

PULSACJE GWIAZDOWE

semestr zimowy 2019/2020

Jadwiga Daszyńska-Daszkiewicz

IDENTYFIKACJA MODÓW PULSACJI

$$\nu = \nu(n, \ell, m)$$

n – kształt funkcji własnych

(ℓ, m) – geometria modu

**Słońce, gwiazdy wykazujące oscylacje typu słonecznego,
niektóre gwiazdy SPB, sdB, białe karły**

Asymptotyczne relacje dyspersyjne (wykład 6)

**IDENTYFIKACJA MODÓW PULSACJI
Z FOTOMETRII WIELOBARWNEJ
I PRĘDKOŚCI RADIALNEJ**

TEST BAADEGO-WESSELINKA

Baade (1926) zaproponował metodę weryfikacji hipotezy pulsacji radialnych

Wesselink (1946) sformułował przedstawił ją w bardziej praktycznej postaci

Zespolona amplituda zmian strumienia monochromatycznego

$$A_\lambda(i) = \varepsilon Y_\ell^m(i, 0) b_\ell^\lambda (D_{1,\ell}^\lambda + D_{2,\ell} + D_{3,\ell}^\lambda)$$

$$D_{1,\ell}^\lambda = \frac{1}{4} f \frac{\partial \log(\mathcal{F}_\lambda |b_\ell^\lambda|)}{\partial \log T_{\text{eff}}}$$

$$D_{2,\ell} = (2 + \ell)(1 - \ell)$$

$$D_{3,\ell}^\lambda = - \left(2 + \frac{3\omega^2}{4\pi G \langle \rho \rangle} \right) \frac{\partial \log(\mathcal{F}_\lambda |b_\ell^\lambda|)}{\partial \log g_{\text{eff}}^0}$$

Zespolona amplituda zmian prędkości radialnej

$$A_{V_{\text{rad}}}(i) = -i\varepsilon\omega R Y_\ell^m(i, 0) \left(u_\ell + \frac{GM}{R^3\omega^2} v_\ell \right)$$

Wartość amplitudy i fazy

$$|A| = (A_R^2 + A_I^2)^{1/2}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} (A_I/A_R)$$

Modele atmosfer:

- ✿ pochodne strumienia po T_{eff} i g
- ✿ pociemnienie brzegowe: $h_{\lambda}(T_{\text{eff}}, g)$

Obliczenia pulsacyjne

- ✿ liniowa teoria nieadiabatyczna: ω , parameter f

f – the stosunek zmian strumienia promieniowania do przesunięcia radialnego na poziomie fotosfery

$$\frac{\delta \mathcal{F}_{\text{bol}}}{\mathcal{F}_{\text{bol}}} = \text{Re}\{\epsilon f Y_{\ell}^m e^{-i\omega t}\},$$

Dwa podejścia do identyfikacji modów z fotometrii

- * porównujemy teoretyczne i obserwowane stosunki amplitud i różnice faz (f teoretyczne)
- * porównujemy teoretyczne i obserwowane amplitudy i fazy (f jest wyznaczane z obserwacji razem z ℓ)

Oba podejścia wymagają modeli atmosfer

Ze wzorów widać, że stosunki amplitud i różnice faz w wybranych pasmach fotometrycznych są niezależne od kąta inklinacji, i , oraz azymutalnego rzędu, m .

Tak samo jest dla ilorazu amplitudy prędkości radialnej do amplitudy jasności.

Własność ta jest prawdziwa tylko w przypadku braku efektów rotacji !

Balona i Stobi 1979, MNRAS 189,649

Stamford & Watson 1981, Ap&SS 77, 131

zapropowali metodę identyfikacji stopnia modu ℓ na podstawie różnic fazowych i stosunków amplitud otrzymanych z fotometrii wielobarwnej oraz krzywej prędkości radialnej.

Watson w 1988 (Ap&SS 140, 255) pokazał, że mody danego stopnia ℓ zajmują na diagramach A_x/A_y vs. $\varphi_x - \varphi_y$ określone obszary.

Wyniki przedstawił dla gwiazd typu:

β Cep, SPB, δ Sct, roAp, cefeid klasycznych oraz ZZ Cet.

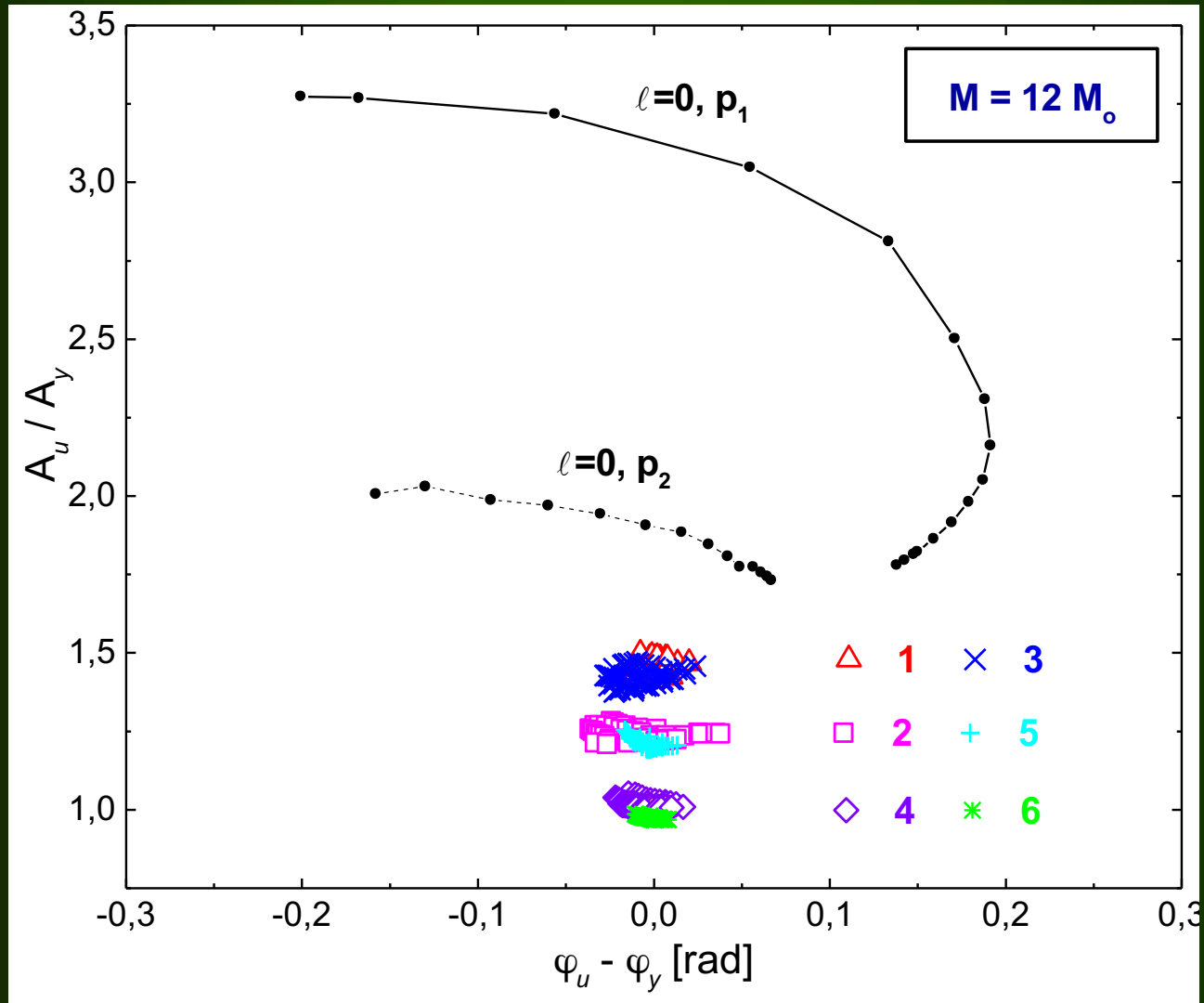
Cugier, Dziembowski i Pamyatnykh (1994, A&A 291,143) użyli po raz pierwszy teorii nieadiabatycznej dla gwiazd β Cep. Wówczas separacja modów o różnych ℓ jest znacznie lepsza.

Rodzaje diagramów diagnostycznych:

- A_x/A_y vs $\varphi_x - \varphi_y$
- A_{Vrad}/A_y vs $\varphi_{Vrad} - \varphi_y$
 - A_x/A_y vs x
 - A_{Vrad}/A_y vs x
- A_{Vrad}/A_x vs A_{Vrad}/A_y

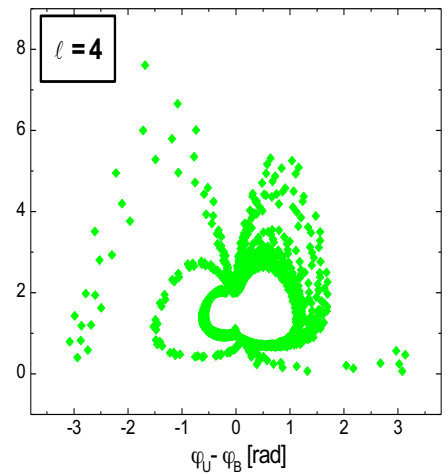
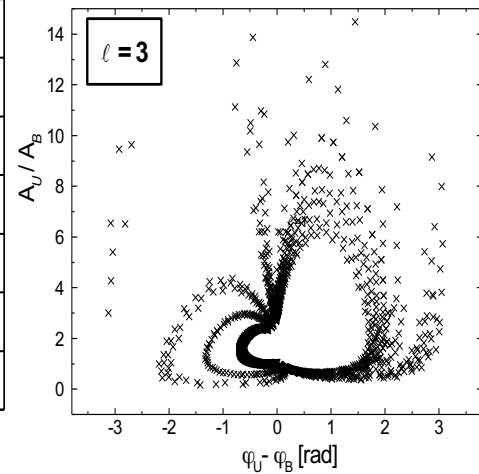
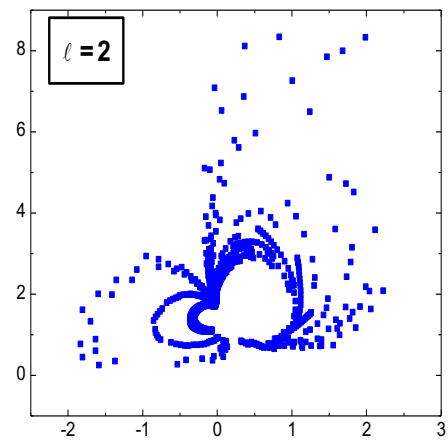
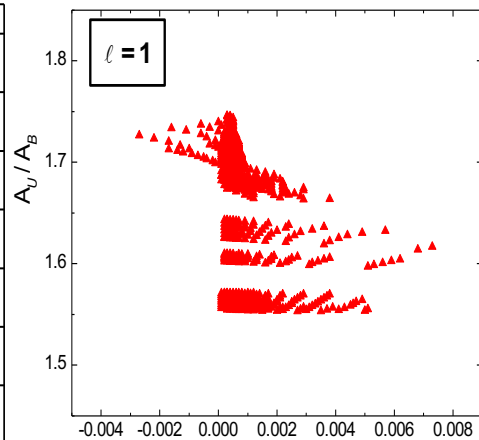
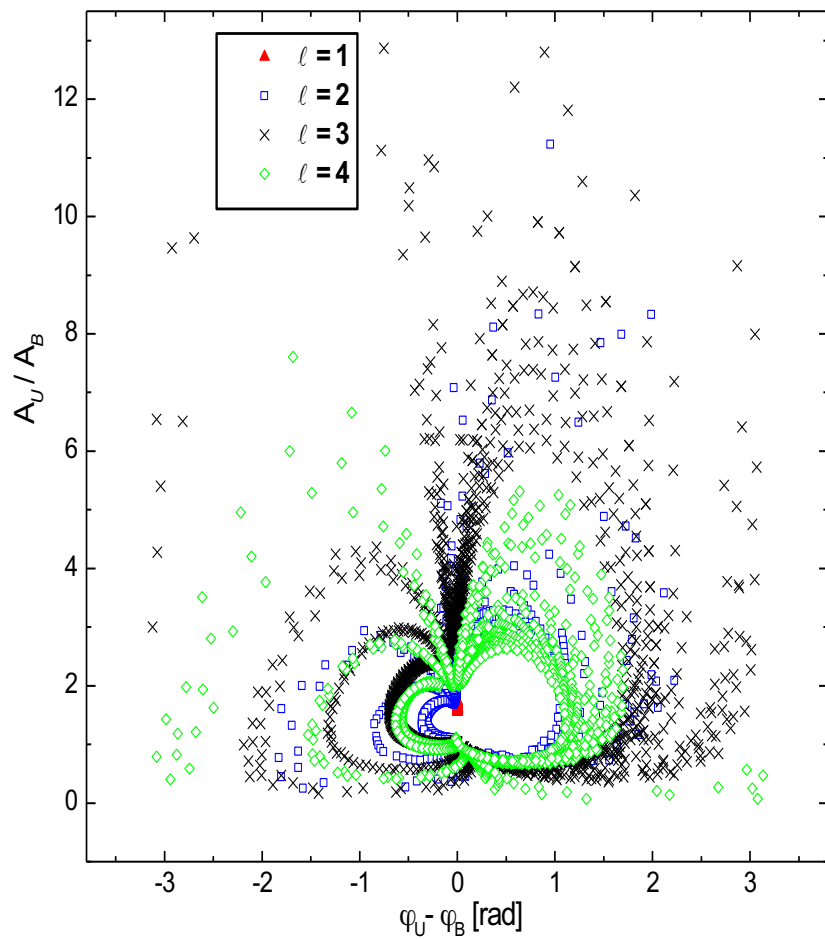
Do wyliczenia V_{rad} musimy mieć
oczywiście obserwacje spektroskopowe

β Cephei

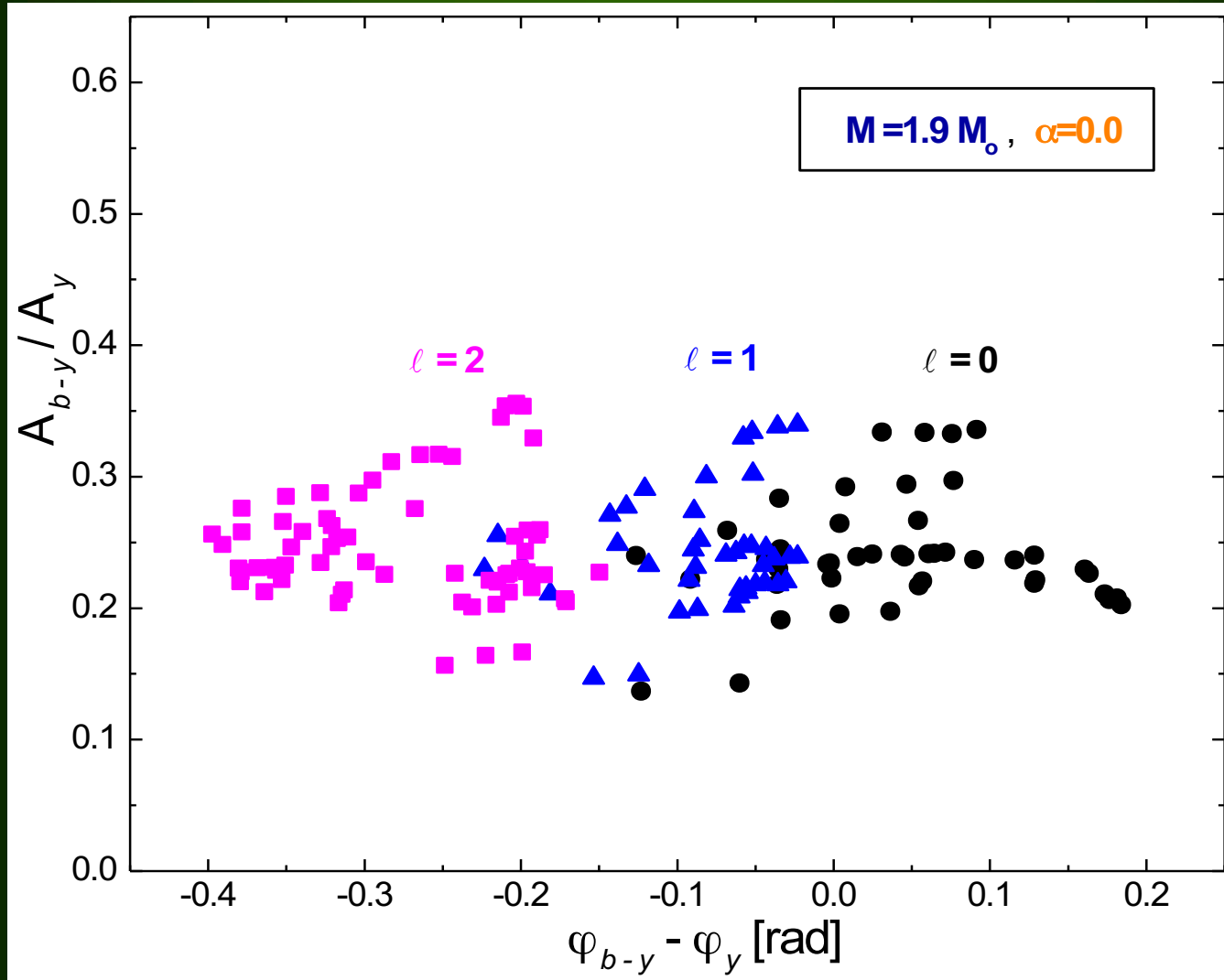


SPB

$M = 5 M_{\odot}$



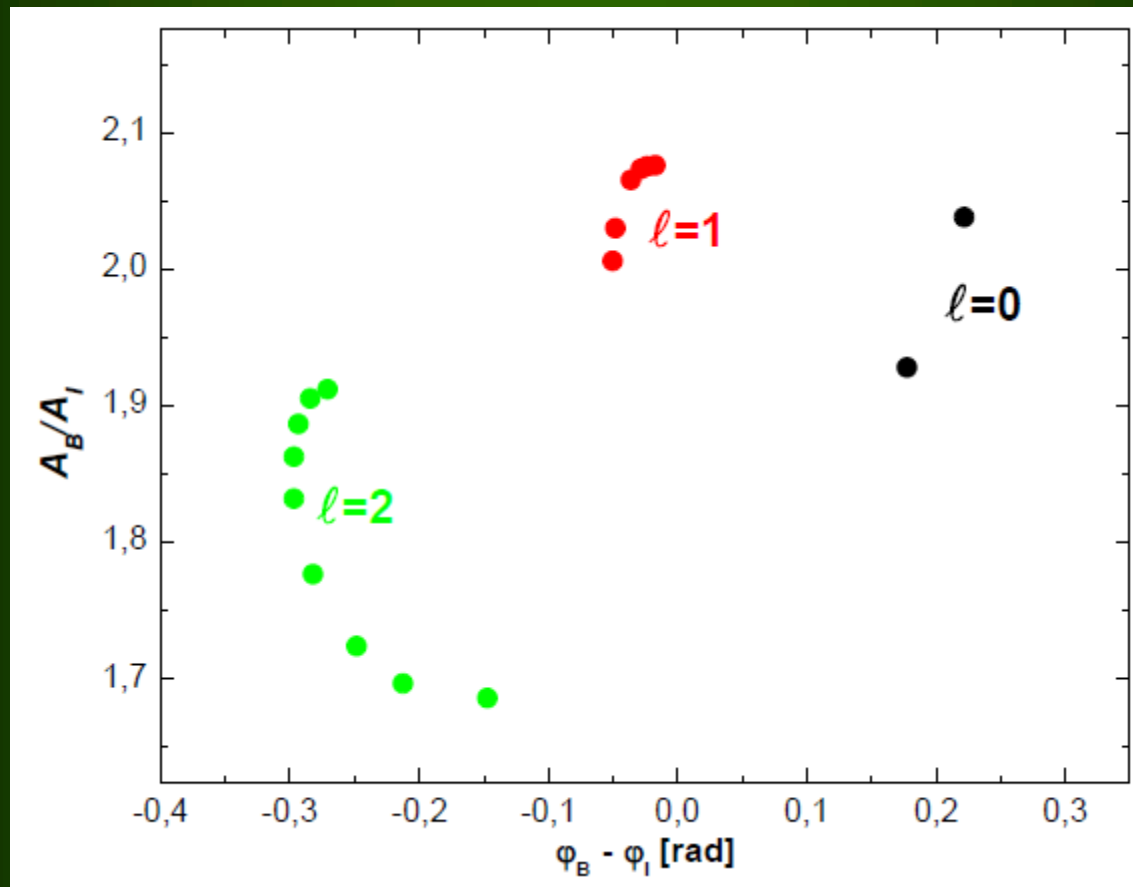
δ Sct



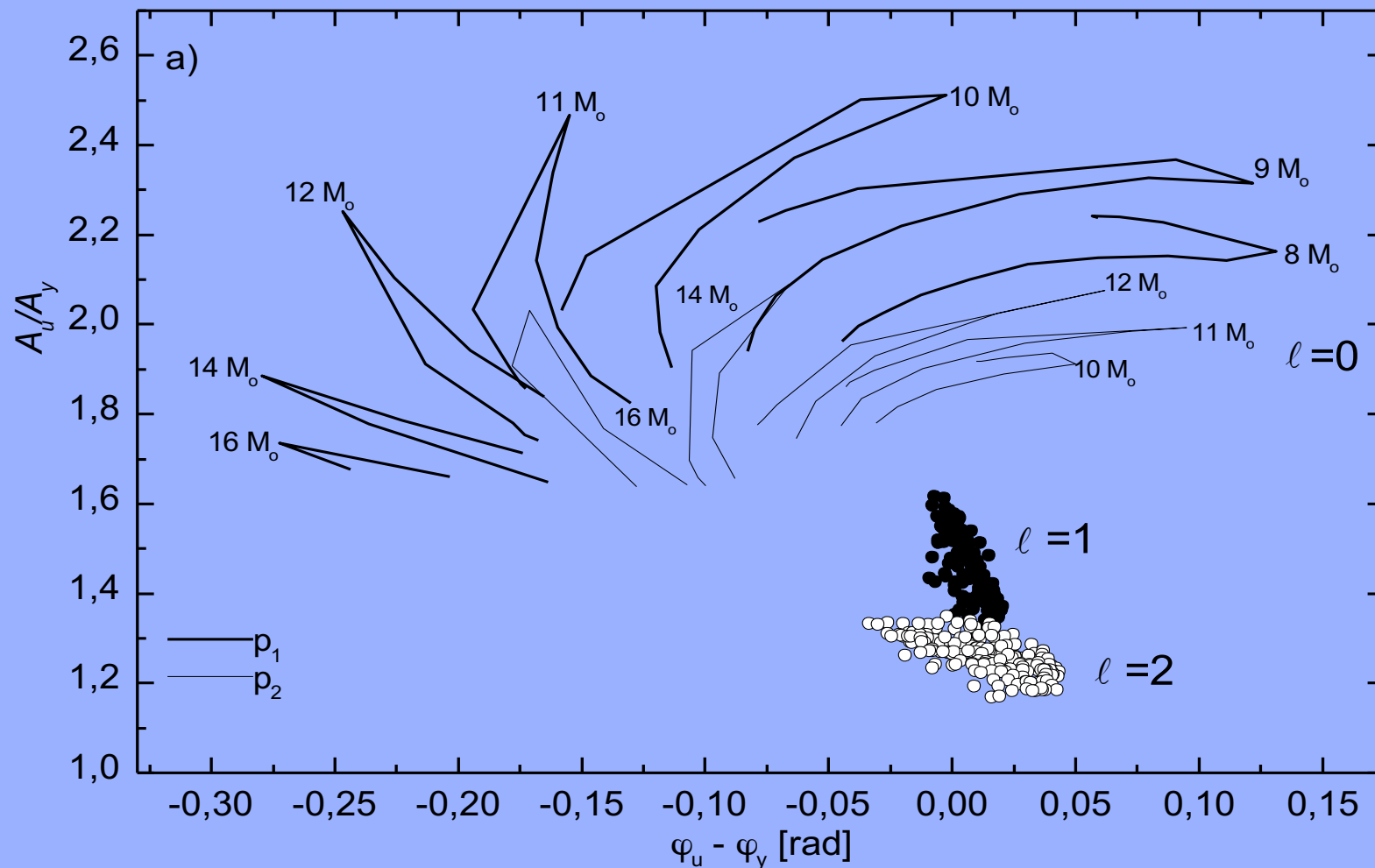
RR Lyr model, $M=0.63 M_{\odot}$, $\log T_{\text{eff}} = 3.8157$, $\log L/L_{\odot} = 1.68$

OP, A04, $X=0.74$, $Z=0.0006$, $\alpha_{\text{conv}}=0.0$

Kurucz models newodf, $[m/H] = -1.5$, $\xi_t = 2 \text{ km/s}$



W przypadku zmiennych β Cep separacja obszarów o różnych ℓ pozostaje nawet jeśli uwzględnimy wszystkie masy dozwolone dla tych gwiazd.



To samo co na poprzednim slajdzie, ale dla fotometrii
 Genewskiej Walravena + pasma ~ 150 nm

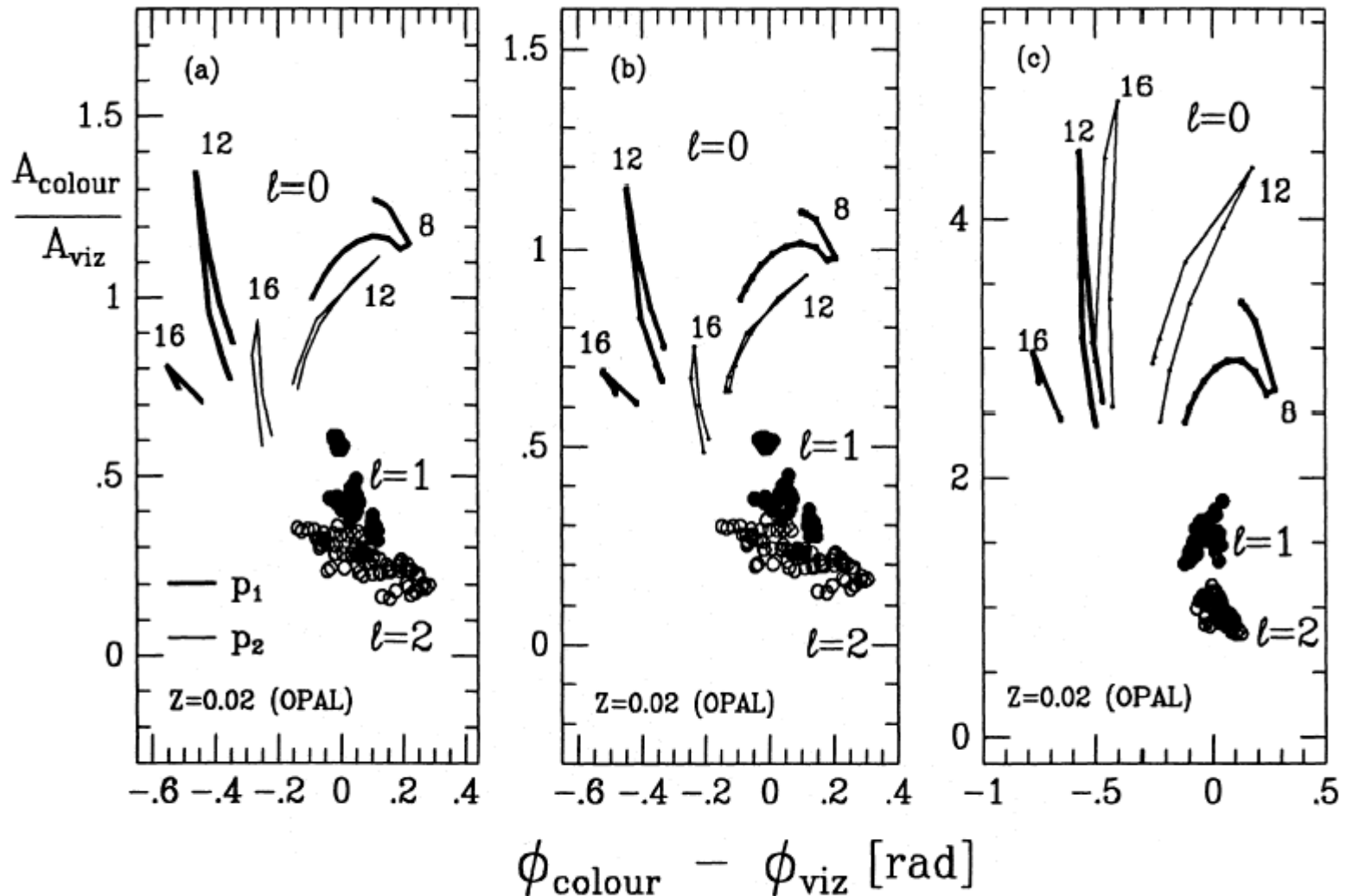
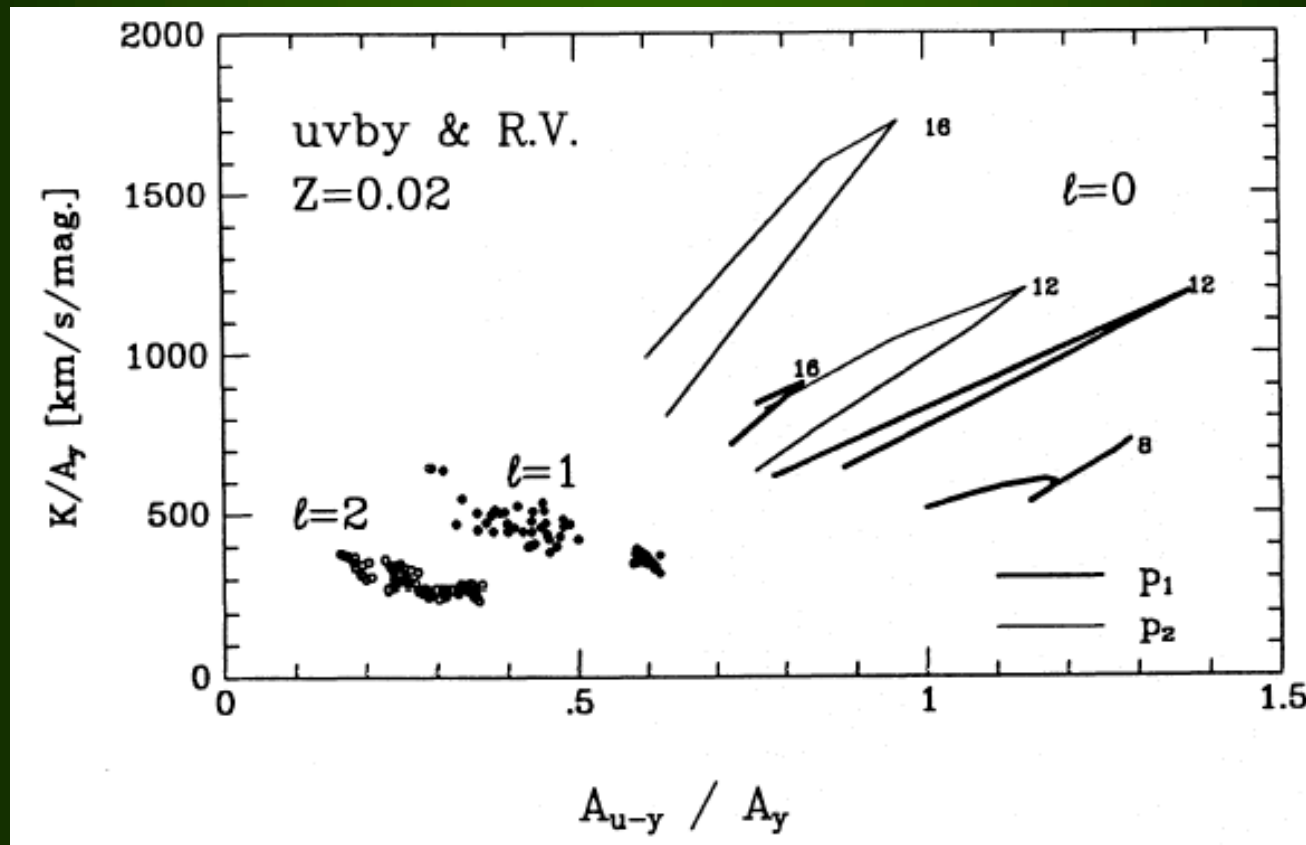
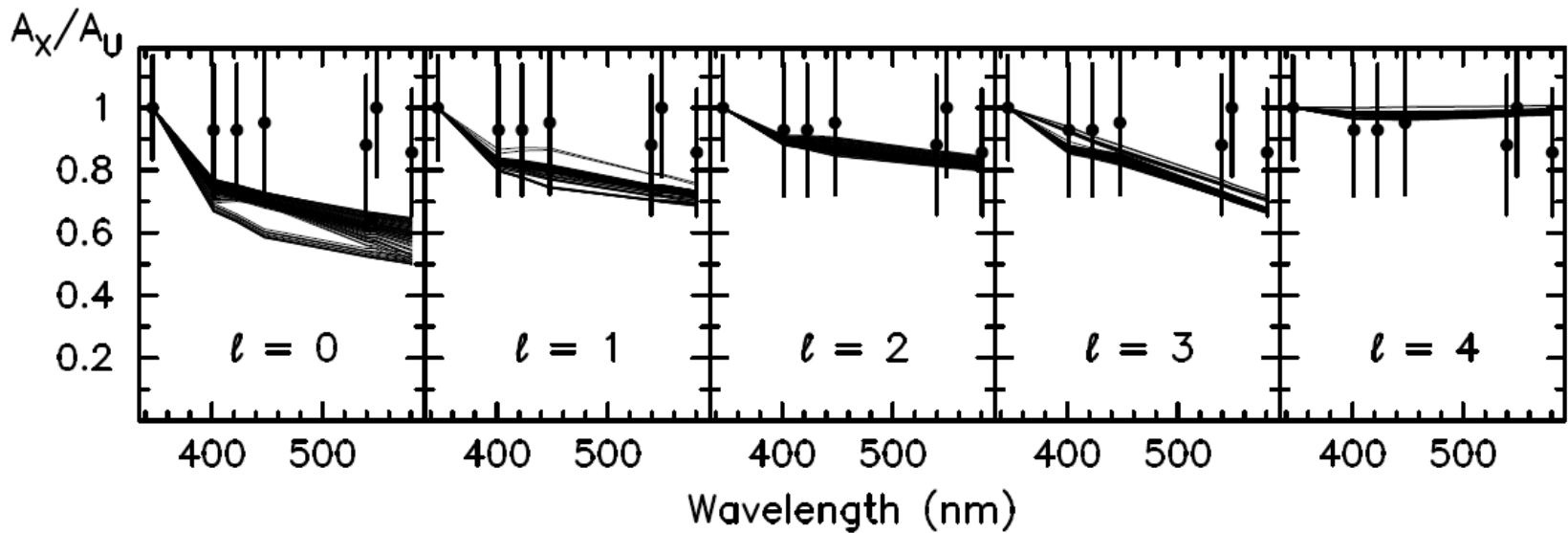
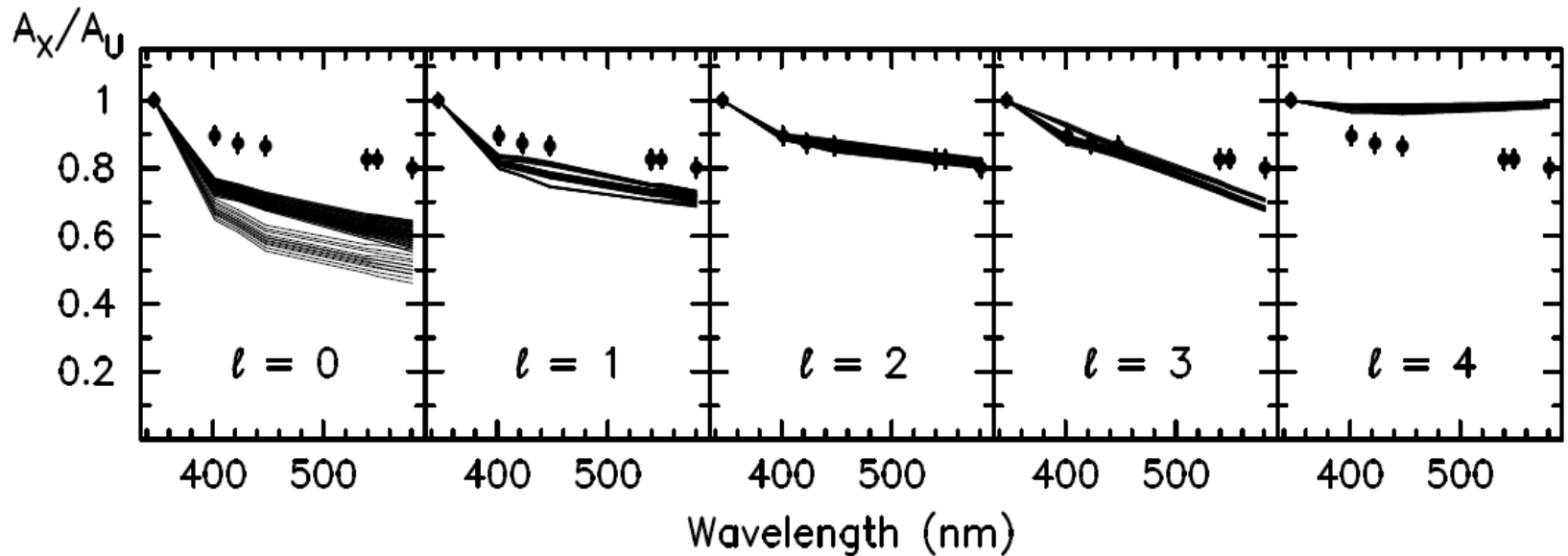


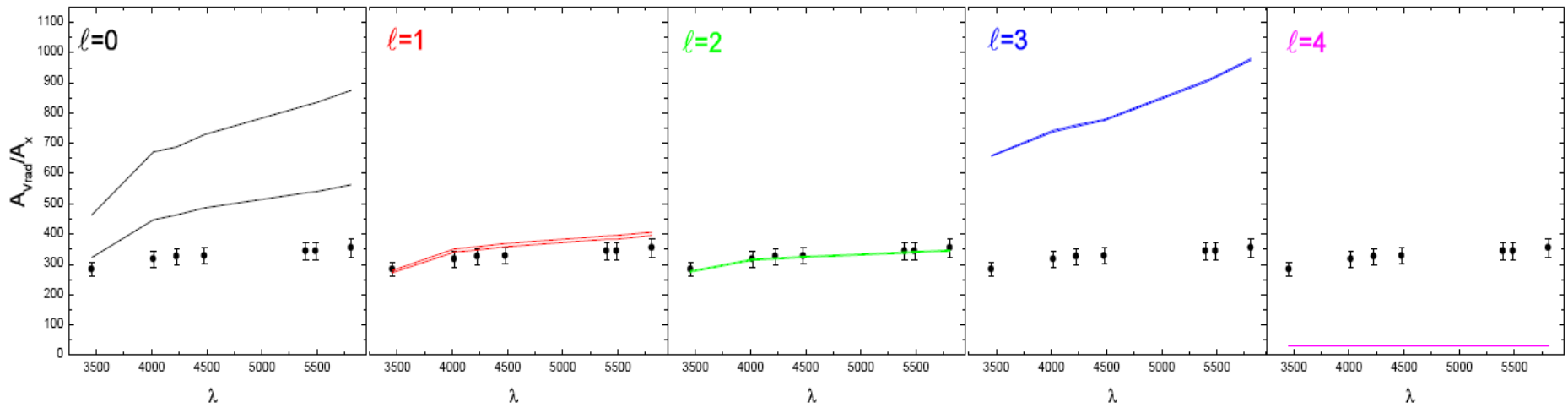
Diagram zależności amplitud zmian blasku i amplitudy zmian prędkości radialnej dla modeli β Cep o różnych masach.



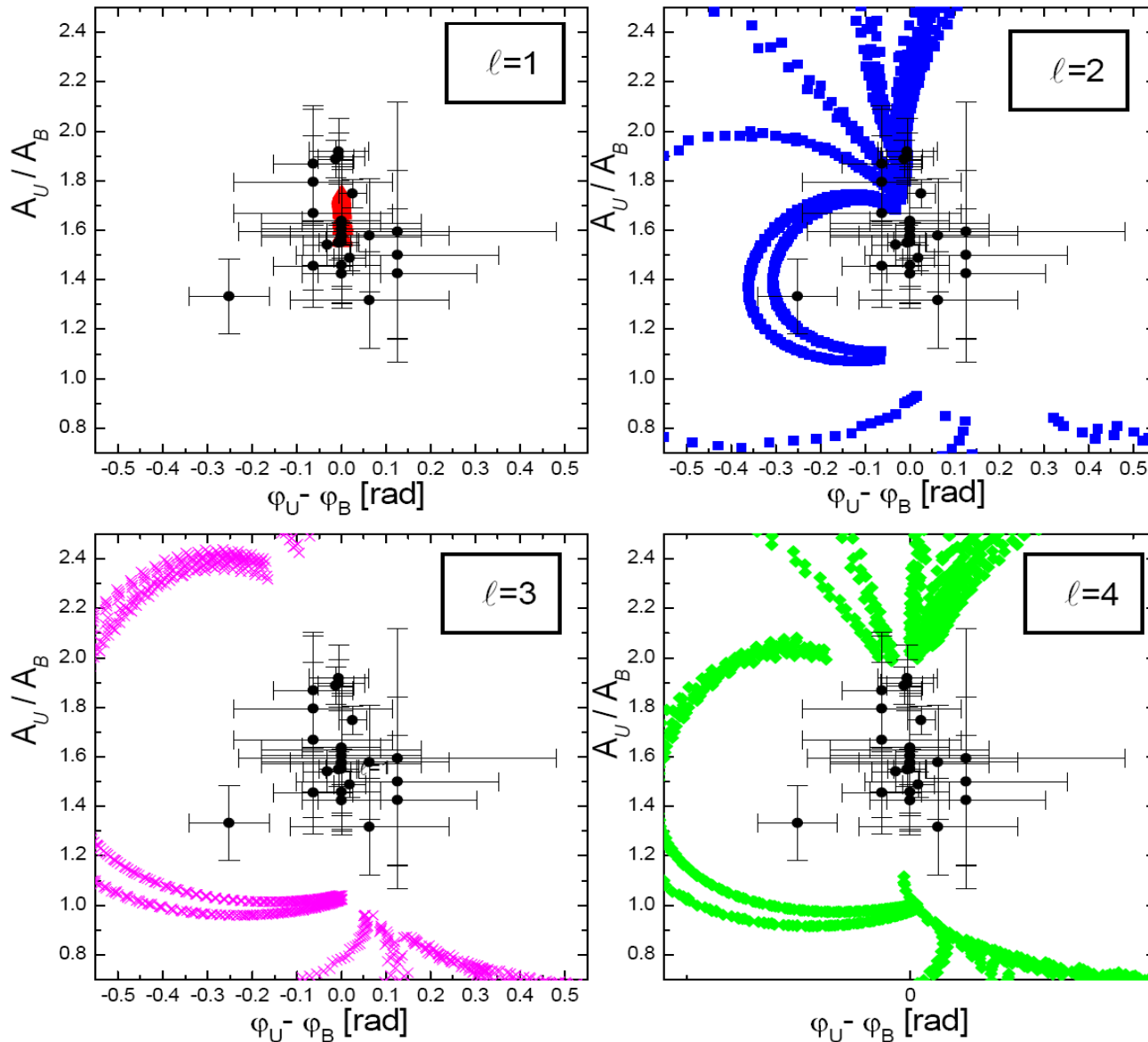


Prędkość radialna daje niezależną informację !

$M=13 M_{\odot}$, $Z=0.02$, $V_{\text{rot}} = 0$ km/s, $\log T_{\text{eff}} = [4.353, 4.423]$

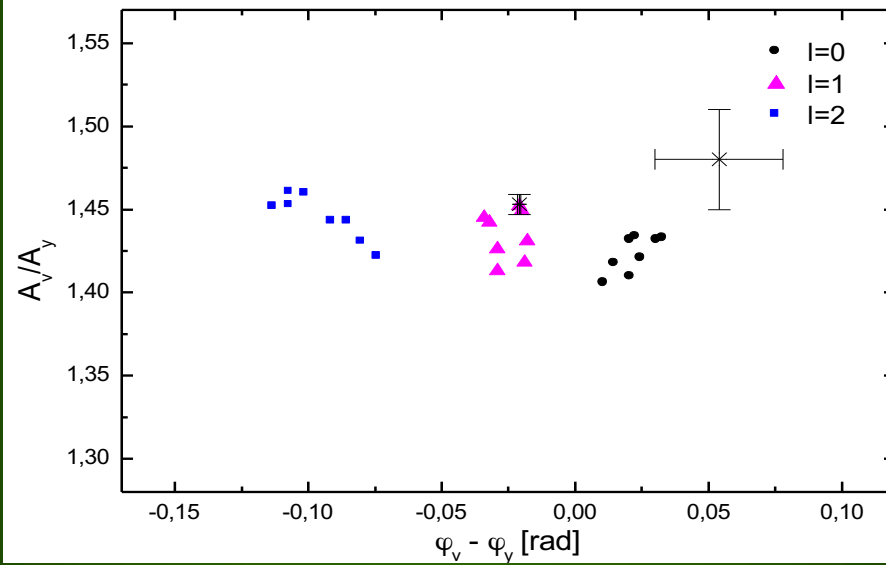
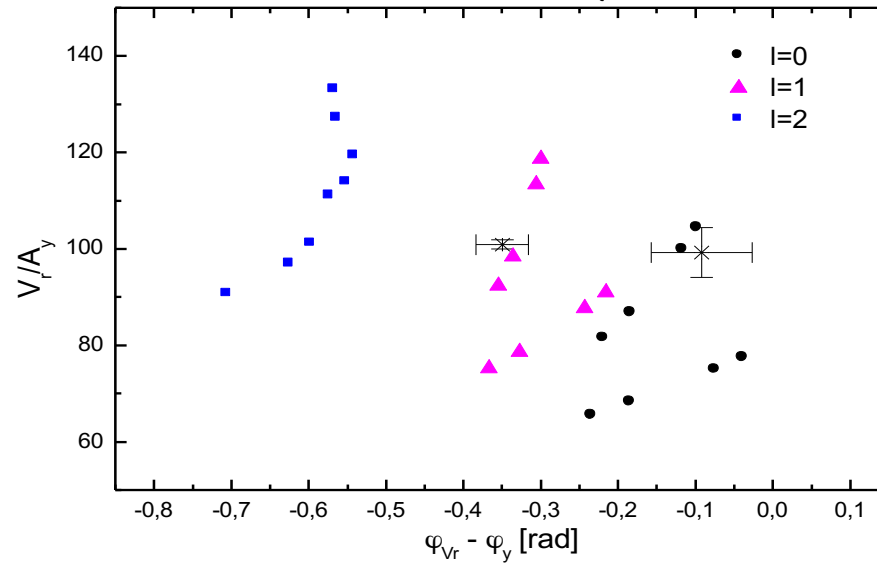


Wszystkie gwiazdy SPB z fotometrią genewską.



$M=1.8 M_{\odot}$, $\log T_{\text{eff}}=3,875, 3.870, 3.860, 3.857$, $\alpha=0.0$

CGM models, $[m/H]=0.0$, $\xi_t=4$ km/s



Obserwacje dla dwóch częstotliwości FG Vir.

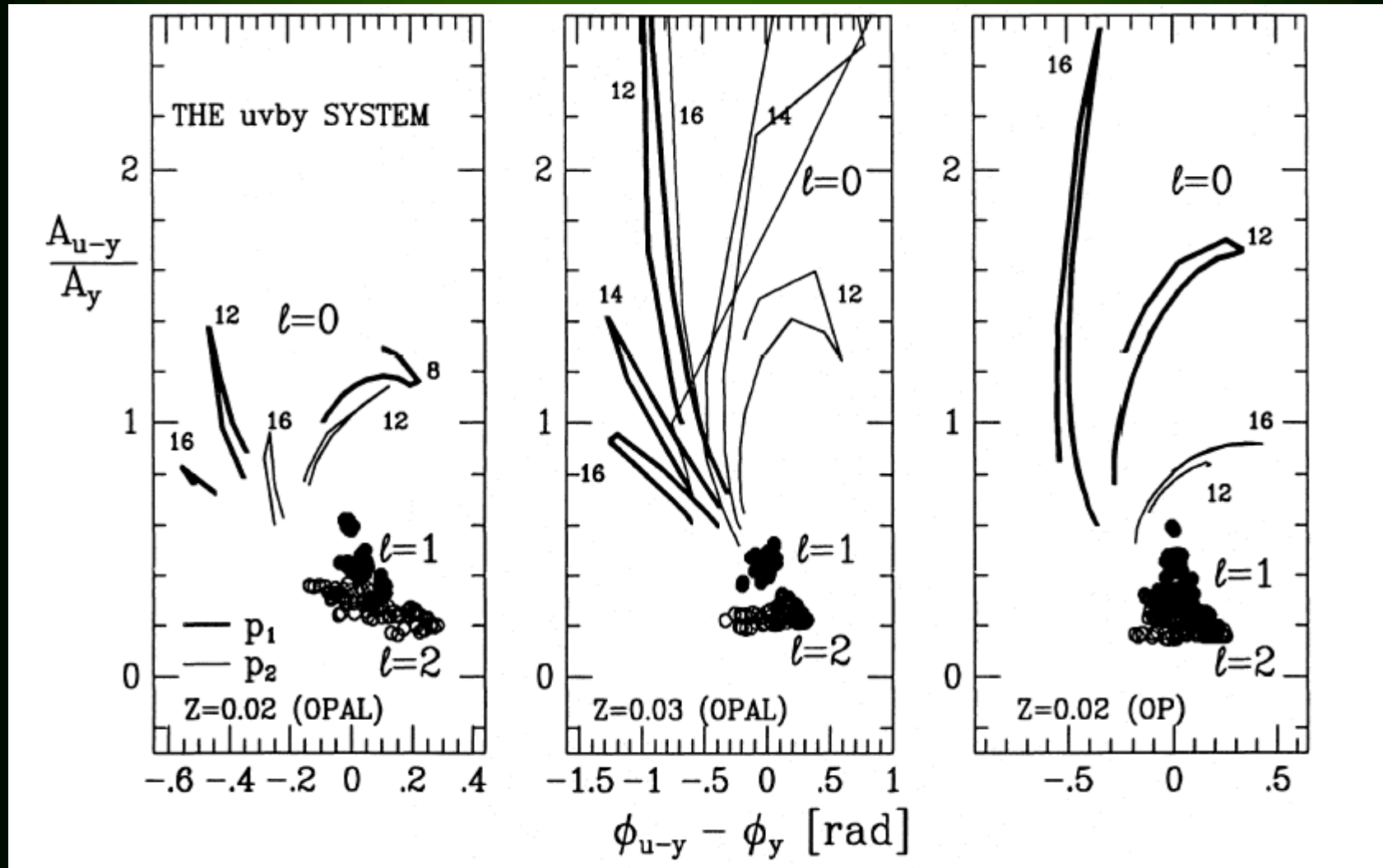
Pochodne strumienia po $\log T_{\text{eff}}$ i $\log g$ zależą od:

- ✦ prędkości mikroturbulencji, ξ_t
- ✦ metaliczności, [m/H]
- ✦ efektów NLTE
- ✦ Podejścia do liczenia modeli atmosfer gwiazdowych

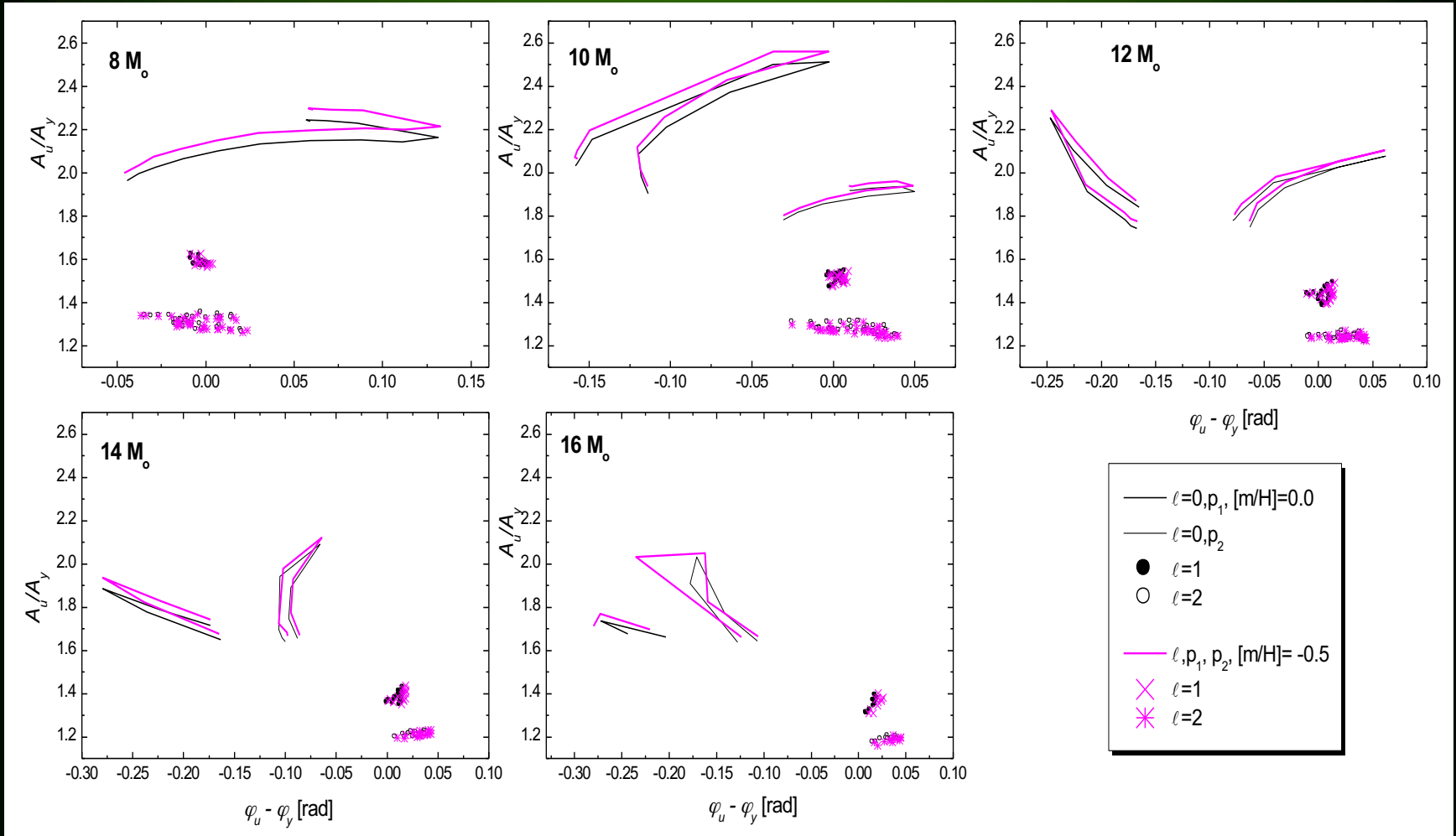
Wartość parametru f jest czuła na:

- ✦ globalne parametry gwiazdowe
- ✦ skład chemiczny (X,Z)
- ✦ Mieszanke pierwiastków
- ✦ nieprzezroczystości
- ✦ podfotosferyczną konwekcję

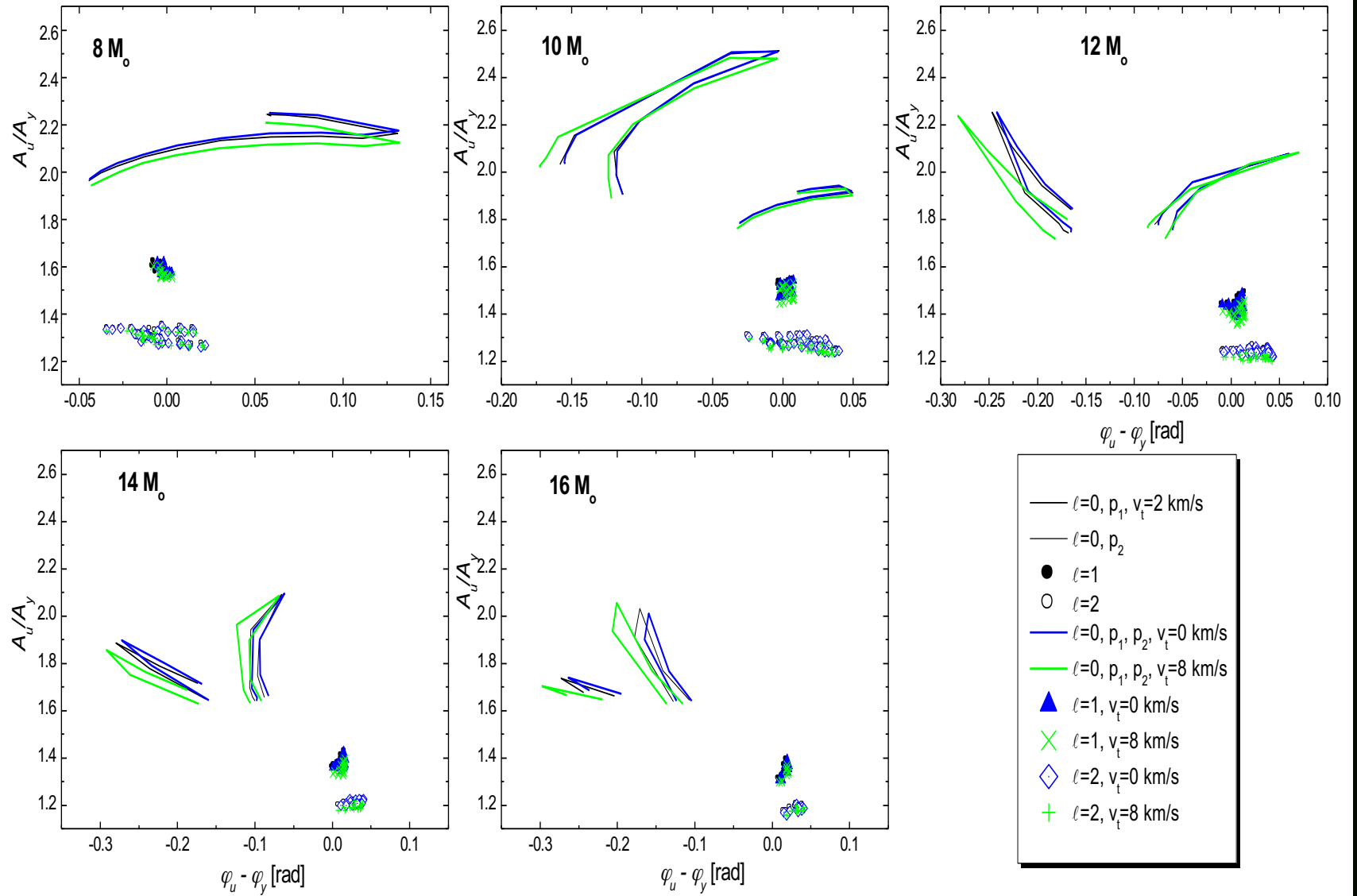
Efekt metaliczności, Z , i wyboru tablic nieprzezroczystości na diagramy fotometryczne dla modeli β Cep.



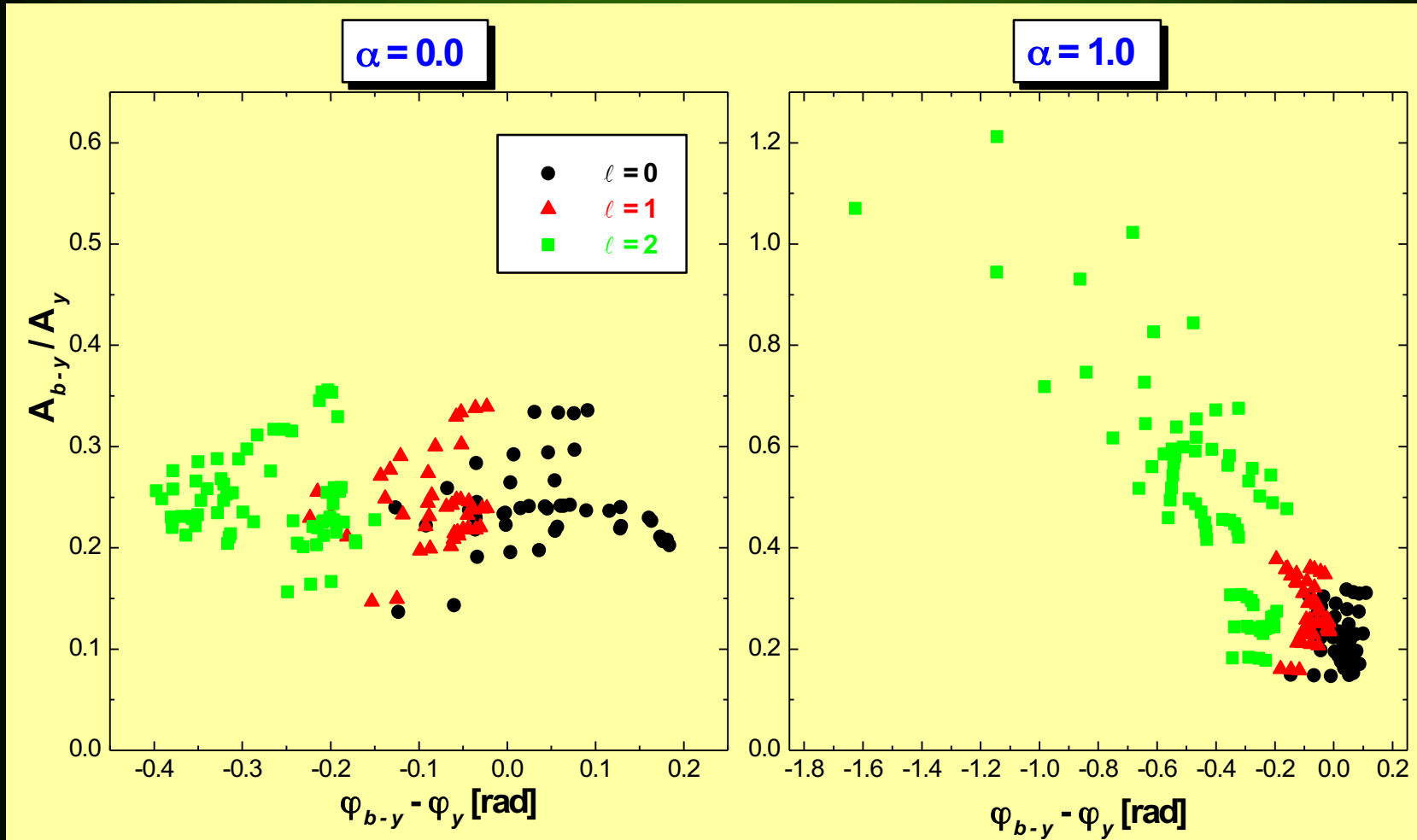
Efekt metaliczności w atmosferze, [m/H].



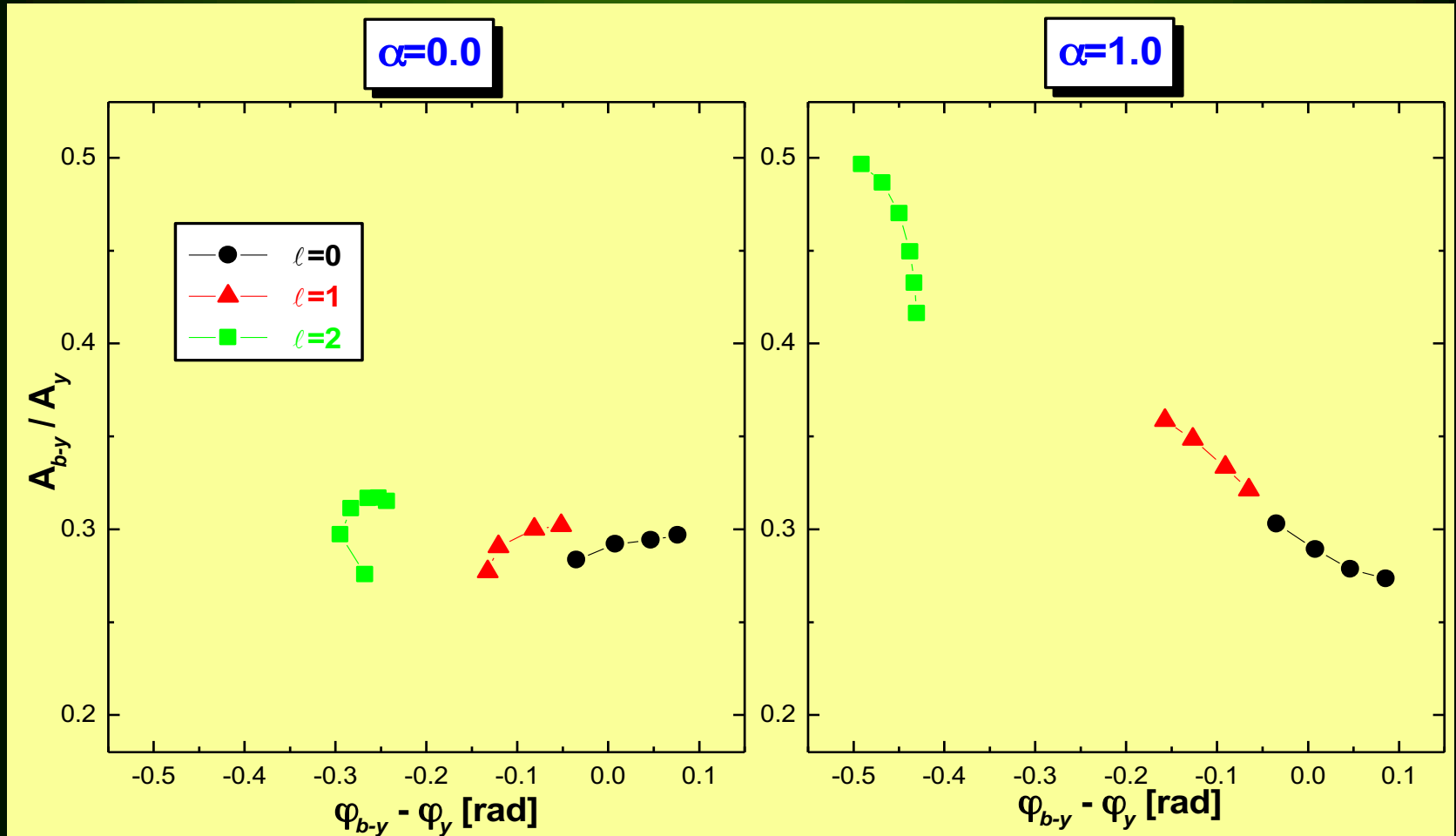
Efekt mikroturbulencji w atmosferze, v_t .



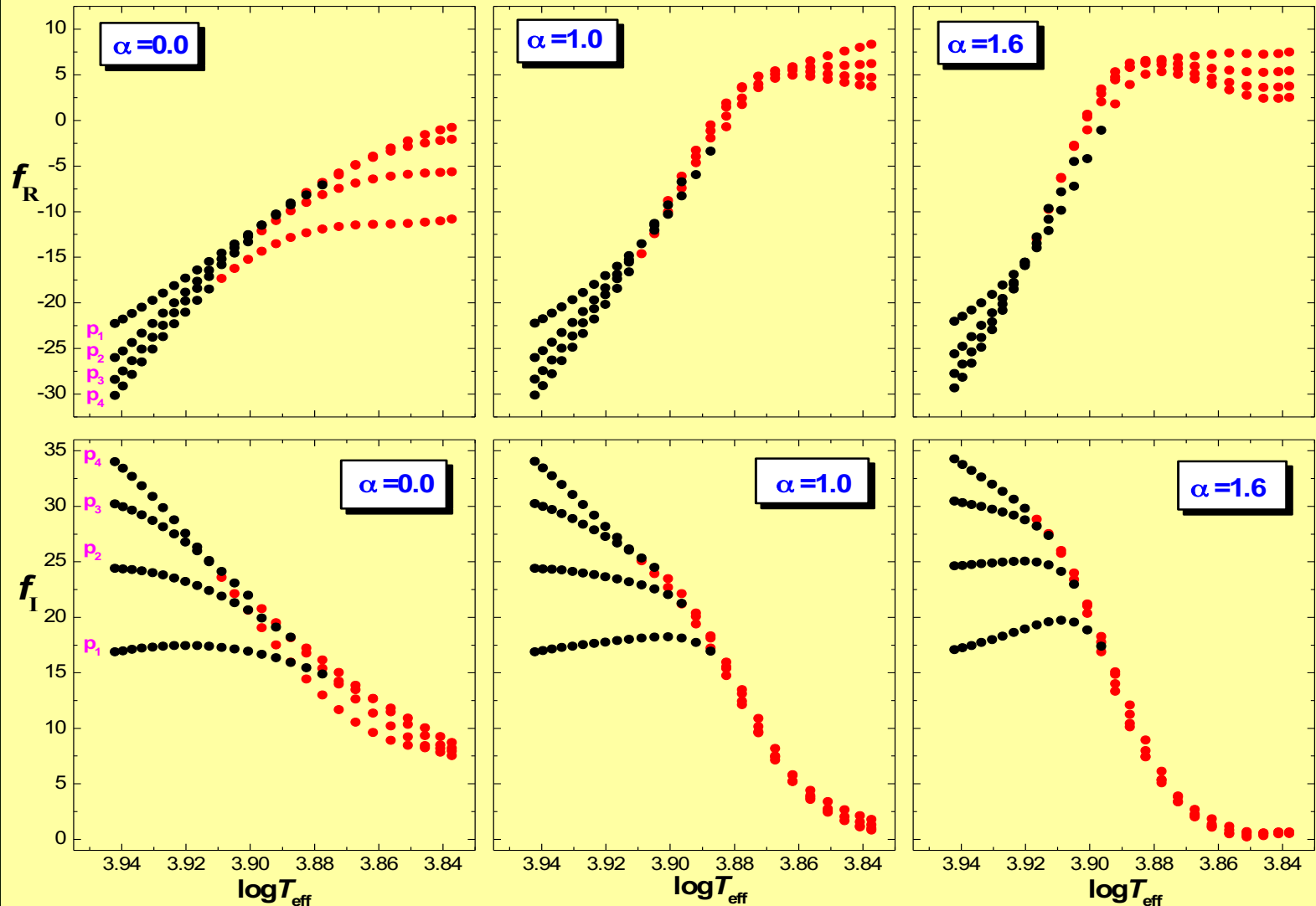
Efekt parametru MLT, α , na położenia modów niestabilnych na diagramie fotometrycznym dla modelu δ Scuti o masie $1.9 M_{\odot}$.



Efekt α na położenia modów niestabilnych dla modelu o $\log T_{\text{eff}}=3.867$.



Część rzeczywista i urojona parametru f dla oscylacji radialnych dla gwiazdy o masie $1.9 M_{\odot}$ w fazie ewolucji na MS, dla trzech wartości parametru α .



Wpływ **rotacji** na własności diagramów diagnostycznych będzie dyskutowany na osobnym wykładzie.

METODA JEDNOCZESNEGO

WYZNACZANIA ℓ I f Z OBSERWACJI

Amplitudy te przepisujemy w postaci układu
równań obserwacyjnych dla wszystkich pasm λ

$$\mathcal{D}_\ell^\lambda(\tilde{\varepsilon}f) + \mathcal{E}_\ell^\lambda \tilde{\varepsilon} = A^\lambda,$$

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon Y_\ell^m(i, 0),$$

$$\mathcal{D}_\ell^\lambda = \frac{1}{4} b_\ell^\lambda \frac{\partial \log(\mathcal{F}_\lambda |b_\ell^\lambda|)}{\partial \log T_{\text{eff}}},$$

$$\mathcal{E}_\ell^\lambda = b_\ell^\lambda \left[(2 + \ell)(1 - \ell) - \left(\frac{\omega^2 R^3}{GM} + 2 \right) \frac{\partial \log(\mathcal{F}_\lambda |b_\ell^\lambda|)}{\partial \log g} \right].$$

Jeśli mamy obserwacje spektroskopowe to układ równań możemy uzupełnić równaniem na prędkość radialną

$$i\omega R \left(u_\ell^\lambda + \frac{GMv_\ell^\lambda}{R^3\omega^2} \right) \tilde{\epsilon} = \mathcal{M}_1^\lambda.$$

METODA

Mamy cztery niewiadome (lub dwie zespolone):

$$(\tilde{\varepsilon} f), \tilde{\varepsilon}.$$

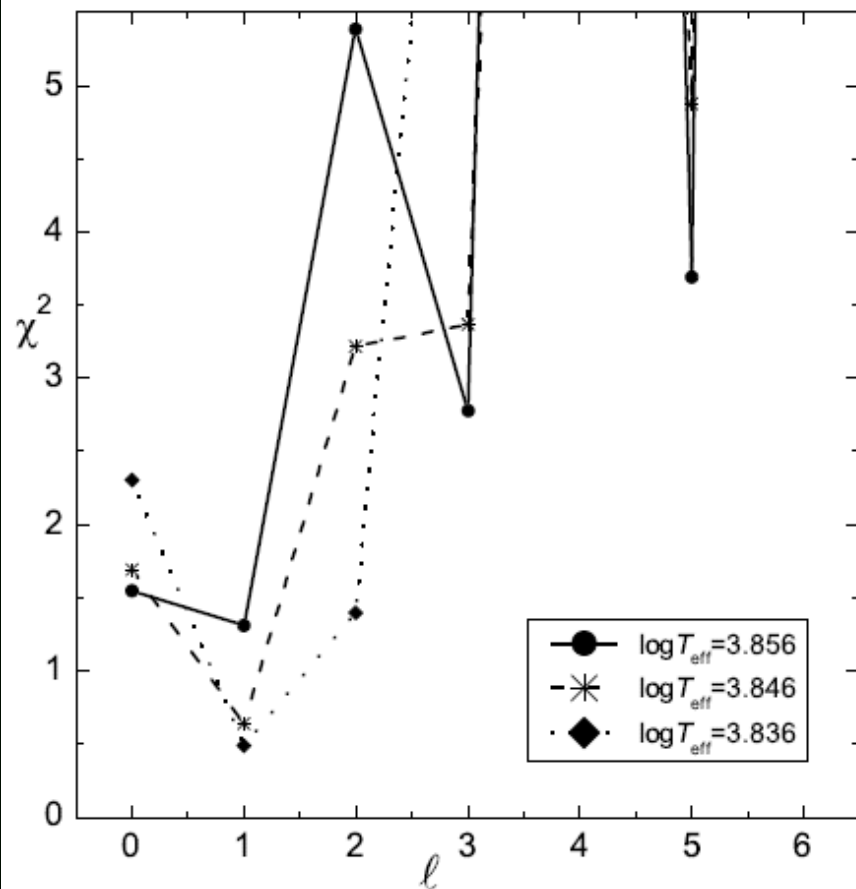
Dla zadanego stopnia ℓ , układ równań rozwiązujemy metodą najmniejszych kwadratów i szukamy minimum χ^2 .

δ SCUTI STARS

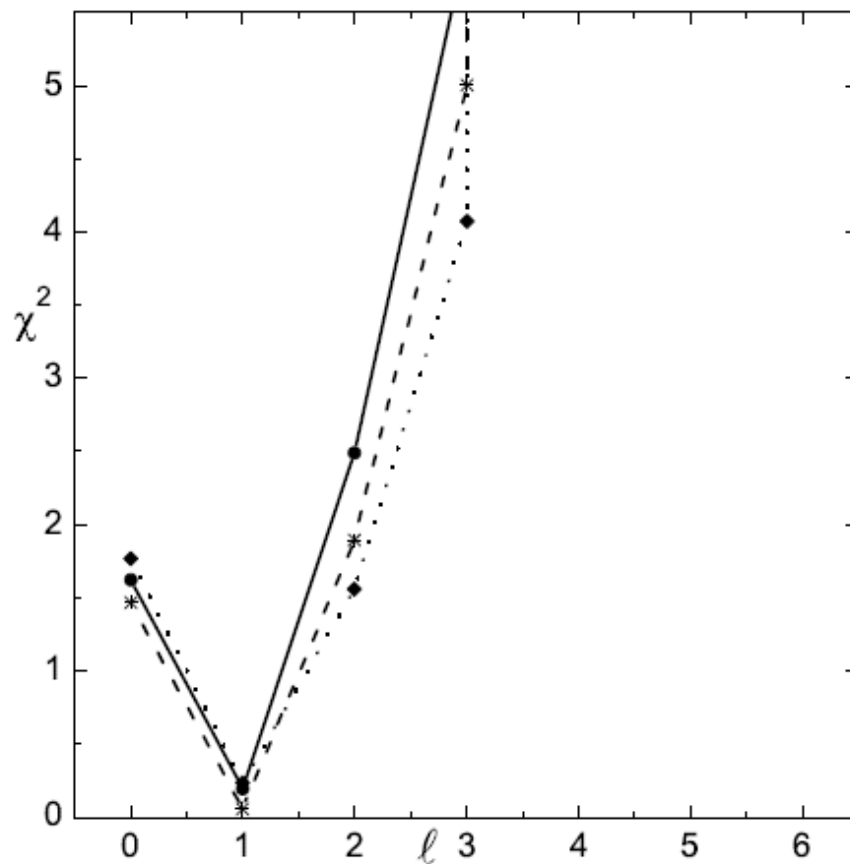
Daszyńska-Daszkiewicz, Dziembowski & Pamyatnykh, 2003, A&A 407, 999
Daszynska-Daszkiewicz, Dziembowski, Pamyatnykh et al., 2005, A&A 438, 653

β Cas – gwiazda δ Scuti

modele Kurucz



modele NEMO2003

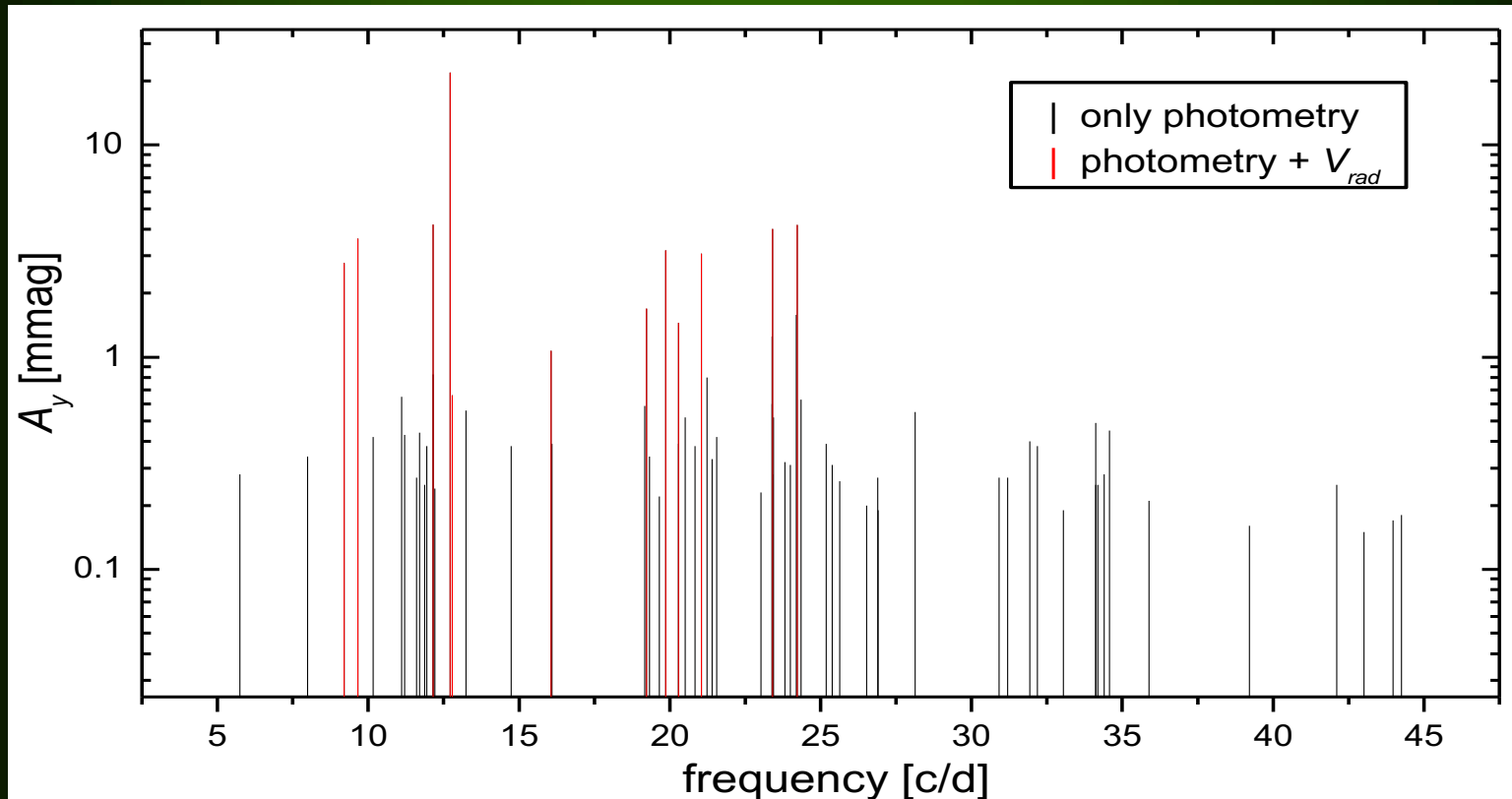


FG Vir – gwiazda typu δ Scuti

Kampanie fotometryczne: 2002, 2003 i 2004

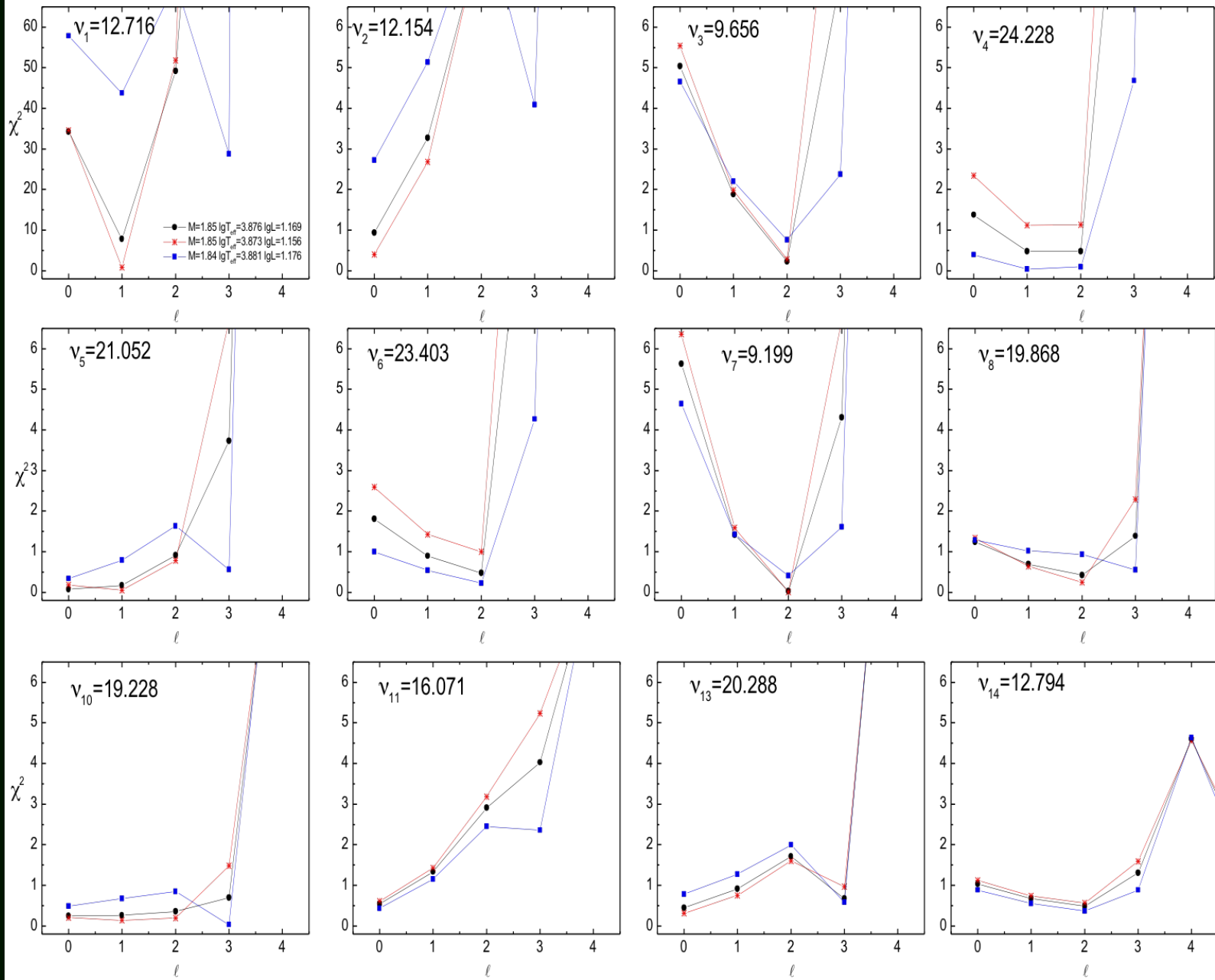
Kampania spektroskopowa: 2002

Widmo oscylacji FG Vir



67 niezależnych częstotliwości !

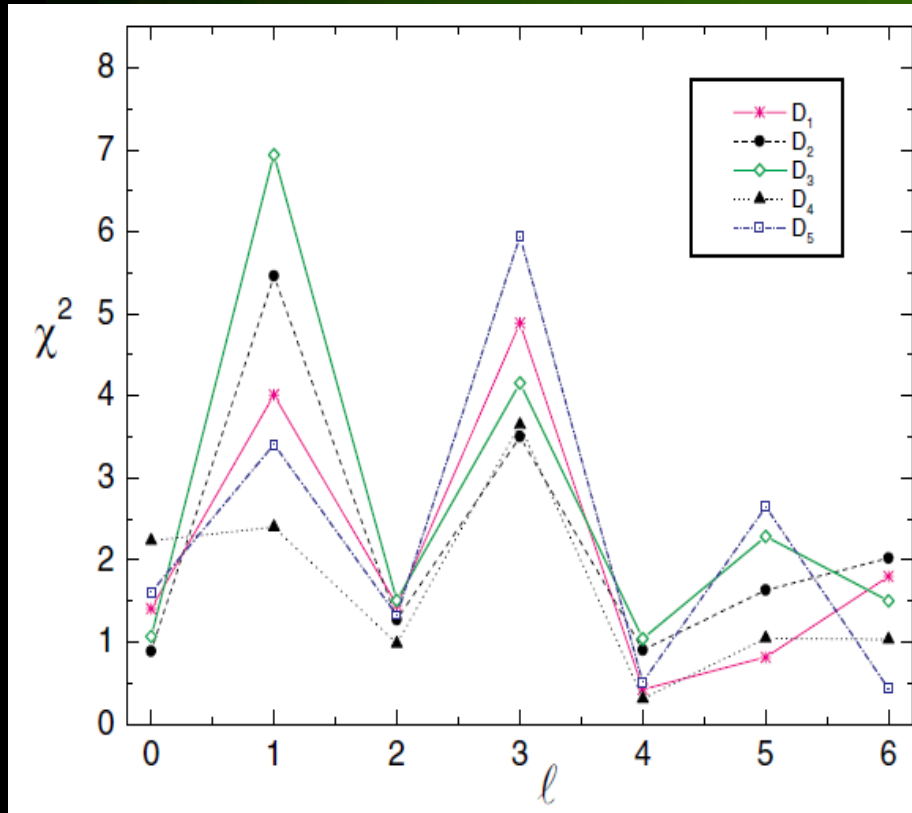
12 częstotliwości zostało wykrytych jednocześnie fotometrii i V_{rad}



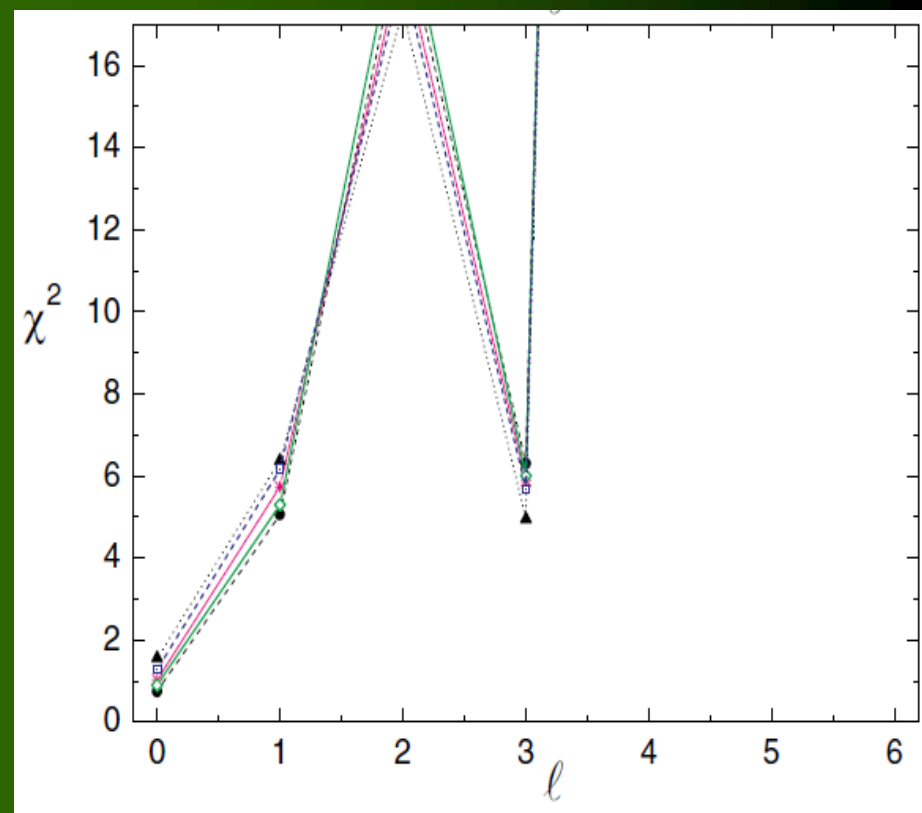
β CEPHEI STARS

δ Ceti – gwiazda β Cephei

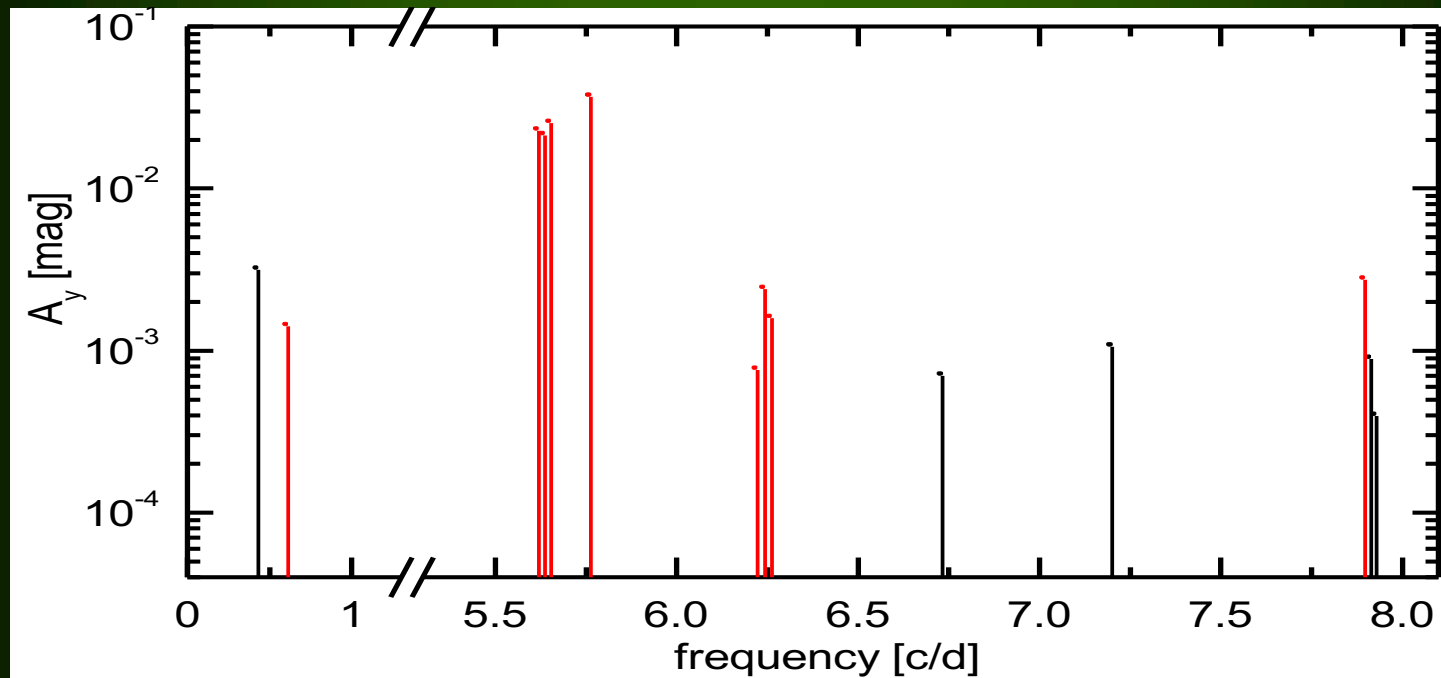
fotometria



fotometria + spektroskopia

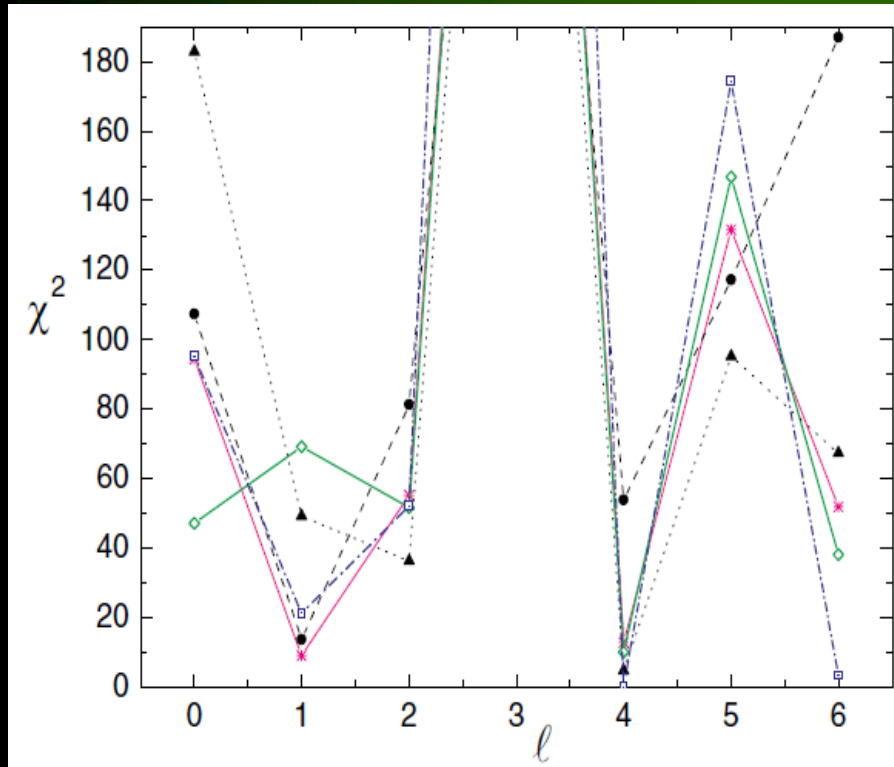


ν Eridani – wielomodalna gwiazda β Cephei
14 częstotliwości pulsacji (przed BRITE)

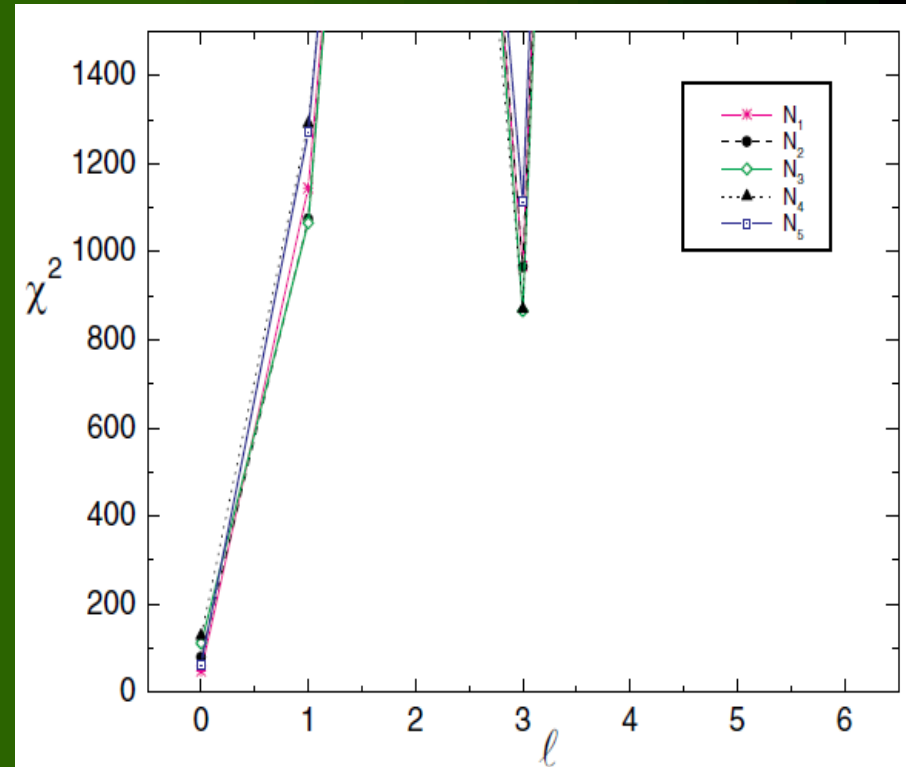


Identyfikacja ℓ dla ν_1

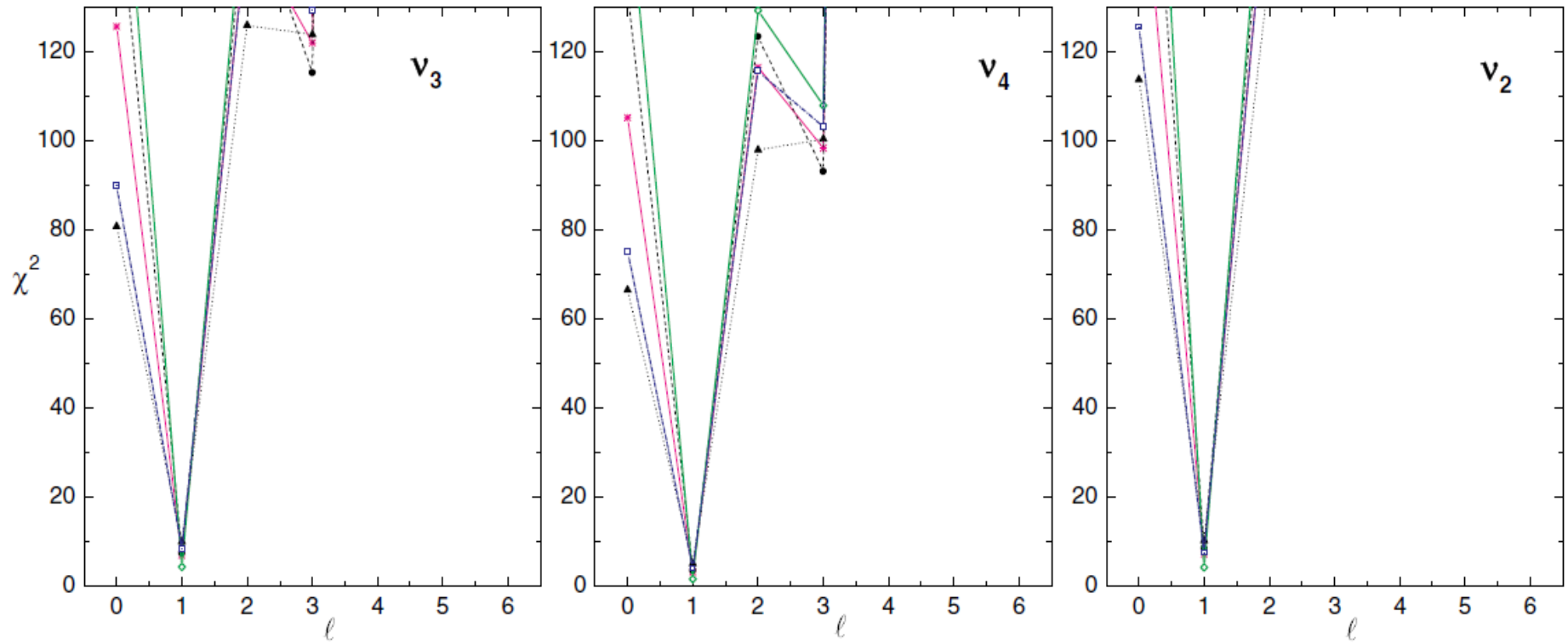
fotometria



fotometria + spektroskopia



Identyfikacja ℓ dla trypletu ($\nu_2 \nu_3 \nu_4$)



Ostatnia identyfikacja ℓ

frequency [c/d]	photometry (theoretical f 's)	phot.+ V_{rad} (empirical f 's)
$\nu_1 = 5.7632828$	$\ell=0$	$\ell=0$
$\nu_2 = 5.6538767$	$\ell=1$	$\ell=1$
$\nu_3 = 5.6200186$	$\ell=1$	$\ell=1$
$\nu_4 = 5.6372470$	$\ell=1$	$\ell=1$
$\nu_5 = 7.898200$	$\ell=1$	$\ell=1$
$\nu_6 = 6.243847$	$\ell=1$	$\ell=1$
$\nu_7 = 6.262917$	$\ell=1,3$	$\ell=1,3$
$\nu_8 = 7.20090$	$\ell=?(2)$	-
$\nu_9 = 7.91383$	$\ell \leq 3$	-
$\nu_{10} = 7.92992$	$\ell=?$	-
$\nu_{11} = 6.73223$	$\ell=?(3)$	-
$\nu_{12} = 6.22360$	$\ell=1,2,3$	$\ell=1,2,3$
$\nu_A = 0.432786$	$\ell=1$	-
$\nu_B = 0.61440$	$\ell=2,4$	$\ell=2,5$