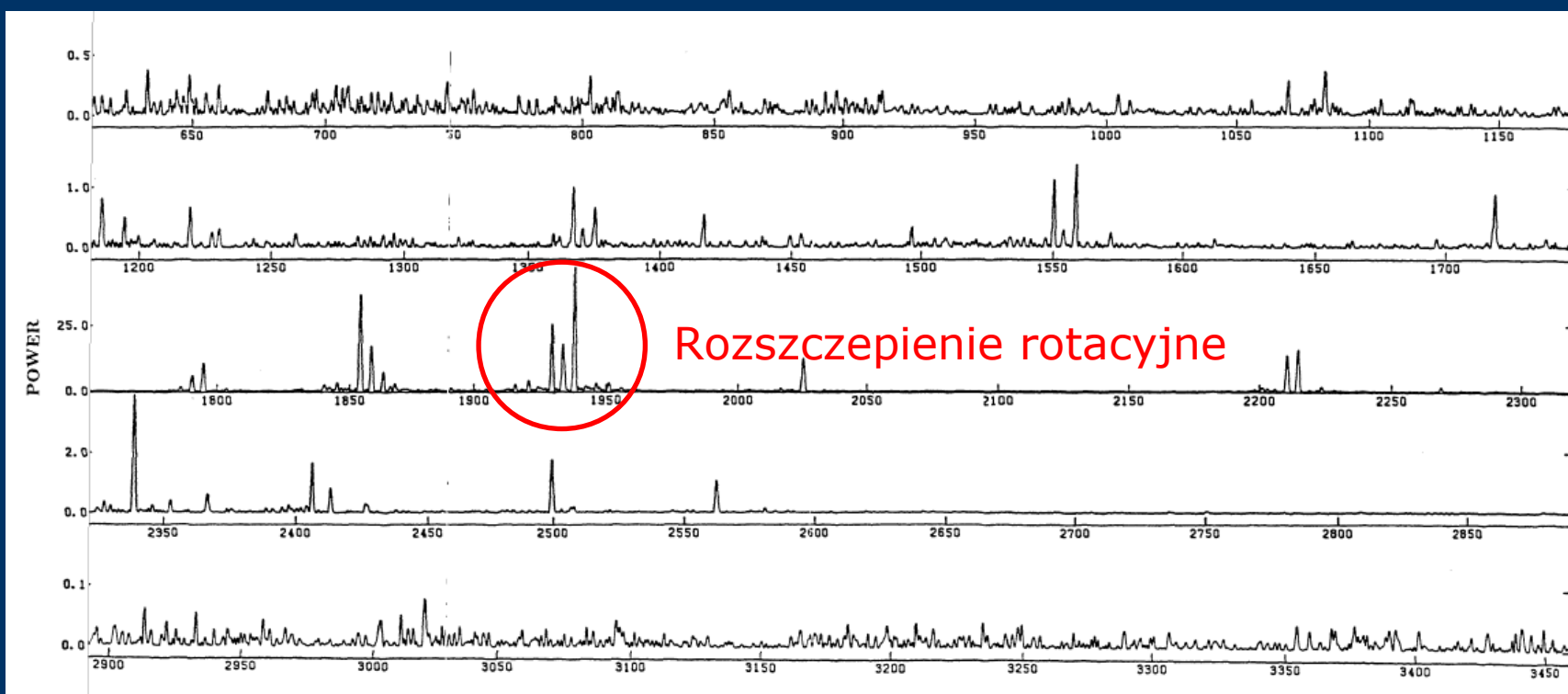
$P_{\text{rot}} = 1,38 \pm 0,01 \text{ d}$

$B \lesssim 6000 \text{ G}$

Stratyfikacja pierwiastków w zewn. w-wach

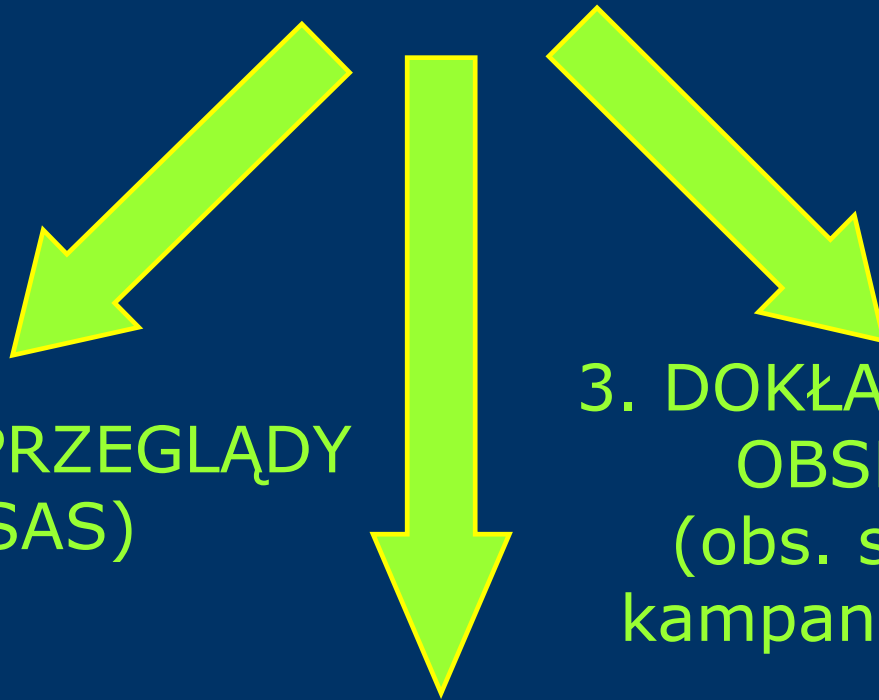
Winget i in. (1991)

Ok. 150 modów



Poszukiwanie obiektów dobrych do asteroseismologii

Potrzebujemy
dużo (zidentyfikowanych) modów

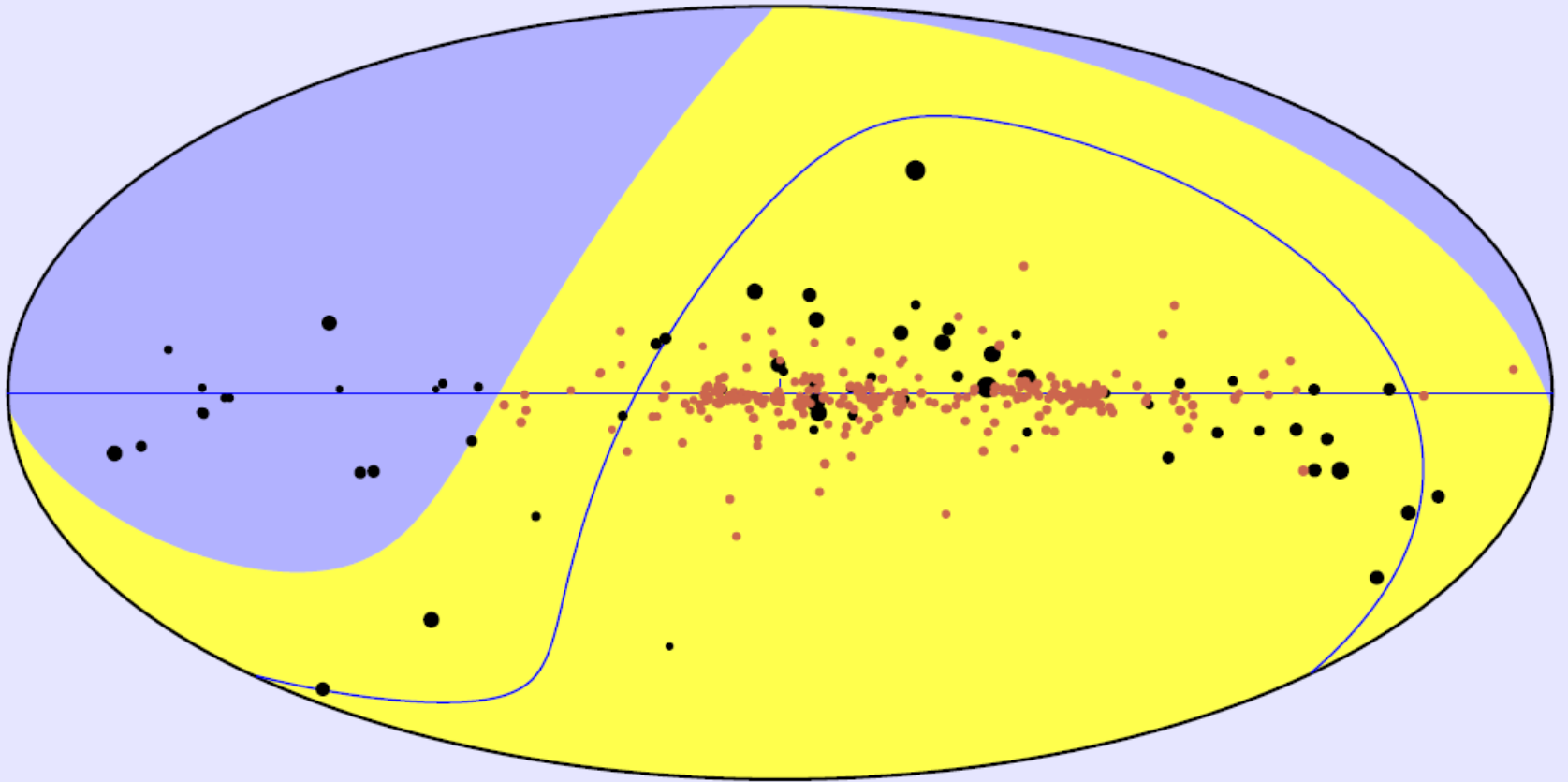


1. MASOWE PRZEGLĄDY
(np. ASAS)

3. DOKŁADNE / LICZNE
OBSERWACJE
(obs. satelitarne,
kampanie naziemne)

2. OBSERWACJE GROMAD
(wiele obiektów o wspólnych cechach)

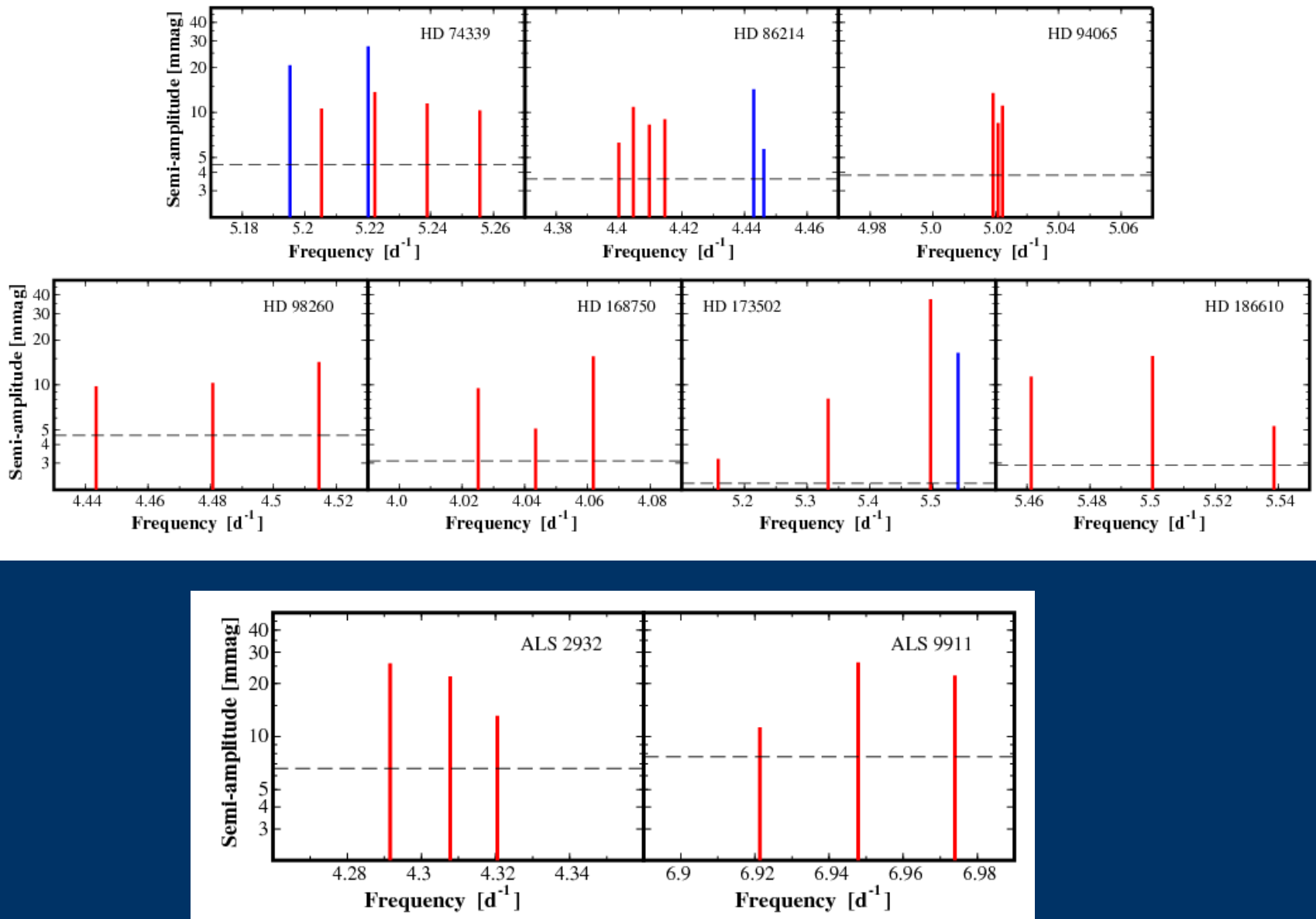
Ad. 1: Gwiazdy typu β Cephei z ASAS-a: położenie



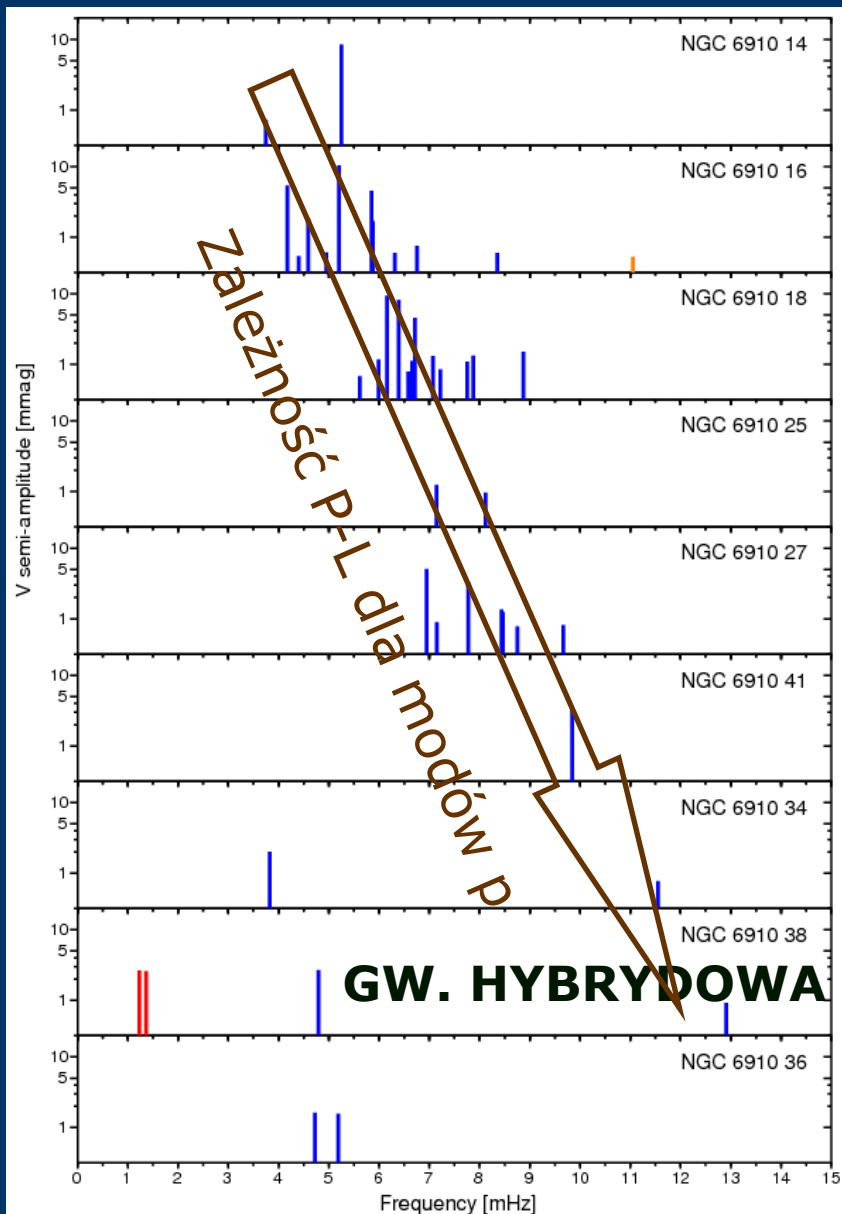
Znane (do niedawna) gwiazdy typu β Cephei: **93**

Gwiazdy typu β Cephei odkryte na podstawie obs. ASAS-a: **295**
(Pigulski i Pojmański 2008, 2009)

Gwiazdy z multipletami (rozszczipienie rotacyjne)

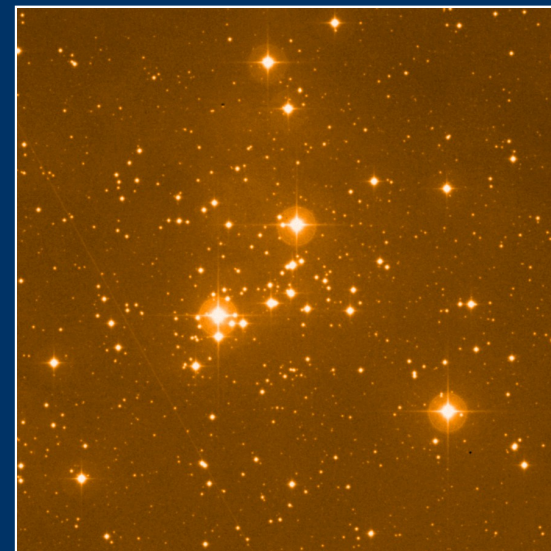


Ad. 2: Gromada otwarta NGC 6910:



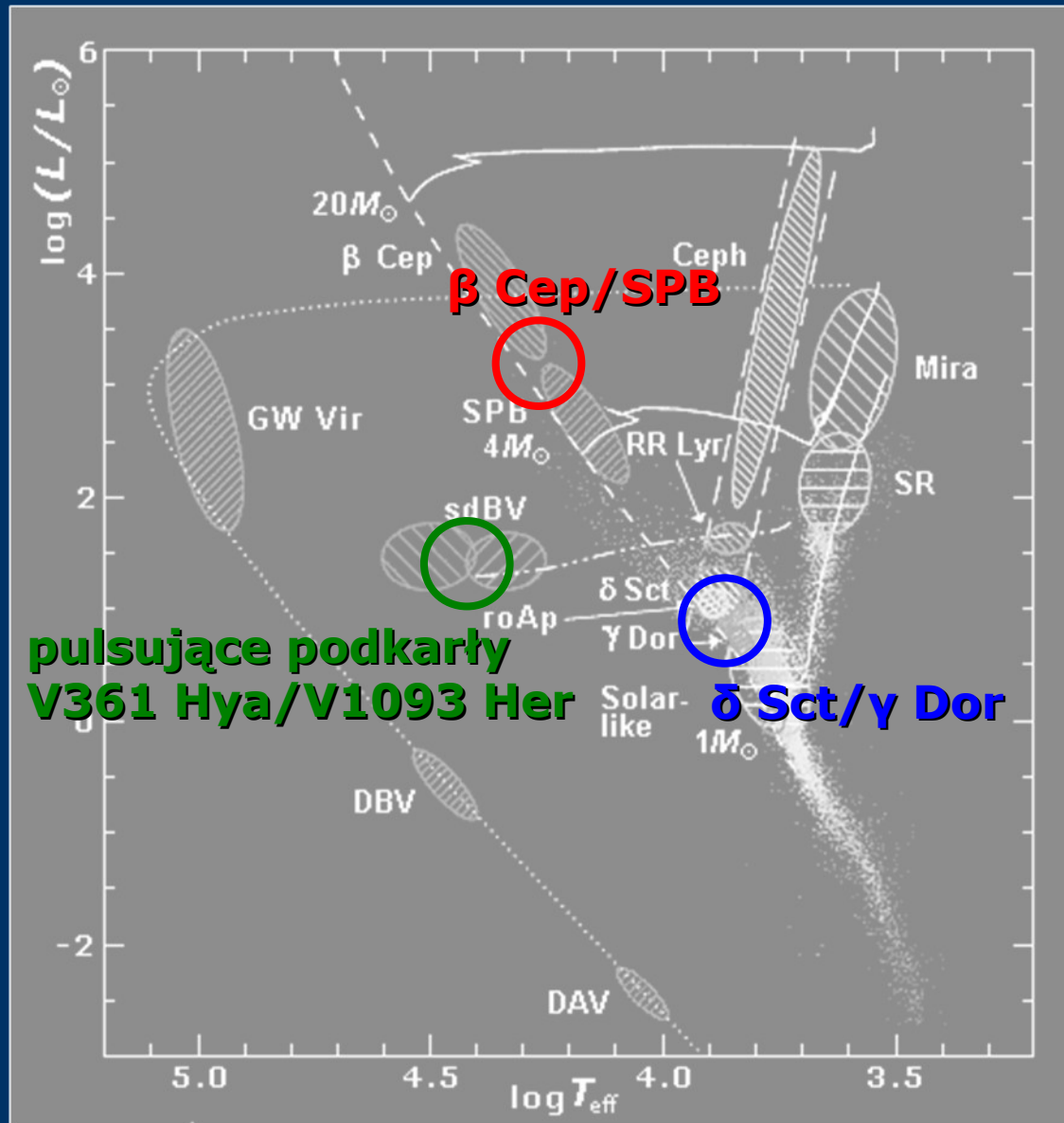
JAŚNIEJSZA

SŁABSZA

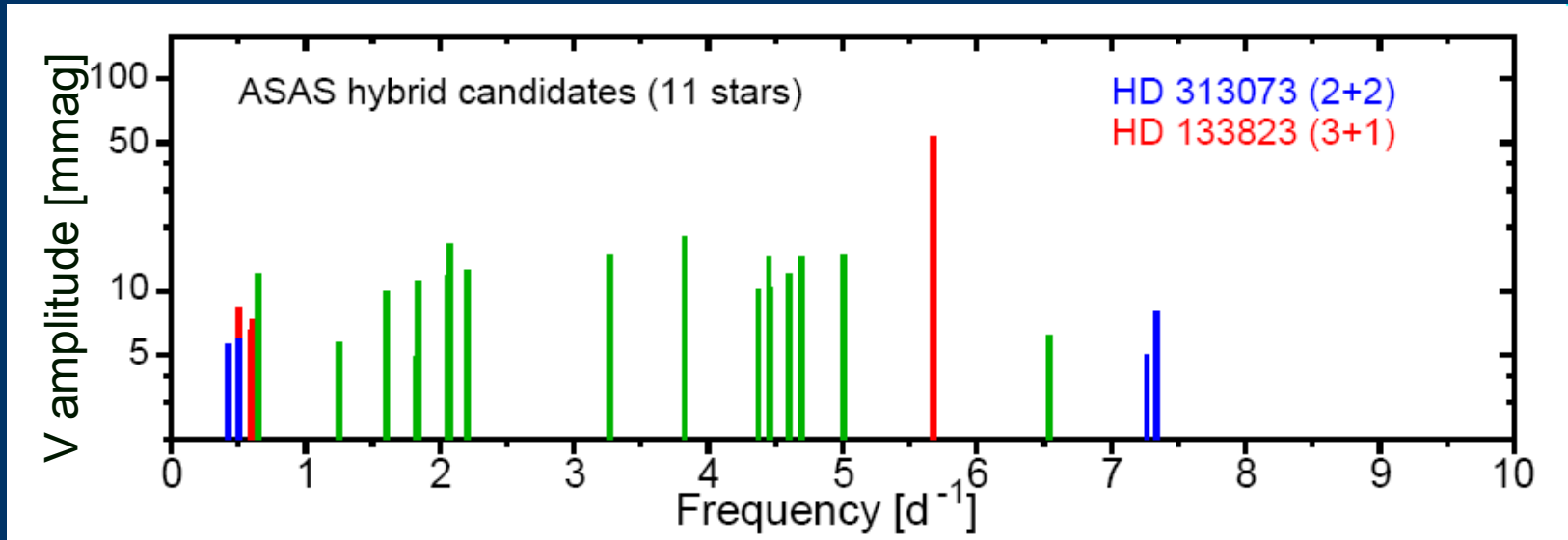
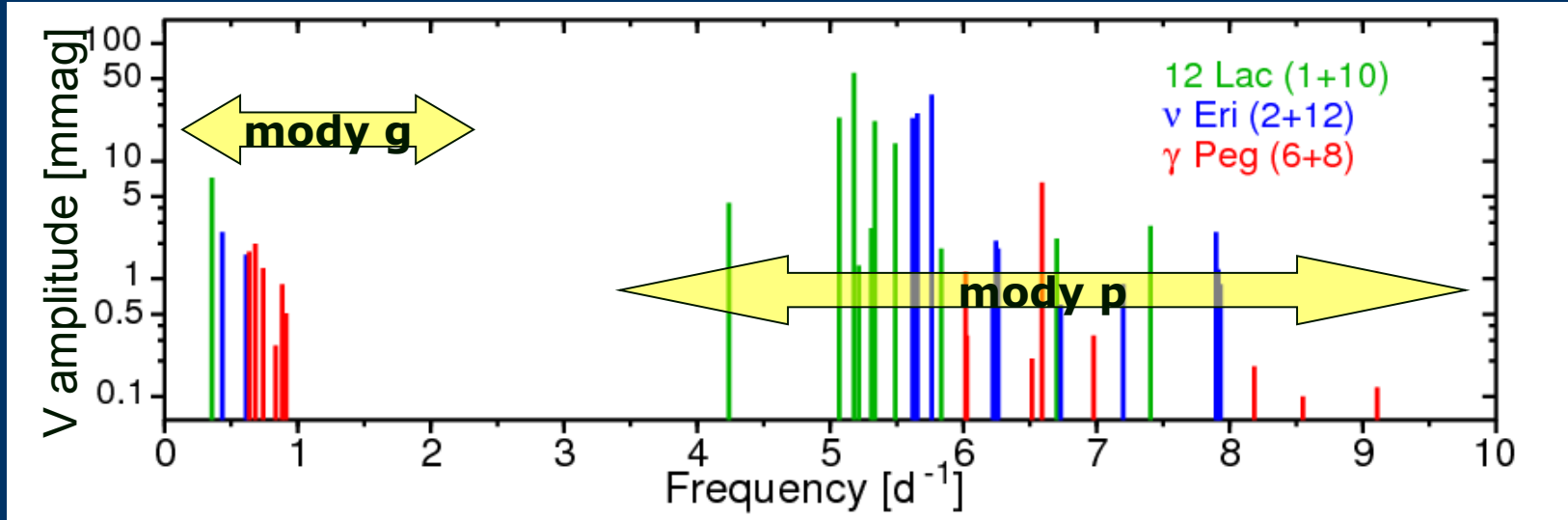


NGC 6910

Gwiazdy hybrydowe



Hybrydowe gwiazdy SPB / β Cephei



Ad.3: Obserwacje satelitarne

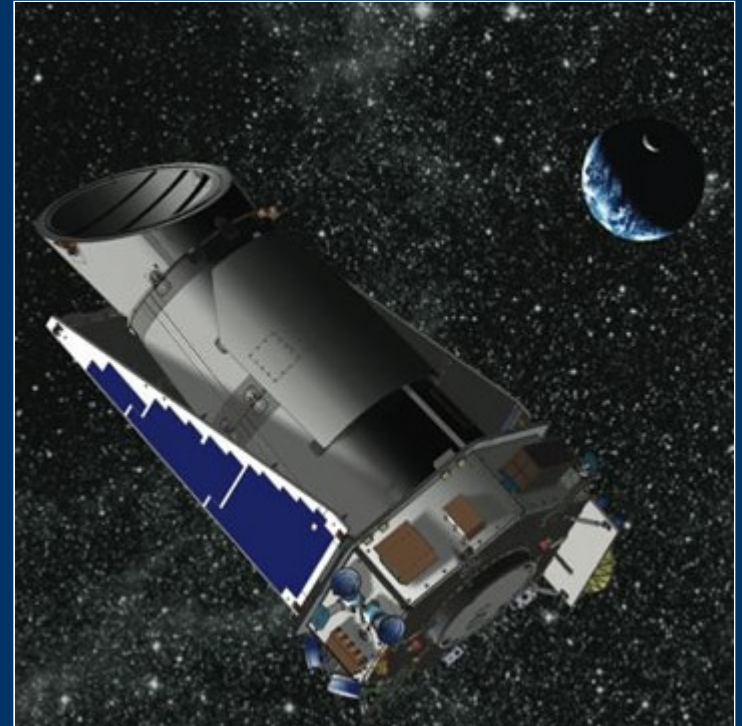
MOST



CoRoT

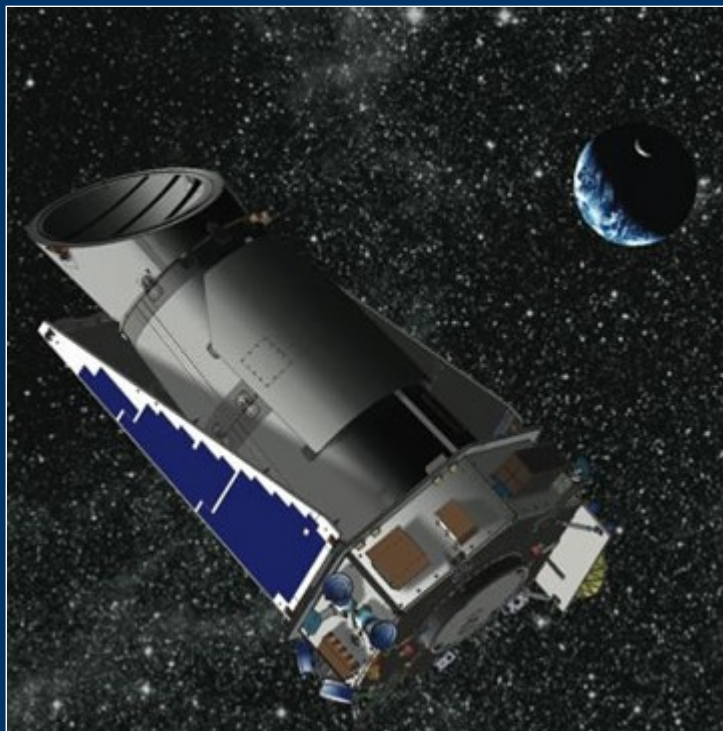


Kepler



- obserwacje ciągłe,
- obserwacje dokładne,
- mały szum w niskich częstotliwościach.

Kepler



Teleskop: 95/140 cm (Schmidt)
Czas trwania misji: 3,5 roku
Pole widzenia: 105 st. kwadratowych
Zakres jasności: 9 – 16 mag
42 CCD (2200 x 1024) = 95 Mpikseli
Obserwacje: od kwietnia 2009

CELE (PLANETARNE) MISJI:

1. Określenie częstości występowania planet typu Ziemi i planet olbrzymów oraz ich położenia w stosunku do macierzystych gwiazd.
2. Określenie rozmiarów i kształtów ich orbit.
3. Określenie liczby planet występujących w układach podwójnych.
4. Określenie rozmiarów, mas, gęstości i albedo planet.
5. Zidentyfikowanie innych obiektów w odkrytych układach planetarnych za pomocą innych technik.
6. Charakterystyka gwiazd mających układy planetarne.

ASTEROSEISMOLOGIA:

Potrzebna głównie do wyznaczenia promieni gwiazd z planetami (oscylacje typu słonecznego).

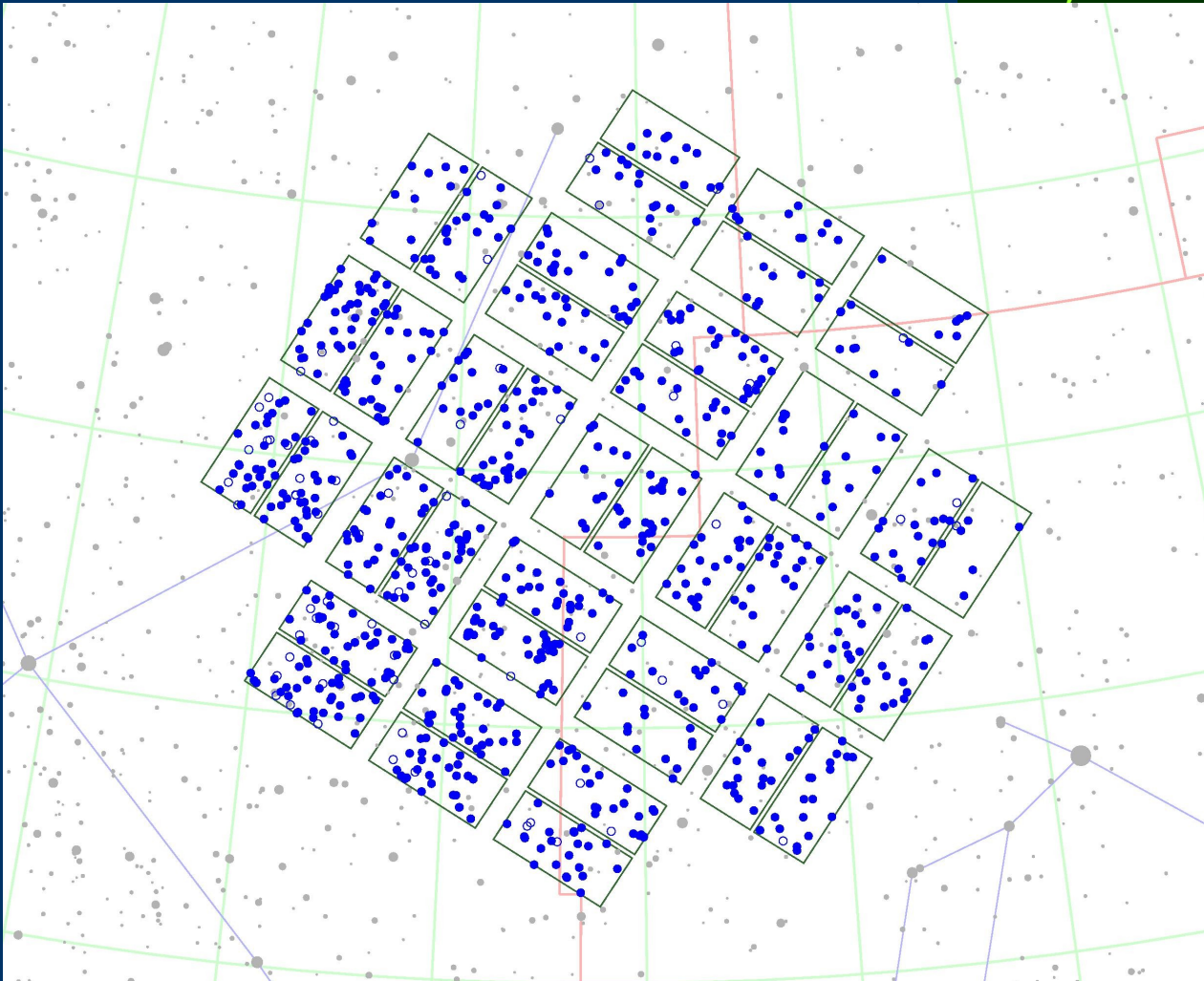
KEPLER: pole obserwacyjne

Fotometria:
170,000 -> 100,000 gwiazd

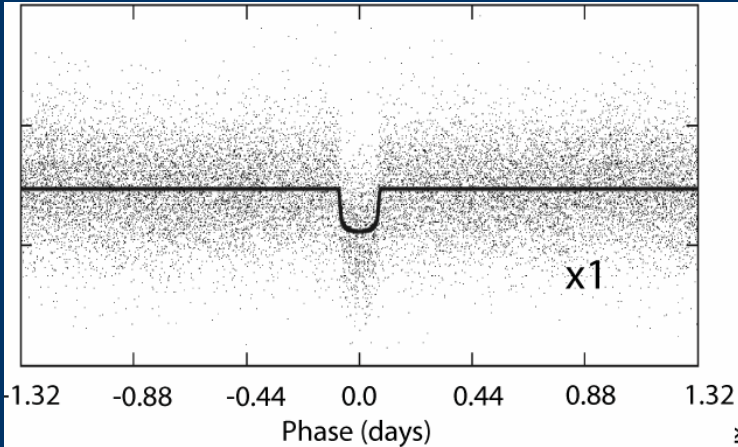
gwiazd z czasem
nagrania = 30 min,
czasem 1 min

Katalog
z ASAS-North

(Pigulski, Pojmański,
Pilecki, Szczygieł 2009)

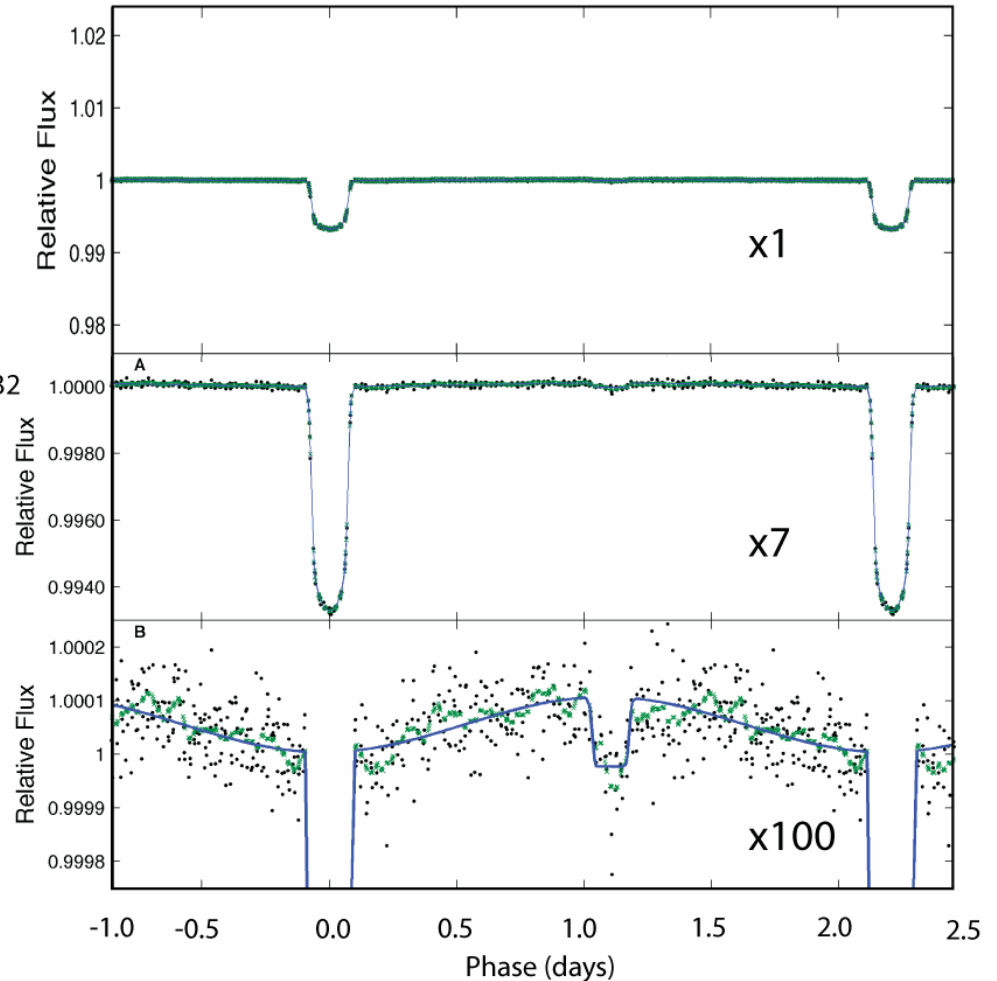


KEPLER: pierwsze wyniki



16,620 HATNet data points (57.7 days of data)

HAT-P-7b data from the ground
A. Pal et al., 2008



Kepler Commissioning data (10 days)
W. Borucki et al., 2009