

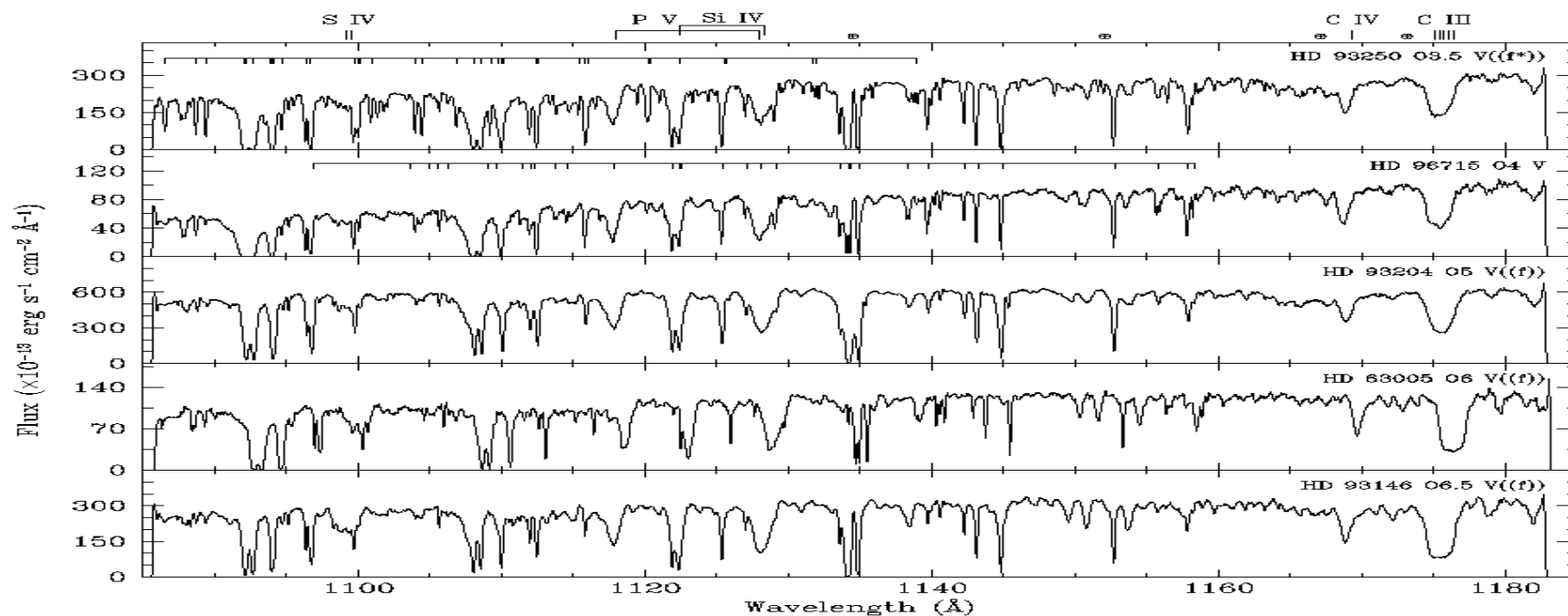


Μελετώντας τα UV φάσματα Αστέρων και Quasars

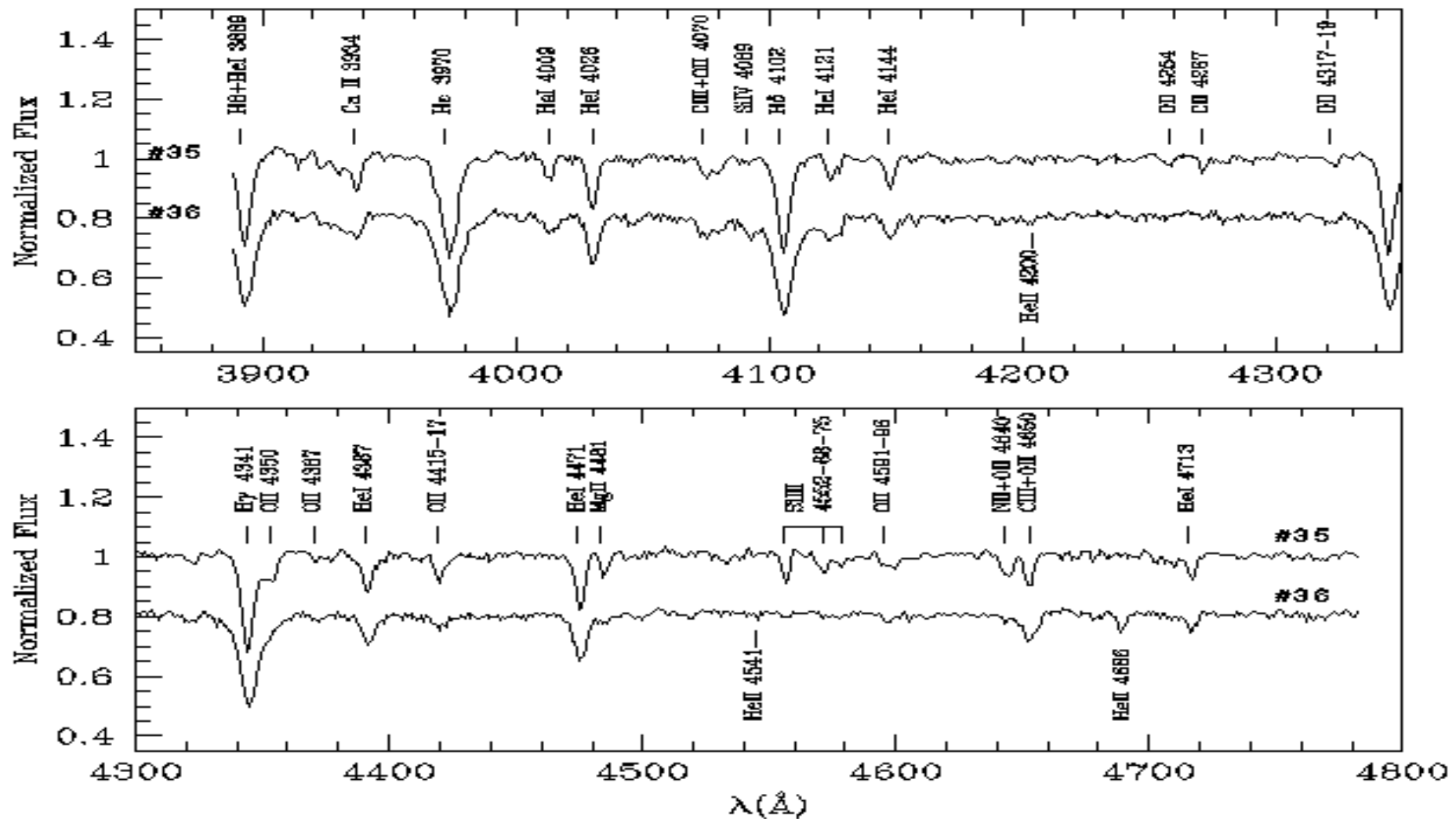
E. Danezis,

University of Athens, Faculty of Physics,
Department of Astrophysics, Astronomy and Mechanics,
Panepistimioupoli, Zographou 157 84, Athens – Greece

Όπως γνωρίζουμε, όλα τα άστρα του ίδιου φασματικού τύπου και της ίδιας τάξης φωτεινότητας, εμφανίζουν τις ίδιες γραμμές απορρόφησης στα φάσματά τους.



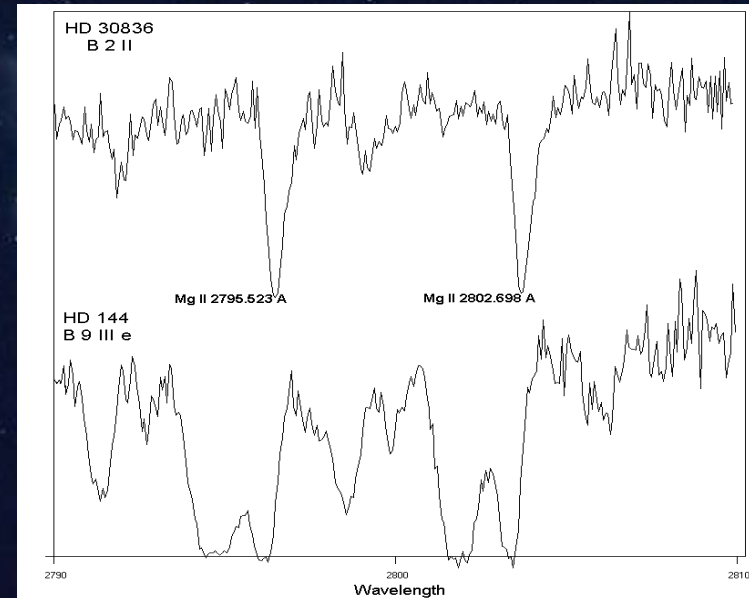
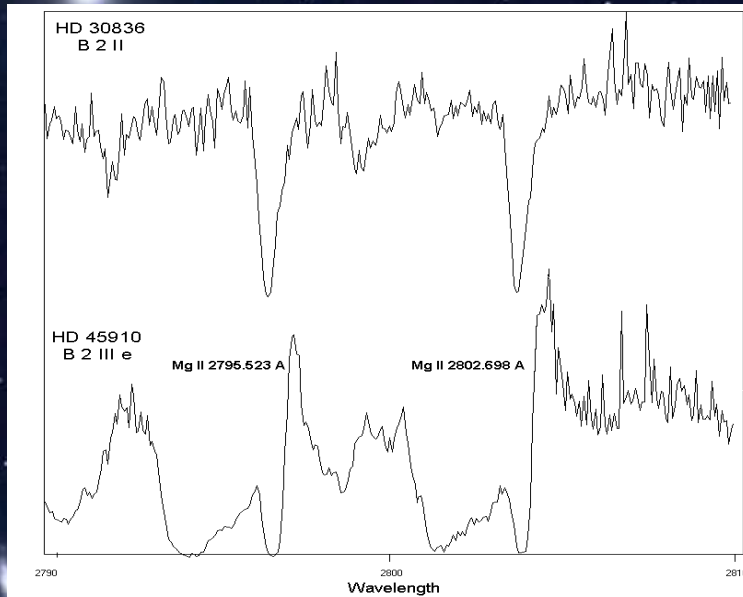
Στην εικόνα παρατηρούμε μια ομάδα αστέρων O τύπου, της ίδιας τάξης φωτεινότητας, τα οποία παρουσιάζουν τις ίδιες γραμμές απορρόφησης.



Δύο Be αστέρες, της ίδιας τάξης φωτεινότητας, εμφανίζουν τις ίδιες γραμμές απορρόφησης στα φάσματά τους.

Όλα τα άστρα;

Στην υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ορισμένοι θερμοί αστέρες εκπομπής (Oe και Be) εμφανίζουν κάποιες συνιστώσες απορρόφησης, οι οποίες δεν θα έπρεπε να εμφανίζονται στο φάσμα τους, σύμφωνα με την κλασική θεωρία.



Στις ανωτέρω εικόνες, παρουσιάζεται η αντιπαράβολή των Mg II γραμμών συντονισμού μεταξύ του φάσματος ενός κοινού B αστέρα και των φασμάτων δύο ενεργών Be αστέρων, οι οποίοι εμφανίζουν σύνθετες και ασυνήθεις φασματικές γραμμές. Όπως παρατηρούμε οι Be αστέρες εμφανίζουν κάποιες συνιστώσες απορρόφησης οι οποίες δεν εμφανίζονται στα φάσματα των κλασικών B αστέρων.

Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο να συγχέονται τα φαινόμενα που παρατηρούμε στις ατμοσφαιρικές περιοχές γύρω από απλούς θερμούς αστέρες με τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στους θερμούς αστέρες εκπομπής. Η ομάδα των θερμών αστερών εκπομπής είναι μία υποκατηγορία των θερμών αστερών και εμφανίζουν διαφορετικά φαινόμενα και προβλήματα.

Όπως γνωρίζουμε στον κλασικό ορισμό των θερμών αστερών εκπομπής περιλαμβάνεται το γεγονός ότι εμφανίζουν γραμμές εκπομπής στη σειρά Balmer. Αυτό σημαίνει πως προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε μηχανισμούς ικανούς να ερμηνεύσουν αυτές τις γραμμές εκπομπής όπως τα μοντέλα αστρικών ανέμων ή ατμοσφαιρών.

Το πρόβλημα που εμφανίζεται είναι ότι στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος, τα μοντέλα αυτά δεν είναι ικανά να αναπαράγουν τα πολύπλοκα προφίλ γραμμών και τις συνιστώσες απορρόφησης οι οποίες δεν θα έπρεπε να εμφανίζονται σύμφωνα με την κλασική θεωρία.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την πηγή αυτών των προβλημάτων κρίνεται αναγκαία η επισήμανση κάποιων γενικών χαρακτηριστικών των θερμών αστερών εκπομπής.

**Γενικά
χαρακτηριστικά των
θερμών αστέρων
εκπομπής (Oe και Be
αστέρες)**

1. Ταχείς Περιστροφείς

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των θερμών αστέρων εκπομπής, το οποίο και τους διαφοροποιεί από τους κλασσικούς θερμούς αστέρες, είναι η βίαιη εκτίναξη μάζας, υπό μορφή εκλάμψεων, από ενεργές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, όταν η ταχύτητα περιστροφής των θερμών αστέρων εκπομπής, οι οποίοι είναι ταχείς περιστροφείς, αγγίζει μια κρίσιμη τιμή, τότε ο αστέρας εκτοξεύει βίαια πλάσμα στο μεσοαστρικό χώρο, από μία ζώνη η οποία βρίσκεται γύρω από τον ισημερινό του.



2. Εκτόξευση ύλης

Η εκτόξευση μάζας, η οποία μπορεί να διαρκέσει για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό σπειροειδών ρευμάτων πλάσματος, πλησίον το αστέρα, τα οποία οφείλονται στην τυρβώδη ροή και την αστρική περιστροφή. Οι δομές αυτές προκαλούν το σχηματισμό περιοχών αξιοσημείωτης πυκνότητας, όπως είναι τα κελύφη, τα πυκνώματα πλάσματος και ελαφρές εκτινάξεις πλάσματος.

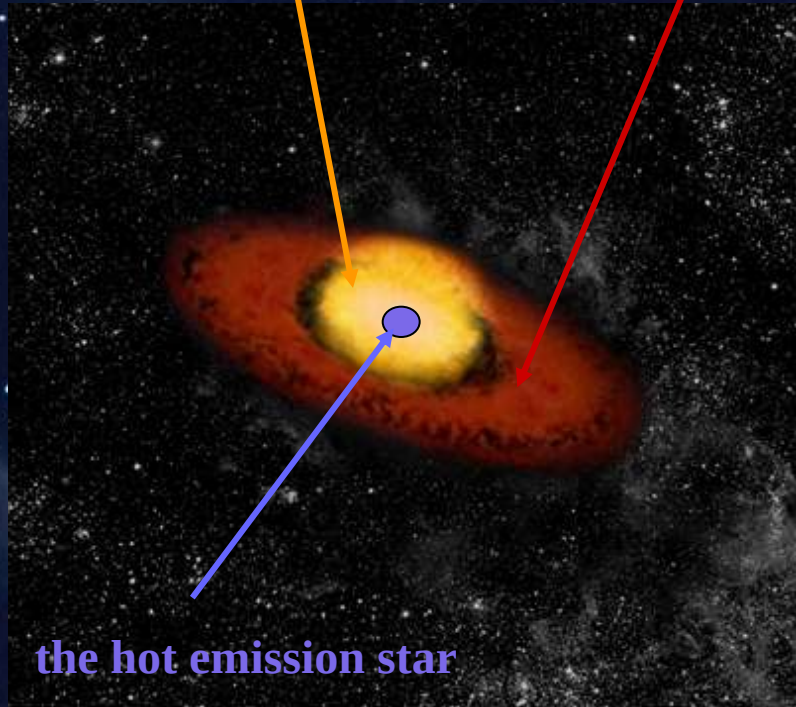
Ως αποτέλεσμα, το υλικό που προέρχεται από το αστέρι δεν έχει τη μορφή ενός κλασικού αστρικού ανέμου

Το εκτινασσόμενο πλάσμα
εξελίσσεται σε σφαιρικό
κέλυφος γύρω από το αστέρι.
Το κέλυφος εξελίσσεται
δημιουργώντας ένα δίσκο
προσαύξησης, γύρω από τον
ισημερινό του αστεριού, ο
οποίος καταλήγει στον
κλασσικό αστρικό άνεμο. Ως
αποτέλεσμα, τα μοντέλα
αστρικών ανέμων μπορούν να
χρησιμοποιηθούν, για την
εξώτερη περιοχή του δίσκου
προσαύξησης, και όχι για τα
εσωτερικά στρώματα.

spherical envelope around hot emission stars

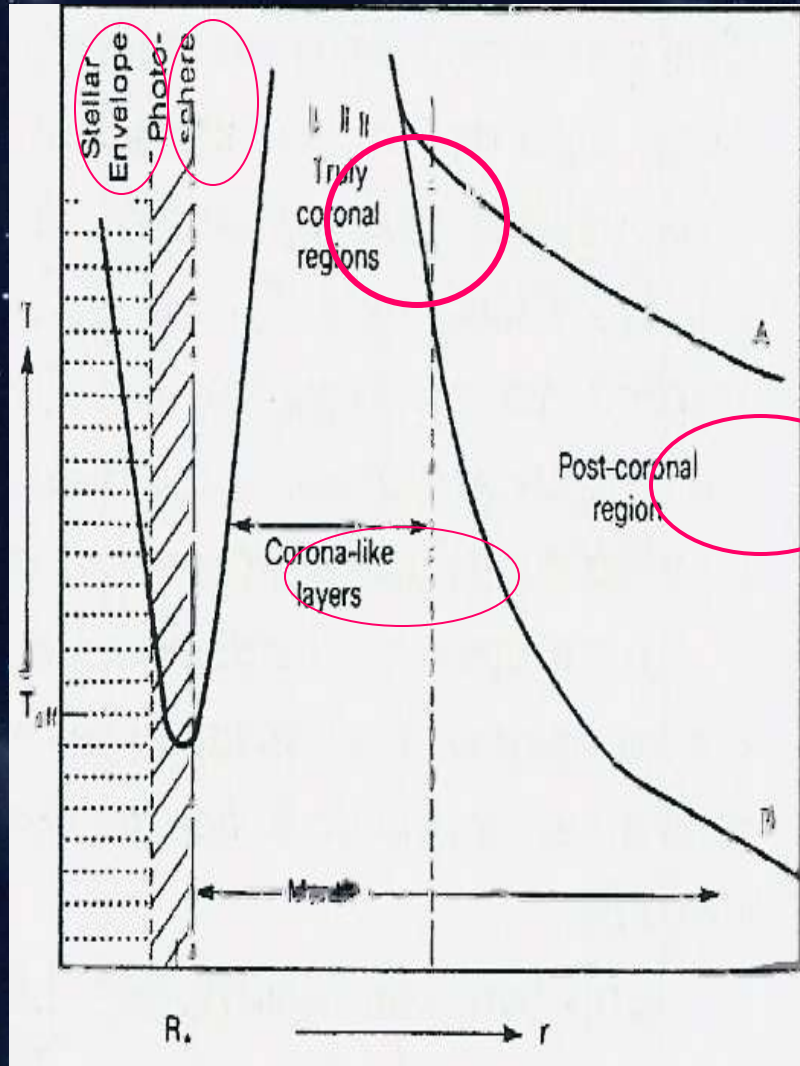
the disc around the stars

the hot emission star



The B[e] Supergiant CPD-57° 2874 (Artist View)

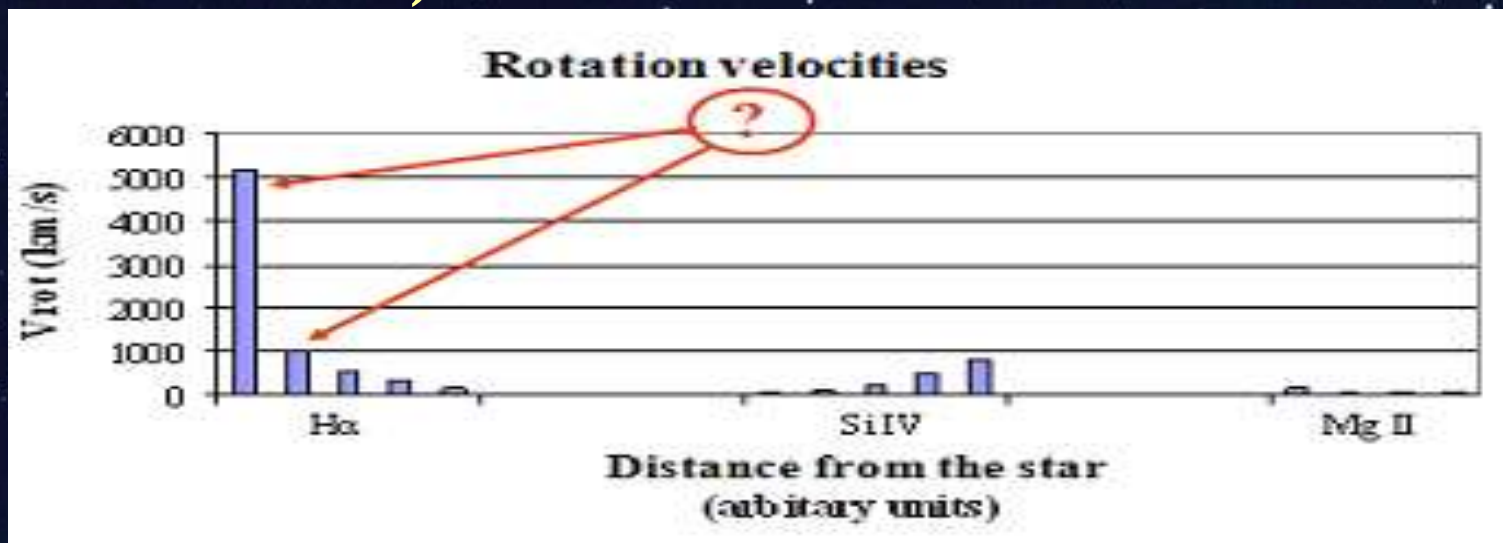
3. Περιοχές υψηλής θερμοκρασίας



Κοντά στους θερμούς αστέρες εκπομπής, μπορούμε να διακρίνουμε πυκνές περιοχές οι οποίες έχουν τα χαρακτηριστικά της χρωμόσφαιρας, του στέμματος και της μετά – στέμματος περιοχής. Επιπροσθέτως, ανιχνεύουμε το στέμμα των θερμών αστέρων εκπομπής στις ακτίνες X, ενώ στο υπεριώδες ανιχνεύουμε τις μετά – στέμματος περιοχές (Si IV, C IV, N IV, N V γραμμές).

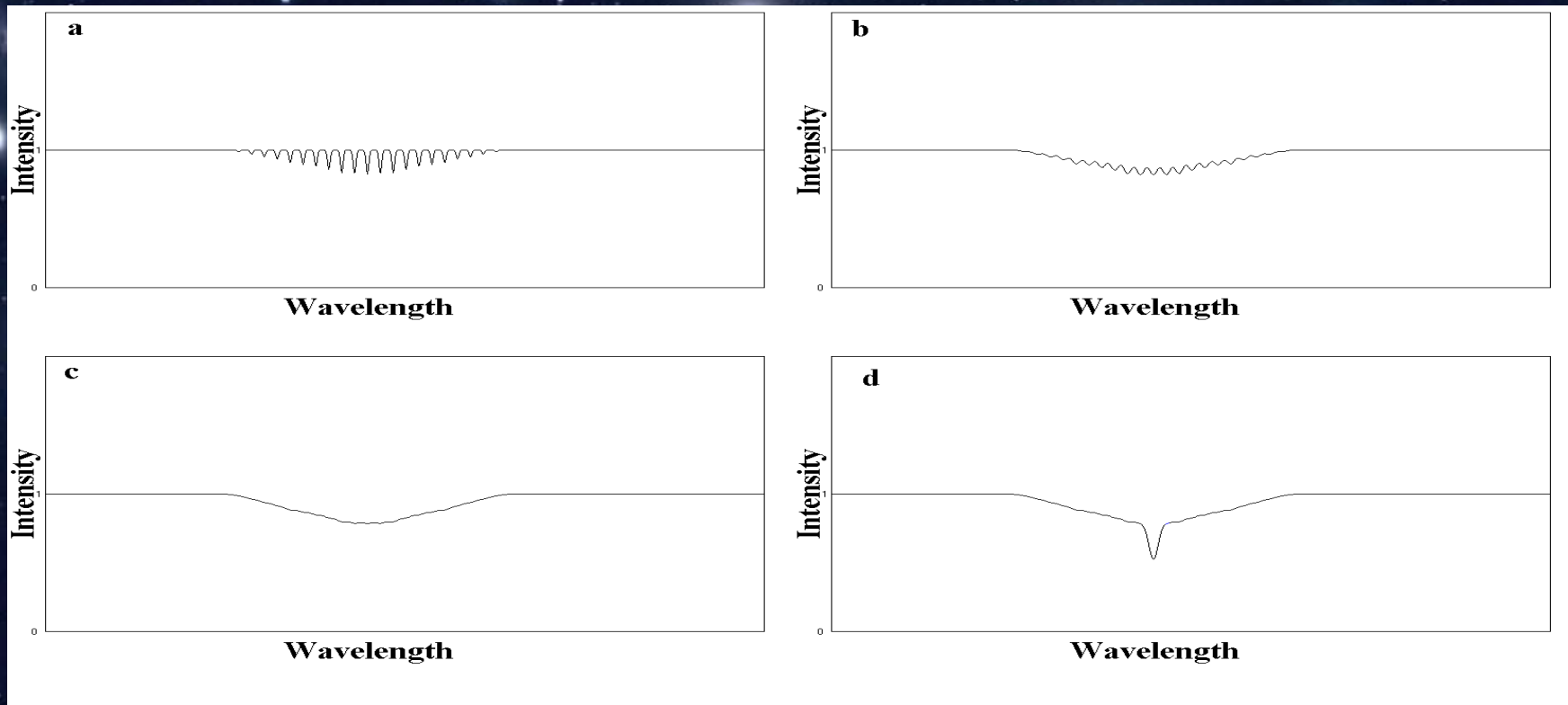
4. Το πρόβλημα του μεγάλου πλάτους των φασματικών γραμμών

Ένα σημαντικό φαινόμενο, το οποίο μπορούμε να ανιχνεύσουμε στα φάσματα των θερμών αστέρων εκπομπής, είναι ότι σε πολλά φάσματα, μερικές από τις συνιστώσες των στοιχείων που βρίσκονται σε υψηλό βαθμό ιονισμού, είναι πολύ πλατιές. Αυτό το μεγάλο πλάτος δεν μπορεί να ερμηνευθεί βάση των υψηλών ταχυτήτων της τυχαίας κίνησης των ιόντων, ούτε βάση των μεγάλων ταχυτήτων περιστροφής των περιοχών όπου τα στοιχεία δημιουργούνται. (κρίσιμες ταχύτητες περιστροφής περίπου 450 km/sec)



Μια πιθανή ερμηνεία της πλάτυνσης των φασματικών γραμμών (Danezis et al. 2008).

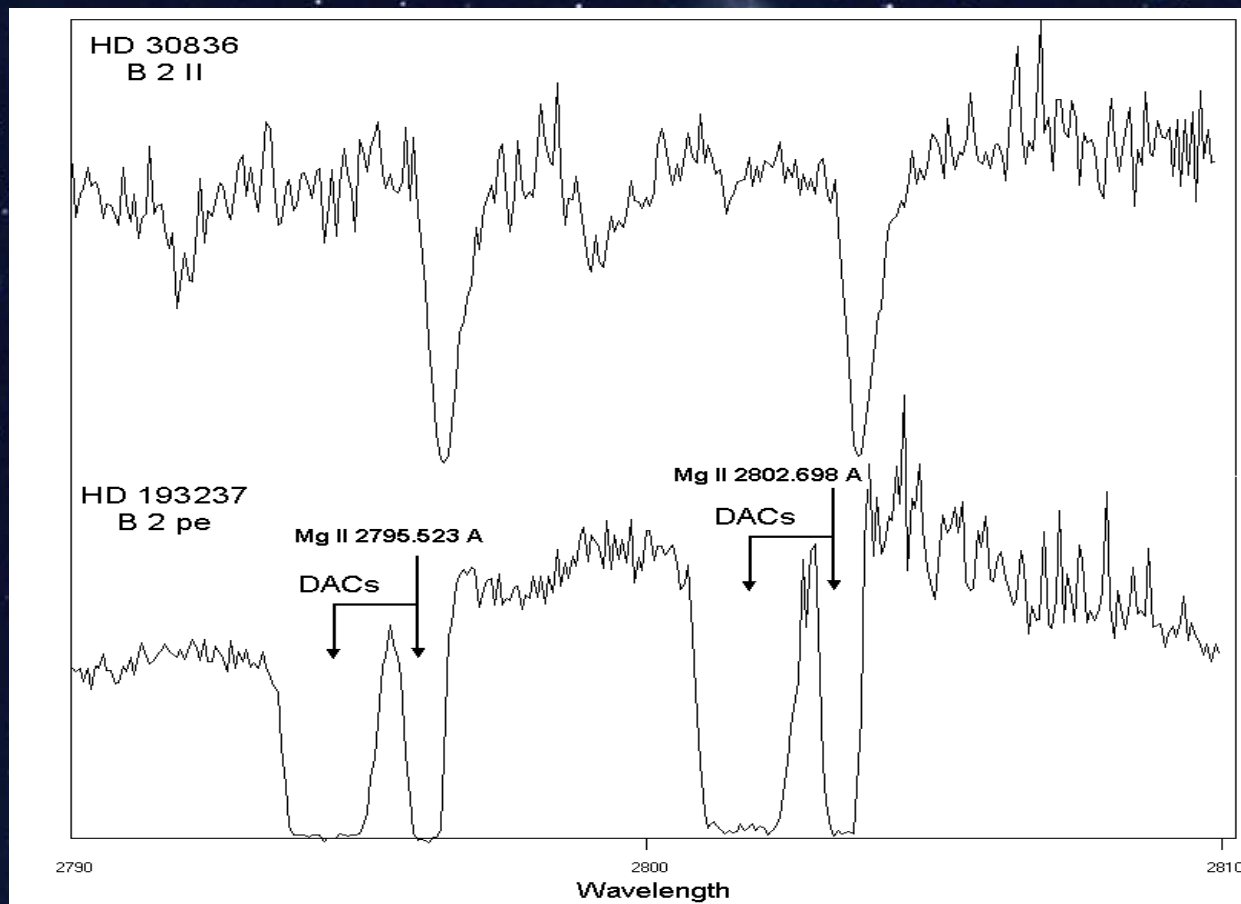
Στο περιβάλλον των θερμών αστέρων εκπομπής, εκτός από τις περιοχές μεγάλης πυκνότητας, η βίαιη εκτόξευση μάζας είναι πιθανό πως δημιουργεί μικρότερες περιοχές, εξαιτίας της μικρής τυρβώδους ροής. Αυτές οι μικρότερες περιοχές παράγουν στενές συνιστώσες απορρόφησης με διαφορετικές μετατοπίσεις δημιουργώντας μια αλληλουχία γραμμών. Η επιπρόσθετη όλων των γραμμών αυτής της ακολουθίας είναι που μας δίνει την αίσθηση της πλάτυνσης της φασματικής γραμμής. Ως αποτέλεσμα, αυτό που αντιλαμβανόμαστε και μετράμε ως μεγάλο πλάτος γραμμής απορρόφησης, είναι η σύνθεση των στενών γραμμών απορρόφησης οι οποίες δημιουργούνται από φαινόμενα τυρβώδους ροής.



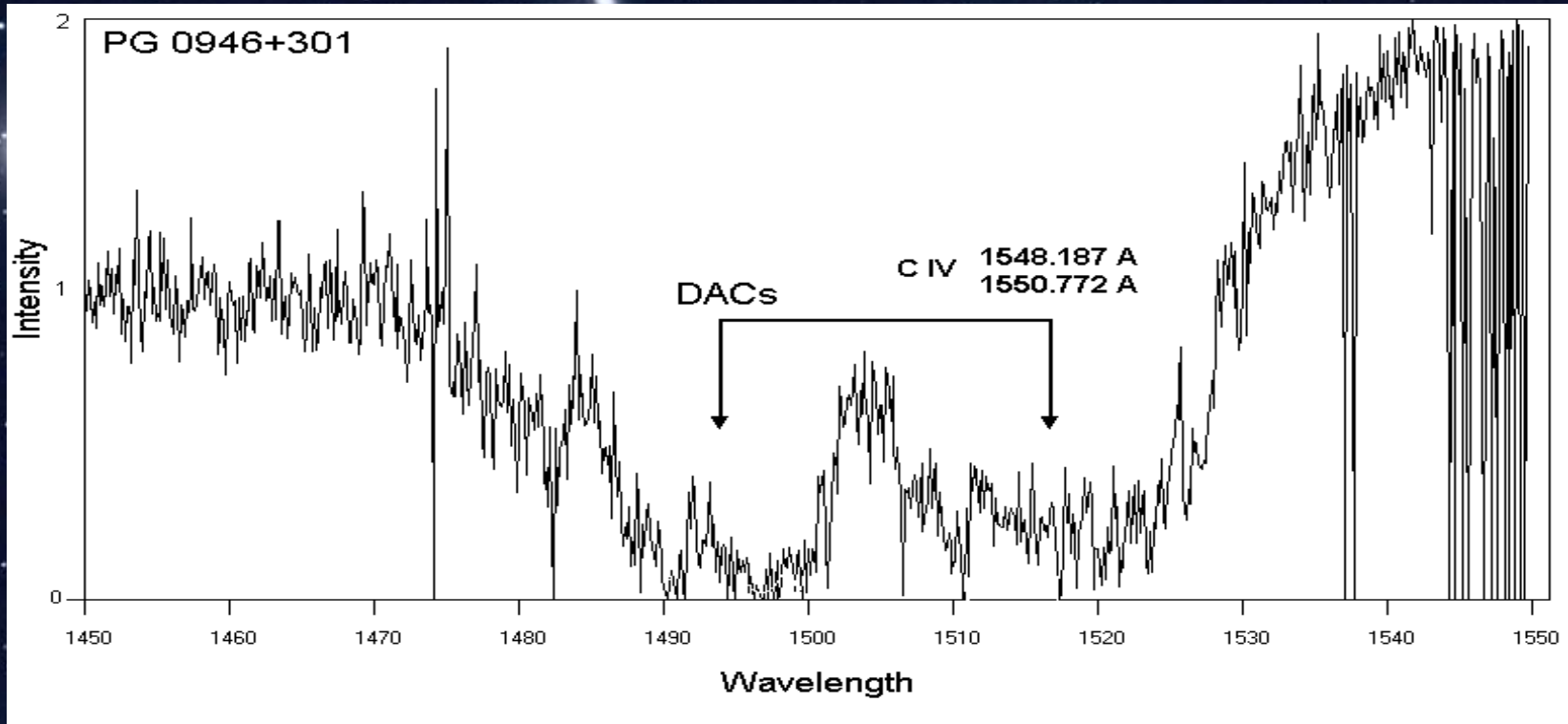
Από το (a) στο (c) μπορούμε να παρατηρήσουμε τον τρόπο με τον οποίο μια ακολουθία γραμμών μπορεί να παράγει μια φαινομενικά πλατιά φασματική γραμμή απορρόφησης. Αυτό σημαίνει πως όταν το πλάτος, κάθε μίας στενής γραμμής, αυξάνεται (από το a στο c) το τελικό αποτέλεσμα είναι μία πολύ πλατιά φασματική γραμμή απορρόφησης. Στο (d) μπορούμε να παρατηρήσουμε τον συνδυασμό των φαινομενικά πολύ πλατιών φασματικών γραμμών απορρόφησης με μία κλασική γραμμή απορρόφησης. (This figure is taken by Danezis et al. 2008).

Το φαινόμενο DACs

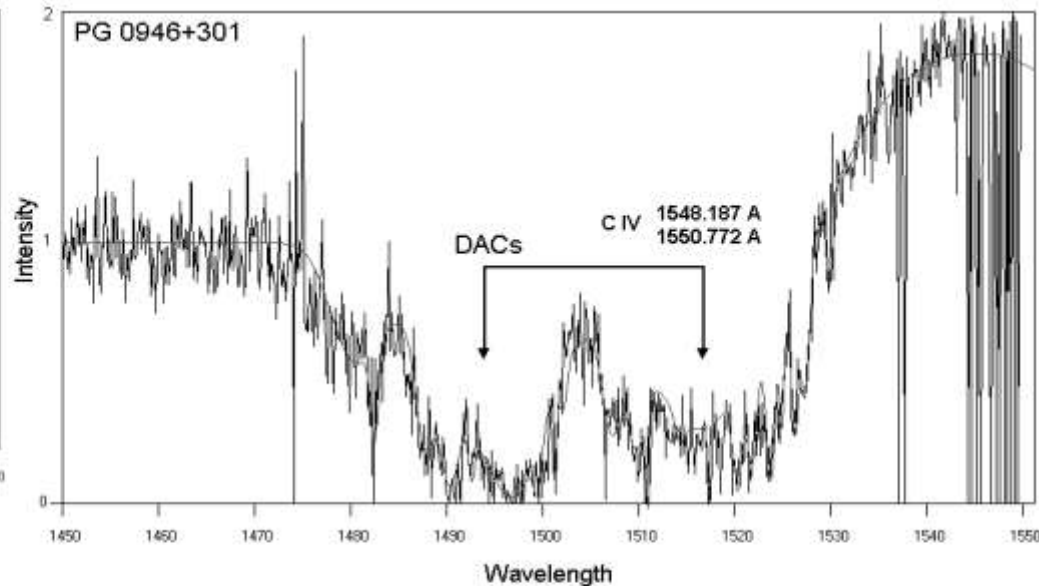
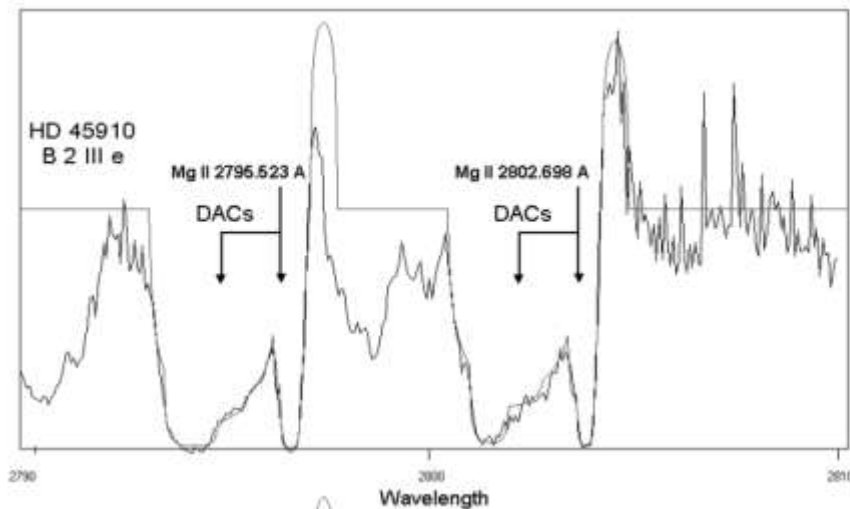
Στην περίπτωση των θερμών αστερών εκπομπής, όταν οι φασματικές γραμμές απορρόφησης δεν αντιστοιχούν σε καμία γνωστή γραμμή απορρόφησης αστερά του ιδίου φασματικού τύπου, καλούμε τις γραμμές αυτές DACs (Discrete Absorption Components – Διακριτές Συνιστώσες Απορρόφησης).
(Bates & Halliwell 1986 MNRAS)



Πολλές φορές μπορούμε να ανιχνεύσουμε το φαινόμενο DAC στα φάσματα των AGNs



Στην εικόνα παρουσιάζονται οι γραμμές συντονισμού C IV UV του κβάζαρ PG 0946+301. Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι δύο παρατηρούμενοι C IV σχηματισμοί υποδεικνύουν την εμφάνιση του φαινομένου DAC το οποίο είναι παρόμοιο με το φαινόμενο DAC που ανιχνεύεται στα φάσματα των θερμών αστέρων εκπομπής.

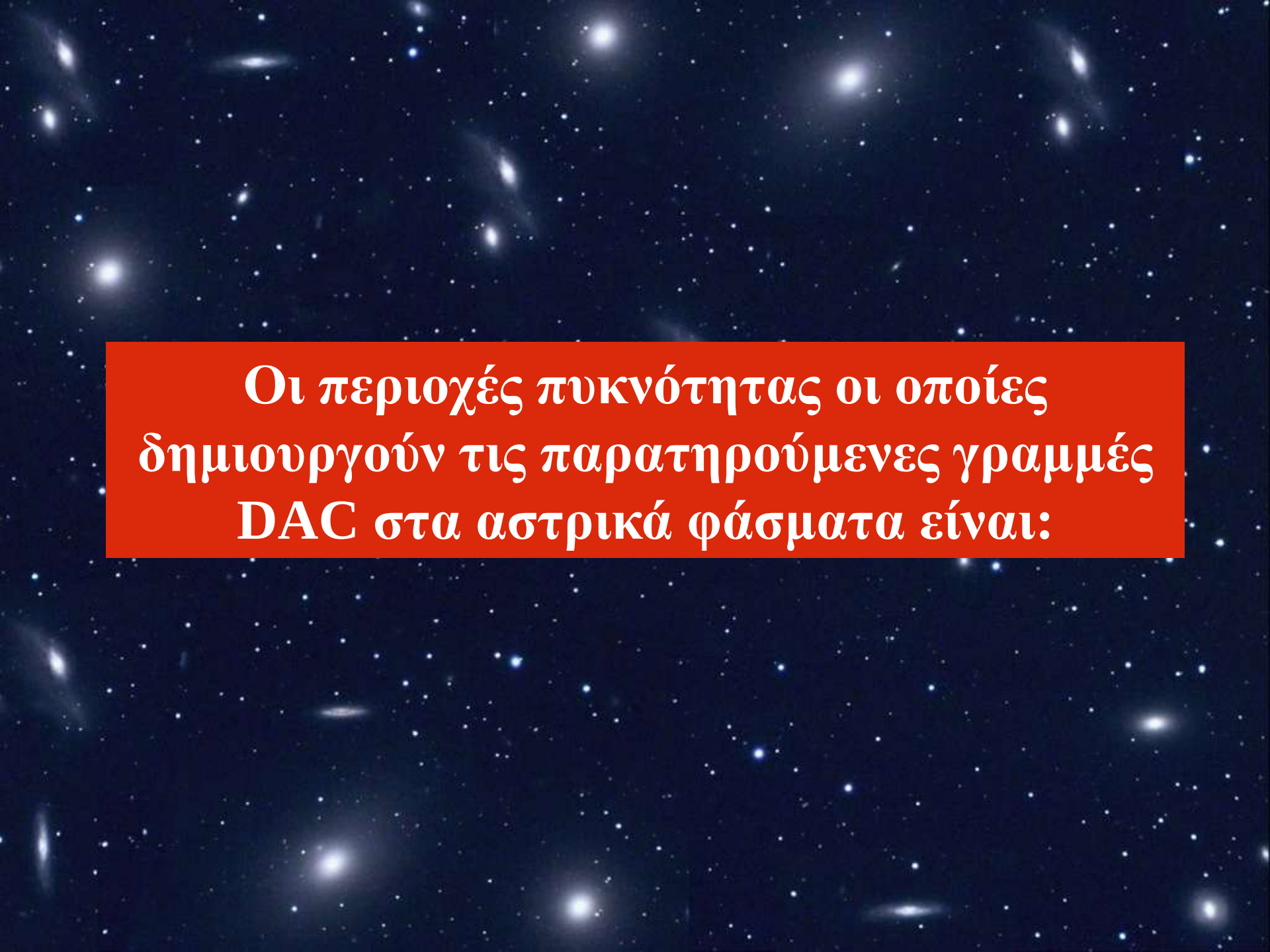


Στην εικόνα (δεξιά) παρουσιάζονται οι γραμμές συντονισμού C IV UV του AGN PG 0946+301. Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι δύο παρατηρούμενοι C IV σχηματισμοί υποδεικνύουν την εμφάνιση του φαινομένου DAC το οποίο είναι παρόμοιο με το φαινόμενο DAC που ανιχνεύεται στα φάσματα των θερμών αστέρων εκπομπής (HD 45910)

Οι γραμμές DAC δεν είναι άγνωστες φασματικές γραμμές απορρόφησης, αλλά φασματικές γραμμές (Satellite Absorption Components) του ίδιου ιόντος και του ίδιου μήκους κύματος με την κυρίως φασματική γραμμή, μετατοπισμένες κατά διαφορετικά $\Delta\lambda$ καθώς δημιουργούνται σε διαφορετικά πυκνώματα ύλης, τα οποία περιστρέφονται και κινούνται ακτινικά με διαφορετικές ταχύτητες.

(Danezis 1984, 1986, Danezis et al. 1991, 2003 and Lyratzi & Danezis 2004)

Πως δημιουργούνται οι γραμμές DACs



**Οι περιοχές πυκνότητας οι οποίες
δημιουργούν τις παρατηρούμενες γραμμές
DAC στα αστρικά φάσματα είναι:**

1. Σφαιρικά κελύφη γύρω από θερμούς αστέρες

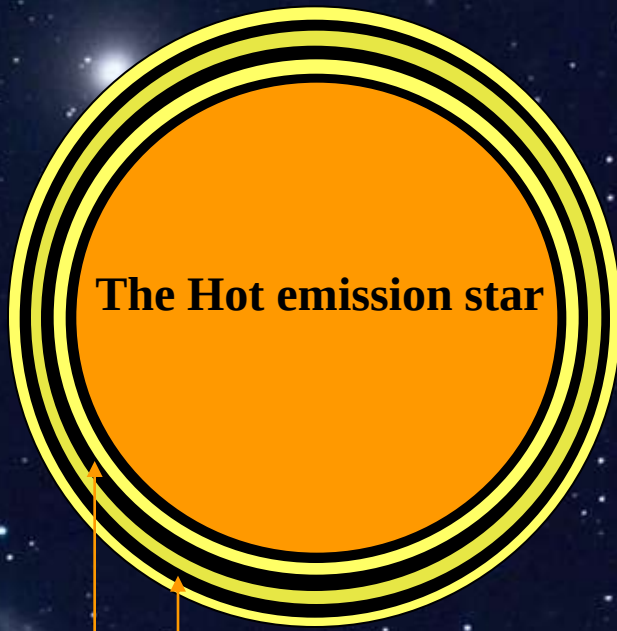
εκπομπής

The ejection of matter

Το βίαια εκτοξευόμενο πλάσμα εξελίσσεται σε ένα λεπτό σφαιρικό κέλυφος γύρω από τον αστέρα. Μερικές φορές παρατηρείται συνεχής εκτόξευση ύλης από τους αστέρες.

(Danezis 1981 PhD Thesis).

Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να παρατηρήσουμε όχι μόνο ένα αλλά πολλά διαδοχικά λεπτά και ανεξάρτητα σφαιρικά κελύφη γύρω από τον αστέρα. Τα σφαιρικά αυτά κελύφη περιστρέφονται ταχύτατα επειδή βρίσκονται πολύ κοντά στο επίσης ταχύτατα περιστρεφόμενο αστέρι. Τα κελύφη αυτά αποτελούν την πηγή του μεγάλου πλάτους των φασματικών γραμμών, οι οποίες παρουσιάζουν περιστροφικές ταχύτητες πολύ κοντά στην κρίσιμη ταχύτητα.



Successive and independent
spherical envelopes

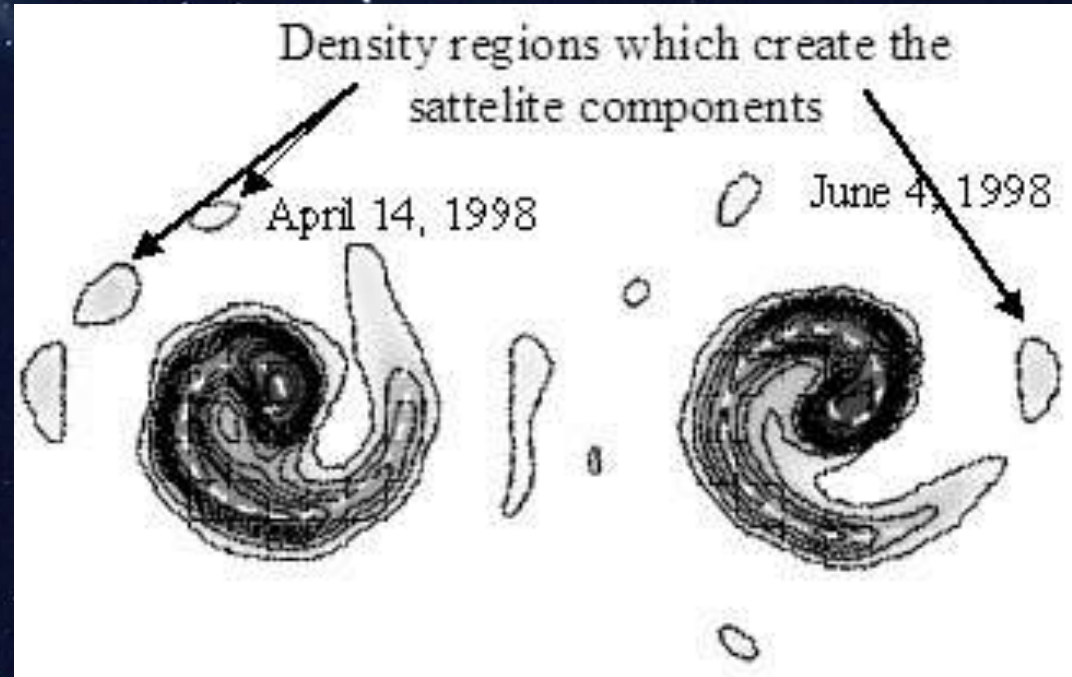
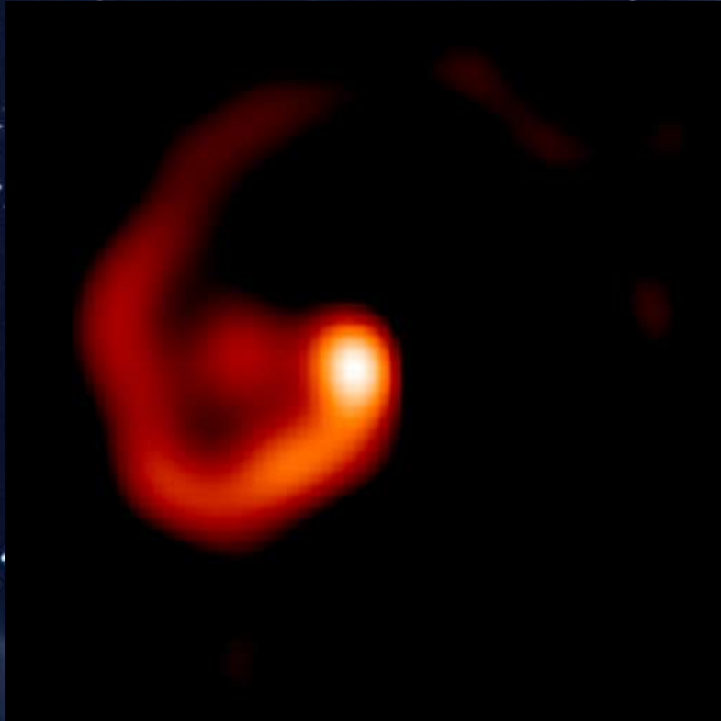
2. (Φαινομενικά) σφαιρικές περιοχές πυκνότητας περιστρεφόμενες γύρω από τα δικά τους κέντρα.

Η εκτόξευση μάζας μπορεί να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα και έχει ως αποτέλεσμα γύρω από το αστέρι, το εκτοξευόμενο πλάσμα να δημιουργεί σπειροειδείς πίδακες εξαιτίας της τύρβης, της αστρικής περιστροφής και των τοπικών μαγνητικών πεδίων. Οι δομές αυτές δημιουργούν περιοχές έντονης πυκνότητας όπως κελύφη, blobs ή puffs. (Underhill 1975, Henrichs 1984, Underhill & Fahey 1984, Bates & Halliwell 1986, Grady et al. 1987, Lamers et al. 1988, Waldron et al. 1992, Waldron et al. 1994, Cranmer & Owocki 1996, Rivinius et al. 1997, Kaper et al. 1996, 1997, 1999, Markova 2000)

Μπορούμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη αυτών των πυκνών περιοχών ύλης στα σφαιρικά κελύφη γύρω από τα άστρα, στους δίσκους αλλά και σε άλλες περιοχές γύρω από τους αστέρες.

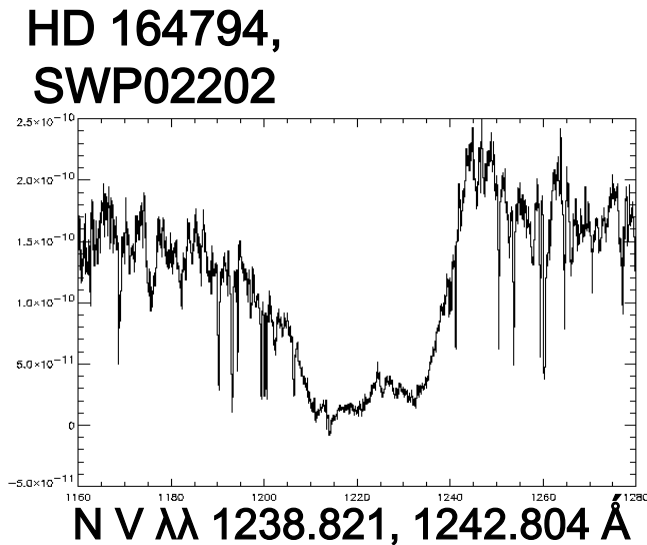
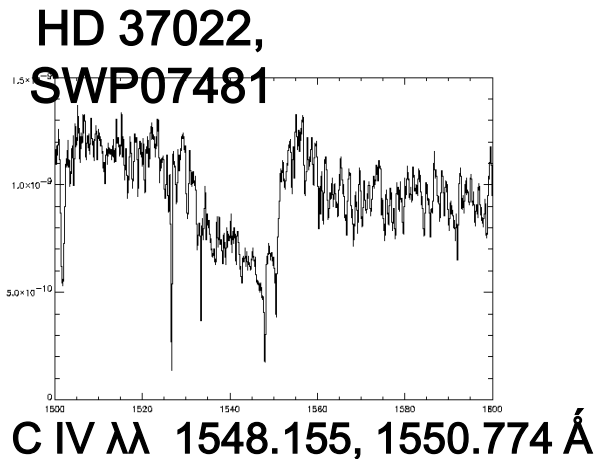
Οι σφαιρικοί βόλοι (blobs), οι οποίοι προέρχονται από σπειροειδείς πίδακες ή από αναταράξεις, είναι οι πηγές των δορυφορικών φασματικών γραμμών με ενδιάμεση ή μικρή πλάτυνση.

(Φαινομενικά) σφαιρικές περιοχές πυκνότητας γύρω από έναν Wolf-Rayet αστέρα



Γύρω από έναν Wolf-Rayet star (WR 104) παρατηρούμε πυκνές περιοχές πλάσματος, οι οποίες βρίσκονται σχετικά μακριά από το αστρικό αντικείμενο και είναι ικανές να παράγουν DACs ή SACs (Δορυφορικές Συνιστώσες)

Ένα ακόμη πρόβλημα των θερμών αστέρων εκπομπής



Η ύπαρξη εξαιρετικά
πολύπλοκων προφίλ
φασματικών γραμμών που δεν
μπορούμε να αναπαράγουμε
θεωρητικά
Αυτό σημαίνει ότι δεν είμαστε
σε θέση να γνωρίζουμε τις
φυσικές συνθήκες οι οποίες
επικρατούν στις περιοχές
υψηλής πυκνότητας οι οποίες
και δομούν τις φασματικές
γραμμές.

Η προέλευση των πολυσύνθετων προφίλ γραμμών

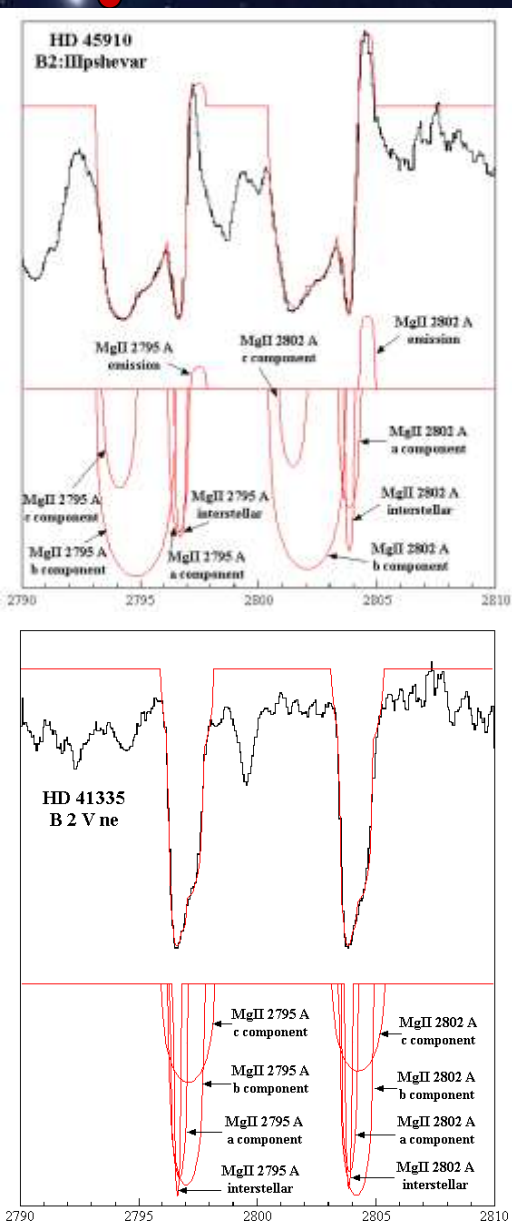
Με σκοπό την ερμηνεία της πολυπλοκότητας των προφίλ γραμμών η ερευνητική μας ομάδα πρότεινε το φαινόμενο SAC (Satellite Absorption Components).

Αν οι περιοχές, οι οποίες δομούν τις γραμμές DAC, περιστρέφονται με μεγάλες ταχύτητες και κινούνται ακτινικά με μικρές ταχύτητες, τότε οι παραγόμενες γραμμές έχουν μεγάλα πλάτη και μικρές μετατοπίσεις.

Ως αποτέλεσμα, οι γραμμές αυτές «μπλέκονται» μεταξύ τους καθώς επίσης και με την κύρια φασματική γραμμή και έτσι δεν είναι διακριτές. Σε αυτή την περίπτωση η ονομασία Διακριτές Συνιστώσες Απορρόφησης (Discrete Absorption Components – DACs) είναι άτοπη και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε την ονομασία Satellite Absorption Components (SACs).

(Sahade et al. 1984, 1985, Danezis 1984, 1987, Lyratzi & Danezis 2004, Danezis et al. 2006)

DACs / SACs: Ένα παρόμοιο φαινόμενο



Στο σχήμα είναι εμφανές το γεγονός ότι τα προφίλ γραμμών Mg II, του αστέρα AX Mon (HD 45910) ο οποίος εμφανίζει γραμμές DAC, και του αστέρα HD 41335 ο οποίος εμφανίζει γραμμές SAC, παράγονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

Η μόνη διαφορά μεταξύ τους είναι ότι οι συνιστώσες του HD 41335 είναι πολύ λιγότερο μετατοπισμένες και έτσι είναι μπερδεμένες μεταξύ τους.

Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στο προφίλ της παρατηρούμενης φασματικής γραμμής και η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στην ταύτιση του μοντέλου. Επίσης παρουσιάζονται όλες οι συνιστώσες οι οποίες συνεισφέρουν στα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά, ξεχωριστά.

(Danezis et al. 2006)

Η συνάρτηση γραμμής

Για να καταφέρουμε να αναπαράγουμε θεωρητικά τις φασματικές γραμμές οι οποίες εμφανίζουν DAC ή SAC πρέπει να υπολογίσουμε τη συνάρτηση γραμμής του σύνθετου προφίλ γραμμής.

Τι είναι η συνάρτηση γραμμής;

Η συνάρτηση γραμμής είναι αυτή που συνδέει την ένταση της ακτινοβολίας με το μήκος κύματος. Η συνάρτηση συμπεριλαμβάνει ως παραμέτρους όλες τις φυσικές συνθήκες που δομούν το προφίλ γραμμής

Δίνοντας τιμές σε αυτές τις παραμέτρους, προσπαθούμε να πετύχουμε την καλύτερη θεωρητική τάυτιση με το παρατηρούμενο προφίλ γραμμής. Η καλύτερη τάυτιση, σημαίνει ότι οι θεωρητικές τιμές των φυσικών παραμέτρων που δώσαμε περιγράφουν επακριβώς τις φυσικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές οι οποίες παράγουν την συγκεκριμένη φασματική γραμμή.

Το πρόβλημα

Αν μπορέσουμε να κατασκευάσουμε μια συνάρτηση γραμμής ικανή να αναπαράγει θεωρητικά οποιαδήποτε φασματική γραμμή οποιουδήποτε ιόντος, αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις ατομικές παραμέτρους. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η συνάρτηση γραμμής να είναι πολυσύνθετη.

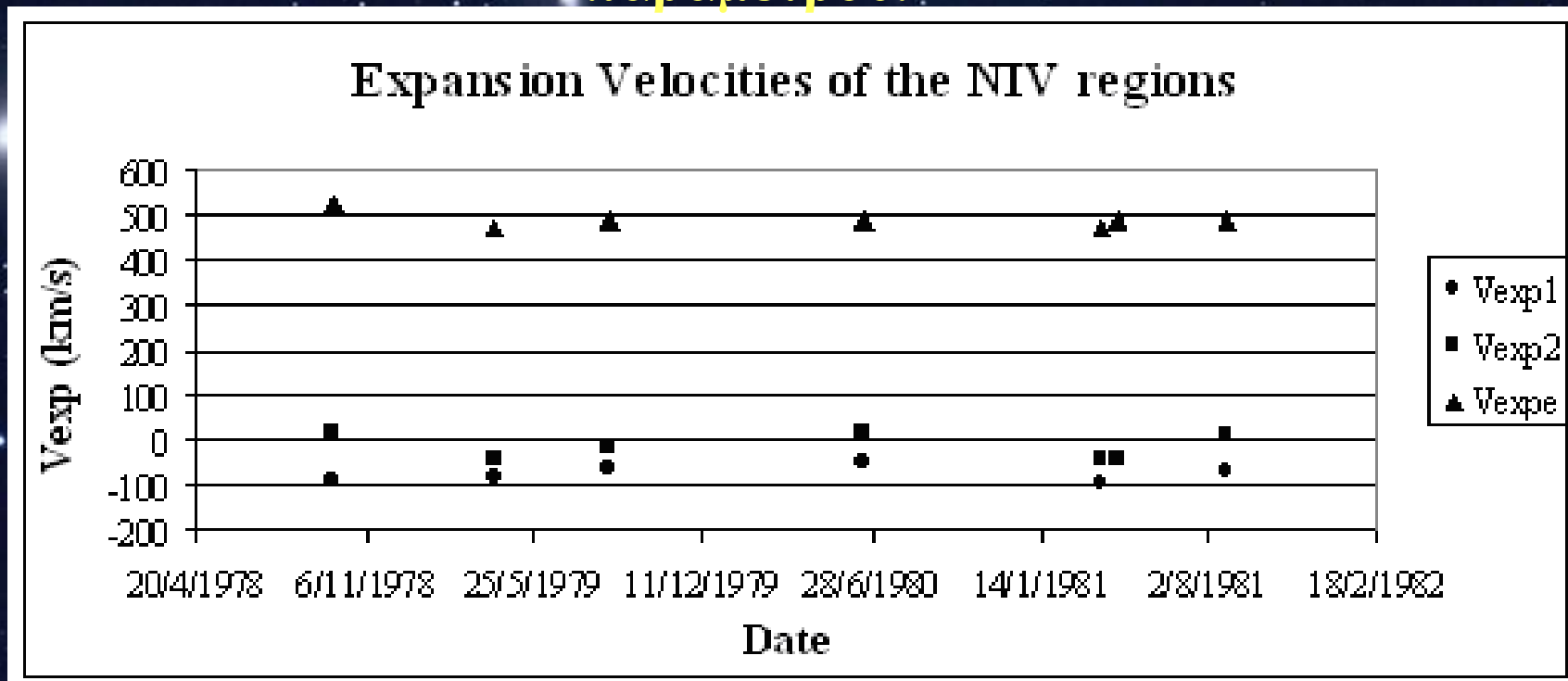
Επίσης, αν ενδιαφερόμασταν για μια χρονικά εξαρτημένη συνάρτηση γραμμής, θα έπρεπε να εισάγουμε ως παράμετρο τον χρόνο.

Η ύπαρξη πολλών παραμέτρων, κάνει την επίλυση της εξίσωσης διάδοσης ακτινοβολίας εξαιρετικά προβληματική. Αξίζει να σημειωθεί το πρόβλημα της επιλογής των σωστών τιμών για τόσες πολλές παραμέτρους.

Η πρότασή μας

Έχοντας ως σκοπό τον υπολογισμό της συνάρτησης γραμμής, δεν έχουμε συμπεριλάβει μεταβολές συναρτήσεως του χρόνου, μιας και ο σκοπός μας είναι να περιγράψουμε τη δομή των περιοχών όπου οι γραμμές SAC δημιουργούνται την συγκεκριμένη στιγμή λήψης του φάσματος. Για να μελετήσουμε τις χρονικά εξαρτημένες μεταβολές των υπολογισμένων φυσικών παραμέτρων, οφείλουμε να μελετήσουμε πλειάδα φασμάτων το ιδίου αστέρα, τα οποία θα ληφθούν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται οι χρονικές μεταβολές μιας παραμέτρου.



Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι ακτινικές ταχύτητες των δύο συνιστωσών απορρόφησης (SACs) καθώς επίσης και η συνιστώσα εκπομπής του ζεύγους CIV στο φάσμα του Oe αστέρα HD 175754, ως συνάρτηση της ημερομηνίας. Όπως παρατηρούμε όλες οι συνιστώσες παρουσιάζουν σταθερές ακτινικές ταχύτητες συναρτήσει του χρόνου.

Επιπροσθέτως:

Η ιδέα της ερευνητικής μας ομάδας ήταν να μελετήσουμε μια συγκεκριμένη φασματική γραμμή ενός συγκεκριμένου ιόντος. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να συμπεριλάβουμε τις ατομικές παραμέτρους στο μοντέλο, έτσι οι ατομικές παράμετροι παραμένουν σταθερές.

Με τον τρόπο αυτό, είμαστε σε θέση να επιλύσουμε την εξίσωση διάδοσης ακτινοβολίας και να βρούμε τη σωστή ομάδα παραμέτρων, οι οποίες δίνουν την καλύτερη ταύτιση με την παρατηρούμενη φασματική γραμμή.

Η συνάρτηση γραμμής GR

Πρόσφατα η ερευνητική μας ομάδα πρότεινε ένα μοντέλο με σκοπό την ερμηνεία της σύνθετης δομής των περιοχών μεγάλης πυκνότητας των θερμών αστέρων εκπομπής και μερικών AGN, οι οποίοι παράγουν φασματικές γραμμές που παρουσιάζουν φαινόμενα DAC ή SAC. **(Danezis et al. 2003, 2005).**

Η βασική υπόθεση του μοντέλου είναι ότι το αστρικό περίβλημα αποτελείται από έναν αριθμό διαδοχικών αλλά ανεξάρτητων πυκνών περιοχών απορρόφησης, έναν αριθμό περιοχών εκπομπής και μερικών εξωτερικών περιοχών απορρόφησης.

Λύνοντας την εξίσωση διάδοσης ακτινοβολίας, μέσω πολύπλοκης μορφής, καταλήγουμε σε μια συνάρτηση για το προφίλ γραμμής, ικανή να δώσει το καλύτερο ταίριασμα για την βασική φασματική γραμμή και την γραμμή SAC την ίδια ακριβώς στιγμή.

$$I_{\lambda} = \left[I_{\lambda 0} \prod_i \exp \{ -L_i \xi_i \} + \sum_j S_{\lambda ej} (1 - \exp \{ -L_{ej} \xi_{ej} \}) \right] \prod_g \exp \{ -L_g \xi_g \}$$

όπου:

$I_{\lambda 0}$: αρχική ένταση ακτινοβολίας,

L_i, L_{ej}, L_g : κατανομής των συντελεστών απορρόφησης

$K_{\lambda i}, K_{\lambda ej}, K_{\lambda g}$

ξ : το οπτικό βάθος στο κέντρο της φασματικής γραμμής

$S_{\lambda ej}$: συνάρτηση πηγής η οποία είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της παρατήρησης.

$$I_{\lambda} = \left[I_{\lambda 0} \prod_i \exp \{ - L_i \xi_i \} + \sum_j S_{\lambda ej} (1 - \exp \{ - L_{ej} \xi_{ej} \}) \right] \prod_g \exp \{ - L_g \xi_g \}$$

★ Όπως προκύπτει από τα πιο πάνω, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το $I(\lambda)$ λύνοντας την εξίσωση διάδοσης ακτινοβολίας.

★ Αυτό σημαίνει ότι για να καταλήξουμε σε αυτή τη μορφή δεν χρειάστηκε να λάβουμε υπόψη τη γεωμετρία των ανεξάρτητων περιοχών απορρόφησης ή εκπομπής

Είναι ο παράγοντας L για τον οποίο πρέπει να βάλουμε υπόψη τη γεωμετρία και όλες τις φυσικές συνθήκες της περιοχής που παράγει τη φασματική γραμμή.

Ο καθορισμός της γεωμετρίας είναι ουσιώδης για τον υπολογισμό της συνάρτησης κατανομής που χρησιμοποιούμε για την κάθε συνιστώσας.

Αυτό σημαίνει ότι για διαφορετική γεωμετρία έχουμε και διαφορετικό σχήμα για το προφίλ της φασματικής γραμμής για κάθε δορυφορική συνιστώσα.

Στην περίπτωση των ταχέως περιστρεφόμενων θερμών αστέρων εκπομπής, είναι πολύ σημαντικό να εισάγουμε στην ανωτέρω συνάρτηση γραμμής τις περιστροφικές, τις ακτινικές και τις τυχαίες ταχύτητες των περιοχών που παράγουν κάθε μία από τις δορυφορικές συνιστώσες.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να καθορίσουμε τη γεωμετρία της κάθε περιοχής.

Στην περίπτωση της ακόλουθης συνάρτησης γραμμής

$$I_{\lambda} = \left[I_{\lambda 0} \prod_i \exp \{ -L_i \xi_i \} + \sum_j S_{\lambda ej} (1 - \exp \{ -L_{ej} \xi_{ej} \}) \right] \prod_g \exp \{ -L_g \xi_g \}$$

Τα $e^{-L_i \xi_i}$ και $S_{\lambda ej} (1 - e^{-L_{ej} \xi_{ej}})$ είναι οι συναρτήσεις κατανομής των δορυφορικών συνιστωσών απορρόφησης και εκπομπής αντίστοιχα.

Ο παράγοντας $\mathbf{L}$ πρέπει να περιέχει τη γεωμετρία και όλες τις φυσικές συνθήκες της περιοχής που παράγει τη φασματική γραμμή. Αυτές οι φυσικές συνθήκες καταδεικνύουν την ακριβή κατανομή που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε.

Αυτό σημαίνει ότι

Αν επιλέξουμε τις ορθές φυσικές συνθήκες για τον υπολογισμό του παράγοντα L , η συναρτήσεις $e^{-L_i \xi_i}$ και $S_{\lambda ej} \left(1 - e^{-L_{ej} \xi_{ej}} \right)$ παίρνουν τη μορφή Gauss, Lorentz ή Voigt.

Στην περίπτωση αυτή δεν χρησιμοποιούμε την καθαρή μαθηματική μορφή της κατανομής η οποία δεν περιέχει καμία φυσική παράμετρο, αλλά τις ανωτέρω φυσικές εκφράσεις αυτών των κατανομών.

1. Αν το L_i έχει τη μορφή

$$L_\lambda = e^{-\alpha(\lambda - \lambda_o)^2}$$

$$\alpha = \frac{1}{2(\Delta\lambda_{width})^2}$$

η συνάρτηση γραμμής $e^{-L_i \xi_i}$ που περιγράφει ικανοποιητικά μια γραμμή απορρόφησης έχει τη μορφή κατανομής Gauss

2. Αν το L_i έχει τη μορφή

$$L_\lambda = \frac{1}{1 + \beta(\lambda - \lambda_o)^2}$$

$$\beta = \frac{1}{2(\Delta\lambda_{width})^2}$$

η συνάρτηση γραμμής $e^{-L_i \xi_i}$ που περιγράφει ικανοποιητικά μια γραμμή απορρόφησης έχει τη μορφή κατανομής Lorentz.

3. Αν το L_i έχει τη μορφή

$$L_{\lambda} = \frac{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} f(x, (\lambda - \lambda_o)\sqrt{\alpha}, K) dx}{V_0}$$

$$\alpha = \frac{1}{2(\Delta\lambda_{width})^2}$$

$$V_0 = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} f(x, 0, K) dx$$

$$0 \leq K$$

η συνάρτηση γραμμής $e^{-L_i \xi_i}$ που καθορίζει μια γραμμή απορρόφησης έχει τη μορφή κατανομής

Όμοια

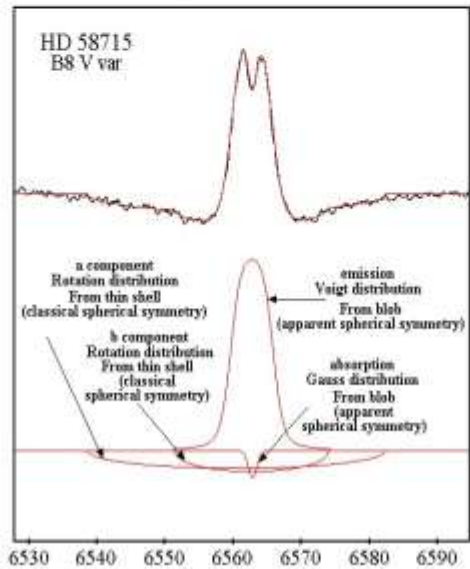
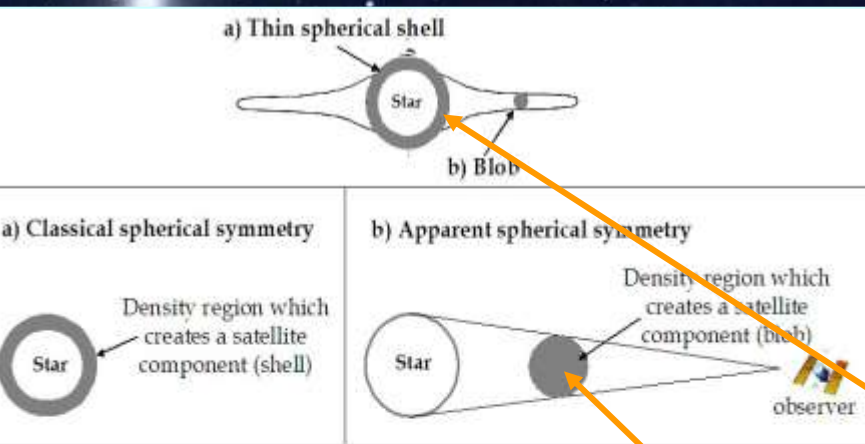
Αν χρησιμοποιήσουμε τις ανωτέρω εκφράσεις του L_i (περιπτώσεις 1, 2, 3) στην συνάρτηση της γραμμής εκπομπής

$$S_{\lambda_{ej}} \left(1 - e^{-L_{ej} \xi_{ej}} \right)$$

τότε αυτή θα πάρει τη μορφή

Gauss, Lorentz ή Voigt κατανομής

Στο μοντέλο μας επιλέξαμε τη σφαιρική γεωμετρία. Αυτό σημαίνει πως τα στρώματα μεγάλης πυκνότητας ύλης, τα οποία παράγουν τη συγκεκριμένη φασματική γραμμή, παρουσιάζουν σφαιρική συμμετρία γύρω από τα κέντρα τους.



Υπενθυμίζουμε πως οι περιοχές πυκνότητας, οι οποίες δημιουργούν τις παρατηρούμενες γραμμές DAC προκύπτουν από:

**a) Λεπτά σφαιρικά
περιβλήματα γύρω από
θερμούς αστέρες εκπομπής**

b) Φαινομενικά σφαιρικές περιοχές μεγάλης πυκνότητας στους δίσκους γύρω από τους αστέρες.

Ως ένα πρώτο βήμα, η ερευνητική μας ομάδα κατασκεύασε μια συνάρτηση κατανομής L η οποία θεωρεί ως μοναδικό λόγο πλάτυνσης μιας φασματικής γραμμής, την περιστροφή των περιοχών που παράγουν τις φασματικές γραμμές. Καλούμε αυτή την κατανομή:

Κατανομή Rotation

(Astrophysics and Space Science 284, 119-1142, 2003)

Όμως, καθώς γνωρίζουμε, σε ένα αέριο σύστημα πάντα εντοπίζουμε τυχαίες κινήσεις. Αυτό σημαίνει πως αυτές οι κινήσεις αποτελούν μια δεύτερη αιτία πλάτυνσης μιας φασματικής γραμμής. Η συνάρτηση κατανομής που εκφράζει αυτές τις τυχαίες κινήσεις είναι η συνάρτηση Gauss.

Αν θέλουμε να έχουμε μια φασματική γραμμή που έχει ως παράγοντες πλάτυνσης την περιστροφή των περιοχών και την τυχαία κίνηση των ιόντων, πρέπει να κατασκευάσουμε μια καινούρια συνάρτηση κατανομής L η οποία θα περιλαμβάνει και τους δύο παράγοντες (περιστροφή και τυχαίες κινήσεις).

Η ερευνητική μας ομάδα κατασκεύασε αυτή τη συνάρτηση κατανομής L , την οποία και ονόμασε **κατανομή Gauss – Rotation**.

Κατανομή Gauss-Rotation (GR)

Η αναλυτική μορφή της συνάρτησης κατανομής GR ($L_{final}(\lambda)$) is:

$$L_{final}(\lambda) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\lambda_0 z} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left[erf\left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\sigma\sqrt{2}} + \frac{\lambda_0 z}{\sigma\sqrt{2}} \cos \theta\right) - erf\left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\sigma\sqrt{2}} - \frac{\lambda_0 z}{\sigma\sqrt{2}} \cos \theta\right) \right] \cos \theta d\theta$$

$$erf(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-u^2} du$$

$$\lambda_0 = \lambda_{lab} \pm \Delta\lambda_{rad}$$

V_{radial}

$$z = \frac{V_{rot}}{c}$$

$V_{rotation}$

σ

$$V_{random} = \frac{\sigma c \sqrt{2 \ln 2}}{\lambda_0}$$

V_{random}



Κλείνοντας

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο GR

Μπορούμε να υπολογίσουμε ορισμένες σημαντικές παραμέτρους των περιοχών πυκνότητας που δομούν τις γραμμές DAC – SAC, όπως:

Άμεσοι υπολογισμοί

- Τις τροχιακές ταχύτητες των στρωμάτων πυκνότητας που απορροφούν ή εκπέμπουν ακτινοβολία (V_{rot})
- Τις ακτινικές ταχύτητες των στρωμάτων που απορροφούν ή εκπέμπουν ακτινοβολία (V_{rad})
- Τις τυπικές γκαουσιανές αποκλίσεις της τυχαίας κίνησης των ιόντων (σ)
- Το οπτικό βάθος στο κέντρο των συνιστωσών απορρόφησης ή εκπομπής (ξ_i)

Έμμεσοι υπολογισμοί

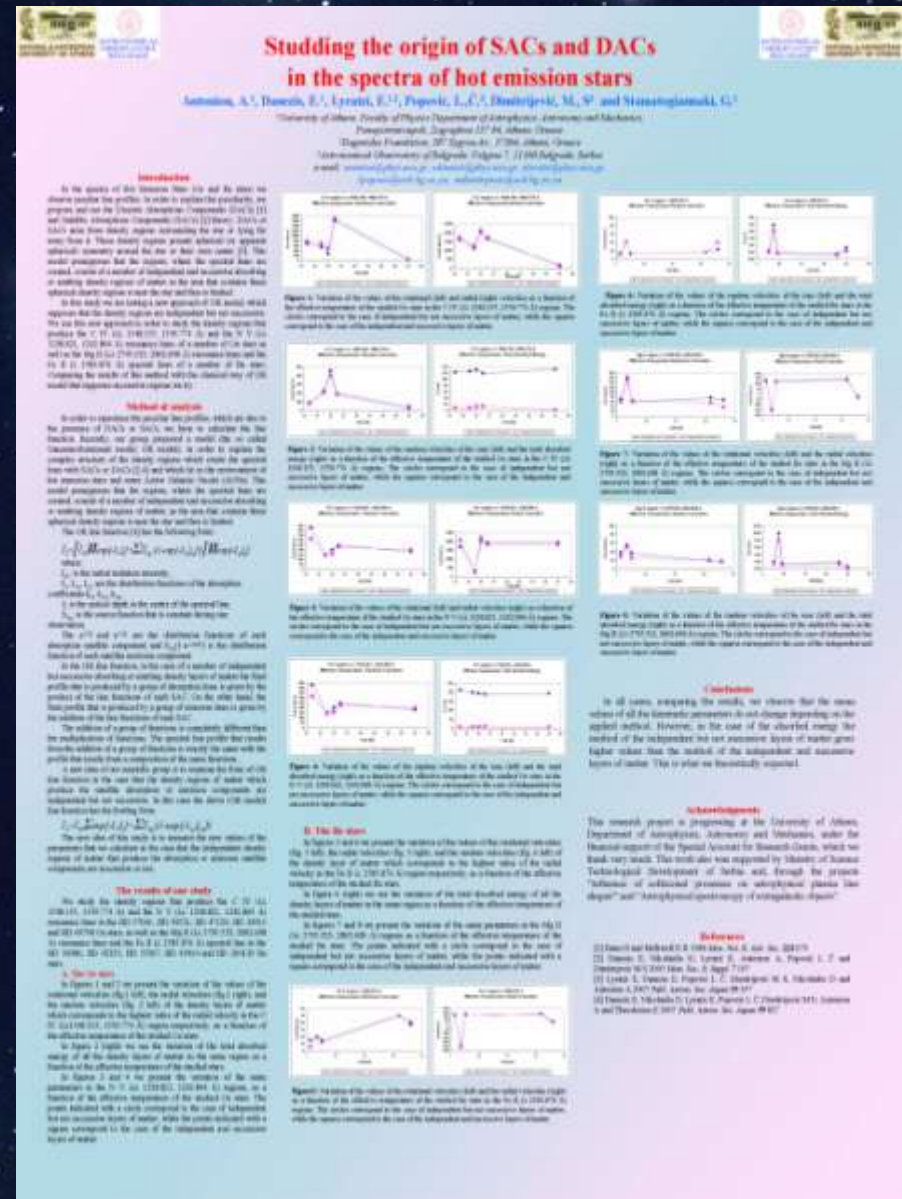
- Τις τυχαίες ταχύτητες των ιόντων (V_{random})
- FWHM
- Την ενέργεια απορρόφησης ή εκπομπής
- Την column density (CD)

Μελλοντικό έργο

Την περίοδο αυτή, η ερευνητική μας ομάδα εξετάζει τη μορφή της GR κατανομής, στην περίπτωση που οι περιοχές πυκνότητας, που παράγουν τις γραμμές DAC ή SAC, είναι ανεξάρτητες αλλά όχι διαδοχικές.

**Yesterday Dr Lyrazi presented
some first conclusions of this
work in the field of AGNs.**

Also in our poster paper you may see some first conclusions in the field of hot emission stars.



**Thank you very much
for your attention!!!**

