ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ – ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ - ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Φαινόμενα υπεριονισμού στις στεμματικές και μεταστεμματικές περιοχές αστέρων φασματικού τύπου Οe

Διδακτορική Διατριβή

Αντώνιος Αναστ. Αντωνίου MSc. Αστροφυσικής

Αθήνα 2007

Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο και Οε

Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο. Γενικά φυσικά χαρακτηριστικά

- Εκπέμπουν μεγάλα ποσά ενεργείας στην υπεριώδη περιοχή (UV) του φάσματός τους.
- \sim <u>Μάζα:</u> 1-50 Mo (Conti, 1973)
- $\succ \Lambda \alpha \mu \pi \rho \delta \tau \eta \tau \alpha$: 10³-10⁴ Lo (Conti, 1973)
- Ενεργός θερμοκρασία: 30000-50000 Κ (Conti, 1973)

Εξαντλούν γρήγορα το υδρογόνο του πυρήνα τους και εξελίσσονται ταχύτατα απομακρυνόμενοι της Κυρίας Ακολουθίας. Οι αστέρες φασματικού τύπου Ο (συνέχεια)

Γενικά φασματικά χαρακτηριστικά

Οι γραμμές απορρόφησης στο ορατό τμήμα του φάσματός τους είναι κυρίως γραμμές της <u>σειράς Balmer</u> του υδρογόνου, ουδετέρου ηλίου He I και ιονισμένου ηλίου He II.

▶ <u>Φασματικές υποτάξεις</u>: O3 μέχρι O9. Δεν έχει ακόμα βρεθεί αστέρας (π.χ. με αμυδρότερες φασματικές γραμμές των γραμμών Balmer) για τον οποίο να έχουν προταθεί οι υποτάξεις O2, O1 ή O0

Οι αστέρες φασματικού τύπου Οε

Παρουσιάζουν εκπομπή κυρίως στις <u>γραμμές Balmer</u> του υδρογόνου (Oe αστέρες: Conti & Leep, 1974) ενώ δεν εμφανίζουν εκπομπή τις περιοχές του διπλά ιονισμένου αζώτου Ν ΙΙΙ (λ 4.634,41Å) και του ιονισμένου ήλιου He II (λ 4.686Å).

Παρουσιάζουν βίαιη έξωση μάζας σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (Δt=μερικές ημέρες)

Οι γραμμές απορρόφησης στο υπεριώδες παρουσιάζουν μεγάλο εύρος και επομένως παραπέμπουν, κατά κανόνα, σε μεγάλες περιστροφικές ταχύτητες.

Οι αστέρες φασματικού τύπου Οε

Μερικοί αστέρες τύπου Ο παρουσιάζουν εκπομπή μόνο στην <u>Ηα</u> χωρίς να παρουσιάζουν εκπομπή σε καμιά άλλη γραμμή Balmer του υδρογόνου (HD 149757, HD 46056). Αυτοί οι αστέρες ταξινομήθηκαν ως O(e). Ο χαρακτηρισμός O(e) αποδίδεται σε μη έντονα φαινόμενα.

Ενίοτε παρουσιάζουν εκπομπή και στις φασματικές γραμμές στην περιοχή του υπεριώδους την οποία και μελετάμε (π.χ. C IV, N IV, N V, Si IV). Ποια προβλήματα υπήρχαν στους αστέρες
 φασματικού τύπου Oe

✓ Ποια αντιμετώπισε η έρευνά μας

✓ Ποια είναι η μελλοντική μας εργασία

Βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη των αστέρων φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

Το πρώτο πρόβλημα αφορά τα αίτια της βίαιης έξωσης μάζας σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (μερικών ημερών). Η έξωση αυτή δημιουργεί ένα κέλυφος υλικού γύρω από τον αστέρα που καταλήγει σε δίσκο. Slettebak, 1979



Βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη των αστέρων φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

<u>Το δεύτερο πρόβλημα</u> έχει να κάνει...



με την ερμηνεία της ύπαρξης $\alpha)$ μεγάλης έντασης φασματικών γραμμών απορρόφησης, 01 οποίες αντιστοιχούν σε φασματικές δεν αστέρων γραμμές ίδιου του φασματικού υποτύπου και της ίδιας λαμπρότητας και φέρουν την ονομασία διακριτές συνιστώσες απορρόφησης (DACs)

Βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη των αστέρων φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

<u>Το δεύτερο πρόβλημα</u> έχει να κάνει...



β) με την ύπαρξη φασματικών γραμμών πολύπλοκης δομής που φέρουν την ονομασία δορυφορικές συνιστώσες απορρόφησης (SACs)

Όπως είναι εμφανές η λύση του πρώτου προβλήματος, δηλαδή του μηχανισμού της βίαιης έξωσης μάζας, συνδέεται άμεσα με τη λύση του δεύτερου προβλήματος, το οποίο θα αντιμετωπίσουμε και στην παρούσα μελέτη μας. Βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη των αστέρων φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

Το φαινόμενο των DACs

Στην ατμόσφαιρα ενός θερμού αστέρα εκπομπής μια συγκεκριμένη φασματική γραμμή απορρόφησης μπορεί παραχθεί σε διαφορετικές περιοχές που $v\alpha$ χαρακτηρίζονται από την ίδια θερμοκρασία. Σε κάθε μία από τις περιοχές αυτές δημιουργείται μια γραμμή απορρόφησης. Το περίγραμμα κάθε μίας από αυτές τις συνιστώσες απορρόφησης εξαρτάται από ένα σύνολο φυσικών παραμέτρων, όπως οι ακτινικές ταχύτητες, οι περιστροφικές ταχύτητες, οι τυχαίες θερμικές ταχύτητες και το οπτικό βάθος της περιοχής που παράγουν τις συγκεκριμένες συνιστώσες της φασματικής γραμμής.

Είναι γραμμές από το ίδιο ιόν και το ίδιο μήκος κύματος όπως η κύρια γραμμή απορρόφησης μετατοπισμένες κατά ένα μήκος κύματος Δλ, καθώς παράγονται σε περιοχές διαφορετικής πυκνότητας, οι οποίες περιστρέφονται και κινούνται ακτινικά με διαφορετικές ταχύτητες. Για την ακρίβεια οι περιοχές που παράγουν τέτοιες γραμμές περιστρέφονται με μικρές ταχύτητες και κινούνται ακτινικά με μεγάλες ταχύτητες (Danezis et al. 2003).

Οι φασματικές αυτές γραμμές, αν είναι διακριτές, ονομάζονται <u>Διακριτές Συνιστώσες Απορρόφησης (Discrete</u> <u>Absorption Components, DACs)</u>

(Bates, B. & Halliwell, D. R.: 1986, MNRAS, 223, 673).

Τα <u>DACs</u> είναι γραμμές που παρατηρούνται σχετικά εύκολα στα φάσματα μερικών Be αστέρων.

Προβλήματα στους Οε αστέρες

Το φαινόμενο των DACs (συνέχεια)



<u>Κάτω:</u> Φασματικές γραμμές απορρόφησης του Mg II σε δύο αστέρες φασματικού τύπου Be στις οποίες εμφανίζονται DACs. <u>Πάνω:</u> Κλασικός αστέρας σύγκρισης φασματικού τύπου B. Παρατηρούνται οι <u>κύριες φασματικές γραμμές απορρόφησης</u> και αριστερά μια ομάδα από <u>DACs.</u> **Βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη των αστέρων φασματικού τύπου** Oe (συνέχεια)

Το φαινόμενο των SACs

Αν οι περιοχές στις οποίες παράγονται δορυφορικές συνιστώσες περιστρέφονται με μεγάλες ταχύτητες και κινούνται ακτινικά με μικρές, το δημιουργούμενο περίγραμμα έχει μεγάλο εύρος και μικρή μετατόπιση. Αποτέλεσμα είναι η μίξη τόσο μεταξύ τους όσο και με την κύρια φασματική γραμμή και έτσι δεν είναι διακριτές. Το όνομα διακριτές στην περίπτωση αυτή είναι ακατάλληλο και χρησιμοποιούμε το όνομα Δορυφορικές Συνιστώσες Απορρόφησης (Satellite Absorption Components, SACs)

(Danezis et al. 2005)

Βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη των αστέρων φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

Το φαινόμενο των SACs (συνέχεια)







HD 34656, SWP15532







Προβλήματα στους Οε αστέρες



Το φαινόμενο των SACs (συνέχεια) περίγραμμα των φασματικών То γραμμών του Mg ΙΙ στον ΑΧ Mon (HD 45910), <u>το οποίο παρουσιάζει</u> DACs, και στον HD 41335, το οποίο <u>παρουσιάζει SACs.</u> Εχουν παραχθεί με τον ίδιο τρόπο. Η μοναδική διαφορά μεταξύ αυτών είναι ότι οι συνιστώσες στον HD 41335 έχουν μετατοπισθεί λιγότερο με αποτέλεσμα να αναμειγνύονται μεταξύ τους. Το μαύρο περίγραμμα είναι $\mathcal{T}O$ παρατηρούμενο κόκκινο και $\mathcal{T}O$ αναπαριστά την καταλληλότερη προσέγγισή του. Στο κάτω μέρος αναπαριστάνονται οι συνιστώσες μεμονωμένα $\pi o v$ παράγουν παρατηρούμενο τo περίγραμμα. (Danezis et al. 2006)

Τα DACs- SACs δημιουργούνται σε σφαιρική συμμετρία γύρω από τον αστέρα ή υπό μορφή πυκνωμάτων ύλης μέσα στο δίσκο.



Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της δημιουργίας των DACs-SACs

 Ι. Δημιουργήσαμε μια νέα συνάρτηση γραμμής (γκαουσιανή – περιστροφική μέθοδος, Gaussian – Rotational model, GR- model)

Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Antoniou, A., Popović, L. Č. & Dimitrijević, M. S., 2007 PASJ, 59, 4

ΙΙ. Ελέγξαμε την ορθότητα του μοντέλου

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006

Lyratzi, E., Danezis, E., Antoniou, A., Nikolaidis, D., Popović, L. Č. & Dimitrijević, M. S., 2007 PASJ, 59, 4 and SPIG, Serbia, September, 2006

Με σκοπό τη στατιστική μελέτη των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις περιοχές που μελετάμε...

ΙΙΙ. Υπολογίσαμε τη χρονική μεταβολή όλων των παραμέτρων σε δύο Oe αστέρες

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., Mai 2007, PASJ (submitted)

IV. Εφαρμόσαμε το νέο GR-μοντέλο σε είκοσι αστέρες φασματικού τύπου Oe

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006
Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., SPIG, Serbia, September, 2006
Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S. VI Serbian
Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, 2007

Με την εφαρμογή του GR-μοντέλου μας δόθηκε η δυνατότητα για πρώτη φορά:

α) Να πετύχουμε την ακριβή θεωρητική προσομοίωση των πολύπλοκων περιγραμμάτων φασματικών γραμμών μέσω μιας ενιαίας και κοινής συνάρτησης γραμμής και όχι μέσω μιας μαθηματικής σύνθεσης ανεξάρτητων κατανομών Gauss.

Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Antoniou, A., Popović, L. Č. & Dimitrijević, M. S., 2007 PASJ, 59, 4



Με την εφαρμογή του GR-μοντέλου...

β) Μπορούμε να υπολογίσουμε σημαντικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν περιοχές δημιουργίας DACs-SACs σε αστέρες φασματικού τύπου Oe, όπως:

Αμεσος υπολογισμός

Φαινόμενες περιστροφικές ταχύτητες (Vrot)

Φαινόμενες ακτινικές ταχύτητες των πυκνωμάτων ύλης απορρόφησης ή εκπομπής (Vrad)

Η γκαουσιανή τυπική απόκλιση των τυχαίων θερμικών κινήσεων των παραπάνω ιόντων (σ)

Το οπτικό βάθος (optical depth) στο κέντρο των συνιστωσών που σχηματίζουν τη φασματική γραμμή απορρόφησης ή εκπομπής (ξi)

<u>Έμμεσος υπολογισμός</u>

Οι τυχαίες θερμικές ταχύτητες των ιόντων (Vrandom)
 Το εύρος στο ήμισυ του μεγίστου (FWHM)
 Η απορροφούμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια (Ea, Ee)
 Η πυκνότητα στήλης (column density, CD)

Αντίστοιχη μελέτη υπάρχει ήδη σε αστέρες φασματικού τύπου Be, με τη βοήθεια μοντέλου, εξέλιξη του οποίου είναι το GR-μοντέλο (Λύρατζη Ε., Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, 2005).

Με την εφαρμογή του GR-μοντέλου...

γ) Έχουμε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε για πρώτη φορά σχέσεις που συνδέουν τις προηγούμενες παραμέτρους

Danezis, E., Antoniou, A., Lyratzi, E., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, 2007.

δ) Μπορούμε να συνδέσουμε κάποιες από αυτές με την περιστροφή των αστέρων

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., SPIG, 2006, Kopaonik, Serbia

Με την εφαρμογή του GR-μοντέλου...

ε) Μας δίνεται η δυνατότητα να μελετήσουμε τη χρονική μεταβολή των παραμέτρων αυτών σε διάφορους αστέρες. Στην έρευνά μας μελετήσαμε την μεταβολή των παραμέτρων δύο αστέρων (HD 149757, HD 93521) σε διάστημα 16 ετών.

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. C., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, J XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., Mai 2007, PASJ (submitted)

στ) Μπορούμε, στηριζόμενοι σε όλα τα παραπάνω, να οδηγηθούμε στους πιθανούς μηχανισμούς δημιουργίας των DACs-SACs, οι οποίοι ενδεχομένως να ερμηνεύσουν και τη βίαιη έξωση μάζας που παρατηρείται στους Οε αστέρες (μελλοντική εργασία)

To vέο GR – μοντέλο G(Gauss)- R(Rotation) -model

Γενική συνάρτηση γραμμής

$$F(\lambda)_{final} = \left[F_0(\lambda) \prod_i \exp\left\{-L_i \xi_i\right\} + \sum_j S_{\lambda e j} \left(1 - \exp\left\{-L_{e j} \xi_{e j}\right\}\right) \right] \sum_g \exp\left\{-L_g \xi_g\right\}$$

απορρόφηση εκπομπή γενική απορρόφηση L_i, L_{ej}, L_g: συναρτήσεις κατανομής των συντελεστών απορρόφησης k_i, των συντελεστών εκπομπής k_{ej} και των συντελεστών γενικής απορρόφησης k_g αντίστοιχα

ξ: οπτικό βάθος στο κέντρο της φασματικής γραμμής

Το περίγραμμα κάθε φασματικής γραμμής απορρόφησης αναπαράγεται από την συνάρτηση $exp(-L\xi)$, ενώ της εκπομπής από την συνάρτηση $S_{\lambda ej}(1-exp\{-L_{ej}\xi_{ej}\})$

Σε προηγούμενες εργασίες μας ως κύρια αιτία διεύρυνσης των φασματικών γραμμών θεωρήσαμε τις περιστροφικές κινήσεις των πυκνωμάτων ύλης που τις παράγουν.

Danezis, E., Nikolaidis, D., Lyratzi, E., Stathopoulou, M., Theodossiou, E., Kosionidis, A., Drakopoulos, C., Christou, G. & Koutsouris, P.: 2001, Ap&SS, 1119, 284

Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Stathopoulou, M., Theodossiou, E., Drakopoulos, C., Soulikias, A. & Antoniou, A.: On modeling SACs regions in early type atmospheres", (4th Serbian Conference on Spectral Lines Shapes (IV SCSLS) October, 2003, Serbia.

<u>Θερμοί αστέρες:</u> Ανάγκη εισαγωγής και τυχαίων θερμικών κινήσεων

Νέα συνάρτηση γραμμής η οποία να προσεγγίζει το περίγραμμα της φασματικής γραμμής (GR- μοντέλο)

Η νέα μέθοδος προσέγγισης του περιγράμματος της φασματικής γραμμής

$$F(\lambda)_{final} = \left[F_{0}(\lambda)\prod_{i} \exp\left\{-L_{i}\xi_{i}\right\} + \sum_{j} S_{\lambda ej}\left(1 - \exp\left\{-L_{ej}\xi_{ej}\right\}\right)\right]\sum_{g} \exp\left\{-L_{g}\xi_{g}\right\}$$

$$L_{final}(\lambda) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\lambda_{0}z} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left[erf\left(\frac{\lambda - \lambda_{0}}{\sigma\sqrt{2}} + \frac{\lambda_{0}z}{\sigma\sqrt{2}}\cos\theta\right) - erf\left(\frac{\lambda - \lambda_{0}}{\sigma\sqrt{2}} - \frac{\lambda_{0}z}{\sigma\sqrt{2}}\cos\theta\right)\right]\cos\theta d\theta$$

$$rf(x) = \frac{2}{\pi} \int_{0}^{x} e^{-u^{2}} du \qquad \pi \epsilon \rho_{i} \rho_{i} \phi_{i} \alpha_{i} \alpha$$

e

Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Antoniou, A., Popović, L. Č. & Dimitrijević, M. S., 2007 PASJ, 59, 4 and SPIG 2006, Kopaonik, Serbia.

Ο έλεγχος του μοντέλου

Σύγκριση των αποτελεσμάτων με πάγια φυσικά δεδομένα

1. Για να σχηματισθεί ένα συγκεκριμένο ιόν πρέπει οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή αυτή να είναι οι ίδιες. Αυτό σημαίνει ότι οι τυχαίες θερμικές ταχύτητες των σωματιδίων του συγκεκριμένου ιόντος δεν εξαρτώνται από την περιστροφή του αστέρα. Καθώς όμως το δυναμικό ιονισμού της περιοχής, στην οποία παράγονται οι δορυφορικές συνιστώσες μιας συγκεκριμένης φασματικής γραμμής για όλους τους αστέρες κυμαίνεται σε ένα μικρό εύρος, αναμένουμε μια σταθερή περίπου μέση τιμή των τυχαίων θερμικών ταχυτήτων των ιόντων που την παράγουν άσχετα από την ταχύτητα περιστροφής της φωτόσφαιρας. Δηλαδή η τιμή των τυχαίων θερμικών ταχυτήτων ενός ιόντος στα περιβάλλοντα αστέρων διαφορετικών φαινομένων περιστροφικών ταχυτήτων πρέπει να παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις.



Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August 2006

2) Σύγκριση των ταχυτήτων περιστροφής που υπολογίσθηκαν εφαρμόζοντας δύο διαφορετικές μεθόδους. Την κλασική ανάλυση Fourier και το GR- μοντέλο.



Οι προσομοιώσεις της φασματικής γραμμής απορρόφησης του He I λ 4387.928 Å για πέντε αστέρες φασματικού τύπου Be και οι υπολογισθείσες ταχύτητες περιστροφής με ανάλυση Fourier και με το GR –model. Lyratzi, E., Danezis, E., Autoniou, A., Nikolaidis, D., Popović, L. Č. & Dimitrijević, M. S., SPIG,

Lyratzi, E., Danezis, E., Antoniou, A., Nikolaidis, D., Popović, L. C. & Dimitrijević, M. S., SPIG, Serbia 2006, 2007 PASJ, 59, 4

Φαινόμενα υπεριονισμού των περιστεμματικών περιοχών δημιουργίας των ιόντων C IV, N IV και N V σε 20 αστέρες φασματικού τύπου Oe Φαινόμενα υπεριονισμού των περιστεμματικών περιοχών δημιουργίας των ιόντων C IV, N IV και N V σε 20 αστέρες φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

✓I.U.E Database http://arcive.stsci.edu.iue.

✓ Χρησιμοποιήθηκε η κάμερα SWP (Short Wavelength range Prime Camera).

Επιλέξαμε εκείνους που χαρακτηρίζονται ως Oe σε όλες
 τις βάσεις δεδομένων.

Φαινόμενα υπεριονισμού των περιστεμματικών περιοχών δημιουργίας των ιόντων C IV, N IV και N V σε 20 αστέρες φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

ΑΣΤΕΡΑΣ	ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΑΣΤΕΡΑΣ	ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
HD 24534	O9.5 III	HD 57061	O9.0I
HD 24912	O7.5 III	HD 60848	O8.0V
HD 34656	O7 II	HD 91824	O7 V
HD 36486	O9.5 II	HD 93521	O9.5II
HD 37022	O 6 V	HD 112244	O8.5I
HD 47129	O7.5 III	HD 149757	O9V
HD 47839	O7 III	HD 164794	O4V
HD 48099	O6.5 V	HD 203064	O8V
HD 49798	O 6	HD 209975	O9.5I
HD 57060	O8.5I	HD 210839	O6.0I

Φαινόμενα υπεριονισμού των περιστεμματικών περιοχών δημιουργίας των ιόντων C IV, N IV και N V σε 20 αστέρες φασματικού τύπου Oe (συνέχεια)

Καταλληλότερη προσέγγιση (best fit) του περιγράμματος της φασματικής γραμμής. F-test
Με τη βοήθεια του F-test επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός του πλήθους των συνιστωσών που παράγουν το περίγραμμα της συγκεκριμένης φασματικής γραμμής



Με τη βοήθεια του F-test επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός του πλήθους των συνιστωσών που παράγουν το περίγραμμα της συγκεκριμένης φασματικής γραμμής



Σχέση μεταξύ των φαινομένων ταχυτήτων περιστροφής του αστέρα και των ταχυτήτων περιστροφής των πυκνωμάτων που δημιουργούν τις φασματικές συνιστώσες

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., SPIG, 2006, Kopaonik, Serbia

Υπολογίσαμε το λόγο V_{rot}/V_{phot} όλων των δορυφορικών συνιστωσών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής της φωτόσφαιρας V_{phot} . Ο λόγος αυτός δηλώνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η ταχύτητα περιστροφής των πυκνωμάτων ύλης του συγκεκριμένου ιόντος από τη φαινόμενη ταχύτητα περιστροφής του αστέρα.

Vrot/Vphot = f(Vphot)



Προσδιορισμός των αναπτυσσόμενων πεδίων τιμών των φυσικών παραμέτρων ως συνάρτηση του φασματικού υποτύπου των 20 αστέρων

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S. VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, 2007

Ακτινικές ταχύτητες V_{radial} (km/s) των δορυφορικών συνιστωσών συναρτήσει του φασματικού υποτύπου



Ταχύτητες περιστροφής V_{rotation} (km/s) των δορυφορικών συνιστωσών συναρτήσει του φασματικού υποτύπου



Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, <u>2006</u>, and VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, <u>2007</u>.

Τυχαίες θερμικές ταχύτητες V_{random} (km/s) των ιόντων των δορυφορικών συνιστωσών συναρτήσει του φασματικού υποτύπου





Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, <u>2006</u>, and VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, <u>2007</u>.

FWHM (Å) των δορυφορικών συνιστωσών συναρτήσει του φασματικού υποτύπου



Σχέσεις μεταξύ των φυσικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις περιοχές C IV, N IV και N V

Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, Antoniou, A., D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S. VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, 2007

V_{radial}=f(V_{rotation})



$\sigma = f(V_{rotation})$







FWHM =f(V_{random})



Μεταβολή των φαινομένων ακτινικών ταχυτήτων ως συνάρτηση του δυναμικού ιονισμού

Το δυναμικό ιονισμού συγκεκριμένου ιόντος εξαρτάται από την απόσταση της περιοχής δημιουργίας του από τον αστέρα

Franco et al. (1982) & Kapper et al. (1996): Ο<u>ι ακτινικές ταχύτητες βαίνουν αυξανόμενες από τις εσωτερικές</u> <u>προς τις εξωτερικές περιοχές</u>.



Οι μέσες ακτινικές ταχύτητες, που καταμετρήθηκαν στις περιοχές δημιουργίας των Ν IV, C IV και Ν V και στους είκοσι υπό μελέτη αστέρες ανά δορυφορική συνιστώσα, ως συνάρτηση του δυναμικού ιονισμού Χρονική μεταβολή των στεμματικών και μεταστεμματικών του περιοχών

Προκειμένου μελλοντικά να οδηγηθούμε στην εύρεση του μηχανισμού της δημιουργίας των DACs-SACs, εκτός της στατιστικής μελέτης των τιμών των παραμέτρων, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το πως αυτές οι παράμετροι μεταβάλλονται μετά του χρόνου. Αυτή η μελέτη της μεταβολής αναφέρεται σε κάθε Οε αστέρα ξεχωριστά. Μελετώντας τη χρονική εξέλιξη των παραμέτρων που αφορά ένα μεγάλο αριθμό αστέρων όλων των φασματικών Οε υποτύπων, μπορούμε να διερευνήσουμε τη δυνατότητα ύπαρξης ενός κοινού μηχανισμού.

Ο αστέρας HD 149757

Χρονική μεταβολή των στεμματικών και μεταστεμματικών του περιοχών

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., Mai 2007, PASJ (submitted)

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S. VI Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics Sremski Karlovci, Serbia, June 11-15, 2007

HD 149757

Φασματικός τύπος	O9V(e)	Conti (1973)
Φινόμενο μέγεθος (m _v)	2.56	Hoffleit (1964)
Δείκτης χοώματος (Β-V)	+0.02	Hoffleit (1964
Γωνιακή διάμετρος (milliarsrec)	5.1±0.5	Hanbury Brown et al. (1974)
Απτίνα σε ηλιαπές απτίνες (R/Ro)	9.6±1.7	Morton (1976)
Ενεργός θερμοκρασία (Teff) kK	31910±2040 34100	Code et al. (1974) Underhill et al. (1979)
Μάζα σε ηλιακές μάζες (Μ/Μ⊙)	25±5	Morton (1976)
Λαμπρότητα log(L/L [®])	4.9	Howarth & Prinja (1989)
Επιτάχυνση βα و ύτητας (logg)	3.9±0.2 cgs	Morton (1976)
Ταχύτητα περιστροφής (Vsini)	390 km/s	Hutchings & Stoeckley (1977)
Απόλυτο μέγεθος (M _v)	-4.2	Howarth & Prinja (1989)
Ταχύτητα διαφυγής (Vesc)	1036 km/s	Howarth & Prinja (1989)
Ακτινική ταχύτητα (Vrad)	- 15 km/s (μεταβλητή)	Hoffleit et al. (1991)

Φασματική ανάλυση



Ακτινικές ταχύτητες (Vrad, km/s)



Ταχύτητες περιστροφής (Vrot, km/s)



Τυχαίες θερμικές ταχύτητες (Vrand, km/s)



Περιοχή δημιουργίας του CIV λ1548.155 Å



Απορροφούμενη ενέργεια (eV) Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)

Περιοχή δημιουργίας του C IV λ 1550.774 Å



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)

Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)

Περιοχή δημιουργίας του ΝΙ



<u>Απορροφούμενη ενέργεια (eV)</u>

Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)

Περιοχή δημιουργίας του NV λ 1238.821 Å



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)

Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)

Περιοχή δημιουργίας του NVλ 1242.804 Å



<u>Απορροφούμενη ενέργεια (eV)</u>

<u>Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)</u>

Περιοχή δημιουργίας του Si IV

λ1393.755 Å



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)

<u>Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)</u>

Περιοχή δημιουργίας του Si IV λ 1402.770 Å



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)

Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)

Ο αστέρας HD 93521

Χρονική μεταβολή των στεμματικών και μεταστεμματικών του περιοχών

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

Ο αστέρας HD 93521

Παράμετρος	Τιμή	Αναφορά
Λαμπρότητα (L)	10 ^{4.9} L	Howarth & Prinja (1989)
Απόσταση (d)	1.5 kps 1.4 kpc 2 kpc	Edgar & Savage (1992) Hobbs et al. (1982) Howarth et al. (2001)
Φασματική ταξινόμηση	O9.5V	Hobbs et al. (1982)
Οριακή ταχύτητα (V _∞)	400 – 2000 km/s	Howarth & Reid (1993)
Ταχύτητα περιστροφής Vsini	400±20 km/s	Conti & Ebbets (1977) Lennon et al. (1991)
Ακτινική ταχύτητα (V _{rad})	-11 km/s -16 km/s	Garmany et al. (1980) Barnstedt et al. (2000)
T _{eff} (K)	33500±1500 31200 34500	Lennon et al. (1991) Hack & Yilmaz (1977) Prinjia & Howarth (1986)
Βα ρυτικό πεδίο log g (cm/sec ²)	3.8±0.2 3.4	Lennon et al. (1991) Hack & Yilmaz (1977)
Απτίνα (R/R•)	8	Prinjia & Howarth (1986)
Μάζα (M/M [⊙])	24	Prinjia & Howarth (1986)
Ταχύτητα διαφυγής (V _{esc})	1036 km/s	Howarth & Prinja (1989)

HD 93521 (συνέχεια)

Φασματική ανάλυση



Περιοχή δημιουργίας του CIV

<u>Ταχύτητες περιστροφής (V_{rotatio}</u>

HD 93521 (συνέχεια)



HD 93521 (συνέχεια)

Περιοχή δημιουργίας του C IV (συνέχεια)

Ακτινικές ταχύτητες (V_{radial})


HD 93521 (συνέχεια)

Περιοχή δημιουργίας του C IV (συνέχεια)

Τυχαίες θερμικές ταχύτητες (V_{random})





Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.



<u>1η συνιστώσα λλ 1548.155, 1550.774 Å</u>



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)



<u>2η συνιστώσα λλ 1548.155, 1550.774 Å</u>



<u>Απορρφούμενη ενέργεια (eV)</u>

<u>3η συνιστώσα λλ 1548.155, 1550.774 Å</u>



<u>Απορρφούμενη ενέργεια (eV)</u>



<u>4η συνιστώσα λλ 1548.155, 1550.774 Å</u>



<u>Απορρφούμενη ενέργεια (eV)</u>



<u>5η συνιστώσα λλ 1548.155, 1550.774 Å</u>



<u>Απορρφούμενη ενέργεια (eV)</u>

<u>Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)</u>

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

HD 93521 (συνέχεια)

Η περιοχή δημιουργίας του Ν ΙV



Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.



<u>Απορροφούμενη ενέργεια (eV)</u>

<u>Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)</u>

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

HD 93521 (συνέχεια)

Η περιοχή δημιουργίας του Ν V (απορρόφηση)





Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

HD 93521 (συνέχεια)

Περιοχή απορρόφησης του Ν V (συνέχεια)

λ **1238.821** Å



<u>Απορροφούμενη ενέργεια (eV)</u>

Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

Περιοχή απορρόφησης του Ν V (συνέχεια)

λ 1242.804 Å



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)

<u>Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)</u>

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

HD 93521 (συνέχεια)

Περιοχή δημιουργίας του Ν V (εκπομπή)



Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

Περιοχή εκπομπής του Ν V (συνέχεια)

λ **1238.821** Å



Εκπεμπόμενη ενέρ<mark>γεια (eV)</mark>

Περιοχή εκπομπής του Ν V (συνέχεια)

λ **1242.804** Å



Εκπεμπόμενη ενέργεια (eV)

<u>Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)</u>

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August, 2006.

HD 93521 (συνέχεια)

Η περιοχή δημιουργίας του Si IV







<u>1η συνιστώσα λλ 1393.755, 1402.770 Å</u>



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)



2η συνιστώσα λλ 1393.755, 1402.770 Å



Απορρφούμενη ενέργεια (eV) Πυκνότητα στήλης (10¹⁰ cm⁻²)



<u>3η συνιστώσα λλ 1393.755, 1402.770 Å</u>



Απορροφούμενη ενέργεια (eV)

Πρωτότυπα στοιχεία της έρευνας. Γενικά συμπεράσματα

Πρωτότυπα στοιχεία της έρευνας. Συμπεράσματα (συνέχεια)

 Γενικά, για πρώτη φορά, χρησιμοποιώντας τη νέα συνάρτηση γραμμής, υπολογίσαμε σημαντικές παραμέτρους, όπως ακτινικές και περιστροφικές ταχύτητες, τυχαίες θερμικές ταχύτητες, η γκαουσιανή τυπική απόκλιση, το FWHM, τα οπτικά βάθη, η απορροφούμενη ενέργεια και η πυκνότητα στήλης. Αυτό σημαίνει ότι τώρα μας δίνεται η δυνατότητα να προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς δημιουργίας των DACs- SACs.

Danezis, E., Nikolaidis, D., Lyratzi, E., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., Antoniou, A. & Theodosiou, E.: 2007, PASJ, 59,4.

Η νέα αυτή συνάρτηση βελτιώνει προηγούμενο μοντέλο της ερευνητικής μας ομάδας.

Danezis, E., Nikolaidis, D., Lyratzi, E., Stathopoulou, M., Theodossiou, E., Kosionidis, A., Drakopoulos, C., Christou, G. & Koutsouris, P.: 2001, Ap&SS, 1119, 284

2. Η εφαρμογή του νέου GR-μοντέλου σε είκοσι αστέρες φασματικού τύπου Oe, μας έδωσε τη δυνατότητα, να μελετήσουμε στατιστικά, για πρώτη φορά, τις προηγούμενες παραμέτρους και να βρούμε σχέσεις αυτών τόσο με το φασματικό υποτύπο όσο και μεταξύ τους. Η μελέτη αυτή μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση των μηχανισμών δημιουργίας των DACs-SACs αλλά, πιθανόν, και του γενικότερου μηχανισμού έξωσης μάζας, που παρατηρείται στους αστέρες φασματικού τύπου Oe, μέρος του οποίου είναι το φαινόμενο των DACs-SACs.

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Prague, August 2006.

Antoniou, A., Danezis, E., Lyratzi, E., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Theodosiou, E., Mai 2007, PASJ (submitted)

3. Η θεώρηση των φαινομένων SACs και DACs ως η κύρια αιτία της πολυπλοκότητας των φασματικών γραμμών μας οδηγεί στο να αποδεχθούμε τιμές μικρότερες από τις μέχρι τώρα υπολογισθείσες τιμές όπως το FWHM, τα οπτικά βάθη, και η πυκνότητα στήλης. Μας οδηγεί, επίσης, και στο $v\alpha$ αποδεχθούμε διαφορετικές τιμές για τις περιστροφικές, τις ακτινικές και τις τυχαίες θερμικές ταχύτητες. Αιτία αυτής της διαφορετικότητας είναι ότι το πολύπλοκο περίγραμμα της φασματικής γραμμής δεν αντιστοιχεί σε μια απλή φασματική γραμμή αλλά σε μια ομάδα SACs και DACs. H διαφορετικότητα των τιμών των παραμέτρων αυτών ίσως μας οδηγήσει και σε διαφορετικούς μηχανισμούς δημιουργίας των πυκνωμάτων ύλης που παράγουν τα SACs-DACs.

4. Η χρονική μεταβολή, εντός χρονικού διαστήματος 16 ετών, των παραμέτρων στις περιοχές δημιουργίας των C IV, N IV, N V και Si IV στους δύο αστέρες HD 149757 και HD 93521, φασματικού τύπου Oe, καταδεικνύει ότι οι περιστροφικές, οι ακτινικές και οι θερμικές ταχύτητες, καθώς επίσης και οι παράμετροι FWHM, οπτικό βάθος, απορροφούμενη ενέργεια και πυκνότητα στήλης παρουσιάζουν μια πολύ μικρή μεταβλητότητα. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί κατ' αρχήν στο συμπέρασμα ότι το υλικό το οποίο παράγει DACs ή SACs παραμένει πρακτικά σταθερό εντός του μελετηθέντος χρονικού διαστήματος των 16 ετών. Μια άλλη εξήγηση του φαινομένου αυτού είναι ότι η χρονική αυτή σταθερότητα αφορά το φυσικό μηχανισμό παραγωγής των ιδιοτήτων του υλικού (π.χ. μαγνητικό πεδίο, ωστικά κύματα από το συνοδό στην περίπτωση διπλού συστήματος) και όχι το ίδιο το υλικό.

Μελλοντικοί στόχοι. Η έρευνα συνεχίζεται...

- Όπως ήδη αναφέραμε το μοντέλο περιγράφει συγκεκριμένες <u>στεμματικές</u> και μεταστεμματικές περιοχές. Για να μπορέσουμε να διερευνήσουμε την αστρική ατμόσφαιρα <u>ως σύνολο</u>, είναι απαραίτητη και η μελέτη περιοχών πέρα των στεμματικών και μεταστεματικών. Τέτοιες είναι για παράδειγμα οι περιοχές δημιουργίας της Lyman α, του <u>Al III</u> και γενικότερα περιοχές δημιουργίας ιόντων με χαμηλότερο δυναμικό ιονισμού.
- 2. Στηριζόμενοι σε ένα μεγάλο όγκο δεδομένων που είναι για πρώτη φορά στη διάθεσή μας μπορούμε να οδηγηθούμε στους πιθανούς μηχανισμούς δημιουργίας των DACs-SACs, οι οποίοι ενδεχομένως να ερμηνεύσουν και τη βίαιη έξωση μάζας που παρατηρείται στους Oe αστέρες.

Ευχαριστώ για την παρουσία σας και την υπομονή σας

Τρόπος λειτουργίας του προγράμματος

α. Rotation κατανομή







Lyratzi, E., Danezis, E., Antoniou, A., Nikolaidis, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S., & Thoedosiou, E., XXVIth IAU General Assembly, Πράγα, Αύγουστος, 2006



Best fit του περιγράμματος της φασματικής γραμμής λ 1718.80 Å του Ν IV, με <u>2 δορυφορικές συνιστώσες απορρόφησης</u> στο φάσμα SWP02082 του αστέρα HD 2453 (Antoniou et al. 2006, 2007)



Best fit του περιγράμματος των φασματικών γραμμών συντονισμού λλ 1238.821, 1242.804 Å του N V στο φάσμα SWP15532 του αστέρα HD 34656, με 3 δορυφορικές συνιστώσες απορρόφησης και 1 εκπομπής. (Antoniou et al. 2006, 2007)

F-Test για προσδιορισμό ελάχιστου αριθμού συνιστωσών και καταλληλότερης κατανομής της προσέγγισης του περιγράμματος της φασματικής γραμής



$V_{random} = f(V_{radial})$



