

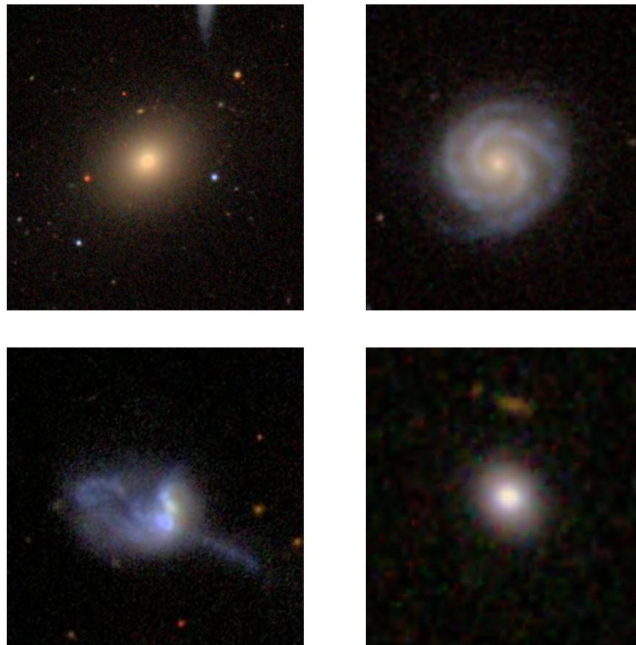


ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ
«ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ, ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συσχετισμός μεταξύ των φασματικών τύπων
και της μορφολογίας γαλαξιών από το SDSS



Αθανασία Τσάτση
Α.Μ. 201003

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:
Μαρία Κοντιζά, Επίκουρη Καθηγήτρια Τμήματος Φυσικής Ε.Κ.Π.Α.

Αθήνα, 2012

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της απόκτησης του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Αστροφυσική, Αστρονομία και Μηχανική, του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Επιβλέπουσα καθηγήτρια της μεταπτυχιακής αυτής διπλωματικής εργασίας:

κ. Μαρία Κοντιζά, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Τριμελής επιτροπή αξιολόγησης της εργασίας αυτής, εκτός της επιβλέπουσας καθηγήτριας κ.Κοντιζά, ορίστηκε:

κ. Δέσποινα Χατζηδημητρίου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και

κ. Θεοχάρης Αποστολάτος, Επίκουρος Καθηγητής του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Εικόνα εξωφύλλου: Οι εικόνες του SDSS για 4 τυπικούς γαλαξίες των αντίστοιχων φασματικών τύπων, των οποίων τα μορφολογικά χαρακτηριστικά διερευνήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πάνω αριστερά: ο γαλαξίας προγενέστερου τύπου SDSS J150356.34+483300.8

Πάνω δεξιά: ο σπειροειδής γαλαξίας SDSS J113944.85+224106.5

Κάτω αριστερά: ο γαλαξίας ανώμαλου τύπου SDSS J081056.12+364945.4 (UGC 04261)

Κάτω δεξιά: ο γαλαξίας τύπου QSG SDSS J104232.33-004158.3

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες

Περίληψη/Abstract.....8-9

1. Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

1.1 Γενικά.....	11
1.2 Όργανα παρατήρησης.....	12
1.3 Αλγόριθμοι του SDSS	15

2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά γαλαξιών

2.1 Μορφολογικές ταξινομήσεις και χαρακτηριστικά	18
2.2 Ακτινικά προφίλ λαμπρότητας γαλαξιών.....	20
2.2.1 Θεωρητικά ακτινικά προφίλ.....	20
2.2.2 Πραγματικά ακτινικά προφίλ	22

3. Φασματικοί τύποι γαλαξιών

3.1 Γενικά	25
3.1 Η συνθετική βιβλιοθήκη γαλαξιακών φασμάτων για τη Gaia	27
3.2 Η ημιεμπειρική βιβλιοθήκη συνθετικών φασμάτων.....	32

4. Διερεύνηση της σχέσης μορφολογίας και φασματικού τύπου από το SDSS

4.1 Οι φασματικές τάξεις γαλαξιών του SDSS.....	33
4.2 Εκθετικά προφίλ και προφίλ τύπου DeVaucouleurs	36
4.2.1 Διερεύνηση των εκθετικών και DeVaucouleurs προφίλ ανά φασματική τάξη	44
4.3 Διερεύνηση του λόγου r_{50}/r_{90}	49

5. Ακτινικά προφίλ γαλαξιών

5.1 Ακτινικά προφίλ γαλαξιών προγενέστερου τύπου.....	57
5.2 Ακτινικά προφίλ σπειροειδών γαλαξιών	65
5.3 Ακτινικά προφίλ γαλαξιών τύπου QSFG	71
5.4 Σχόλια-Σφάλματα	77

6. Μηχανισμοί διακοπής της αστρικής δημιουργίας

6.1 Ενδείξεις για τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας	81
6.2 Θεωρητικοί μηχανισμοί	82
6.3 Προβληματισμοί για τους γαλαξίες τύπου QSFG	84

Παράρτημα

Προσαρμογή του νόμου του Sersic στα γαλαξιακά προφίλ

A.1 Γαλαξίες προγενέστερου τύπου από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης.....	87
A.2 Γαλαξίες προγενέστερου τύπου από το SDSS.....	97
B.1 Σπειροειδείς γαλαξίες από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης.....	107
B.2 Σπειροειδείς γαλαξίες από το SDSS.....	117
Γ. Γαλαξίες τύπου QSFG.....	127

Βιβλιογραφία.....	147
-------------------	-----

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κ. Μαίρη Κοντιζά, Επ. Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και για την αμέριστη στήριξή της. Η επιστημονική καθοδήγηση, οι εύστοχες υποδείξεις της αλλά και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε κάθε επίπεδο, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο σε ολόκληρη την πορεία των σπουδών μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα δύο ακόμη μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την κ. Δέσποινα Χατζηδημητρίου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια και τον κ. Θεοχάρη Αποστολάτο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, για τη συνεισφορά τους και τη βοήθειά τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κ. Ευάγγελο Κοντιζά, Διευθυντή Ερευνών του Ινστιτούτου Αστρονομίας, Αστροφυσικής, Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για τις πολύτιμες συμβουλές του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και τη γενικότερη υποστήριξή του κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Θα ήθελα να εκφράσω ακόμη τις βαθύτατες ευχαριστίες μου στην Ευδοκία Λιβανού, μεταδιδακτορική ερευνήτρια και στον Αντώνη Καράμπελα, υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύ σημαντική τους βοήθεια στα θέματα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, τις εύστοχες παρατηρήσεις τους και τη γενικότερη συνεισφορά τους.

Ομοίως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κ. Αναστάσιο Δαπέργολα, Διευθυντή Ερευνών και κ. Ιωάννη Μπέλλα-Βελίδη, Κύριο Ερευνητή του Ινστιτούτου Αστρονομίας, Αστροφυσικής, Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για τις πολύτιμες συμβουλές και τις χρήσιμες επισημάνσεις τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την αμέριστη υποστήριξή τους.

Περίληψη

Στα πλαίσια της προετοιμασίας της διαστημικής αποστολής Gaia της ESA, προέκυψε το πρόβλημα του συσχετισμού των φασματικών τύπων των γαλαξιών με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος, χρησιμοποιήσαμε παρατηρήσεις και δεδομένα από το SDSS (Sloan Digital Sky Survey) και συνθετικά φάσματα από τη βιβλιοθήκη γαλαξιών για τη Gaia.

Οι 4 φασματικοί τύποι που μελετώνται αφορούν γαλαξίες προγενέστερου τύπου, σπειροειδείς γαλαξίες, γαλαξίες ανώμαλου τύπου και γαλαξίες QSFG (Quenched Star Forming Galaxies-γαλαξίες όπου η αστρική δημιουργία έχει διακοπεί), και είναι αυτοί που υιοθετήθηκαν από θεωρητικά μοντέλα γαλαξιακής εξέλιξης, για την κατασκευή συνθετικών φασμάτων γαλαξιών (Tsalimantza et al. 2007, 2009). Τα συνθετικά φάσματα που παρήχθησαν κατά την παραπάνω διαδικασία, προσαρμόστηκαν στα πραγματικά φάσματα ενός δείγματος γαλαξιών από το SDSS, για την κατασκευή μιας ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης γαλαξιακών φασμάτων, από τους Tsalimantza et al. (2012).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα πραγματικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων των τεσσάρων φασματικών τύπων γαλαξιών της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης γαλαξιακών φασμάτων. Διερευνήθηκε η ταξινόμηση των παραπάνω τύπων σε φασματικές τάξεις, καθώς και τα διάφορα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους, όπως αυτά δίνονται από τους καταλόγους του SDSS DR8 (8th Data Release). Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν τα ακτινικά προφίλ επιφανειακής λαμπρότητας για 40 τυπικούς γαλαξίες των 3 τύπων της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης (προγένεστεροι, σπειροειδείς και QSFGs), καθώς και για 20 τυπικούς ελλειπτικούς και σπειροειδείς γαλαξίες εκτός βιβλιοθήκης, στα οποία προσαρμόστηκε ο νόμος του Sérsic, με σκοπό τη μελέτη και τη σύγκριση των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους. Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης εκείνων των θεωρητικών μηχανισμών, οι οποίοι είναι πιθανό να ευθύνονται για τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας σε ένα γαλαξία.

Abstract

Within the frame of the preparation of the space mission Gaia of ESA, a crucial problem was arised, concerning the connection between the spectral types of galaxies and their morphology.

In order to approach the above problem, we have used observational data from SDSS (Sloan Digital Sky Survey) and synthetic spectra produced for the Gaia mission.

The 4 spectral types studied here are Early type galaxies, Spirals, Irregulars and QSFGs (Quenched Star Forming Galaxies). Those spectral types were adopted from galaxy evolution models (Tsalmantza et al. 2007, 2009), for the production of a library.

The spectra produced were fitted to real galaxy spectra from SDSS, in order to build a semi-empirical library (Tsalmantza et al. 2012).

In this thesis we studied the characteristics of the 4 samples of galaxies from SDSS that correspond with the 4 spectral types adopted from the semi-empirical library of galaxy spectra. We studied the classification of these spectral types in spectral subclasses and the quantities related to their morphology, derived from the SDSS DR8 (8th Data Release). In addition, we constructed the radial light profiles for 20 typical Early and Spiral galaxies from SDSS, as well as for 40 typical galaxies of 3 spectral types from the semi-empirical library (Early, Spirals, QSFGs). Those light profiles were fitted to the Sérsic law, in order to study and compare their morphological characteristics. Finally, we tried to investigate the possible theoretical mechanisms that might be responsible for the quenching of star formation in a galaxy.

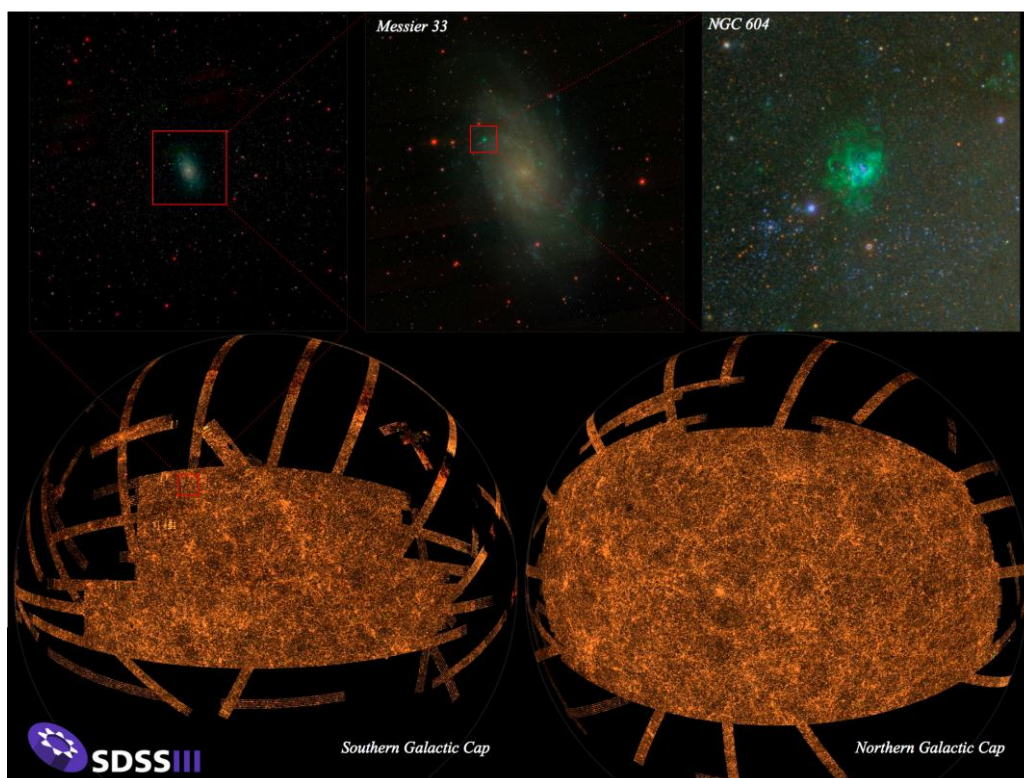
Κεφάλαιο 1

Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

1.1 Γενικά

Το Sloan Digital Sky Survey (SDSS) αποτελεί ένα από τα πιο φιλόδοξα προγράμματα επισκόπησης του ουρανού στην ιστορία της Αστρονομίας. Στα πρώτα 8 έτη λειτουργίας του (SDSS-I: 2000-2005, SDSS-II: 2005-2008), το 2.5 μέτρων τηλεσκόπιο Sloan στο Apache Point Observatory (APO) στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ, συνέλεξε φωτομετρικές και φασματοσκοπικές παρατηρήσεις στο οπτικό και στο κοντινό υπέρυθρο για περισσότερους από 930,000 γαλαξίες και 120,000 quasars, χαρτογραφώντας πάνω από το 1/4 του ουρανού.

Το 3ο πρόγραμμα επισκόπησης του Sloan (SDSS-III) ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2008 και θα διαρκέσει έως το 2014, λαμβάνοντας φωτομετρικές παρατηρήσεις για περίπου 500 εκατομμύρια αντικείμενα και φασματοσκοπικές παρατηρήσεις για περίπου 2 εκατομμύρια από αυτά. Μέχρι σήμερα, το SDSS-III έχει χαρτογραφήσει περίπου το 1/3 του ουρανού.

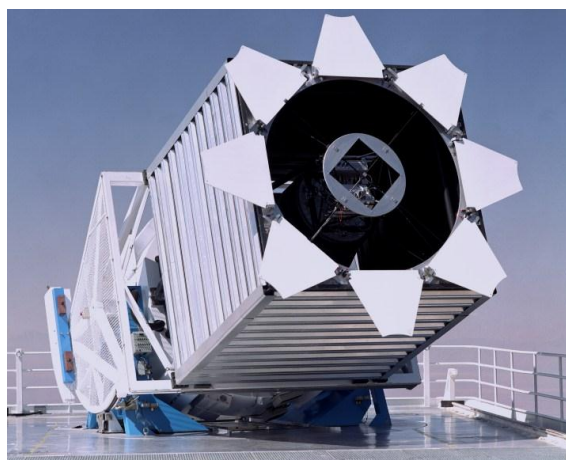


Σχήμα 1.1. Το SDSS-III παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ψηφιακή εικόνα του ουρανού που έχει κατασκευαστεί μέχρι σήμερα, ευκρίνειας μεγαλύτερης του ενός τρισεκατομμυρίου pixels. **Κάτω:** η χαρτογράφηση του ουρανού (: 1/3) από το SDSS-III στο νότιο και βόρειο ημισφαίριο. **Πάνω:** διαδοχικές μεγεθύνσεις προς το γαλαξία M33, ενδεικτικές της ευκρίνειας της εικόνας σε μικρή κλίμακα (M. Blanton and the SDSS-III collaboration, 2011)

Το SDSS-III περιλαμβάνει επίσης και τα εξής 4 προγράμματα, καθένα από τα οποία χρησιμοποιεί το 2.5m τηλεσκόπιο του Sloan:

- Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE)
- Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS)
- Multi-object APO Radial Velocity Exoplanet Large-area Survey (MARVELS)
- Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration 2 (SEGUE-2)

1.2 Όργανα παρατήρησης



Σχήμα 1.2. Το κύριο τηλεσκόπιο 2.5m του SDSS στο Apache Point Observatory στο Νέο Μεξικό

Το πρόγραμμα του SDSS περιλαμβάνει ένα κύριο τηλεσκόπιο που βρίσκεται στο αστεροσκοπείο Apache Point Observatory (APO) στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ, σε ύψος 2,788m (Σχ.1.2). Το εσωτερικό του τηλεσκοπίου περιλαμβάνει δύο κάτοπτρα. Το πρωτεύον κάτοπτρο έχει διαστάσεις 2.5m, ενώ το δευτερεύον 1.08m. Σε συνδυασμό με δύο διορθωτικούς φακούς που περιλαμβάνει το σύστημα εστίασής του, το τηλεσκόπιο αυτό είναι σε θέση να λαμβάνει εικόνα από μια περιοχή πεδίου 3 μοιρών.

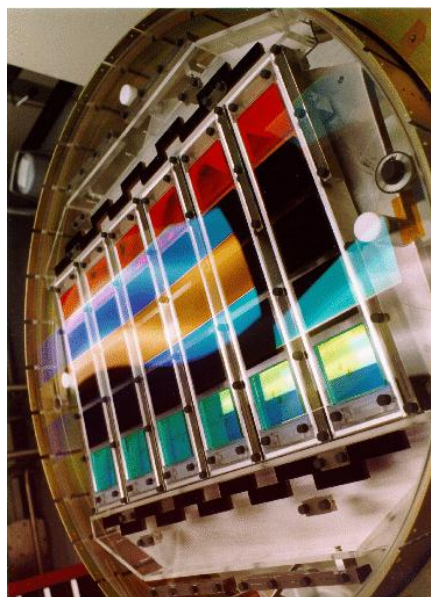
Εκτός από το κύριο τηλεσκόπιο, το SDSS διαθέτει και ένα βοηθητικό φωτομετρικό τηλεσκόπιο μισού μέτρου, για τη βαθμονόμηση της λαμπρότητας των πηγών που έχουν παρατηρηθεί από το κύριο τηλεσκόπιο.

Η κάμερα του κυρίου τηλεσκοπίου καταγράφει εικόνες χρησιμοποιώντας μια συστοιχία 30 ανιχνευτών CCD 2048 x 2048 pixels, τοποθετημένους σε 6 στήλες των 5 CCDs. Οι 6 στήλες είναι ευθυγραμμισμένες με τις στήλες των pixels του κάθε ανιχνευτή, ενώ οι 5 σειρές των ανιχνευτών καλύπτονται από τα φίλτρα r, i, u, z και g του SDSS, αντίστοιχα (βλ.Σχήμα 1.3).

Η κάμερα καταγράφει τα δεδομένα από τους CCD ανιχνευτές καθώς το τηλεσκόπιο διαγράφει μεγάλους κύκλους στον ουρανό, έτσι ώστε οι εικόνες των αντικειμένων να κινούνται κατά μήκος των στηλών της διάταξης των ανιχνευτών. Με αυτόν τον τρόπο

η κάμερα καταγράφει την εικόνα κάθε πηγής στα 5 φίλτρα. Κάθε αντικείμενο χρειάζεται 54 sec για να κινηθεί κατά μήκος της επιφάνειας ενός CCD, και επομένως ο χρόνος έκθεσης για κάθε φίλτρο είναι 54 sec. Ο χρόνος που χρειάζεται για να κινηθεί από τη μία σειρά της συστοιχίας των CCD στην επόμενη είναι 71.7 sec, καθώς υπάρχει απόσταση μεταξύ των ανιχνευτών, επομένως οι εικόνες του κάθε αντικειμένου στα 5 φίλτρα έχουν καταγράφονται ανά διαστήματα των 71.7 sec.

Το σύστημα του τηλεσκοπίου περιλαμβάνει μια διάταξη από 24 επιπλέον CCD ανιχνευτές, οι οποίοι καλύπτονται από φίλτρα ουδέτερης πυκνότητας. Οι ανιχνευτές αυτοί είναι τοποθετημένοι πριν και μετά από τους φωτομετρικούς ανιχνευτές και συλλέγουν αστρομετρικά δεδομένα προτύπων αστερών.

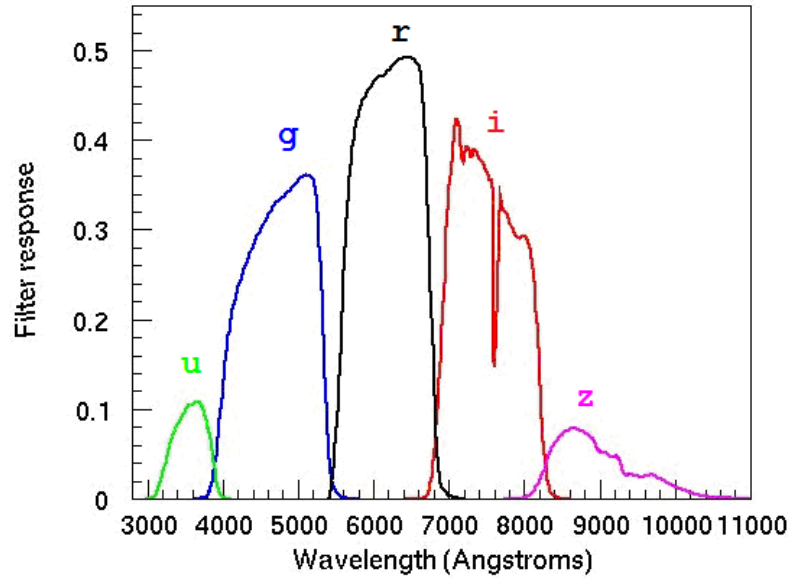


Σχήμα 1.3. Απεικόνιση της διάταξης των CCD και των φίλτρων στην κάμερα του SDSS

Εξαιτίας της απόστασης μεταξύ των ανιχνευτών, το τηλεσκόπιο διαγράφει για δεύτερη φορά έναν κύκλο που αποκλίνει από τον πρώτο τόσο, ώστε να περιλαμβάνεται η περιοχή του ουρανού που παραλείφθηκε την πρώτη φορά.

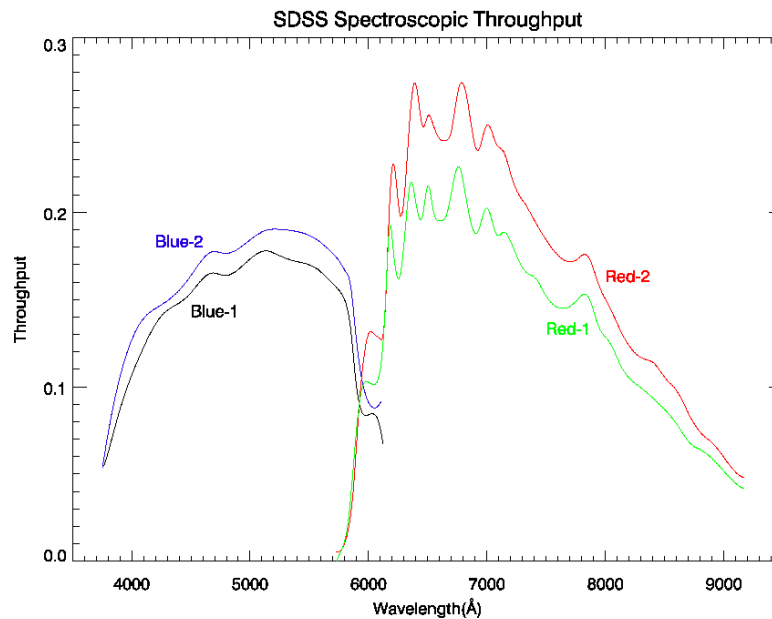
Το SDSS χρησιμοποιεί τα φίλτρα u, g, r, i και z, οι καμπύλες απόδοσης των οποίων φαίνονται στο Σχήμα 1.4, ενώ οι μέσες τιμές των μηκών κύματος τους δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

u	g	r	i	z
3551Å	4686Å	6166Å	7480Å	8932Å



Σχήμα 1.4. Οι καμπύλες απόδοσης των 5 φίλτρων του SDSS, με ατμοσφαιρική απορρόφηση 1.3 airmass

Το κύριο τηλεσκόπιο του SDSS είναι επίσης εξοπλισμένο με δύο φασματογράφους, καθένας από τους οποίους είναι εξοπλισμένος από δύο κανάλια, ένα μπλε και ένα ερυθρό. Η ακτινοβολία που εισέρχεται από το τηλεσκόπιο αναλύεται στο φάσμα της από τους φασματογράφους και συλλέγεται από 4 ανιχνευτές CCD. Οι δύο από αυτούς καλύπτουν την περιοχή μηκών κύματος 3800-6100Å και οι άλλοι δύο την περιοχή 5900-9100Å, κι έτσι το τελικό φάσμα ενός αντικειμένου εκτείνεται από τα 3800Å έως τα 9100Å. Οι καμπύλες απόδοσης των φασματογράφων φαίνονται στο Σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5. Οι καμπύλες απόδοσης των δύο φασματογράφων του SDSS

1.3 Οι αλγόριθμοι του SDSS

ι. Φωτομετρικά μεγέθη

Τα φωτομετρικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται από το SDSS δεν αποτελούν μεγέθη Pogson αλλά «asinh» μεγέθη (Lupton, Gunn & Szalay 1999), τα οποία δίνονται από τη σχέση:

$$m = -2.5/\ln(10) \cdot [\operatorname{asinh}((f/f_0)/(2b)) + \ln(b)]$$

όπου f και f_0 η ροή ακτινοβολίας της πηγής και του μηδενικού σημείου αντίστοιχα, ενώ η παράμετρος b είναι μια παράμετρος εξομάλυνσης που δίνεται για κάθε φίλτρο στον παρακάτω πίνακα:

Φίλτρο	b	Zero-flux Magnitude	
		$m(f/f_0 = 0)$	$m(f/f_0 = 10b)$
u	1.4×10^{-10}	24.63	22.12
g	0.9×10^{-10}	25.11	22.60
r	1.2×10^{-10}	24.80	22.29
i	1.8×10^{-10}	24.36	21.85
z	7.4×10^{-10}	22.83	20.32

Πίνακας 1.1. Παράμετρος εξομάλυνσης b για τα asinh μεγέθη του SDSS

Τα «asinh» μεγέθη έχουν προτιμηθεί, γιατί εμφανίζουν πιο ομαλή συμπεριφορά για πηγές μικρότερου λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) απ'ότι τα μεγέθη Pogson. Τα «asinh» και τα Pogson μεγέθη είναι πρακτικά ισοδύναμα για πηγές μεγέθους που αντιστοιχεί σε ροή μεγαλύτερης των $10f_0$. Το μέγεθος αυτό δίνεται στον Πίνακα 1.1.

Για τον υπολογισμό του μεγέθους μια πηγής, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της ολικής ροής ακτινοβολίας f από την πηγή. Στην περίπτωση σημειακής πηγής πρέπει να εφαρμόζεται μια PSF συνάρτηση (Point Spread Function) στην εικόνα της πηγής. Η PSF εφαρμόζεται για κάθε αντικείμενο σε κάθε φίλτρο και έτσι προκύπτει ένα **μεγέθος PSF** και για τις εκτεταμένες πηγές.

Στην περίπτωση των εκτεταμένων πηγών, υπολογίζονται αρχικά οι διαστάσεις τους και στη συνέχεια ολοκληρώνεται η ροή της ακτινοβολίας που περικλείεται σε αυτές τις διαστάσεις. Σε κάθε περίπτωση, εφαρμόζονται στη διδιάστατη απεικόνιση κάθε αντικειμένου σε κάθε φίλτρο δύο ξεχωριστά προφίλ επιφανειακής λαμπρότητας. Το ένα από αυτά είναι αυτό του DeVaucouleurs:

$$\text{DeVaucouleurs: } I(r) = I_0 \exp \left[-7.67 \left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/4} \right]$$

όπου r_e η ενεργός ακτίνα και I_0 η κεντρική λαμπρότητα. Το μοντέλο υφίσταται αποκοπή για $r=7r_e$, ώστε να προσεγγίζει ομαλά το 0 για $8r_e$, ενώ υπόκειται σε εξομάλυνση για $r < r_e/50$. Το δεύτερο θεωρητικό προφίλ που εφαρμόζεται είναι το εκθετικό προφίλ:

$$\text{Exponential: } I(r) = I_0 \exp\left[-1.68 \frac{r}{r_e}\right]$$

όπου το μοντέλο υφίσταται αποκοπή για $r > 3r_e$ ώστε να προσεγγίζει ομαλά το 0 για $4r_e$. Σε κάθε μοντέλο περιλαμβάνεται η φαινόμενη ελλειπτικότητα του κάθε γαλαξία καθώς η προσαρμογή μιας PSF.

Κατ'αυτόν τον τρόπο, το SDSS αποδίδει σε κάθε αντικείμενο δύο μεγέθη που αντιστοιχούν στις ακτίνες που προκύπτουν από την προσέγγιση του προφίλ του αντικειμένου με τα δύο μοντέλα, τα μεγέθη **devmag** και **expmag** αντίστοιχα.

Το SDSS στη συνέχεια επιλέγει το μοντέλο (DeVaucouleurs ή εκθετικό) που προσεγγίζει καλύτερα την εικόνα ενός αντικειμένου στο φίλτρο r και προσαρμόζει το μοντέλο αυτό και στις εικόνες από τα υπόλοιπα φίλτρα. Τα μεγέθη που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία ονομάζονται **modelmag**.

Οι κατάλογοι του SDSS περιέχουν και πιο σύνθετα μεγέθη, τα **cmmodelmag** (composite model magnitude). Η διαφορά των μεγεθών **cmmodel** και **model** είναι πως τα πρώτα προκύπτουν από γραμμικό συνδυασμό του εκθετικού και του DeVaucouleurs προφίλ που προσεγγίζουν καλύτερα την εικόνα του αντικειμένου σε κάθε φίλτρο.

Για τη φωτομετρία των γαλαξιών, είθισται η χρήση των μεγεθών **petrosian** (Petrosian 1976), όπου μετράται για κάθε αντικείμενο και σε κάθε φίλτρο, ένα σταθερό κλάσμα της συνολικής ακτινοβολίας, ανεξάρτητο της θέσης και της απόστασης του αντικειμένου. Για το λόγο αυτό το SDSS έχει υιοθετήσει ένα προσαρμοσμένο petrosian σύστημα, όπου υπολογίζεται η ροή της ακτινοβολίας που περικλείεται από έναν κύκλο ακτίνας r_p (petrosian radius). Η ακτίνα r_p (petrorad) καθορίζεται από τη μορφή του μέσου αζιμουθιακού προφίλ ακτινοβολίας της πηγής $I(r)$ στο φίλτρο r , και δίνεται από τη σχέση:

$$R_p(r) = \frac{\int_{0.8r}^{1.25r} 2\pi r' I(r') \left[\pi(1.25^2 - 0.8^2)r^2 \right]^{-1} dr'}{\int_0^r 2\pi r' I(r') \left[\pi r^2 \right]^{-1} dr'}$$

όπου η r_p είναι η ακτίνα στην οποία ο λόγος R_p είναι ίσος με μία καθορισμένη τιμή $R_{p,lim}$, η οποία για τα δεδομένα του SDSS είναι $R_{p,lim} = 0.2$. Η ακτίνα $2r_p$ πρακτικά περικλείει όλη την ακτινοβολία που προέρχεται από το γαλαξία, χωρίς όμως να περικλείει το θόρυβο από το υπόβαθρο του ουρανού. Θεωρητικά, τα petrosian μεγέθη πρέπει να περιλαμβάνουν όλη τη ροή ακτινοβολίας ενός γαλαξία με εκθετικό προφίλ και περίπου το 80% της ροής ενός γαλαξία με προφίλ τύπου DeVaucouleurs.

Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται από το είδος των υπό μελέτη πηγών ακτινοβολίας. Για φωτομετρία κοντινών και λαμπρών γαλαξιών, όπου ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι αρκετά μεγάλος, ενδείκνυται η χρήση των petrosian μεγεθών. Για την πλειοψηφία των γαλαξιών ενδείκνυται γενικά η

χρήση των μεγεθών *cmodel*, τα οποία και χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία, εφόσον στον υπολογισμό του συγκεκριμένου μεγέθους έχει συμπεριληφθεί η επίδραση του seeing.

ii. Διαχωρισμός των εκτεταμένων πηγών

Το SDSS καταχωρεί μια πηγή ως «εκτεταμένη» (extended) ή «σημειακή» (point-like), βάσει της διαφοράς *k* μεταξύ του μεγέθους *cmodel* και του μεγέθους *psf* για κάθε φίλτρο. Μια πηγή θεωρείται εκτεταμένη εάν:

$$k = \text{psfMag} - \text{cmodelMag} > 0.145$$

Εάν το παραπάνω κριτήριο ικανοποιείται, τότε το αντικείμενο χαρακτηρίζεται ως «γαλαξίας», και αν όχι, τότε χαρακτηρίζεται ως «άστρο» για το συγκεκριμένο φίλτρο. Το παραπάνω κριτήριο εφαρμόζεται για όλα τα φίλτρα, και έτσι καθορίζεται ο γενικός χαρακτηρισμός ενός αντικειμένου. Στην πράξη ο γενικός χαρακτηρισμός μπορεί να καθοριστεί, αν ικανοποιείται το παραπάνω κριτήριο σε 2 από τα 3 φίλτρα υψηλού σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio), δηλαδή στα *g*, *r* και *i*. Το κριτήριο αυτό αποτυγχάνει στη διάκριση ενός ζεύγους αστέρων (με απόσταση μικρότερη των 2"), και σε κάποιες περιπτώσεις χαρακτηρίζει ως αστέρες κάποιους γαλαξίες Seyfert με ιδιαίτερα λαμπρούς πυρήνες.

iii. Παράμετροι της μοντελοποίησης των γαλαξιακών προφίλ του SDSS

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, το SDSS προσαρμόζει στην εικόνα κάθε αντικειμένου μία εκθετική, μία DeVaucouleurs και μία PSF συνάρτηση και βάσει της βέλτιστης προσαρμογής ελαχίστου τετραγώνου, καταχωρούνται για κάθε αντικείμενο 3 πιθανότητες: η *exp_L*, *deV_L* και η *star_L* αντίστοιχα. Κάθε μία από αυτές αντιπροσωπεύει την πιθανότητα το αντικείμενο να έχει τουλάχιστον την τιμή χ^2 που αναφέρεται αν πραγματικά αντιπροσωπεύεται από την αντίστοιχη συνάρτηση. Οι ποσότητες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μορφολογική ταξινόμηση ενός δείγματος αντικειμένων, μέσω των τιμών των σχετικών πιθανοτήτων **frac**. Είναι:

$$\text{frac}(\text{deV_L}) = \text{deV_L} / [\text{deV_L} + \text{exp_L} + \text{star_L}]$$

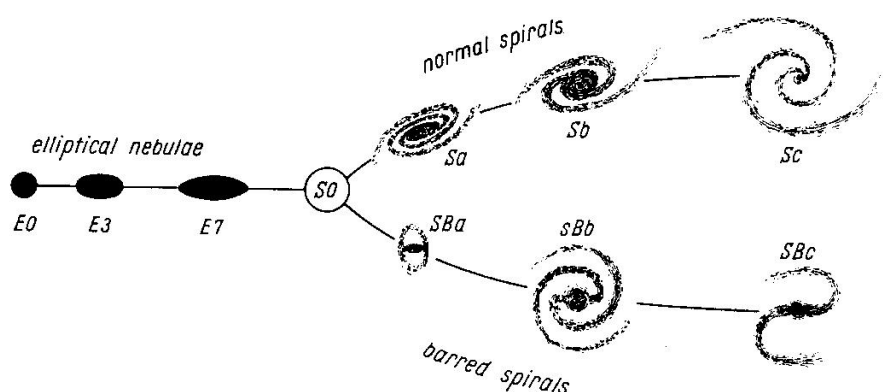
και αντίστοιχα ορίζονται οι *frac(exp_L)* και *frac(star_L)*. Μια σχετική πιθανότητα *frac*>0.5 για οποιαδήποτε από τα 3 αυτά προφίλ είναι γενικά ένα ικανοποιητικό κριτήριο για μορφολογική ταξινόμηση για μεγέθη $18 < r < 21.5$. Για πιο λαμπρούς γαλαξίες, οι πιθανότητες αυτές έχουν την τάση να τείνουν στο 0, επομένως δεν συνίσταται η χρήση τους.

Κεφάλαιο 2

Μορφολογικά χαρακτηριστικά γαλαξιών

2.1 Μορφολογικές ταξινομήσεις και χαρακτηριστικά

Ο μορφολογικός τύπος ενός γαλαξία παίζει πρωταρχικό ρόλο στην κατανόηση των ενδογενών φυσικών χαρακτηριστικών του. Η πρώτη μορφολογική ταξινόμηση των γαλαξιών έγινε από τον Hubble το 1936 (Σχήμα 2.1), ο οποίος διέκρινε τα είδη των γαλαξιών σε τρεις βασικές κατηγορίες: τους ελλειπτικούς E, τους σπειροειδείς (κανονικούς S ή SA και ραβδωτούς SB), και τους ανώμαλους (Irr).



Σχήμα 2.1 : Ταξινόμηση Hubble των γαλαξιών (Tuning Fork diagram)

Οι **ελλειπτικοί** γαλαξίες, ανάλογα με τη φαινόμενη ελλειπτικότητά τους, διακρίνονται στους τύπους En, όπου ο δείκτης n παίρνει τιμές από το 0 έως το 7 και ισούται με το δεκαπλάσιο της φαινόμενης ελλειπτικότητας ε:

$$n = 10 \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} \right) = 10\varepsilon$$

όπου α και β είναι αντίστοιχα ο μεγάλος και ο μικρός ημιάξονας του φαινομένου ελλειπτικού σχήματος του γαλαξία. Η ποσότητα ε καθορίζεται από τον προσανατολισμό του γαλαξία ως προς τη διεύθυνση παρατήρησης. Στην πραγματικότητα οι ελλειπτικοί γαλαξίες αποτελούν τριαξονικά συστήματα, χαρακτηρίζονται δηλαδή από 3 πραγματικούς άξονες συμμετρίας, οι οποίοι ενδέχεται να έχουν διαφορετικά μήκη. Οι ελλειπτικοί γαλαξίες κυριαρχούνται συνήθως από γηραίο πληθυσμό αστερών και έχουν εν γένει μικρή περιεκτικότητα σε αέριο.

Οι **σπειροειδείς** γαλαξίες αποτελούνται από δίσκο και από έναν κεντρικό πυρήνα (bulge), γύρω από τον οποίο οι σπειροειδείς βραχίονες περιελίσσονται με ποικιλόμορφους τρόπους. Αν το bulge είναι σφαιρικό, τότε ο γαλαξίας ονομάζεται

κανονικός σπειροειδής (S ή SA), ενώ αν είναι ραβδόμορφος, ονομάζεται ραβδωτός σπειροειδής (SB). Οι σπειροειδείς γαλαξίες διακρίνονται στις υποκατηγορίες $a \rightarrow b \rightarrow c$: κατά μήκος αυτής της ακολουθίας ο λόγος της λαμπρότητας του πυρήνα του γαλαξία προς αυτή του δίσκου (B/D: bulge-to-disk ratio) μειώνεται, όπως και η συνολική μάζα του γαλαξία, οι σπείρες γίνονται πιο «ανοιχτές» και πιο ασαφείς, ενώ η περιεκτικότητα σε αέριο και η αστρική δημιουργία αυξάνονται.

Οι φακοειδείς γαλαξίες S0 (**lenticular**) εμφανίζουν παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά με αυτά των ελλειπτικών στις κεντρικές τους περιοχές, ενώ περιβάλλονται από έναν πεπλατυσμένο αστρικό δίσκο, χωρίς εμφανή παρουσία σπειρών, με πιθανή, όμως, την παρουσία ράβδου. Η ταξινόμηση του Hubble αποδίδει στους lenticulars το χαρακτηρισμό S0 ή SB0, ανάλογα με την παρουσία ή όχι ράβδου. Παράλληλα αποδίδεται και ένας αριθμητικός δείκτης, που αυξάνεται ανάλογα με την παρουσία της σκόνης στους S0 ($S0_1 \rightarrow S0_3$), ενώ στους SB ανάλογα με το πόσο έντονη είναι η παρουσία της ράβδου ($SB0_1 \rightarrow SB0_3$).

Οι S0, όπως και οι ελλειπτικοί γαλαξίες, αποτελούνται κυρίως από γηραιό αστρικό πληθυσμό μικρής μάζας, ενώ η περιεκτικότητά τους σε αέριο είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα ο ρυθμός αστρικής δημιουργίας (Star Formation Rate) να είναι επίσης πολύ μικρός.

Οι ανώμαλοι γαλαξίες Irr (**Irregular**) εμφανίζουν ιδιόμορφα μορφολογικά χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κανέναν από τους παραπάνω τύπους. Οι ανώμαλοι γαλαξίες διακρίνονται σε τύπου I (Irr I ή Im : Magelanic Irregulars) και τύπου II (Irr II). Οι τύπου I είναι γενικά αργά περιστρεφόμενα και μικρής μάζας συστήματα, χωρίς την έντονη παρουσία δίσκου και με μικρό πυρήνα.

Πολλοί ανώμαλοι τύπου II γαλαξίες παρουσιάζουν εξαιρετικά έντονους ρυθμούς αστρικής δημιουργίας (**Starburst**), πιθανότατα λόγω αλληλεπιδράσεων με γειτονικούς γαλαξίες.

Η ιδέα του Hubble ήταν πως οι γαλαξίες ίσως να εξελίσσονται από τη μία μορφή στην άλλη κατά μήκος της ακολουθίας $E \rightarrow S0 \rightarrow S/SB$. Αν και τελικά απεδείχθη πως το συγκεκριμένο διάγραμμα δεν αποτελεί μία εξελικτική ακολουθία, οι γαλαξίες E ως Sa εξακολουθούν να ονομάζονται *προγενέστερου* τύπου (**Early type**), ενώ οι Sc έως τους Im *μεταγενέστερου* τύπου (**Late type**).

Τα τελευταία χρόνια η μορφολογική ταξινόμηση του Hubble έχει βελτιωθεί σημαντικά και ειδικά από τους Sandage, Van den Bergh, de Vaucouleurs και Elmegreen έχουν προταθεί ευρύτερα συστήματα μορφολογικής ταξινόμησης των γαλαξιών με πρόσθετους και ενδιάμεσους τύπους. Το διάγραμμα ταξινόμησης που χρησιμοποιείται συνήθως έχει την ακόλουθη γενική μορφή:

$$E \rightarrow S0 \rightarrow Sa(\text{ ή } SBa) \rightarrow Sab \rightarrow Sb \rightarrow Sbc \rightarrow Sc \rightarrow Scd \rightarrow Sd \rightarrow Sm \rightarrow Im$$

Η ταξινόμηση μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με τη χρήση καταλόγων όπως ο **RSAC** (Revised Shapley-Ames Catalogue of Bright Galaxies) και ο **RC3** (3d Reference Catalogue of Bright Galaxies).

2.2 Ακτινικά προφίλ λαμπρότητας γαλαξιών

2.2.1 Θεωρητικά ακτινικά προφίλ λαμπρότητας

Το προφίλ του DeVaucouleurs

Το προφίλ του DeVaucouleurs, γνωστός και ως «νόμος του $r^{1/4}$ », αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους εμπειρικούς νόμους για την περιγραφή των ακτινικών προφίλ λαμπρότητας των ελλειπτικών γαλαξιών:

$$\Sigma(r) = \Sigma_e \exp \left\{ -7.67 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \right\}$$

όπου $\Sigma(r)$ η επιφανειακή λαμπρότητα συνάρτηση της ακτίνας, Σ_e η επιφανειακή λαμπρότητα στην ενεργό ακτίνα r_e (effective radius), όπου και περιέχεται το $\frac{1}{2}$ της συνολικής λαμπρότητας του γαλαξία.

Το προφίλ του Sérsic

Το προφίλ του Sérsic (Sérsic 1963, 1968) αποτελεί μία εξίσου διαδεδομένη οικογένεια συναρτήσεων ακτινικών προφίλ που χρησιμοποιούνται για τη γενικότερη μελέτη της μορφολογίας των γαλαξιών, και έχει την ακόλουθη γενική μορφή:

$$\Sigma(r) = \Sigma_e \exp \left\{ -\kappa \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \right\}$$

όπου Σ_e η επιφανειακή λαμπρότητα στην ενεργό ακτίνα r_e (effective radius) και n ο δείκτης του Sérsic (Sérsic index), ενώ η σταθερά κ εξαρτάται από τον δείκτη n , ($\kappa = \kappa_n$). Είναι προφανές πως ο εμπειρικός νόμος του DeVaucouleurs είναι ειδική περίπτωση του Sérsic για $n=4$, (και επομένως $\kappa=7.67$), ενώ για $n=1$ (και $\kappa=1.678$), προκύπτει το **εκθετικό προφίλ**:

$$\Sigma(r) = \Sigma_o \exp \left(-\frac{r}{r_s} \right)$$

όπου Σ_o η κεντρική λαμπρότητα και για την ακτίνα r_e (scalelength) ισχύει: $r_e = 1.678 r_s$

Η εξάρτηση της σταθεράς κ από τον δείκτη n δίνεται από τη σχέση (Ciotti 1991):

$$\Gamma(2n) = 2\gamma(2n, \kappa)$$

αλλά και από προσεγγιστικές μορφές:

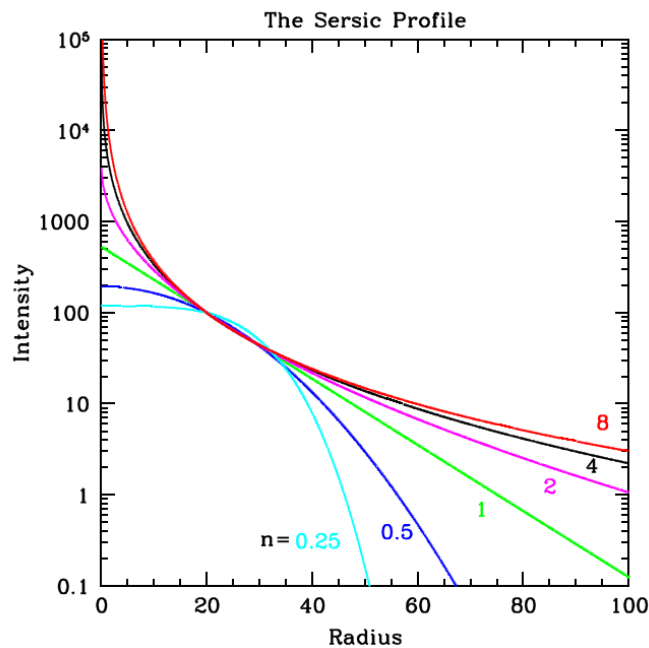
$$\kappa = 1.9992n - 0.3271, \text{ για } 0.5 < n < 10$$

(Capaccioli 1989)

$$\kappa \rightarrow 2n - 1/3, \text{ για } n > 8$$

(Ciotti & Bertin, 1999)

Ο δείκτης του Sérsic καθορίζει τη μορφή του ακτινικού προφίλ· όσο μεγαλύτερος είναι ο n , τόσο πιο οξεία θα είναι η μορφή της καμπύλης κοντά στο κέντρο, και πιο εκτεταμένη σε μεγάλες ακτίνες, ενώ για μικρότερες τιμές του n , η κεντρική περιοχή του προφίλ είναι πιο πεπλατυσμένη και η εξωτερική είναι πιο απότομη (βλ. Σχήμα 2.2). Για ένα εκθετικό προφίλ ($n=1$), το 99.8% της συνολικής ροής περιέχεται στην περιοχή $r < 5r_e$, ενώ για $n=4$ (DeVaucouleurs), περιέχεται το 88.4%.



Σχήμα 2.2. Το προφίλ του Sérsic για διάφορες τιμές του δείκτη n (C. Y. Peng, 2003)

2.2.2 Πραγματικά ακτινικά προφίλ

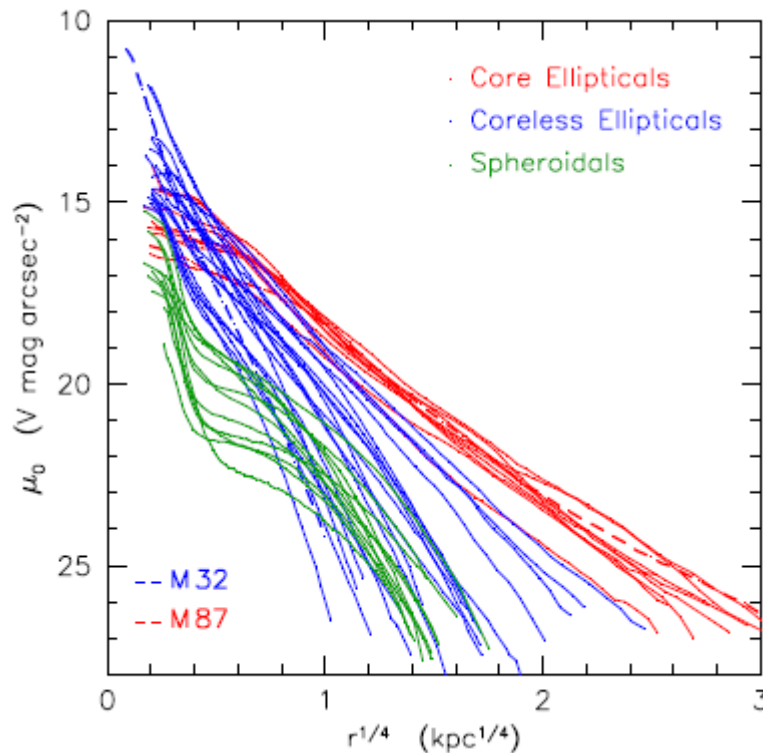
Ελλειπτικοί γαλαξίες

Στους ελλειπτικούς γαλαξίες η επιφανειακή λαμπρότητα συναρτήσει της ακτίνας ακολουθεί συνήθως τον εμπειρικό νόμο του DeVaucouleurs (νόμος $r^{1/4}$):

$$\Sigma(r) = \Sigma_e \exp \left\{ -7.67 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \right\}$$

Ο νόμος αυτός φαίνεται να έχει μια πολύ καλή προσαρμογή στα προφίλ των ελλειπτικών γαλαξιών, ανεξάρτητα από την ελλειπτικότητα, την περιστροφή και τη διασπορά των ταχυτήτων τους.

Παρ'όλ'αυτά, οι ελλειπτικοί γαλαξίες δεν ακολουθούν το νόμο του DeVaucouleurs παντού. Τα προφίλ λαμπρότητας φαίνεται πως ακολουθούν αυτόν τον νόμο για μια περιοχή ακτίνων από την $0.1r_e$ έως και την $1.5r_e$, καθώς οι πυρήνες των ελλειπτικών γαλαξιών εμφανίζουν συνήθως μια σταθερή επιφανειακή λαμπρότητα, και στην περίπτωση ύπαρξης εκτεταμένων πυρήνων, τα προφίλ είναι αρκετά πεπλατυσμένα στην κεντρική περιοχή, ενώ ακολουθούν το νόμο του DeVaucouleurs ($r^{1/4}$) στην εξωτερική, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:

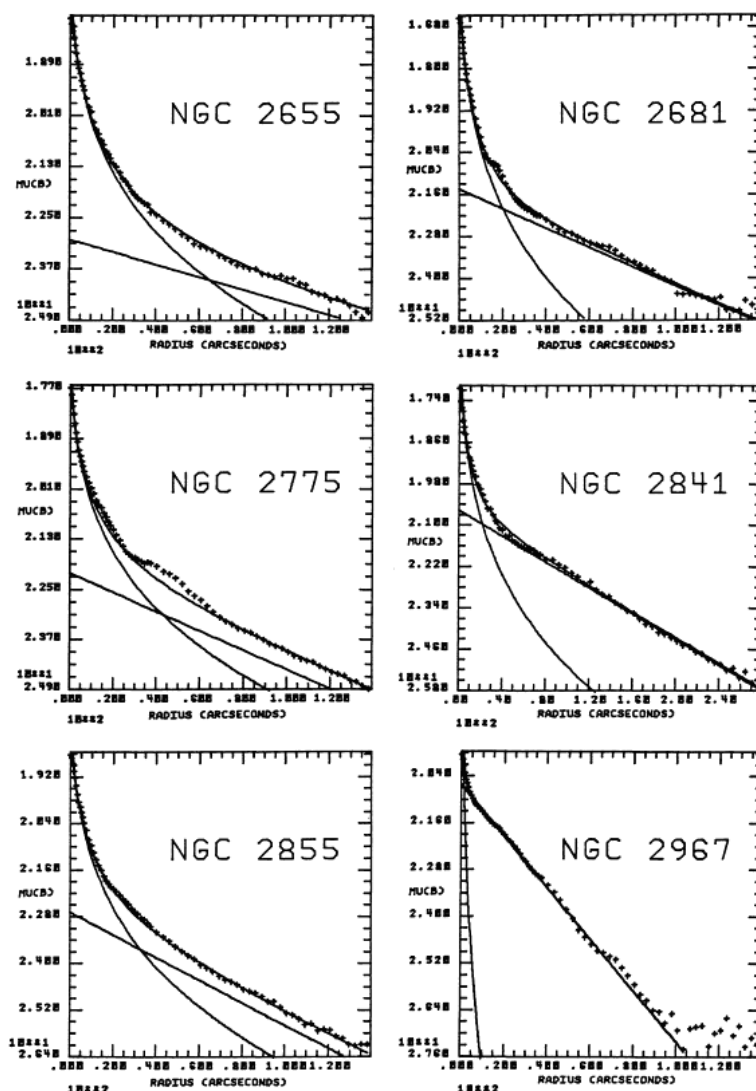


Σχήμα 2.3. Προφίλ λαμπρότητας διαφόρων τύπων ελλειπτικών γαλαξιών (Kormendy et al. 2009)- με ή χωρίς πυρήνα (κόκκινο και μπλε αντίστοιχα) και σφαιροειδείς (πράσινο).

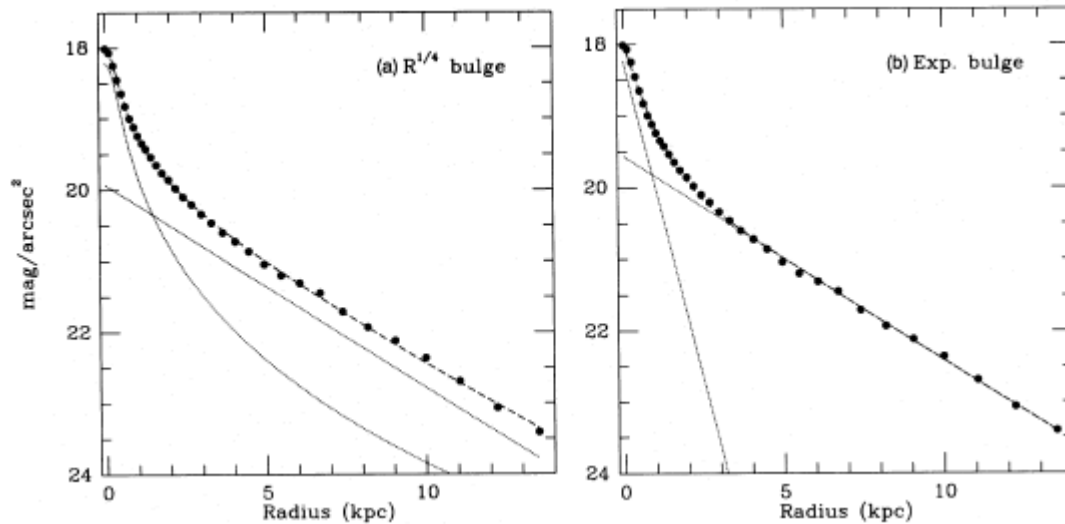
Σπειροειδείς γαλαξίες

Τα προφίλ λαμπρότητας των σπειροειδών γαλαξιών αποτελούνται κυρίως από δύο συνιστώσες. Οι δίσκοι των σπειροειδών γαλαξιών ακολουθούν συνήθως τον εκθετικό νόμο (Sersic index $n=1$), ενώ το προφίλ του κεντρικού bulge ακολουθεί συνήθως το νόμο του DeVaucouleurs ($n=4$) (βλ. Σχήμα 2.4). Το bulge ενδέχεται να ακολουθεί και το εκθετικό προφίλ (βλ. Σχήμα 2.5), σε σπειροειδείς γαλαξίες μεταγενέστερου τύπου (Andredakis & Sanders 1994), όπου ο λόγος του δίσκου προς το bulge (D/B) είναι αρκετά μεγαλύτερος ($D/B \approx 3$ για γαλαξίες τύπου Sb, ενώ $D/B \approx 12$ για Sc γαλαξίες).

Σε αντίθεση με τους ελλειπτικούς, οι οποίοι παρουσιάζουν στην πλειοψηφία τους ομαλά προφίλ, τα προφίλ των σπειροειδών γαλαξιών χαρακτηρίζονται από ασυμμετρίες που οφείλονται στην ύπαρξη ράβδου, σπειρών και της σκόνης.



Σχήμα 2.4. Τα προφίλ λαμπρότητας 6 σπειροειδών γαλαξιών με διάφορους λόγους D/B . Το εκθετικό προφίλ (ευθεία γραμμή) φαίνεται πως προσαρμόζεται καλά στο δίσκο, ενώ το DeVaucouleurs στο bulge (Borosen 1981)



Σχήμα 2.5. Ανάλυση του προφίλ του σπειροειδούς γαλαξία NGC 2708 σε δύο συνιστώσες (a) $r^{1/4}$ bulge+εκθετικός δίσκος και (b) εκθετικό bulge και εκθετικός δίσκος (Andredakis & Sanders 1994)

Γαλαξίες S0

Ενώ η πλειοψηφία των ελλειπτικών και των σπειροειδών εμφανίζουν καλά καθορισμένα προφίλ, οι S0 γαλαξίες εμφανίζουν λιγότερο σαφή χαρακτηριστικά. Οι γαλαξίες αυτοί αποτελούνται, όπως και οι σπειροειδείς γαλαξίες, από δίσκο με εκθετικό προφίλ και το κεντρικό bulge, που ακολουθεί συνήθως το νόμο του DeVaucouleurs (Blanton & Moustakas 2009), αν και είναι, εν γένει, πολύ πιο εκτεταμένο από αυτό των σπειροειδών γαλαξιών. Ο τυπικός λόγος D/B για γαλαξίες S0 είναι περίπου $D/B \approx 1$, αν και το εύρος τιμών του είναι αρκετά μεγάλο, και πολλές φορές το bulge μπορεί να αποτελεί και την κύριαρχη δομή στο γαλαξία. Στην περίπτωση αυτή τα προφίλ των γαλαξιών S0 θα διέπονται από το νόμο του DeVaucouleurs (ή από το νόμο του Sersic για μεγάλες τιμές του δείκτη n), για το μεγαλύτερο εύρος ακτινών του προφίλ τους.

Κεφάλαιο 3

Φασματικοί τύποι γαλαξιών

3.1 Γενικά

Τα γαλαξιακά φάσματα χαρακτηρίζονται γενικά από μία ισχυρή συνιστώσα συνεχούς φάσματος, η οποία δημιουργείται από τη συμμετοχή των διάφορων αστρικών πληθυσμών με μεγάλο εύρος θερμοκρασιών στην ολική ακτινοβολία του γαλαξία.

Στο συνεχές φάσμα ενός γαλαξία παρατηρούνται συνήθως και γραμμές απορρόφησης, οι οποίες οφείλονται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα άτομα (μέταλλα) και τα μόρια των αστρικών ατμοσφαιρών, στη σκόνη, καθώς και στα ψυχρά γαλαξιακά αέριο. Η παρουσία έντονων γραμμών απορρόφησης στα γαλαξιακά φάσματα (γραμμές Ca H και K) είναι ενδεικτική του μεγάλου πληθυσμού γηραιών αστερών στο γαλαξία, και συναντάται συνήθως στα φάσματα των ελλειπτικών και των S0 γαλαξιών αλλά και στα φάσματα των bulges των σπειροειδών γαλαξιών (βλ. Σχήμα 3.1).

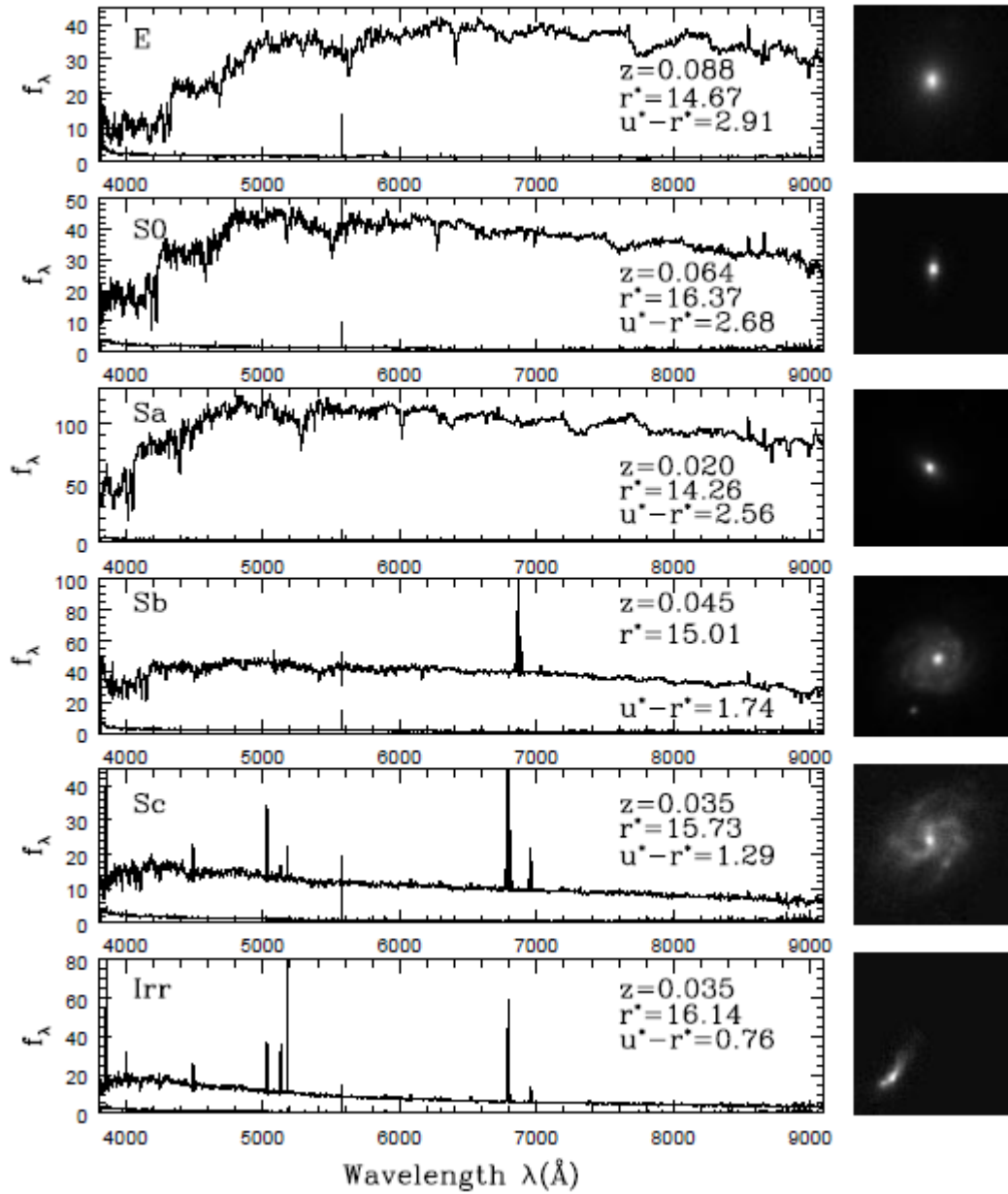
Εκτός των γραμμών απορρόφησης, παρατηρούνται και γραμμές εκπομπής, οι οποίες προκαλούνται από τη θέρμανση του αερίου από λαμπρούς αστέρες και την επανεκπομπή της ενέργειάς τους υπό τη μορφή ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα μήκη κύματος (γραμμές OIII, H α , H β , H γ). Μια τέτοια διαδικασία είναι ενδεικτική της ύπαρξης πολύ θερμών και νεαρών αστερών τύπου OB σε ένα γαλαξία, που σημαίνει την έντονη πρόσφατη αστρική δημιουργία σε αυτόν. Τέτοιες γραμμές εκπομπής απαντώνται συνήθως στους δίσκους των σπειροειδών γαλαξιών και στους γαλαξίες ανώμαλου τύπου, με τη διαφορά πως στα φάσματα των σπειροειδών γαλαξιών παρατηρούνται πιο έντονες γραμμές απορρόφησης απ'ότι στους ανώμαλους, λόγω της ύπαρξης μεγαλύτερου πληθυσμού γηραιών αστερών σε αυτούς (βλ. Σχήμα 3.1).

Οι δείκτες χρώματος των γαλαξιών, ορίζονται, όπως και για τους αστέρες, ως η διαφορά μεταξύ των μεγεθών του γαλαξία σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος. Οι δείκτες χρώματος είναι ενδεικτικοί της σύνθεσης του αστρικού πληθυσμού σε ένα γαλαξία, και για το λόγο αυτό, παρατηρείται διαφοροποίηση των δεικτών χρώματος ανάλογα με το μορφολογικό τύπο, (Πίνακας 3.1). Οι ελλειπτικοί και οι S0 γαλαξίες παρουσιάζουν μεγαλύτερους δείκτες χρώματος (u-r) από τους υπόλοιπους μορφολογικούς τύπους, είναι με άλλα λόγια πιο «κόκκινοι» σε σχέση με τους «μπλε» σπειροειδείς και ανώμαλους γαλαξίες.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις αναδεικνύουν μία φυσική συσχέτιση των φασματικών χαρακτηριστικών των γαλαξιών με τη μορφολογία τους.

Τύπος Hubble	(u^*-r^*)
E	2.91
S0	2.68
Sa	2.56
Sb	1.74
Sc	1.29
Irr	0.76

Πίνακας 3.1. Η διαφοροποίηση των δεικτών χρώματος ($u-r$) για 6 μορφολογικούς τύπους από το SDSS (Strateva et al. 2001)



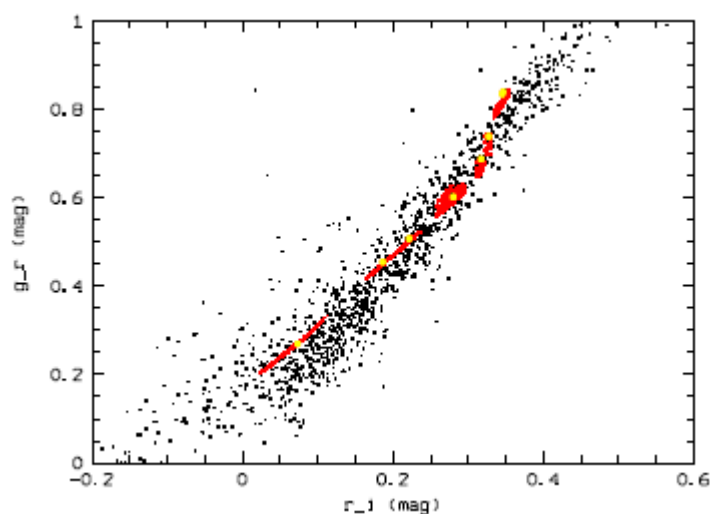
Σχήμα 3.1. Έξι διαφορετικοί γαλαξιακοί φασματικοί τύποι του SDSS (E, S0, Sa, Sb, Sc και Irr), που υιοθετήθηκαν από τους Strateva et al. (2001). Δίνονται τα τυπικά τους φάσματα, οι δείκτες χρώματος $u-r$ και οι εικόνες τους στο φίλτρο g του SDSS.

3.2 Η συνθετική βιβλιοθήκη γαλαξιακών φασμάτων για τη διαστημική αποστολή Gaia.

Με σκοπό την ταξινόμηση και την παραμετροποίηση των γαλαξιών που θα παρατηρήσει η διαστημική αποστολή **Gaia** της ESA, παρήχθη μια συνθετική βιβλιοθήκη γαλαξιακών φασμάτων, με χρήση του μοντέλου γαλαξιακής εξέλιξης PEGASE.2 του IAP (Fioc & Rocca-Volmerange 1997, 1999; Le Borgne & Rocca-Volmerange 2002).

Η κατασκευή της βιβλιοθήκης των συνθετικών γαλαξιακών φασμάτων περιγράφεται από τους Tsalmantza et al. 2007, 2009. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των συνθετικών φασμάτων είναι μοντέλα σύνθεσης αστρικού πληθυσμού και χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσδιορισμό του ρυθμού παραγωγής αστερών στο εσωτερικό των γαλαξιών συναρτήσει του χρόνου. Οι μεταβλητές που υπεισέρχονται σε αυτά είναι η συνάρτηση κατανομής μάζας, ο ρυθμός παραγωγής αστερών και οι καμπύλες αστρικής εξέλιξης.

Η βιβλιοθήκη αυτή είχε σαν στόχο τη δημιουργία ενός δείγματος φασμάτων γαλαξιών γνωστού φασματικού τύπου. Τα συνθετικά φάσματα που κατασκευάστηκαν με αυτό τον τρόπο αντιστοιχούσαν αρχικά σε 8 τύπους γαλαξιών: **E, S0, Sa, Sb, Sbc, Sc, Sd** και **Im**. Τα δεδομένα της πρώτης συνθετικής βιβλιοθήκης συγκρίθηκαν με παρατηρήσεις του SDSS για γαλαξίες με $z < 0.01$, μέσω διαγραμμάτων χρώματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.2. Διάγραμμα χρωμάτων ($g-r$ με $r-i$) των χρωμάτων του δείγματος γαλαξιών από το SDSS (μαύρα σημεία), και των μοντέλων της πρώτης βιβλιοθήκης συνθετικών φασμάτων γαλαξιών (κόκκινα σημεία).

Παρά τη συμφωνία των συνθετικών δεδομένων της πρώτης βιβλιοθήκης με τα παρατηρησιακά δεδομένα του SDSS, διαπιστώθηκε πως δεν κάλυπταν ένα μεγάλο μέρος του παρατηρησιακού διαγράμματος χρωμάτων, ειδικά στην μπλε περιοχή, όπου αντιστοιχεί στους ανώμαλους γαλαξίες.

Για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκε μια δεύτερη βιβλιοθήκη συνθετικών φασμάτων, της οποίας ο κύριος στόχος ήταν η κάλυψη της πλειοψηφίας των παρατηρησιακών

δεδομένων από το SDSS. Στη νέα έκδοση της βιβλιοθήκης, οι φασματικοί τύποι που υιοθετήθηκαν διακρίθηκαν σε 4 κατηγορίες:

- Γαλαξίες προγενέστερου τύπου (**Early type galaxies**)
- Σπειροειδείς γαλαξίες (**Spiral galaxies**)
- Ανώμαλοι γαλαξίες (**Irregular galaxies**)
- Quenched Star Forming Galaxies-QSFG (Γαλαξίες όπου η αστρική δημιουργία έχει διακοπεί)

Για την κατασκευή γαλαξιών **ανώμαλου τύπου** χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο σύμφωνα με το οποίο ο γαλαξίας δημιουργείται από μία κατάρρευση αερίου που αρχικά τον περιβάλλει. Ο ρυθμός παραγωγής αστέρων (SFR) θεωρήθηκε ανάλογος της μάζας του αερίου στους συγκεκριμένους γαλαξίες. Η κατάρρευση διαρκεί από τα 5,000Myr ως τα 30,000Myr, ενώ η ηλικία των ανώμαλων γαλαξιών θεωρείται ίση με 9Gyr.

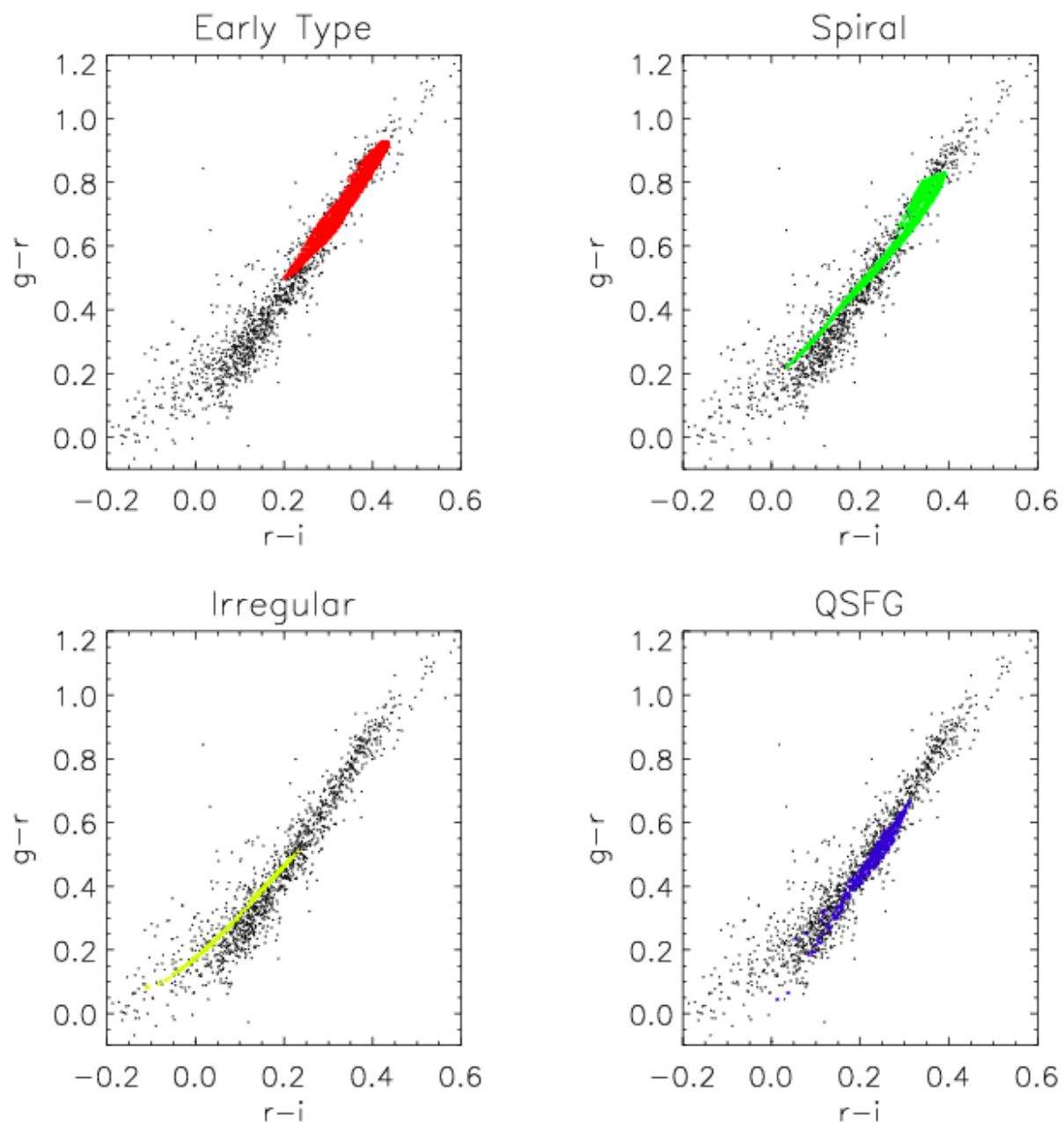
Για την κατασκευή συνθετικών φασμάτων **σπειροειδών** γαλαξιών, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μοντέλα με αυτά των ανώμαλων γαλαξιών, αλλά με διαφορετικό εύρος αρχικών παραμέτρων, και ηλικία ίση με 13Gyr αντί για 9Gyr. Η διάρκεια της κατάρρευσης είναι 5-16,000Myr.

Στην περίπτωση των γαλαξιών **προγενέστερου τύπου**, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε περιελάμβανε έναν εκθετικό ρυθμό παραγωγής αστέρων, ενώ η ηλικία τους θεωρήθηκε ίση με 13Gyr.

Για τη δημιουργία των συνθετικών φασμάτων των **QSFG** γαλαξιών, υιοθετήθηκε το μοντέλο των γαλαξιών ανώμαλου τύπου, όπου η δημιουργία των αστέρων διακόπτεται για χρονικά διαστήματα από 1-250Myr πριν την δεδομένη ηλικία του γαλαξία (9Gyr). Ο λόγος της προσθήκης του συγκεκριμένου φασματικού τύπου ήταν η κάλυψη της «μπλε» περιοχής του παρατηρησιακού διαγράμματος χρωμάτων του σχήματος.

Οι νόμοι για το ρυθμό δημιουργίας αστέρων (SFR) και όλες οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν από την παραπάνω διαδικασία για την κατασκευή των συνθετικών γαλαξιακών φασμάτων των 4 τύπων δίνονται στους Πίνακες 3.2 και 3.3.

Στα σχήματα που ακολουθούν (Σχ.3.3) φαίνονται τα διαγράμματα συνθετικών χρωμάτων g-r συναρτήσει του r-i για κάθε έναν από τους 4 φασματικούς τύπους που υιοθετήθηκαν από την παραπάνω διαδικασία, σε σύγκριση με τα πραγματικά φωτομετρικά δεδομένα από το Sloan.



Σχήμα 3.3. Τα διαγράμματα χρωμάτων για κάθε φασματικό τύπο. Τα μαύρα σημεία αναπαριστούν πραγματικά δεδομένα από το SDSS.

Galaxy type	SFR
Early-type galaxies	$p_2 \exp(-t/p_1)/p_1$
Spiral galaxies	$(M_{\text{gas}}^{p_1})/p_2$
Irregular galaxies	$(M_{\text{gas}}^{p_1})/p_2$
Quenched star-forming galaxies	$(M_{\text{gas}}^{p_1})/p_2$ for $t < t_f - p_3$ 0 for $t > t_f - p_3$ where ($t_f = 9$ Gyr, the age of the galaxy)

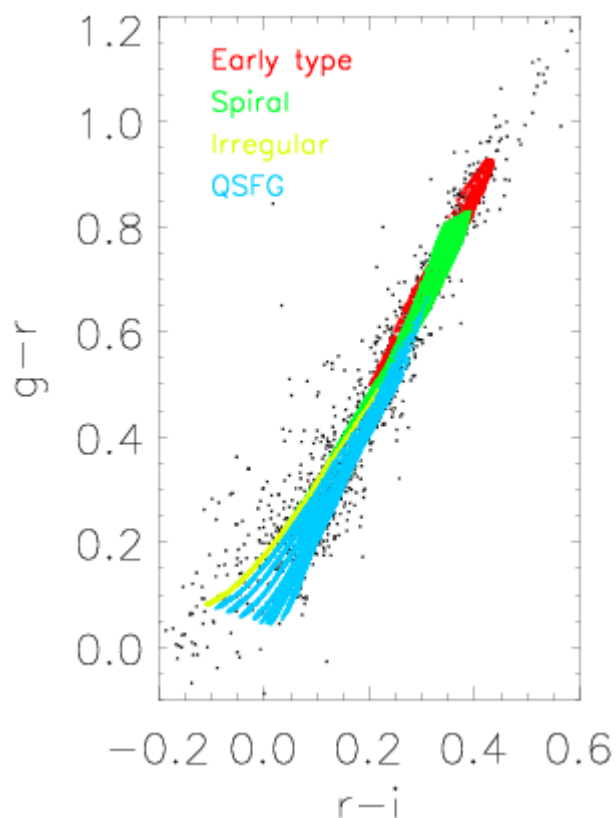
Πίνακας 3.2. Τα μοντέλα για τον ρυθμό παραγωγής αστέρων (SFR) που υιοθετήθηκαν για την κατασκευή των συνθετικών φασμάτων των 4 τύπων από τους Tsalmantza et al. (2009). Οι παράμετροι p_1 , p_2 , p_3 δίνονται στον Πίνακα 3.3.

Parameter	Range of value
Early-type galaxies	
p_1	10–30 000 (Myr)
p_2	0.2–1.5 ($M_{\odot}$)
age	13 (Gyr)
Spiral galaxies	
p_1	0.3–2.4
p_2	5–30 000 (Myr/ $M_{\odot}$)
infall timescale	5–16 000 (Myr)
age	13 (Gyr)
Irregular galaxies	
p_1	0.6–3.9
p_2	4000–70 000 (Myr/ $M_{\odot}$)
infall timescale	5000–30 000 (Myr)
age	9 (Gyr)
Quenched star-forming galaxies	
p_1	0.6–3.9
p_2	4000–70 000 (Myr/ $M_{\odot}$)
p_3	1–250 (Myr)
infall timescale	5000–30 000 (Myr)
age	9 (Gyr)

Πίνακας 3.3. Οι παράμετροι που υιοθετήθηκαν για την κατασκευή των συνθετικών φασμάτων των 4 τύπων από τους Tsalmantza et al. (2009)

Στη συνέχεια τα συνθετικά φάσματα υπέστησαν διορθώσεις και βελτιστοποιήσεις (Karampelas et al. 2012), ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στα πραγματικά. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το διάγραμμα χρωμάτων $g-r$ και $r-i$ (Σχ.3.4).

Φαίνεται πως η προσθήκη του μοντέλου για τους γαλαξίες QSFG, κατάφερε να καλύψει ένα μεγάλο μέρος του παρατηρησιακού διαγράμματος χρωμάτων, αναδεικνύοντας έτσι την ανάγκη της κατανόησης της μορφολογίας των συγκεκριμένων γαλαξιών.



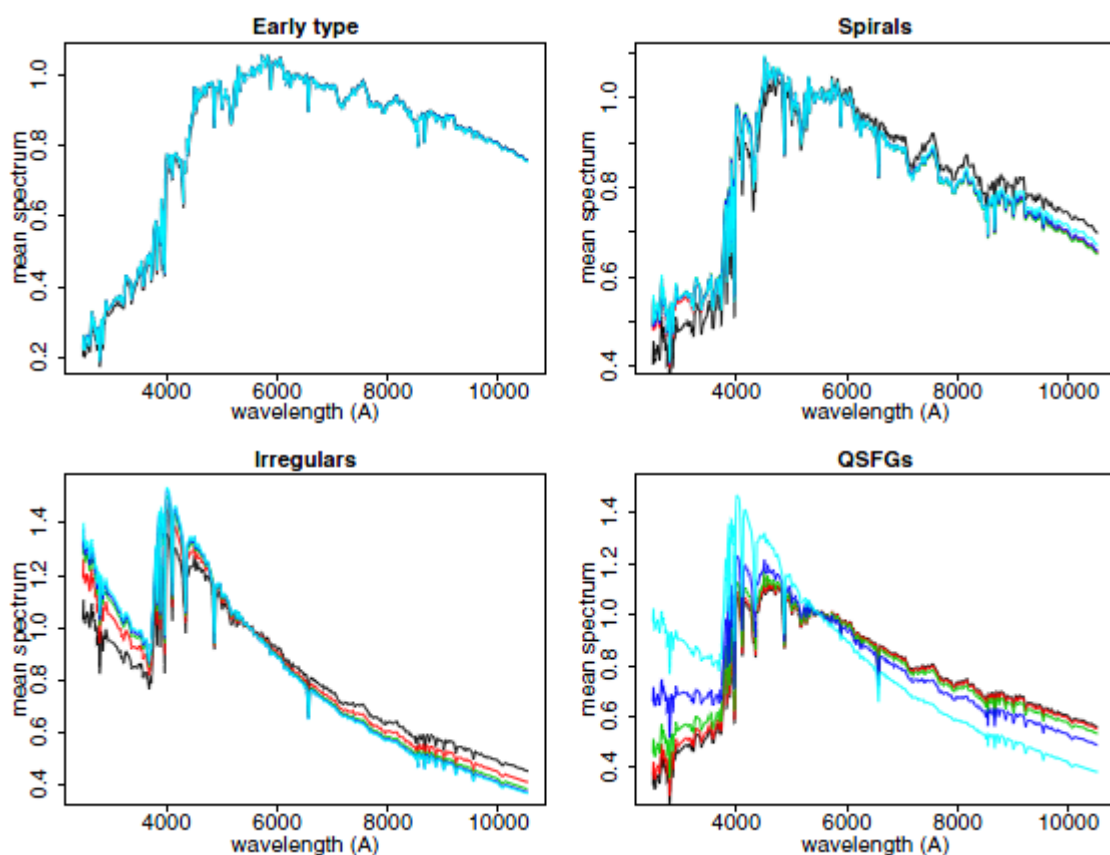
Σχήμα 3.4. Το διάγραμμα χρωμάτων $g-r$ συναρτήσει του $r-i$, για τους γαλαξίες προγενέστερου τύπου (κόκκινο χρώμα), σπειροειδείς (πράσινο), ανώμαλου τύπου (κίτρινο) και για τους γαλαξίες τύπου QSFG (γαλάζιο χρώμα). Τα μαύρα σημεία παριστάνουν φωτομετρικά δεδομένα γαλαξιών του SDSS (Karampelas et al. 2012, Tsalmantza et al. 2009)

3.3 Η ημιεμπειρική βιβλιοθήκη γαλαξιακών φασμάτων

Τα δεδομένα της δεύτερης βιβλιοθήκης των συνθετικών φασμάτων προσαρμόστηκαν, στη συνέχεια, στα πραγματικά φάσματα 33,670 γαλαξιών από το SDSS DR5, με σκοπό την ταξινόμηση των γαλαξιών αυτών στους 4 φασματικούς τύπους. Έτσι δημιουργήθηκε μια ημιεμπειρική βιβλιοθήκη φασμάτων γαλαξιών (Tsalmantza et al. 2012).

Τα κριτήρια επιλογής του δείγματος γαλαξιών από το SDSS ήταν, μεταξύ άλλων, ο υψηλός λόγος σήματος προς θόρυβο ($\text{SNR} > 16$), η ακτίνα petrosian r_{90} (η οποία περικλείει το 90% της ολικής ακτινοβολίας του γαλαξία) να είναι μικρότερη από 4 arcsec, έτσι ώστε το φάσμα να περικλείει ολόκληρο το γαλαξία και όχι ένα μέρος του, και το redshift z να είναι μεγαλύτερο του 0.04, καθώς οι πιο κοντινοί γαλαξίες ενδέχεται να παρουσιάζουν εσωτερικές λαμπρές περιοχές οι οποίες να θεωρούνται ως ξεχωριστά αντικείμενα από τους αλγόριθμους του SDSS.

Τα συνθετικά φάσματα των γαλαξιών των 4 τύπων τα οποία προσαρμόστηκαν στα πραγματικά φάσματα του SDSS φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 3.5. Τα μέσα συνθετικά φάσματα που υιοθετήθηκαν για κάθε φασματικό τύπο, με βάση την τιμή χ^2 που προέκυψε από το την προσαρμογή τους στα πραγματικά φάσματα από το SDSS. Με μαύρο, κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα απεικονίζονται αντίστοιχα οι περιπτώσεις όπου το όριο του χ^2 είναι 0%, 0.2%, 0.5% και 1% μεγαλύτερο από την ελάχιστη τιμή του χ^2 . Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται το μέσο φάσμα όλων των γαλαξιών για κάθε τύπο της βιβλιοθήκης.

Κεφάλαιο 4

Διερεύνηση της σχέσης μορφολογίας και φασματικού τύπου από το SDSS

4.1 Οι φασματικές τάξεις γαλαξιών του SDSS

Στους καταλόγους της πιο πρόσφατης έκδοσης δεδομένων του SDSS (DR8), τα αντικείμενα που καταχωρούνται ως εκτεταμένες πηγές (φέρουν την ένδειξη «γαλαξίες»), υφίστανται μία περαιτέρω ταξινόμηση στις παρακάτω φασματικές τάξεις (subclasses) ανάλογα με τα φασματικά τους χαρακτηριστικά:

- **Γαλαξίες με αστρογέννεση (Starforming Galaxies)** : στη συγκεκριμένη τάξη καταχωρούνται γαλαξίες στων οποίων τα φάσματα υπάρχουν συγκεκριμένες γραμμές εκπομπής οι οποίες είναι ενδεικτικές της αστρικής δημιουργίας, σύμφωνα με το κριτήριο:

$$\log_{10}(\text{OIII}/\text{H}\beta) > 0.7 - 1.2 \cdot (\log_{10}(\text{NII}/\text{H}\alpha) + 0.4)$$

- **Γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (Starburst Galaxies)** : στη συγκεκριμένη τάξη καταχωρούνται γαλαξίες οι οποίοι πληρούν το προηγούμενο κριτήριο των Starforming, και όπου το εύρος της γραμμής H α είναι μεγαλύτερο των 50Å.

- **AGN** : οι γαλαξίες που καταχωρούνται ως AGN έχουν γραμμές εκπομπής αντίστοιχες των γαλαξιών Seyfert ή LINER:

$$\log_{10}(\text{OIII}/\text{H}\beta) < 0.7 - 1.2 \cdot (\log_{10}(\text{NII}/\text{H}\alpha) + 0.4)$$

Θα προσπαθήσουμε στη συνέχεια να διερευνήσουμε την κατανομή των φασματικών τάξεων που αποδίδει το SDSS στους γαλαξίες δείγματός μας για κάθε φασματικό τύπο:

i. Γαλαξίες προγενέστερου τύπου

Από το σύνολο των 17900 γαλαξιών προγενέστερου τύπου του δείγματός μας βρίσκουμε πως στην πλειοψηφία τους (99.58%) αυτοί ταξινομούνται με την ένδειξη «Γαλαξίας» στους καταλόγους του SDSS DR8, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό (0.28%) χαρακτηρίζονται ως «QSO» (Quasi-stellar object), και το 0.14% χαρακτηρίζονται ως αστέρες («Star»).

Από το 99.58% των γαλαξιών του δείγματος, το 2.18% χαρακτηρίζονται ως AGN, το 12.45% ως γαλαξίες με αστρογέννεση (Starforming), ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό (0.52%) φέρει την ένδειξη «Starburst» (Γαλαξίας με έντονη αστρογέννεση).

Η πλειοψηφία των γαλαξιών προγενέστερου τύπου του δείγματος φέρει την ένδειξη «No subclass», δεν ανήκει δηλαδή σε καμμία από τις προηγούμενες τάξεις.

Τα ποσοστά αυτά είναι αναμενόμενα, ενώ το ποσοστό των γαλαξιών προγενέστερου τύπου τους οποίους το SDSS δεν χαρακτηρίζει ως γαλαξίες (0.43%), είτε ανιχνεύει αστρογέννεση (Starforming και Starburst), το οποίο ανέρχεται στο 12.92% του συνόλου, είναι ίσως ενδεικτικό του σφάλματος στην προσέγγιση των πραγματικών φασμάτων του SDSS με τα συνθετικά φάσματα της βιβλιοθήκης. Το συνολικό αυτό ποσοστό ανέρχεται στο 13.35% περίπου των γαλαξιών προγενέστερου τύπου του δείγματος.

Γαλαξίες προγενέστερου τύπου (99.58%)			
<i>No subclass</i>	<i>AGNs</i>	<i>Starforming</i>	<i>Starburst</i>
84.44%	2.18%	12.45%	0.52%

ii. Σπειροειδείς γαλαξίες

Από το σύνολο των 11065 σπειροειδών γαλαξιών του δείγματός μας βρίσκουμε πως στην πλειοψηφία τους (99.33%) αυτοί ταξινομούνται με την ένδειξη «Γαλαξίας» στους καταλόγους του SDSS DR8, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό (0.64%) χαρακτηρίζονται ως «QSO» (Quasi-stellar object), και το 0.03% χαρακτηρίζονται ως αστέρες («Star»).

Από το 99.33% των γαλαξιών του δείγματος, το 1.85% χαρακτηρίζονται ως AGN, το 24.63% ως γαλαξίες με αστρογέννεση (Starforming), και το 12.3% είναι γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (Starburst).

Η πλειοψηφία των σπειροειδών γαλαξιών του δείγματος φέρει την ένδειξη «No subclass», δεν ανήκει δηλαδή σε καμμία από τις προηγούμενες τάξεις, όπως και οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου, αν και σε ένα πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, οι σπειροειδείς γαλαξίες χαρακτηρίζονται ως γαλαξίες με έντονη ή μη αστρογέννεση (περίπου 37%).

Τα ποσοστά αυτά είναι επίσης αναμενόμενα, καθώς οι σπειροειδείς γαλαξίες εμφανίζουν κατά κανόνα αστρογέννεση, σαφώς μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή των ελλειπτικών γαλαξιών. Εδώ το ποσοστό των σπειροειδών γαλαξιών τους οποίους το SDSS δεν χαρακτηρίζει ως γαλαξίες είναι 0.67%, και αποτελεί ενδεικτικό το ελάχιστου σφάλματος που συνοδεύει την προσέγγιση των πραγματικών φασμάτων του SDSS από τα συνθετικά φάσματα της βιβλιοθήκης.

Σπειροειδείς γαλαξίες (99.33%)			
<i>No subclass</i>	<i>AGNs</i>	<i>Starforming</i>	<i>Starburst</i>
60.54%	1.85%	24.63%	12.30%

iii. Γαλαξίες ανώμαλου τύπου

Από το σύνολο των 2715 γαλαξιών ανώμαλου τύπου του δείγματός μας βρίσκουμε πως στην πλειοψηφία τους (96.80%) φέρουν την ένδειξη «Γαλαξίας» στους καταλόγους του SDSS DR8, ενώ το 3.17% χαρακτηρίζονται ως «QSO» (Quasi-stellar objects), και το 0.04% ως αστέρες («Stars»).

Από το 96.80% των γαλαξιών του δείγματος, η πλειοψηφία των ανώμαλων γαλαξιών του δείγματος (80.59%) χαρακτηρίζονται ως γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (Starburst). Το 0.48% χαρακτηρίζονται ως AGN, το 13.01% ως γαλαξίες με αστρογέννεση (Starforming), ενώ το 2.73% φέρει την ένδειξη «No subclass», δεν ανήκει δηλαδή σε καμία από τις προηγούμενες τάξεις.

Τα ποσοστά αυτά είναι αναμενόμενα, και ενθαρρυντικά για την επιβεβαίωση της καλής προσαρμογής των συνθετικών φασμάτων στα πραγματικά φάσματα.

Εδώ το ποσοστό των ανώμαλων γαλαξιών τους οποίους το SDSS δεν χαρακτηρίζει ως γαλαξίες είναι 3.21%, αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των υπόλοιπων φασματικών τύπων, και αποτελεί ενδεικτικό είτε του ελάχιστου σφάλματος που συνοδεύει την προσέγγιση των πραγματικών φασμάτων του SDSS από τα συνθετικά φάσματα της βιβλιοθήκης, ή του σφάλματος που αφορά την αδυναμία των αλγορίθμων του SDSS να κατατάξουν τα συγκεκριμένα αντικείμενα ως εκτεταμένες πηγές.

Γαλαξίες ανώμαλου τύπου (96.80%)			
<i>No subclass</i>	<i>AGNs</i>	<i>Starforming</i>	<i>Starburst</i>
2.73%	0.48%	13.01%	80.59%

iv. Γαλαξίες QSGF

Από το σύνολο των 1788 QSGF γαλαξιών του δείγματός μας βρίσκουμε πως στην πλειοψηφία τους (99.22%) φέρουν την ένδειξη «Γαλαξίας» στους καταλόγους του SDSS DR8, ενώ το 0.78% χαρακτηρίζονται ως αστέρες («Star»).

Από το 99.22% των γαλαξιών του δείγματος, η πλειοψηφία των QSGF γαλαξιών του δείγματος (74.38%) φέρουν την ένδειξη «No subclass». Ένα ποσοστό περί τα 6.10% των γαλαξιών QSGF χαρακτηρίζονται ως AGN, πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό των AGN των υπόλοιπων φασματικών τύπων. Το 11.80% χαρακτηρίζονται ως γαλαξίες με αστρογέννεση (Starforming), ενώ το 6.94% ως γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (Starburst).

Εδώ το ποσοστό των QSGF γαλαξιών τους οποίους το SDSS δεν χαρακτηρίζει ως γαλαξίες είναι αρκετά μικρό (0.78%), και αποτελεί ενδεικτικό το ελάχιστου σφάλματος που συνοδεύει την προσέγγιση των πραγματικών φασμάτων του SDSS από τα συνθετικά φάσματα της βιβλιοθήκης. Το ποσοστό των γαλαξιών QSGF στους οποίους ανιχνεύεται αστρογέννεση, έντονη ή μη, είναι αρκετά υψηλό (18.74%). Δεδομένου πως

οι γαλαξίες αυτοί έχουν προσεγγιστεί από συνθετικά φάσματα που προκύπτουν από μοντέλα γαλαξιακής εξέλιξης όπου η αστρική δημιουργία έχει διακοπεί σε χρόνους πρόσφατους σε σχέση με την ηλικία τους, το ποσοστό αυτό είναι ίσως ενδεικτικό του σφάλματος της προσέγγισης αυτής. Παρ'όλ'αυτά, η διακοπή της αστρικής δημιουργίας σε αυτούς τους γαλαξίες θα μπορούσε να αποτελεί ένα προσωρινό φαινόμενο. Η αστρική δημιουργία μπορεί να επανεμφανίζεται σε χρόνους μεγαλύτερους από την ηλικία που έχει υιοθετηθεί για τους συγκεκριμένους γαλαξίες. Η εμφάνιση QSFG γαλαξιών με αστρογέννεση λοιπόν, θα μπορούσε να οφείλεται σε σφάλματα στον προσδιορισμό της ηλικίας των συγκεκριμένων γαλαξιών.

Γαλαξίες QSFG (99.22%)			
<i>No subclass</i>	<i>AGNs</i>	<i>Starforming</i>	<i>Starburst</i>
74.38%	6.10%	11.80%	6.94%

4.2 Εκθετικά προφίλ και προφίλ τύπου DeVaucouleurs

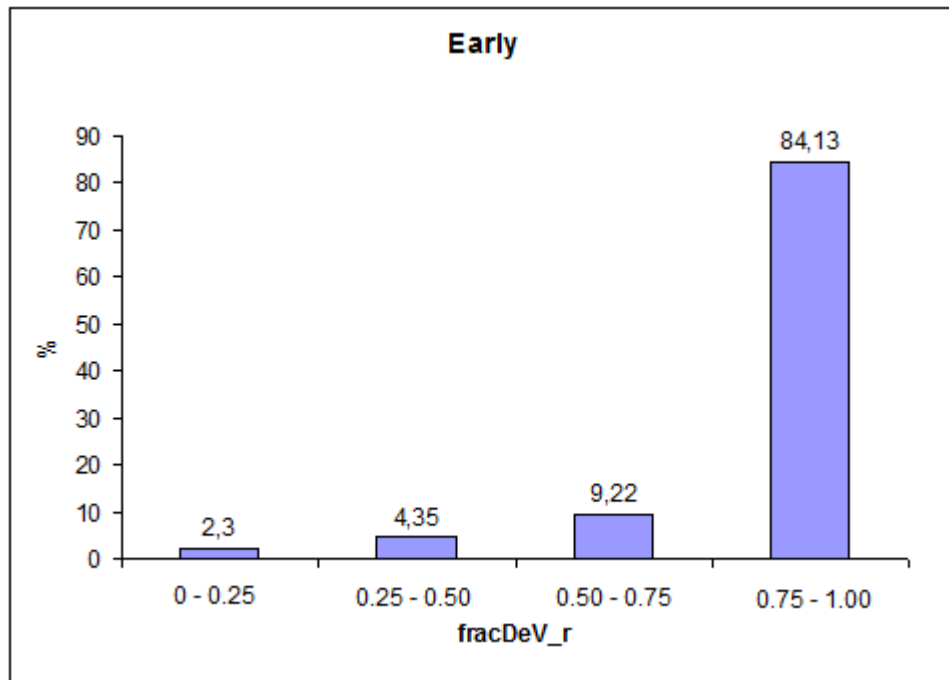
Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, το SDSS προσαρμόζει στην εικόνα κάθε αντικείμενου μία εκθετική και μία DeVaucouleurs συνάρτηση. Βάσει της βέλτιστης προσαρμογής, το SDSS υπολογίζει για κάθε αντικείμενο τις 2 σχετικές πιθανότητες, fracDev , fracExp . Εάν $\text{fracDev} > 0.5$ ή $\text{fracExp} > 0.5$, τότε η βέλτιστη προσαρμογή προφίλ στην εικόνα του αντικείμενου είναι αυτή του DeVaucouleurs ή η εκθετική αντίστοιχα. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε πως οι αλγόριθμοι του SDSS θεωρούν το κριτήριο αυτό ικανοποιητικό για μορφολογική ταξινόμηση για μεγέθη γαλαξιών $18 < r < 21.5$, και όχι για πιο λαμπρούς γαλαξίες.

Θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε τη συμπεριφορά της σχετικής πιθανότητας fracDev στο φίλτρο r , όπως αυτή δίνεται από τους καταλόγους του SDSS DR8 για τους γαλαξίες των τεσσάρων φασματικών τύπων του δείγματός μας.

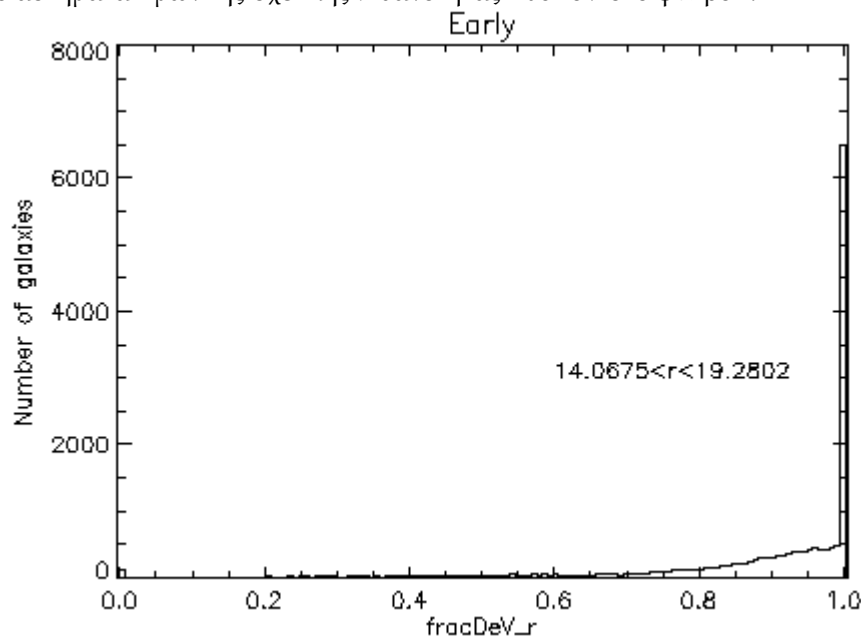
Η διερεύνηση της σχετικής πιθανότητας fracDev γίνεται σε 4 διαστήματα τιμών, τα $[0.00, 0.25)$, $[0.25, 0.50)$, $[0.50, 0.75)$ και $[0.75, 1.00]$, για κάθε φασματικό τύπο και για όλα τα μεγέθη r του δείγματος, καθώς και για το εύρος μεγεθών $18 < r < 21.5$, όπως αυτό ορίζεται ως το διάστημα εμπιστοσύνης για την καλή συμπεριφορά της ποσότητας fracDev .

Γαλαξίες προγενέστερου τύπου		
$0.00 \leq \text{fracDev}_r < 0.25$	2.30%	(412/17900)
$0.25 \leq \text{fracDev}_r < 0.50$	4.35%	(778/17900)
$0.50 \leq \text{fracDev}_r < 0.75$	9.22%	(1651/17900)
$0.75 \leq \text{fracDev}_r \leq 1.00$	84.13%	(15059/17900)

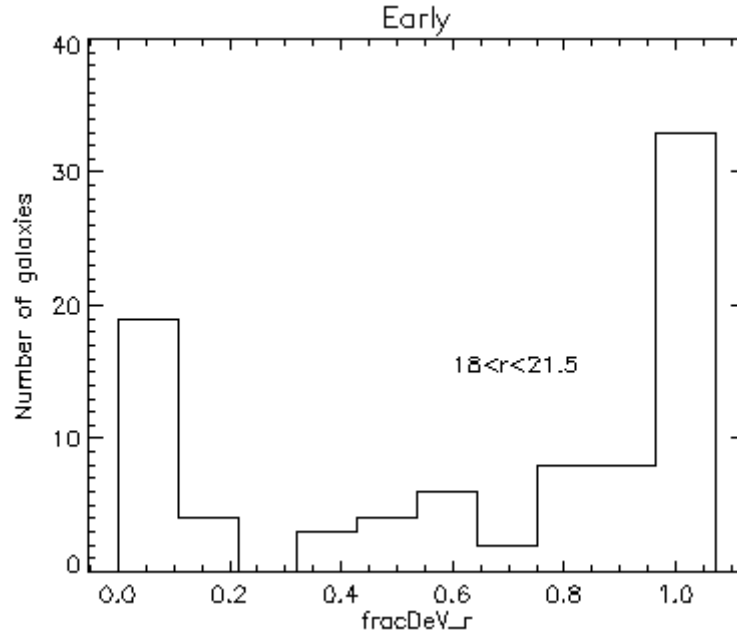
Για το δείγμα γαλαξιών όλων των μεγεθών ($14.1 < r < 19.3$) των γαλαξιών προγενέστερου τύπου της βιβλιοθήκης, βρίσκουμε πως ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (93.35%) εμφανίζουν $\text{fracDeV} > 0.5$, ενώ ένα πολύ μικρότερο ποσοστό (6.65%) παρουσιάζει $\text{fracDeV} < 0.5$. Για το διάστημα μεγεθών $18 < r < 21.5$, το οποίο αποτελεί μόλις το 0.005% του αριθμού γαλαξιών ολόκληρου του δείγματος, το ποσοστό με $\text{fracDeV} > 0.5$ ανέρχεται στο 67.8%. Αυτό σημαίνει πως η πλειοψηφία των γαλαξιών προγενέστερου τύπου παρουσιάζουν πράγματι, σύμφωνα με τους αλγορίθμους του SDSS, προφίλ λαμπρότητας που προσεγγίζονται ικανοποιητικά από το προφίλ του DeVaucouleurs, όπως και είναι το αναμενόμενο.



Σχήμα 4.1. Η κατανομή του ποσοστού των γαλαξιών προγενέστερου τύπου στα 4 διαστήματα τιμών της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .



Σχήμα 4.2. Η ίδια κατανομή του ποσοστού των γαλαξιών προγενέστερου τύπου για όλες τις τιμές της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .



Σχήμα 4.3. Η κατανομή του ποσοστού των γαλαξιών προγενέστερου τύπου με μεγέθη $18 < r < 21.5$ (0.005% του συνολικού δείγματος), στις τιμές της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .

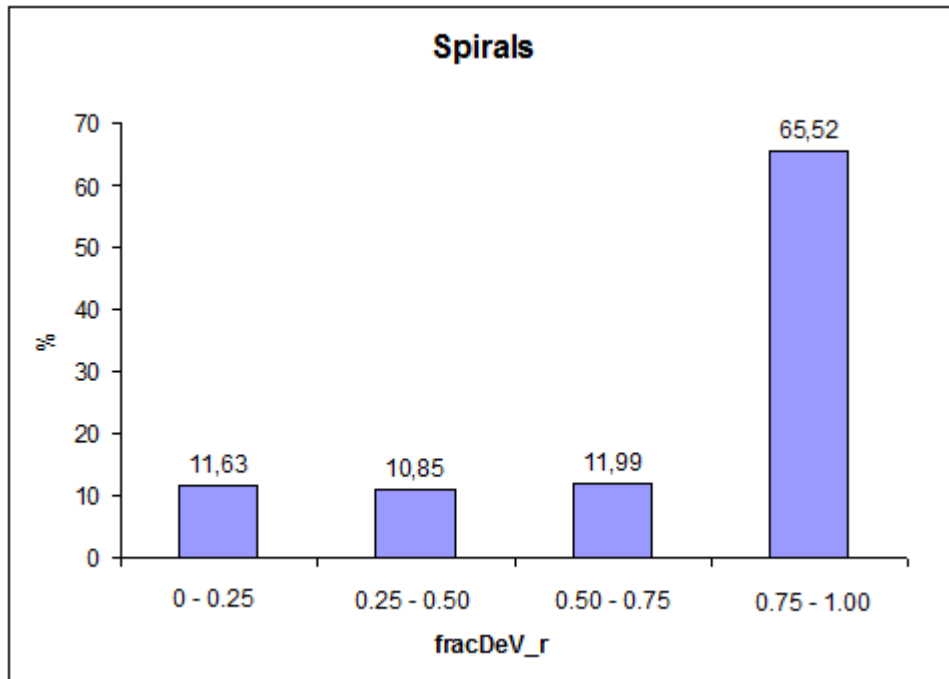
Για το δείγμα γαλαξιών όλων των μεγεθών ($15.5 < r < 18.8$) των οποίων τα φάσματα από το SDSS προσεγγίζονται από τα συνθετικά φάσματα **σπειροειδών** γαλαξιών της βιβλιοθήκης, βρίσκουμε πως ένα μεγάλο ποσοστό (77.51%) εμφανίζουν $\text{fracDeV} > 0.5$, το οποίο είναι αρκετά μικρότερο από αυτό των γαλαξιών προγενέστερου τύπου (93.35%). Ένα σημαντικό ποσοστό του δείγματος (22.48%), παρουσιάζει $\text{fracDeV} < 0.5$, δηλαδή προφίλ λαμπρότητας που προσεγγίζεται καλύτερα από το εκθετικό προφίλ.

Για το διάστημα μεγεθών $18 < r < 21.5$ (0.007% του δείγματος), το ποσοστό με $\text{fracDeV} > 0.5$ ανέρχεται στο 54.3% (Σχ.4.6).

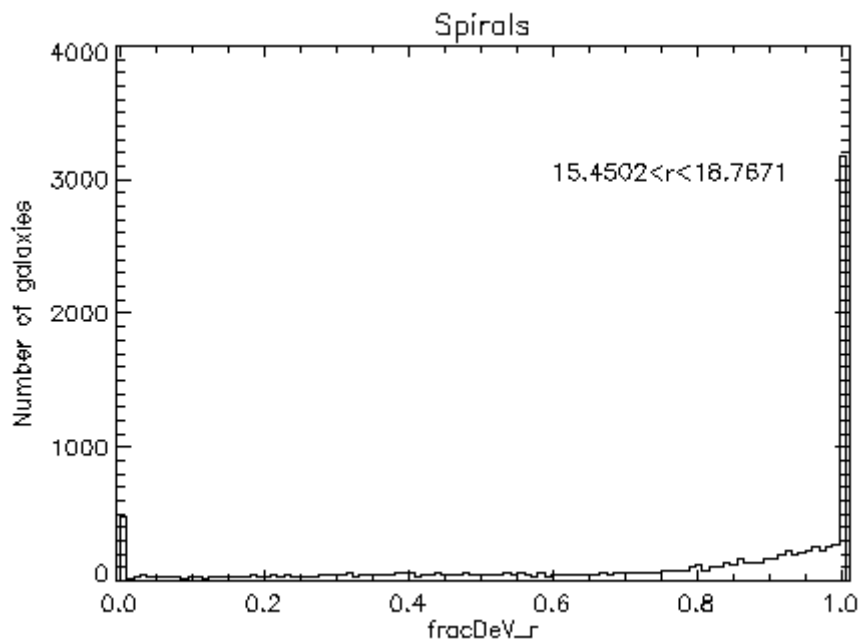
Σπειροειδείς γαλαξίες		
$0.00 \leq \text{fracDev}_r < 0.25$	11.63%	(1287/11065)
$0.25 \leq \text{fracDev}_r < 0.50$	10.85%	(1201/11065)
$0.50 \leq \text{fracDev}_r < 0.75$	11.99%	(1327/11065)
$0.75 \leq \text{fracDev}_r \leq 1.00$	65.52%	(7250/11065)

Συμπεραίνουμε πως η πλειοψηφία των σπειροειδών γαλαξιών όλων των μεγεθών του δείγματός μας (77.51%) δεν χαρακτηρίζεται από εκθετικό, όπως θα ήταν το αναμενόμενο, αλλά από ένα DeVaucouleurs προφίλ λαμπρότητας. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μικρότερο (54.3%) στο διάστημα εμπιστοσύνης της ποσότητας fracDeV . Η τάση των σπειροειδών γαλαξιών να παρουσιάζουν προφίλ τύπου DeVaucouleurs, είναι πιθανό να οφείλεται στην ύπαρξη του bulge στην κεντρική τους περιοχή, καθώς οι σπειροειδείς γαλαξίες εμφανίζουν εκθετικό προφίλ στο δίσκο τους, ενώ η περιοχή του bulge αντιπροσωπεύεται από ένα προφίλ τύπου DeVaucouleurs ή Sersic. Τα προφίλ

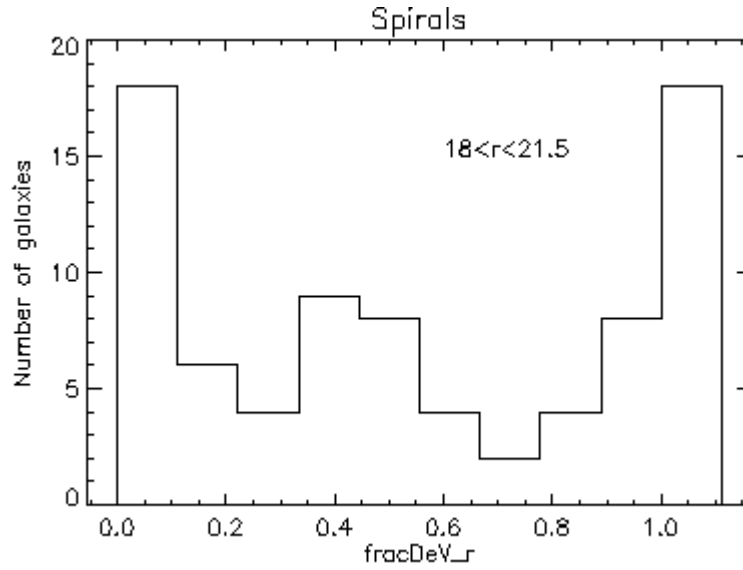
τους, δηλαδή, δεν χαρακτηρίζονται από μία μόνο συνιστώσα, και εκτός του bulge, αυτό μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη ράβδου, στους σπειροειδείς βραχίονες καθώς και στην παρουσία της σκόνης. Καθώς λοιπόν ο αλγόριθμος του SDSS προσεγγίζει το προφίλ σαν να αποτελείται από μία μόνο συνιστώσα, το αποτέλεσμα είναι η συμβολή του προφίλ του bulge με αυτό του δίσκου και η απόκλιση από το εκθετικό προφίλ. Το ποσοστό των σπειροειδών γαλαξιών με $\text{fracDeV} < 0.5$ είναι ίσως ενδεικτικό της συμβολής του bulge στο προφίλ του γαλαξία και στην ποσότητα bulge-to-disk ratio.



Σχήμα 4.4. Η κατανομή του ποσοστού των σπειροειδών γαλαξιών στα 4 διαστήματα τιμών της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .



Σχήμα 4.5. Η κατανομή του αριθμού των σπειροειδών γαλαξιών για όλες τις τιμές της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .

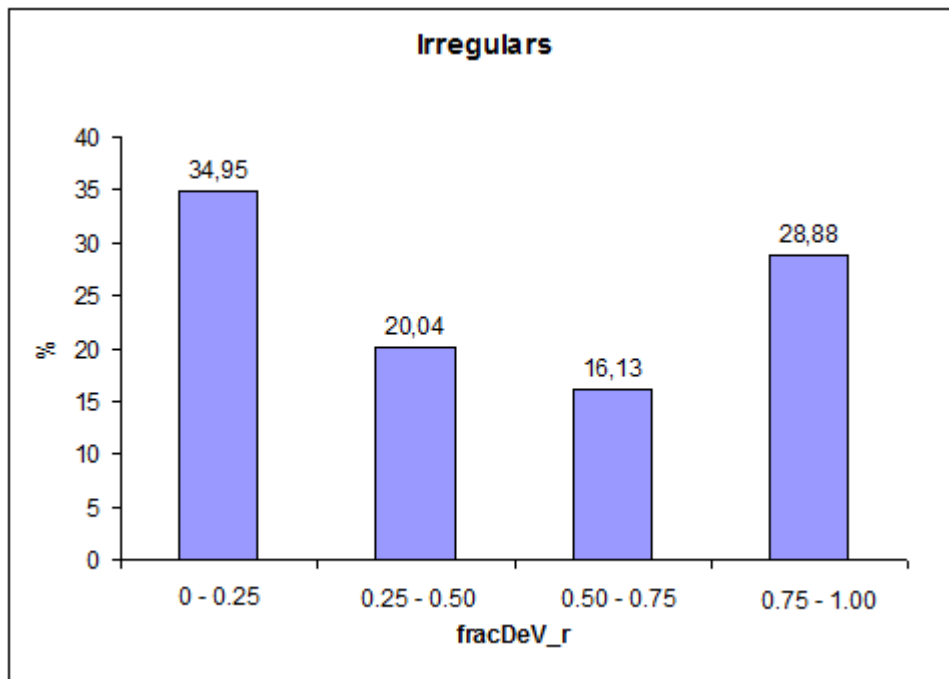


Σχήμα 4.6. Η ίδια κατανομή του αριθμού των σπειροειδών γαλαξιών του δείγματος στο διάστημα εμπιστοσύνης μεγεθών $18 < r < 21.5$ (0.007% του δείγματος) για όλες τις τιμές της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .

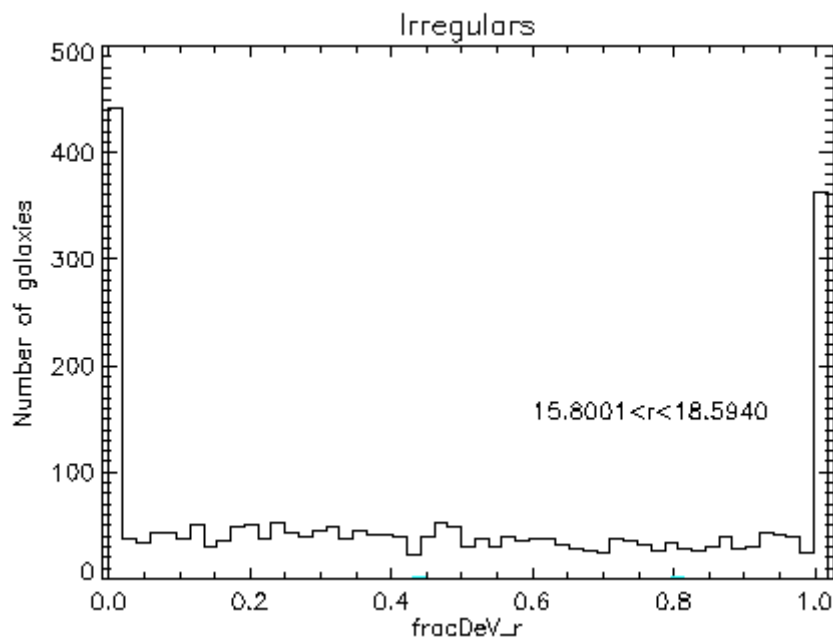
Για το δείγμα γαλαξιών όλων των μεγεθών ($15.8 < r < 18.6$) των οποίων τα φάσματα από το SDSS προσεγγίζονται από τα συνθετικά φάσματα γαλαξιών **ανώμαλου τύπου** της βιβλιοθήκης, βρίσκουμε πως το 45.01% εμφανίζει $\text{fracDeV} > 0.5$, δηλαδή προφίλ τύπου DeVaucouleurs, και το 54.99% παρουσιάζει $\text{fracDeV} < 0.5$, δηλαδή προφίλ λαμπρότητας που προσεγγίζεται καλύτερα από το εκθετικό προφίλ.

Για το διάστημα μεγεθών $18 < r < 21.5$ (0.08% του δείγματος), το ποσοστό με $\text{fracDeV} > 0.5$ ανέρχεται στο 68.5% (Σχ.4.9). Ο συγκεκριμένος μορφολογικός διμορφισμός του δείγματος των ανώμαλων γαλαξιών είναι αναμενόμενος και ενδεικτικός της ιδιόμορφης μορφολογίας τους.

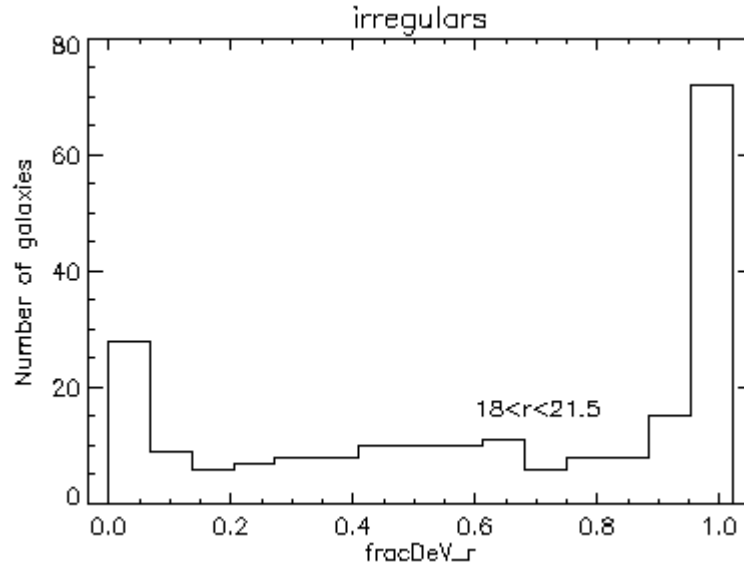
Irregulars		
$0.00 \leq \text{fracDev}_r < 0.25$	34.95%	(949/2715)
$0.25 \leq \text{fracDev}_r < 0.50$	20.04%	(544/2715)
$0.50 \leq \text{fracDev}_r < 0.75$	16.13%	(438/2715)
$0.75 \leq \text{fracDev}_r \leq 1.00$	28.88%	(784/2715)



Σχήμα 4.7. Η κατανομή του ποσοστού των γαλαξιών ανώμαλου τύπου στα 4 διαστήματα τιμών της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r.



Σχήμα 4.8. Η κατανομή του αριθμού των γαλαξιών ανώμαλου τύπου σε όλες τις τιμές της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r.



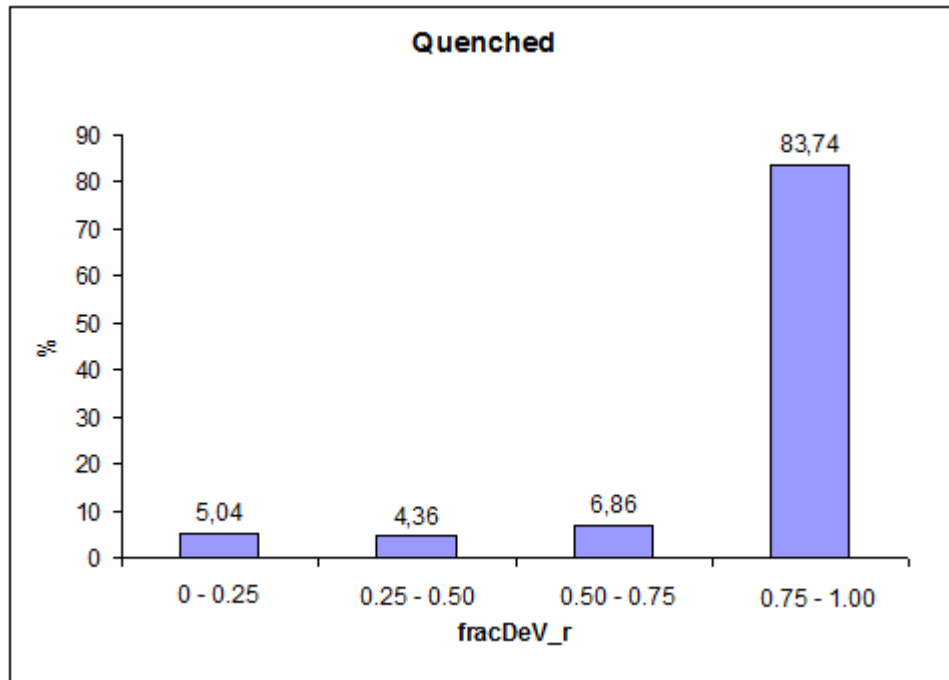
Σχήμα 4.9. Η ίδια κατανομή του αριθμού των γαλαξιών ανώμαλου τύπου με μεγέθη στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ (0.07% του δείγματος) σε όλες τις τιμές της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r .

Για το δείγμα γαλαξιών όλων των μεγεθών ($15.2 < r < 18.3$) των οποίων τα φάσματα από το SDSS προσεγγίζονται από τα συνθετικά φάσματα γαλαξιών τύπου **QSFG** της βιβλιοθήκης, βρίσκουμε πως το 90.6% εμφανίζει $\text{fracDeV} > 0.5$, δηλαδή προφίλ τύπου DeVaucouleurs, ενώ το 9.4% παρουσιάζει $\text{fracDeV} < 0.5$, δηλαδή προφίλ λαμπρότητας που προσεγγίζονται καλύτερα από το εκθετικό προφίλ.

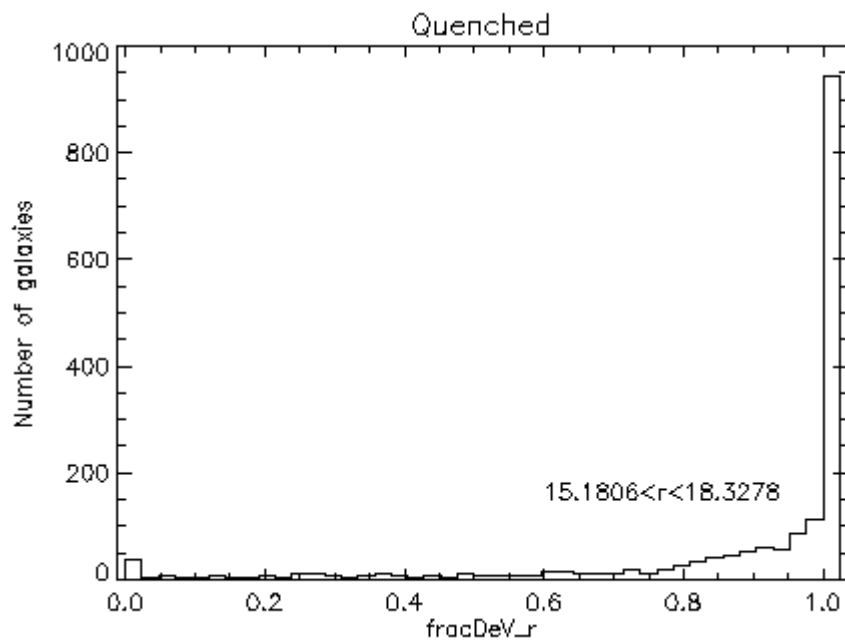
Ο αριθμός των γαλαξιών QSFG ο οποίος βρίσκεται στο διάστημα μεγεθών $18 < r < 21.5$ είναι μόλις 4 (0.002% του δείγματος), και επομένως η στατιστική μελέτη του συγκεκριμένου δείγματος δεν είναι αξιόπιστη.

Η συγκεκριμένη συμπεριφορά της ποσότητας fracDeV σημαίνει πως οι γαλαξίες φασματικού τύπου QSFG παρουσιάζουν είτε μια μορφολογική δομή που μοιάζει με αυτή των ελλειπτικών γαλαξιών, είτε ότι είναι δισκοειδείς γαλαξίες με πολύ μεγάλο λόγο bulge προς δίσκο (bulge-to-disk ratio).

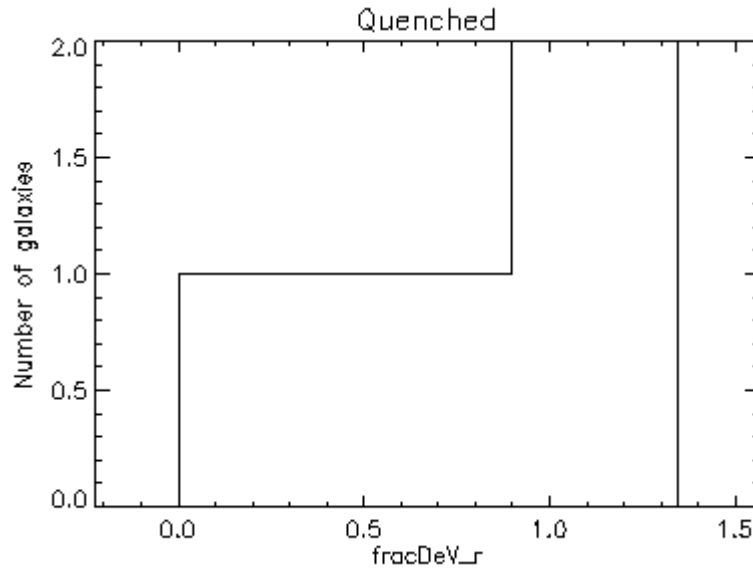
Γαλαξίες QSFG		
$0.00 \leq \text{fracDev}_r < 0.25$	5.04%	(89/1765)
$0.25 \leq \text{fracDev}_r < 0.50$	4.36%	(77/1765)
$0.50 \leq \text{fracDev}_r < 0.75$	6.86%	(121/1765)
$0.75 \leq \text{fracDev}_r \leq 1.00$	83.74%	(1478/1765)



Σχήμα 4.10. Η κατανομή του ποσοστού των γαλαξιών τύπου QSGF στα 4 διαστήματα τιμών της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r.



Σχήμα 4.11. Η κατανομή του αριθμού των γαλαξιών τύπου QSGF στα διαστήματα τιμών της σχετικής πιθανότητας fracDeV στο φίλτρο r.



Σχήμα 4.12. Η ίδια κατανομή των γαλαξιών τύπου QSGF με μεγέθη στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ (μόλις 4 γαλαξίες του δείγματος). Η κατανομή κρίνεται στατιστικά αναξιόπιστη.

4.2.1 Διερεύνηση των εκθετικών και DeVaucouleurs προφίλ ανά φασματική τάξη

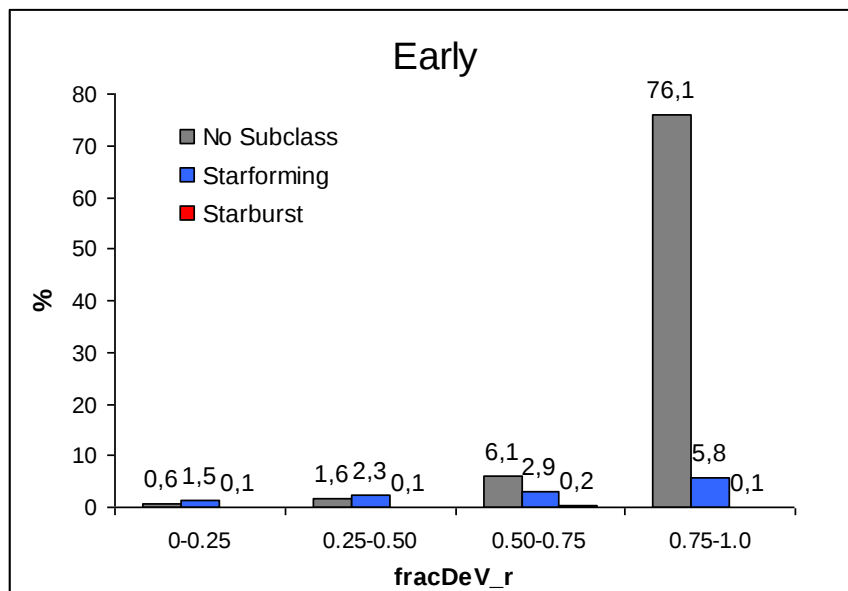
Προκειμένου να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά των γαλαξιακών προφίλ των 4 φασματικών τύπων, θα διερευνήσουμε στη συνέχεια την εξάρτηση της ποσότητας fracDeV για κάθε φασματικό τύπο και ανά φασματική τάξη, όπως αυτή δίνεται από το SDSS DR8.

ι. Γαλαξίες προγενέστερου τύπου

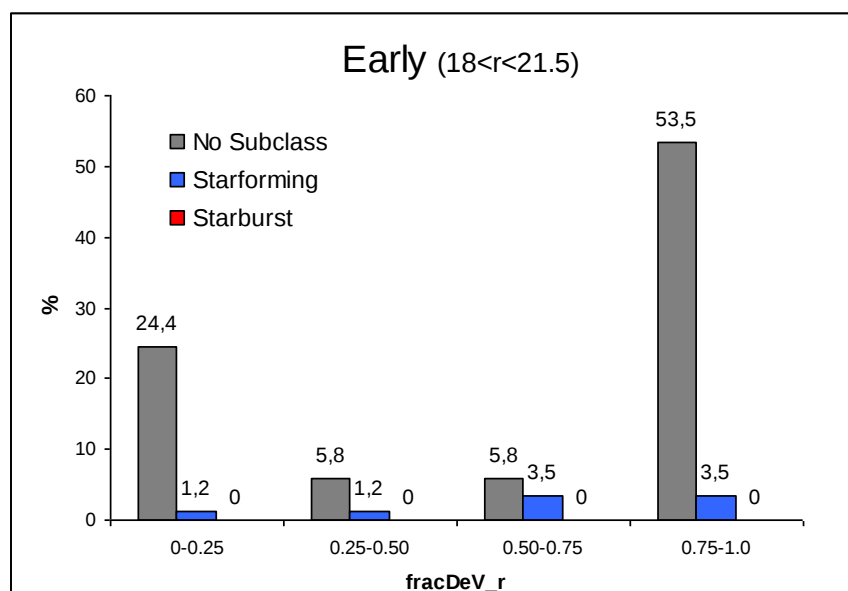
Στην περίπτωση των γαλαξιών προγενέστερου τύπου, παρατηρούμε πως η πλειοψηφία των γαλαξιών δεν ανήκει σε κάποια φασματική τάξη (no subclass), δηλαδή δεν ανιχνεύεται αστρική δημιουργία (Σχ.4.13). Από αυτούς, οι περισσότεροι (82.2%) χαρακτηρίζονται από προφίλ που προσεγγίζεται πολύ καλά από το προφίλ του DeVaucouleurs ($\text{fracDeV} > 0.5$). Στο διάστημα μεγεθών $18 < r < 21.5$, που ορίζεται ως το διάστημα εμπιστοσύνης από το SDSS για καλή προσαρμογή των θεωρητικών μοντέλων στα προφίλ, παρατηρούμε πως και πάλι στην πλειοψηφία των γαλαξιών προγενέστερου τύπου (59.3%) το προφίλ του DeVaucouleurs έχει την καλύτερη προσαρμογή (Σχ.4.14).

Παρατηρούμε πως η κατανομή αυτή για γαλαξίες όλων των μεγεθών του δείγματος παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με αυτή που αφορά μεγέθη στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$. Ένα σημαντικό ποσοστό των γαλαξιών προγενέστερου τύπου

όπου δεν ανιχνεύεται αστρική δημιουργία (30.2%) παρουσιάζει $\text{fracDeV} < 0.5$ (εκθετικά προφίλ). Αυτό ενδέχεται να οφείλεται είτε σε σφάλματα στην ημιεμπειρική βιβλιοθήκη, ή σε σφάλματα των αλγορίθμων του SDSS, αν και επί του συνόλου των γαλαξιών όλων των μεγεθών, το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο του 0.002%.



Σχήμα 4.13. Η κατανομή των γαλαξιών προγενέστερου τύπου κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r .



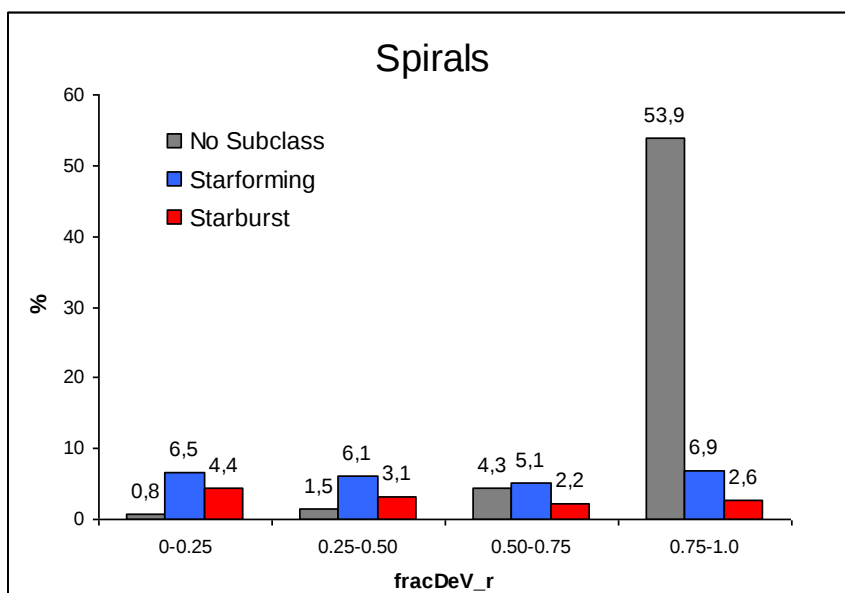
Σχήμα 4.14. Η κατανομή των γαλαξιών προγενέστερου τύπου κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r , για μεγέθη γαλαξιών στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ (0.005% επί του συνόλου).

ii. Σπειροειδείς γαλαξίες

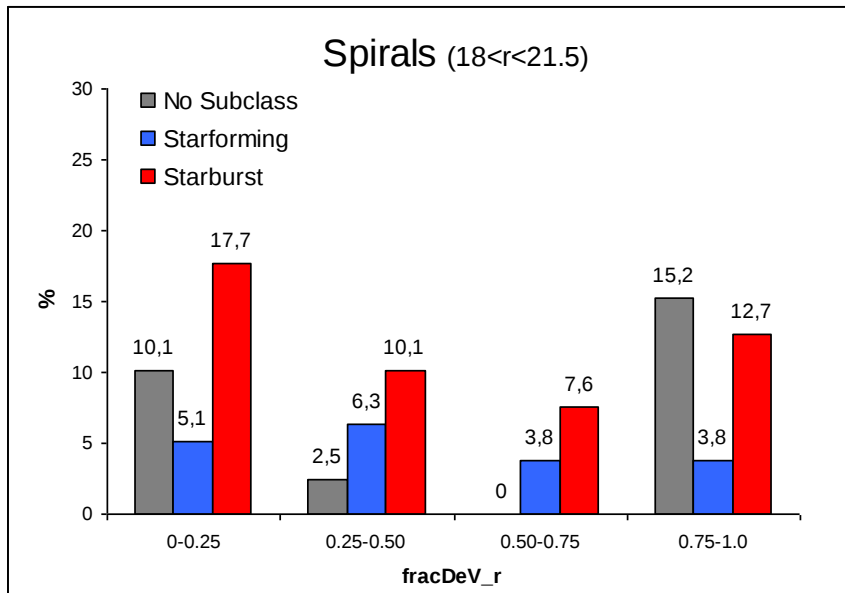
Στην περίπτωση των σπειροειδών γαλαξιών, παρατηρούμε πως η πλειοψηφία τους η οποία δεν ανήκει σε κάποια φασματική τάξη (no subclass), δηλαδή δεν ανιχνεύεται αστρική δημιουργία, παρουσιάζει $\text{fracDeV} > 0.5$ σε ποσοστό 58.2% (Σχ.4.15). Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά υψηλό σύμφωνα με το αναμενόμενο, αν και αρκετά μικρότερο από αυτό των γαλαξιών προγενέστερου τύπου (82.2%). Οι σπειροειδείς γαλαξίες στους οποίους ανιχνεύεται αστρική δημιουργία (starforming) παρουσιάζουν μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή ως προς την ποσότητα fracDeV , ενώ οι σπειροειδείς γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (starburst) παρουσιάζουν στην πλειοψηφία τους εκθετικά προφίλ.

Παρατηρούμε πως η κατανομή για γαλαξίες όλων των μεγεθών του δείγματος παρουσιάζει διαφορές σε σχέση αυτή που αφορά μεγέθη στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ (Σχ.4.16). Οι starburst σπειροειδείς είναι η πλειοψηφία των σπειροειδών γαλαξιών σε αυτό το δείγμα, με την πλειοψηφία τους να χαρακτηρίζεται από εκθετικά προφίλ (27.8%). Συνολικά οι starforming και starburst σπειροειδείς γαλαξίες αποτελούν την πλειοψηφία του δείγματος (67.1%), ενώ από αυτούς το 58.4% παρουσιάζει εκθετικά προφίλ ($\text{fracDeV} < 0.5$).

Αυτό πιθανότατα οφείλεται στη συμβολή του bulge στο προφίλ των γαλαξιών αυτών, με αποτέλεσμα η προσαρμογή του θεωρητικού μοντέλου σε αυτό να αποκλίνει από το αναμενόμενο εκθετικό.



Σχήμα 4.15. Η κατανομή των σπειροειδών γαλαξιών κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r.



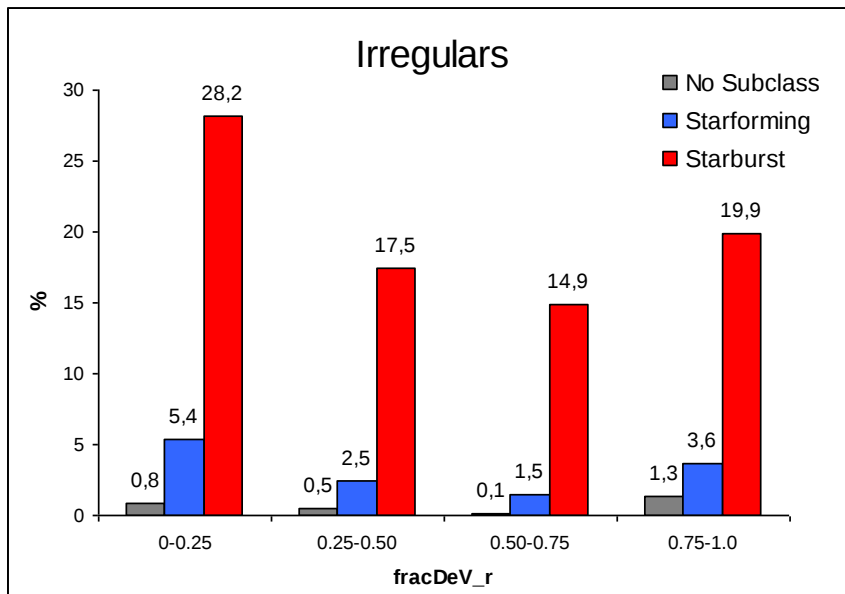
Σχήμα 4.16. Η κατανομή των σπειροειδών γαλαξιών κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r, για μεγέθη γαλαξιών στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ (0.007% επί του συνόλου).

iii. Γαλαξίες ανώμαλου τύπου

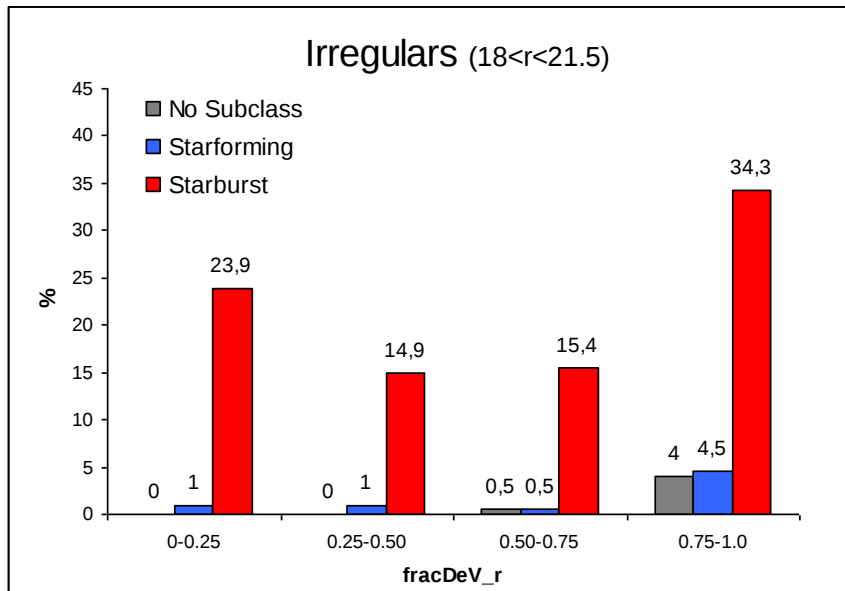
Στην περίπτωση των ανώμαλων γαλαξιών, παρατηρούμε πως η πλειοψηφία τους ανήκει στη φασματική τάξη των starburst (80.5%), και από αυτούς το 57% περίπου παρουσιάζουν εκθετικά προφίλ ($\text{fracDeV} > 0.5$). Οι ανώμαλοι γαλαξίες στους οποίους γενικά ανιχνεύεται αστρική δημιουργία (starforming και starburst), οι οποίοι αποτελούν το 93.5% του δείγματος, παρουσιάζουν εκθετικά προφίλ σε ποσοστό επίσης 57% περίπου (Σχ.4.17).

Παρατηρούμε πως η κατανομή για γαλαξίες όλων των μεγεθών του δείγματος παρουσιάζει διαφορές σε σχέση αυτή που αφορά μεγέθη στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$. Οι starburst γαλαξίες ανώμαλου τύπου, οι οποίοι είναι και εδώ η πλειοψηφία του δείγματος, χαρακτηρίζεται από προφίλ τύπου DeVaucouleurs σε ποσοστό περίπου 56% (Σχ.418).

Η συγκεκριμένη συμπεριφορά των γαλαξιών ανώμαλου τύπου είναι ενδεικτική της ιδιόμορφης μορφολογίας τους.



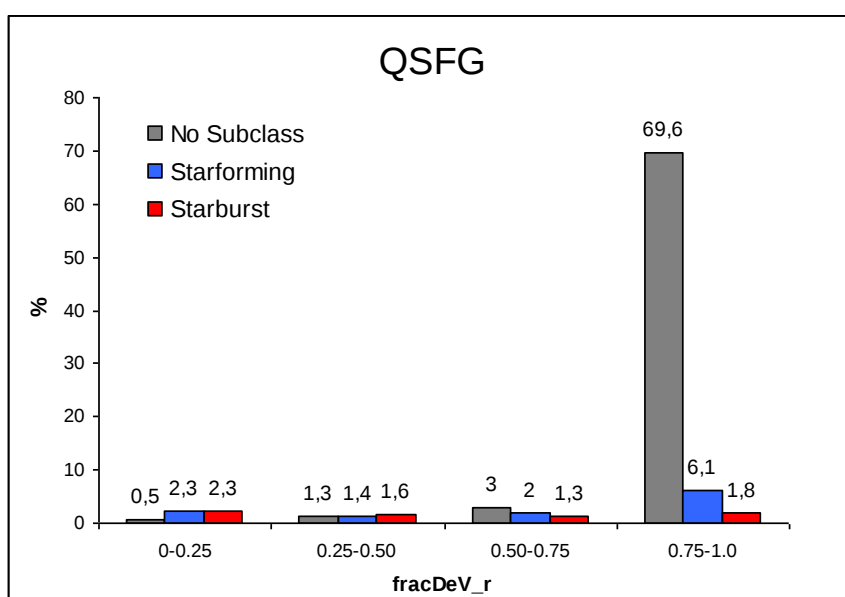
Σχήμα 4.17. Η κατανομή των γαλαξιών ανώμαλου τύπου κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r, για μεγέθη γαλαξιών στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$.



Σχήμα 4.18. Η κατανομή των γαλαξιών ανώμαλου τύπου κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r, για μεγέθη γαλαξιών στο διάστημα εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ (0.07% επί του συνόλου).

iv. Γαλαξίες τύπου QSFG

Όσον αφορά τους γαλαξίες φασματικού τύπου QSFG, παρατηρούμε πως η πλειοψηφία τους δεν ανήκει σε κάποια φασματική τάξη, δηλαδή δεν ανιχνεύεται αστρική δημιουργία, όπως είναι και το αναμενόμενο. Η πλειοψηφία αυτών παρουσιάζει προφίλ τύπου DeVaucouleurs ($\text{fracDeV} > 0.5$), σε ποσοστό 72.6%. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μεγάλο, παρ'όλ'αυτά δεν είναι βέβαιο αν είναι και ενδεικτικό της μορφολογίας τους, η οποία είναι πιθανό να μοιάζει με αυτή των γαλαξιών προγενέστερου τύπου, αλλά ενδέχεται να μοιάζει και με αυτή δισκοειδών γαλαξιών με μεγάλο λόγο bulge προς δίσκο. Η αντίστοιχη κατανομή στο διάστημα μεγεθών εμπιστοσύνης $18 < r < 21.5$ κρίνεται μη αξιόπιστη, καθώς ο αριθμός των γαλαξιών QSFG του δείγματος που ικανοποιούν αυτό το κριτήριο ανέρχεται μόλις στους 4 γαλαξίες.



Σχήμα 4.19. Η κατανομή των QSFG γαλαξιών κάθε φασματικής τάξης στα 4 διαστήματα τιμών της ποσότητας fracDeV στο φίλτρο r.

4.3 Διερεύνηση του λόγου r_{50}/r_{90}

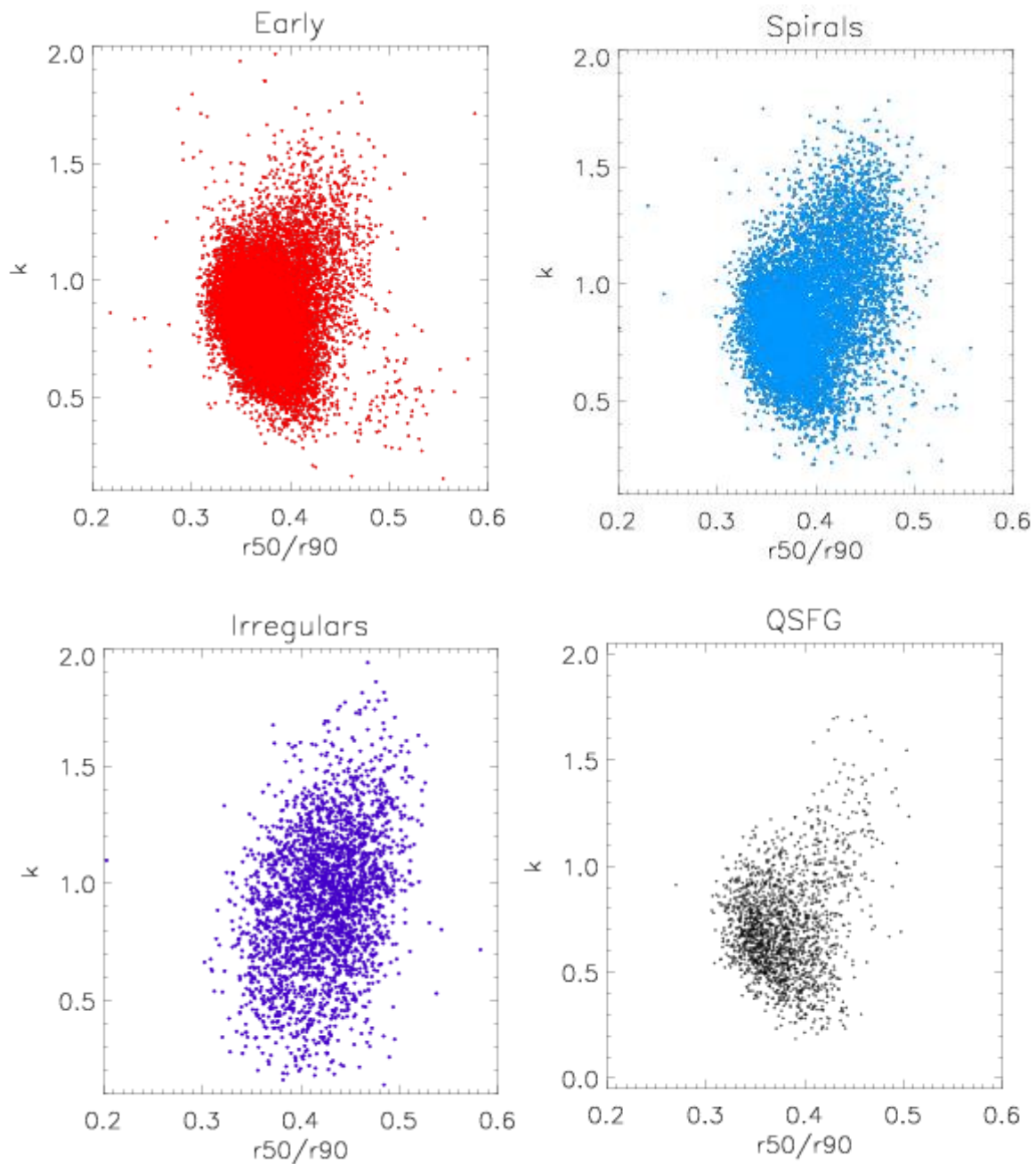
Στους καταλόγους του SDSS DR8 δίνεται η ακτίνα που περιέχει το 50% και 90% της Petrosian ροής ενός γαλαξία για κάθε φίλτρο, η petroR50 και petroR90 αντίστοιχα. Ο λόγος μεταξύ των δύο ακτίνων, r_{50}/r_{90} (concentration index) φαίνεται πως συνδέεται με τη μορφολογία (Strateva et al. 2001). Για γαλαξίες με προφίλ DeVaucouleurs αναμένεται να παίρνει τιμές περί το **0.3**, ενώ για γαλαξίες που αντιστοιχούν σε εκθετικό προφίλ επιφανειακής λαμπρότητας παίρνει τιμές περί το **0.43**.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε πως οι συγκεκριμένες ποσότητες, όπως δίνονται από το SDSS DR8, δεν έχουν διορθωθεί για το seeing. Ο τρόπος με τον οποίο επιδρά το seeing στον concentration index δεν έχει ακόμη αποσαφηνιστεί πλήρως. Γενικά για πηγές μεγέθους συγκρίσιμου με το αντίστοιχο PSF μέγεθος στο αντίστοιχο φίλτρο, ο r_{50}/r_{90} αναμένεται να εμφανίζεται μεγαλύτερος λόγω του φαινομένου του seeing.

Όπως έχει προαναφερθεί, το SDSS καταχωρεί μια πηγή ως «εκτεταμένη» (extended) ή «σημειακή» (point-like), βάσει της διαφοράς k μεταξύ του μεγέθους $cmodel$ και του μεγέθους psf για κάθε φίλτρο. Μια πηγή θεωρείται εκτεταμένη εάν:

$$k = psfMag - cmodelMag > 0.145$$

Θα προσπαθήσουμε να εφαρμόσουμε το παραπάνω μορφολογικό κριτήριο βάσει του δείκτη $r50/r90$ για να κατανοήσουμε τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης γαλαξιών. Προκειμένου να αποφύγουμε την επίδραση του seeing, θα διερευνήσουμε το εύρος των τιμών του δείκτη $r50/r90$ και σαν συνάρτηση της ποσότητας k στο φίλτρο r για κάθε φασματικό τύπο.

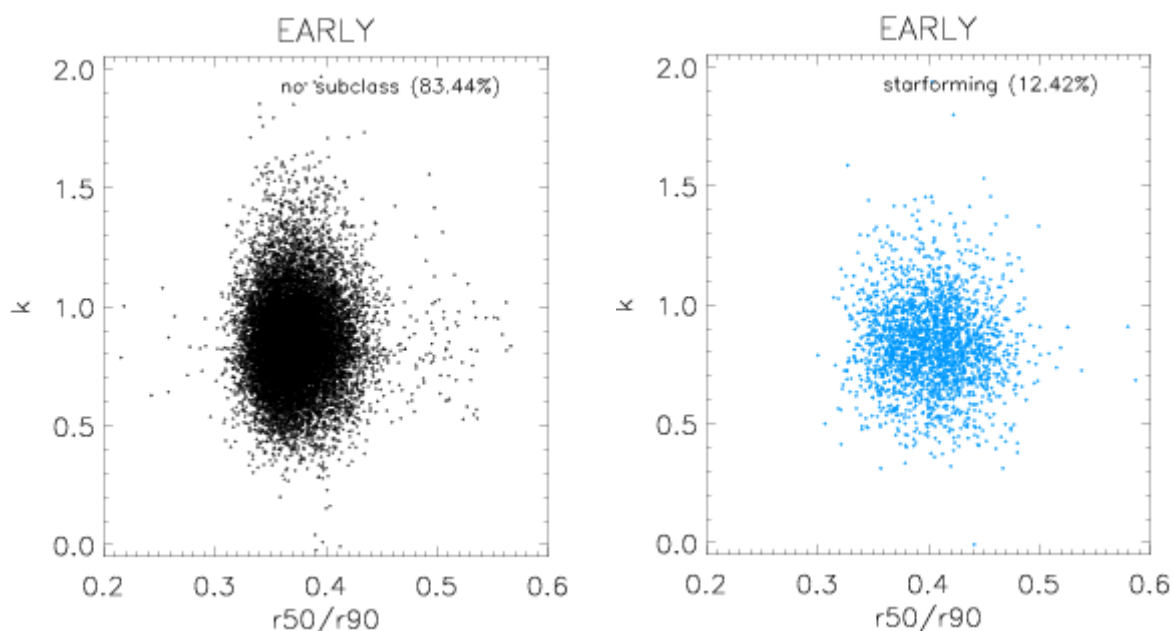


Σχήμα 4.20. Η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ συναρτήσει της ποσότητας k για τους 4 φασματικούς τύπους στο φίλτρο r .

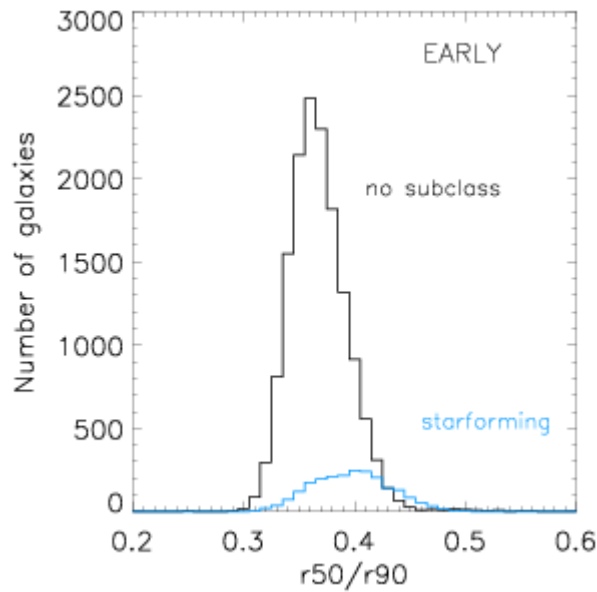
Στο σχήμα 4.20 φαίνεται η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ συναρτήσει της ποσότητας k για τους 4 φασματικούς τύπους στο φίλτρο r . Παρατηρούμε πως για την πλειοψηφία των γαλαξιών της βιβλιοθήκης ικανοποιείται το κριτήριο $k > 0.145$, επομένως θεωρούνται ως εκτεταμένες πηγές. Η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ από το k εμφανίζει ασαφή χαρακτηριστικά, αν και παρατηρείται μία τάση αύξησής του για μικρότερες τιμές του k ($k < 0.5$). Το εύρος των τιμών του $r50/r90$ δεν φαίνεται να παρουσιάζει κάποιο σαφή διαχωρισμό για κάθε τύπο. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να εξεταστούν οι φασματικές τάξεις για κάθε φασματικό τύπο ξεχωριστά.

ι. Γαλαξίες προγενέστερου τύπου

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται ο δείκτης $r50/r90$ σαν συνάρτηση του k (πάνω) καθώς και η πυκνότητα των γαλαξιών προγενέστερου τύπου (Early) για κάθε τιμή του δείκτη (αριστερά). Το σύνολο των γαλαξιών προγενέστερου τύπου έχει χωριστεί σε δύο τάξεις, σε αυτούς τους οποίους το SDSS χαρακτηρίζει ως γαλαξίες με αστρογέννεση (starforming), και οι οποίοι αποτελούν το 12.42% του συνόλου και σε αυτούς για τους οποίους το SDSS δεν δίνει χαρακτηρισμό (no subclass), και οι οποίοι αποτελούν το 83.44% του συνόλου.



Σχήμα 4.21. Η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ συναρτήσει του k για τους γαλαξίες προγενέστερου τύπου. **Δεξιά:** οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου οι οποίοι δεν ανήκουν σε φασματική τάξη. **Αριστερά:** οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου με αστρική δημιουργία (starforming).



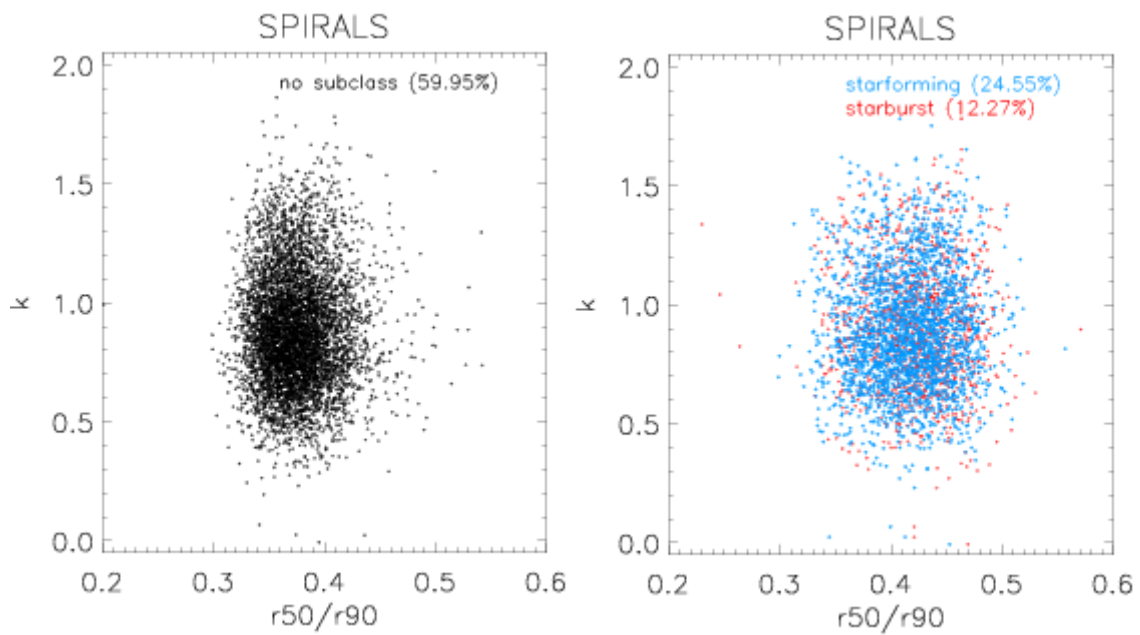
Σχήμα 4.22. Η κατανομή των γαλαξιών προγενέστερου τύπου στις τιμές του λόγου $r50/r90$. Η μαύρη καμπύλη απεικονίζει γαλαξίες που δεν ανήκουν σε κάποια φασματική τάξη, ενώ η γαλάζια απεικονίζει γαλαξίες με αστρογέννεση (starforming)

Παρατηρούμε πως ο δείκτης $r50/r90$ δεν εμφανίζει κάποια εξάρτηση από την ποσότητα k , ενώ οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου διαχωρίζονται σαφώς και μορφολογικά σε δύο συνιστώσες, με τους non-starforming (no subclass) να παρουσιάζουν μία μέγιστη συγκέντρωση στην τιμή $r50/r90=0.36$, ενώ οι starforming παρουσιάζουν μέγιστο στην τιμή $r50/r90=0.40$ (Σχ.4.22)

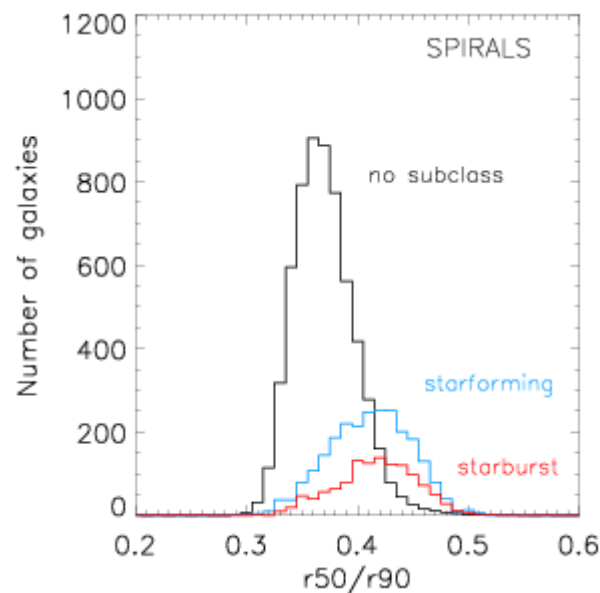
ii. Σπειροειδείς γαλαξίες

Και στην περίπτωση των σπειροειδών γαλαξιών της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης δεν παρατηρούμε εξάρτηση από την ποσότητα k (Σχ.4.23), ενώ ο μορφολογικός διαχωρισμός τους σε δύο συνιστώσες είναι ακόμη πιο εμφανής: οι σπειροειδείς διακρίνονται και φασματικά και μορφολογικά στους non-starforming (no subclass), που αποτελούν το 59.55% του συνόλου και στους starforming (24.55%) και starburst (12.27%) που αποτελούν μαζί το 36.82% (Σχ.4.24).

Οι non-starforming σπειροειδείς, όπως και οι non-starforming γαλαξίες προγενέστερου τύπου (Early) παρουσιάζουν μία μέγιστη συγκέντρωση για $r50/r90=0.36$, ενώ οι starforming και starburst σπειροειδείς παρουσιάζουν μέγιστο στην τιμή $r50/r90=0.42$ (Σχ.4.24).



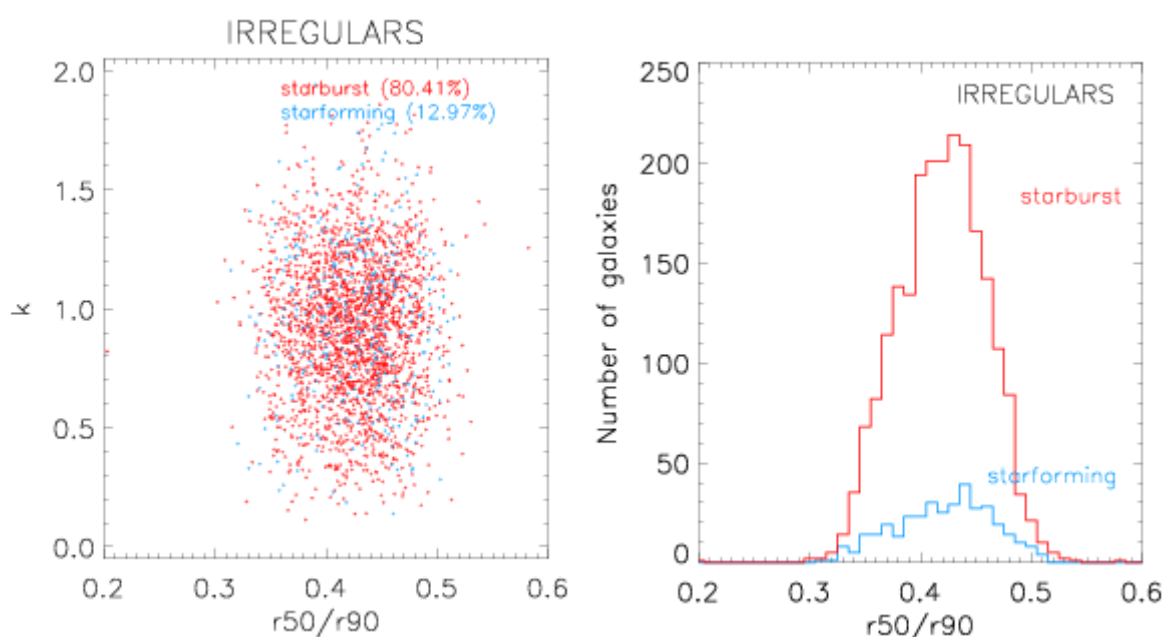
Σχήμα 4.23. Η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ συναρτήσει του k για τους σπειροειδείς γαλαξίες. **Δεξιά:** σπειροειδείς γαλαξίες οι οποίοι δεν ανήκουν σε φασματική τάξη. **Αριστερά:** σπειροειδείς γαλαξίες με αστρογέννεση (γαλάζια σημεία) και με έντονη αστρογέννεση (κόκκινα σημεία).



Σχήμα 4.24. Η κατανομή των σπειροειδών γαλαξιών στις τιμές του λόγου $r50/r90$. Η μαύρη καμπύλη απεικονίζει γαλαξίες που δεν ανήκουν σε κάποια φασματική τάξη, η γαλάζια απεικονίζει γαλαξίες με αστρογέννεση (starforming) και η κόκκινη γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (starburst).

iii. Γαλαξίες ανώμαλου τύπου

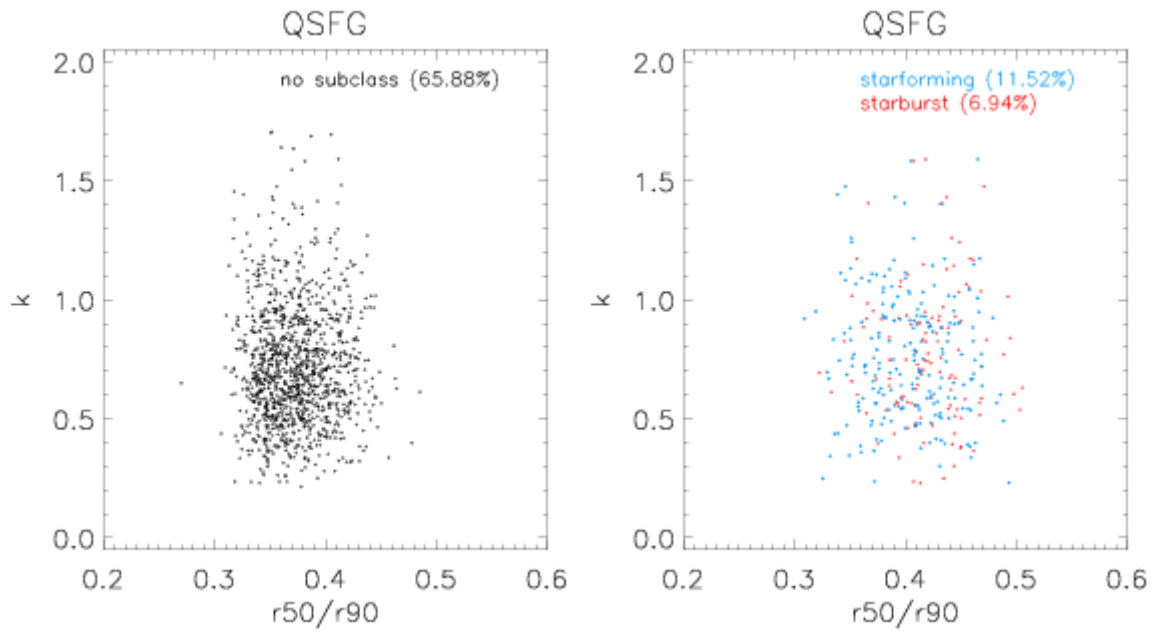
Όσον αφορά τους ανώμαλους γαλαξίες, η πλειοψηφία των οποίων χαρακτηρίζεται ως starburst (80.41%) από το SDSS, ο λόγος $r50/r90$ στον οποίο παρουσιάζεται η μέγιστη συγκέντρωση είναι $r50/r90=0.43$ (Σχ.4.25), εμφανώς μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν των υπόλοιπων τύπων και ενδεικτικός της έντονης λαμπρότητας στο κέντρο τους, σε σχέση με την εξωτερική περιοχή. Όπως και προηγουμένως, δεν παρουσιάζεται εξάρτηση από την ποσότητα k , ενώ το σύνολο των ανώμαλων γαλαξιών που ανήκουν στην τάξη των “starforming” (12.97%) παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά, με μέγιστη συγκέντρωση αριθμού γαλαξιών στην τιμή $r50/r90=0.44$.



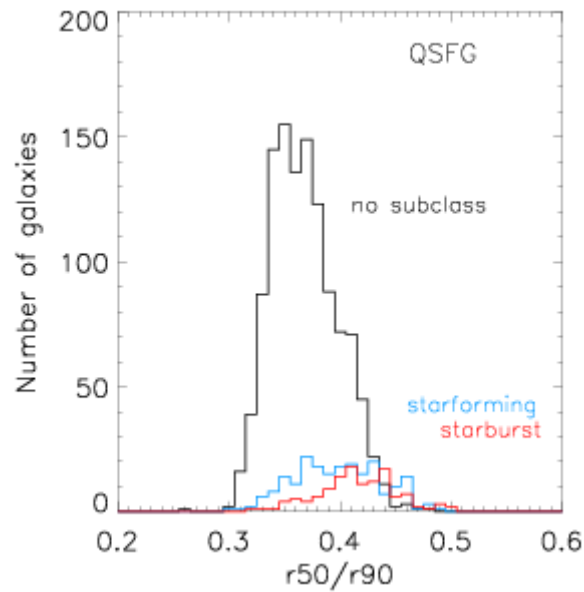
Σχήμα 4.25. Αριστερά: Η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ συναρτήσει του k για τους ανώμαλους γαλαξίες. Δεξιά: Η κατανομή των σπειροειδών γαλαξιών στις τιμές του λόγου $r50/r90$. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζονται γαλαξίες με αστρογέννεση (starforming) και με κόκκινο οι γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (starburst).

iv. Γαλαξίες τύπου QSFG

Στην περίπτωση των γαλαξιών QSFG, ο μορφολογικός διαχωρισμός είναι πιο ασαφής. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, δεν εμφανίζεται εξάρτηση από την ποσότητα k (Σχ.4.26). Οι QSFG διακρίνονται σε 3 φασματικές τάξεις: στους non-starforming (no subclass) (65.88%), οι οποίοι εμφανίζουν δύο κύρια μέγιστα συγκέντρωσης για $r50/90=0.35$ και $r50/90=0.37$, ενώ οι starforming (11.52%) και οι starburst QSFG (6.94%) δεν παρουσιάζουν έντονα μέγιστα· η μέση τιμή της συγκέντρωσής τους εμφανίζεται περί την τιμή $r50/r90=0.40$ και 0.43 αντίστοιχα (Σχ.4.27).



Σχήμα 4.26. Η εξάρτηση του λόγου $r50/r90$ συναρτήσεως του k για τους γαλαξίες τύπου QSGF. **Δεξιά:** γαλαξίες QSGF οι οποίοι δεν ανήκουν σε φασματική τάξη. **Αριστερά:** QSGF γαλαξίες με αστρογέννεση (γαλάζια σημεία) και με έντονη αστρογέννεση (κόκκινα σημεία).



Σχήμα 4.27. Η κατανομή των QSGF γαλαξιών στις τιμές του λόγου $r50/r90$. Η μαύρη καμπύλη απεικονίζει γαλαξίες που δεν ανήκουν σε κάποια φασματική τάξη, η γαλάζια απεικονίζει γαλαξίες με αστρογέννεση (starforming) και η κόκκινη γαλαξίες με έντονη αστρογέννεση (starburst).

Παρατηρούμε πως στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι γαλαξίες που ανήκουν στις φασματικές τάξεις “starforming” και “starburst” του SDSS, εμφανίζουν μεγαλύτερο λόγο r_{50}/r_{90} από τους υπόλοιπους γαλαξίες, για όλους τους φασματικούς τύπους. Αυτό είναι ενδεικτικό της ροής ακτινοβολίας του γαλαξία στην κεντρική του περιοχή σε σχέση με την εξωτερική.

	r_{50}/r_{90}		
	No subclass	Starforming	Starburst
Early	0.36 (83.44%)	0.40 (12.42%)	- (<1%)
Spirals	0.36 (59.95%)	0.42 (24.55%)	0.42 (12.27%)
Irregulars	- (<3%)	0.44 (12.97%)	0.43 (80.41%)
QSFG	: 0.35 (65.88%)	0.40 (11.52%)	0.43 (6.94%)

Πίνακας 4.1. Η κατανομή των τιμών του λόγου r_{50}/r_{90} για κάθε φασματικό τύπο και τάξη.

Γενικά για τους starforming και starburst του δείγματός μας ισχύει $r_{50}/r_{90} \geq 0.4$ ενώ για τις υπόλοιπες υπο-κατηγορίες βρίσκουμε $r_{50}/r_{90} < 0.4$.

Όσο για τους γαλαξίες όλων των φασματικών τύπων της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, των οποίων η πλειοψηφία δεν ανήκει σε κάποια φασματική τάξη (no subclass) του SDSS, συμπεραίνουμε πως ο λόγος r_{50}/r_{90} δεν αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο μορφολογικής διάκρισης.

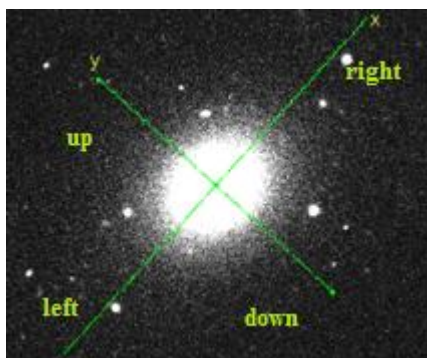
Κεφάλαιο 5

Ακτινικά προφίλ γαλαξιών

Προκειμένου να κατανοήσουμε τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των διαφόρων φασματικών τύπων των γαλαξιών, αναλύουμε την προβολή της επιφανειακής τους λαμπρότητας κατά μήκος του μικρού και μεγάλου τους φαινόμενου άξονα, από τις εικόνες τους στο φίλτρο r του SDSS. Για την κατασκευή των ακτινικών προφίλ, χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα DS9.

Οι άξονες κατά μήκος των οποίων γίνεται η προβολή, έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τους φαινόμενους άξονες συμμετρίας του γαλαξία, ενώ το σημείο τομής τους βρίσκεται περίπου στη θέση του λαμπρότερου pixel στο κέντρο του γαλαξία.

Ο μεγάλος άξονας ονομάζεται x και χωρίζεται στον «αριστερά» και «δεξιά» του y άξονα (left,right), ενώ ο μικρός άξονας y χωρίζεται στον «πάνω» και «κάτω» του x (up, down) (βλ.Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1. Η προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μικρού (y) και μεγάλου (x) άξονα για έναν ελλειπτικό γαλαξία, στο φίλτρο r .

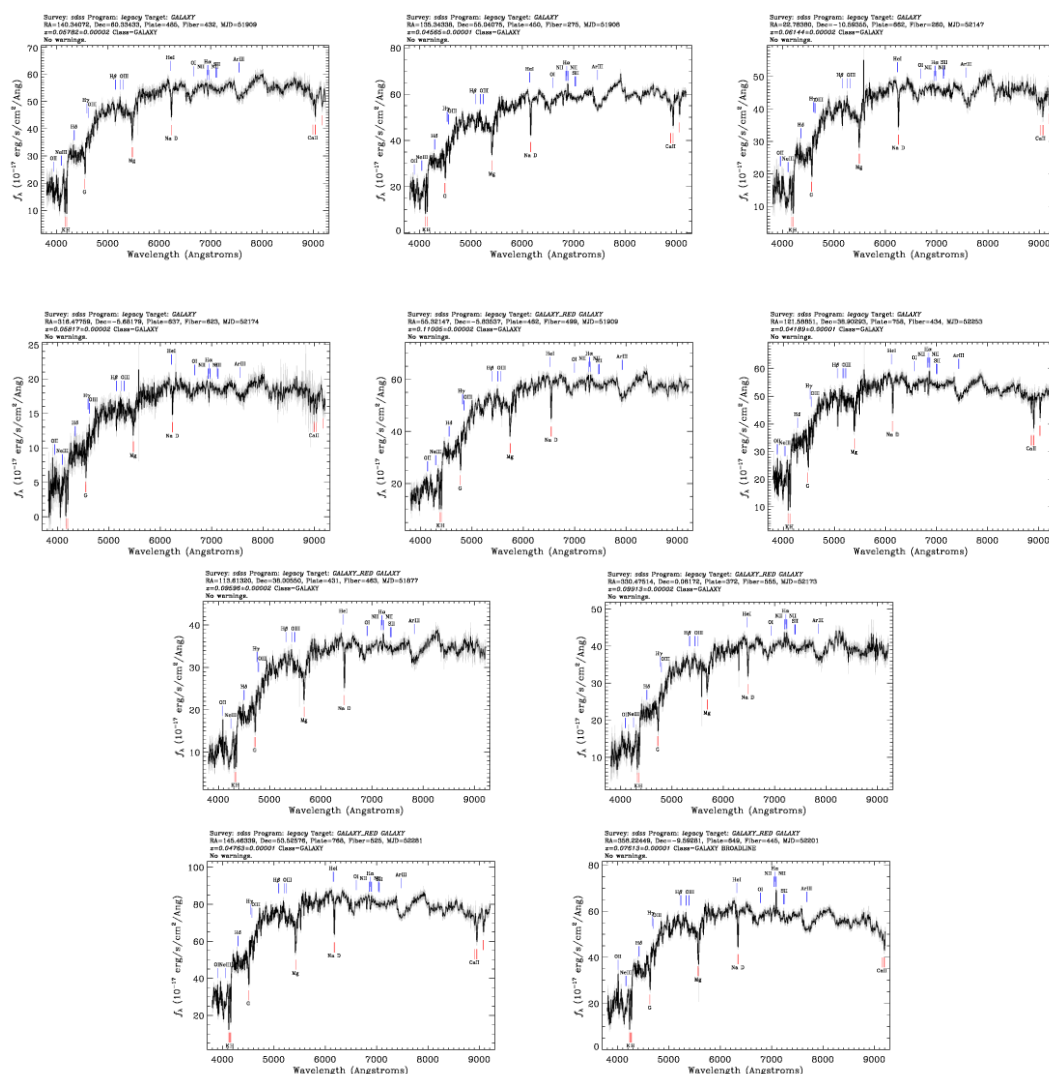
Κατ'αυτόν τον τρόπο κατασκευάζουμε 4 ακτινικά προφίλ για κάθε γαλαξία (left, right, up, down). Στο κάθε προφίλ προσαρμόζουμε, με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού IDL, το μοντέλο του Sersic:

$$\Sigma(r) = \Sigma_e \exp \left\{ -\kappa \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \right\}$$

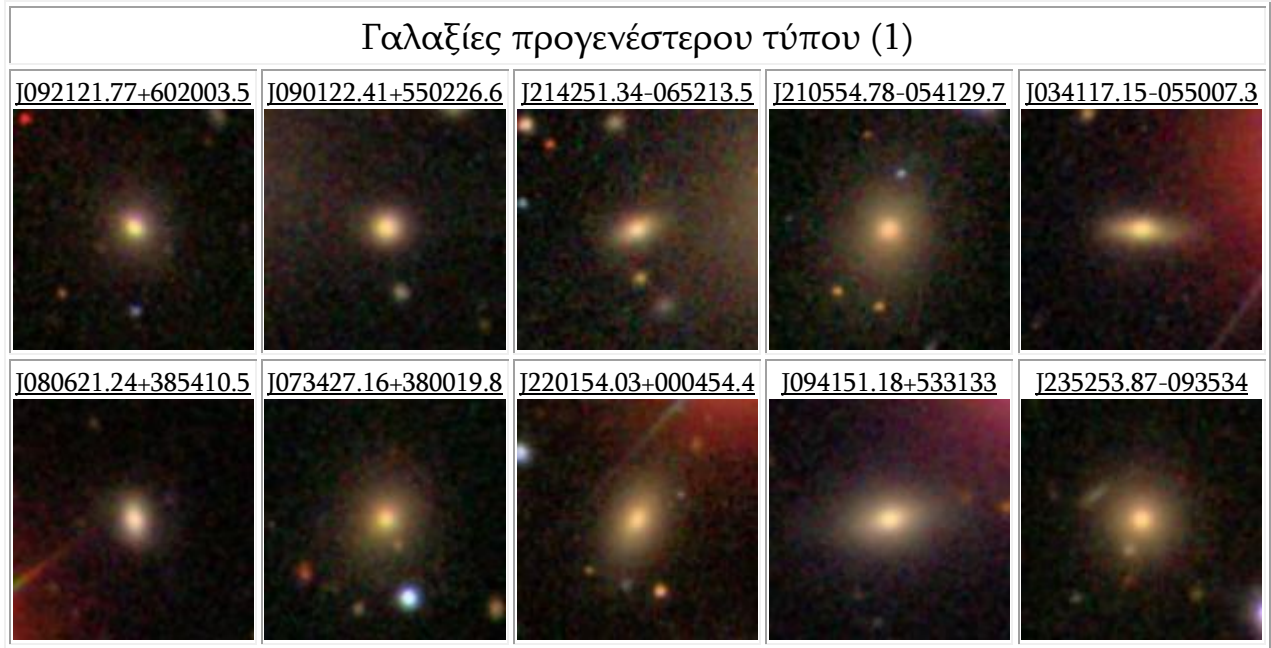
Βάσει της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, προκύπτει ο δείκτης του Sersic n , ο οποίος αντιστοιχεί στο μοντέλο του Sersic με τη βέλτιστη προσαρμογή στα σημεία του κάθε προφίλ. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τη μέση τιμή των δύο δεικτών n που προκύπτουν για τον κάθε άξονα, και τελικά προκύπτουν για κάθε γαλαξία δύο δείκτες Sersic, οι οποίοι αντιστοιχούν στους δύο φαινόμενους άξονες. Για την αποφυγή της επίδρασης του seeing, η κεντρική περιοχή ακτίνων $r < 1 \text{ arcsec}$ του προφίλ, που είναι το FWHM της PSF για το Sloan, δεν συμμετέχει στην προσαρμογή.

5.1 Ακτινικά προφίλ γαλαξιών προγενέστερου τύπου

Με σκοπό τη διερεύνηση της μορφολογίας των γαλαξιών προγενέστερου φασματικού τύπου, κατασκευάζουμε τα προφίλ της επιφανειακής λαμπρότητας 10 γαλαξιών του δείγματος της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Οι συγκεκριμένοι γαλαξίες είναι από τους λαμπρότερους του δείγματος, ώστε η ανάλυση των προφίλ τους να είναι η βέλτιστη δυνατή. Τα μεγέθη τους βρίσκονται στο διάστημα $15.2 < r < 16.1$, στο φίλτρο r του SDSS, το χρώμα τους είναι $(g-r) > 0.8$ και επιλέχθηκαν έτσι ώστε τα φάσματά τους να θεωρούνται αντιπροσωπευτικά του δείγματος (Σχ.5.1.1), και παράλληλα η μορφολογία τους να μοιάζει με αυτή των γαλαξιών προγενέστερου τύπου (Σχ.5.1.2). Τα χαρακτηριστικά τους δίνονται στον Πίνακα 5.1.



Σχήμα 5.1.1. Τα φάσματα των 10 γαλαξιών προγενέστερου τύπου του δείγματος της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Στα φάσματα δεν ανιχνεύονται γραμμές εκπομπής ενδεικτικές της αστρικής δημιουργίας.

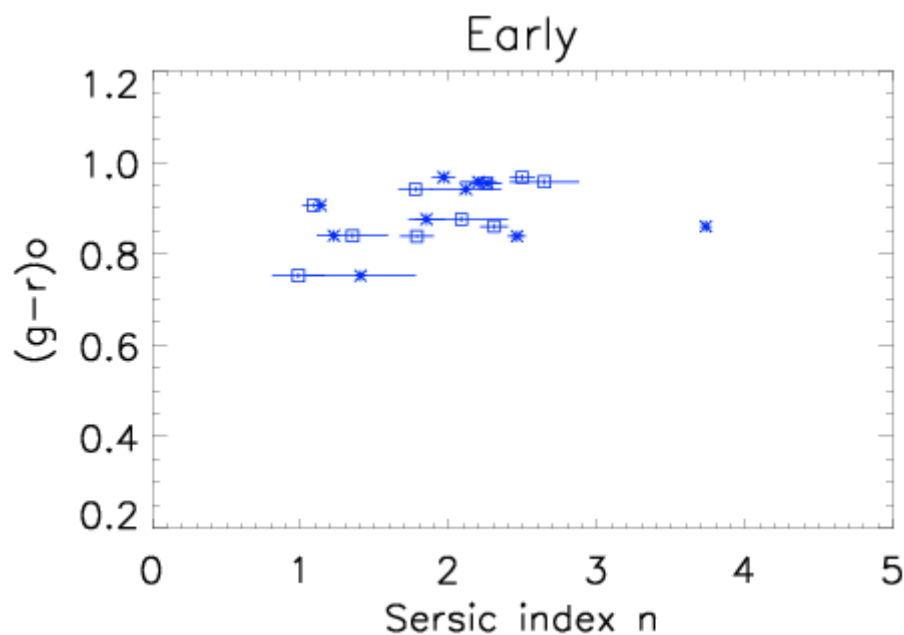


Σχήμα 5.1.2. Οι εικόνες των 10 γαλαξιών προγενέστερου φασματικού τύπου της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, όπως δίνονται από το SDSS DR8.

	ra	dec	subClass	z	ext_g	ext_r	fDeV_r	g	r
1	140.34072	60.334328	-	0.0578	0.11331	0.082183	1	17.2359	16.3650
2	135.34338	55.040749	-	0.04565	0.06158	0.044667	0.798	17.0793	16.1560
3	325.71392	-6.8704413	-	0.05122	0.17051	0.123671	0.816	17.3233	16.4006
4	316.47825	-5.6915842	-	0.05781	0.32772	0.23769	1	16.6175	15.6675
5	55.321475	-5.8353746	-	0.11006	0.19801	0.143615	0.989	16.9019	15.9058
6	121.58851	38.90293	-	0.04189	0.18725	0.135816	0.919	16.9968	16.1930
7	113.6132	38.005498	-	0.09596	0.20062	0.145507	1	16.9798	15.9570
8	330.47514	0.0817222	-	0.09913	0.20169	0.146284	0.850	16.7913	15.7784
9	145.46339	53.52576	-	0.04763	0.04856	0.03522	1	16.0025	15.1507
10	358.22449	-9.5928071	-	0.07613	0.13279	0.096315	1	16.6232	15.6321

Πίνακας 5.1. Χαρακτηριστικές τιμές των 10 γαλαξιών προγενέστερου φασματικού τύπου της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, όπως δίνονται από το SDSS DR8 (δίνονται η ορθή αναφορά και απόκλιση ra, dec, η φασματική τάξη (subclass), η ερυθρομετατόπιση z, τα μεγέθη g και r και η γαλαξιακή απορρόφηση ext_g, ext_r στα φίλτρα g και r αντίστοιχα, καθώς και ο λόγος fDeV στο φίλτρο r)

Στα προφίλ των γαλαξιών αυτών προσαρμόσαμε το μοντέλο του Sersic για κάθε έναν από τους 4 φαινόμενους ημιάξονές τους, κατά μήκος των οποίων έγινε η προβολή της επιφανειακής τους λαμπρότητας (βλ.Παράρτημα A1). Ο μέσος όρος των δύο δεικτών n για κάθε άξονα, συναρτήσει του χρώματος $(g-r)_0$, φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχ.5.1.3).

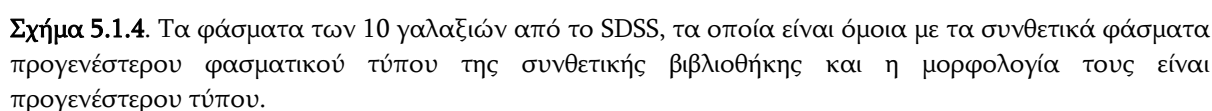


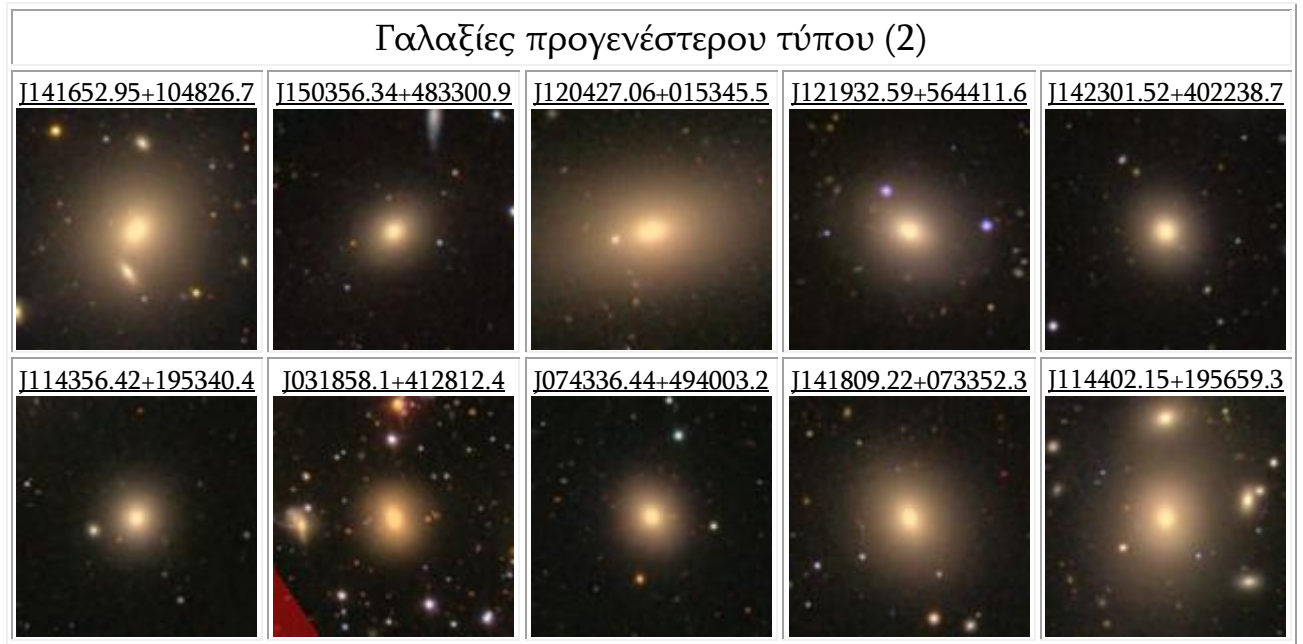
Σχήμα 5.1.3. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$ (διορθωμένου για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , οι οποίοι προέκυψαν από την προσαρμογή του νόμου του Sersic στα προφίλ 10 γαλαξιών προγενέστερου τύπου από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Φαίνονται οι δείκτες n που αντιστοιχούν στην προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μεγάλου (αστερίσκοι) και του μικρού άξονα (τετράγωνα) του κάθε γαλαξία, συνοδευόμενοι από τα σφάλματά τους.

Παρατηρούμε πως οι 10 γαλαξίες προγενέστερου φασματικού τύπου χαρακτηρίζονται από δείκτες Sersic n που βρίσκονται, στην πλειοψηφία τους, στο διάστημα $1 < n < 3$. Τα προφίλ που κατασκευάσαμε για τους συγκεκριμένους γαλαξίες απέχουν, σύμφωνα με την μέθοδο προσαρμογής μας, από το προφίλ του DeVaucouleurs ($n=4$), εμφανίζοντας μία μέση τιμή του n κοντά στο $n=2$. Μεταξύ των δεικτών που προκύπτουν για τον μεγάλο και τον μικρό φαινόμενο ημιάξονα του κάθε γαλαξία, δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη απόκλιση.

Τα σφάλματα που συνοδεύουν τις τιμές του n είναι τα σφάλματα της μέσης τιμής μεταξύ των δεικτών δύο ημιαξόνων, και είναι ενδεικτικά των ασυμμετριών των προφίλ κατά μήκος τους. Τα γενικά σφάλματα που υπεισέρχονται στην κατασκευή των προφίλ και την προσαρμογή του νόμου του Sersic σε αυτά, αναλύονται διεξοδικά στην παράγραφο 5.4.

Τα μεγέθη των γαλαξιών αυτών βρίσκονται στο διάστημα $11.7 < r < 13.1$, στο φίλτρο r , και επομένως είναι αρκετά λαμπροί ώστε η μορφολογία τους να μπορεί να διακριθεί άμεσα από την εικόνα τους. Για την αποφυγή σφαλμάτων στο χρώμα των γαλαξιών αυτών, η ερυθρομετατόπισή τους επιλέχθηκε να είναι $z < 0.1$. Τα χαρακτηριστικά των γαλαξιών αυτών δίνονται στον Πίνακα 5.2.



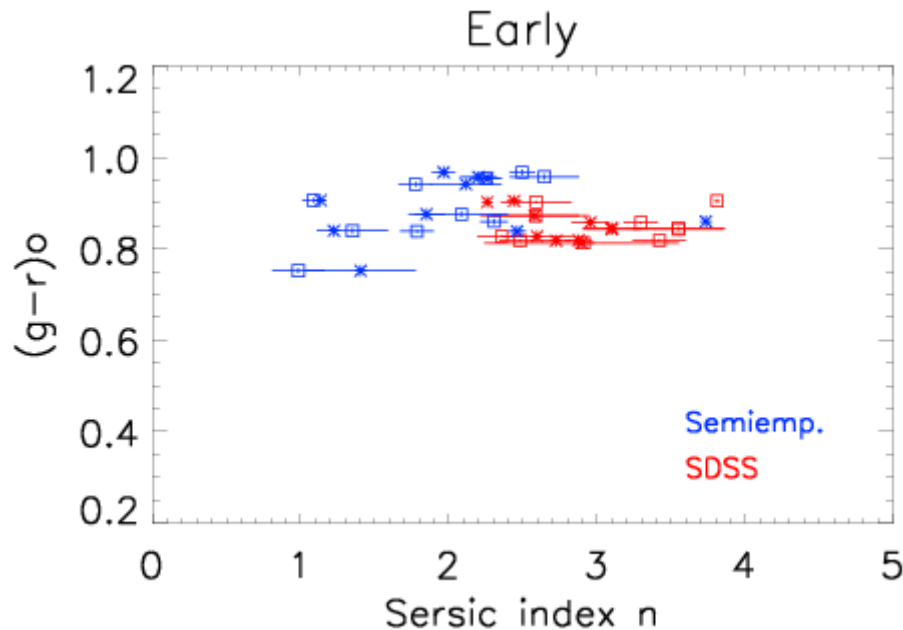


Σχήμα 5.1.5. Οι εικόνες των 10 γαλαξιών προγενέστερου τύπου από το SDSS.

	ra	dec	subClass	z	ext_g	ext_r	fDeV_r	g	r
1	214.22063	10.807418	-	0.024712	0.096943	0.070311	1	12.591006	11.718733
2	225.98478	48.550251	-	0.025967	0.084874	0.061557	0.971909	13.90253	13.036119
3	181.11277	1.8959957	-	0.019719	0.102086	0.074041	0.960983	12.553587	11.62305
4	184.88581	56.73658	-	0.015867	0.071719	0.052016	1	13.265392	12.373191
5	215.75636	40.377422	-	0.018574	0.038941	0.028243	1	13.628376	12.798913
6	175.98511	19.894579	-	0.02102	0.082701	0.059982	1	13.811944	12.961354
7	49.742114	41.47012	-	0.075779	0.624806	0.453162	1	13.910242	12.833566
8	115.90186	49.667559	-	0.018323	0.265013	0.192209	1	13.829166	12.943231
9	214.53844	7.5645503	AGN	0.024607	0.113603	0.082395	1	13.111397	12.222322
10	176.009	19.949827	-	0.020796	0.081218	0.058906	0.978293	12.801127	11.960871

Πίνακας 5.2. Χαρακτηριστικές τιμές των 10 γαλαξιών προγενέστερου φασματικού τύπου από το SDSS DR8 (δίνονται η ορθή αναφορά και απόκλιση ra, dec, η φασματική τάξη (subclass), η ερυθρομετατόπιση z, τα cmodel μεγέθη g και r και η γαλαξιακή απορρόφηση ext_g, ext_r στα φίλτρα g και r αντίστοιχα, καθώς και ο λόγος fDeV στο φίλτρο r).

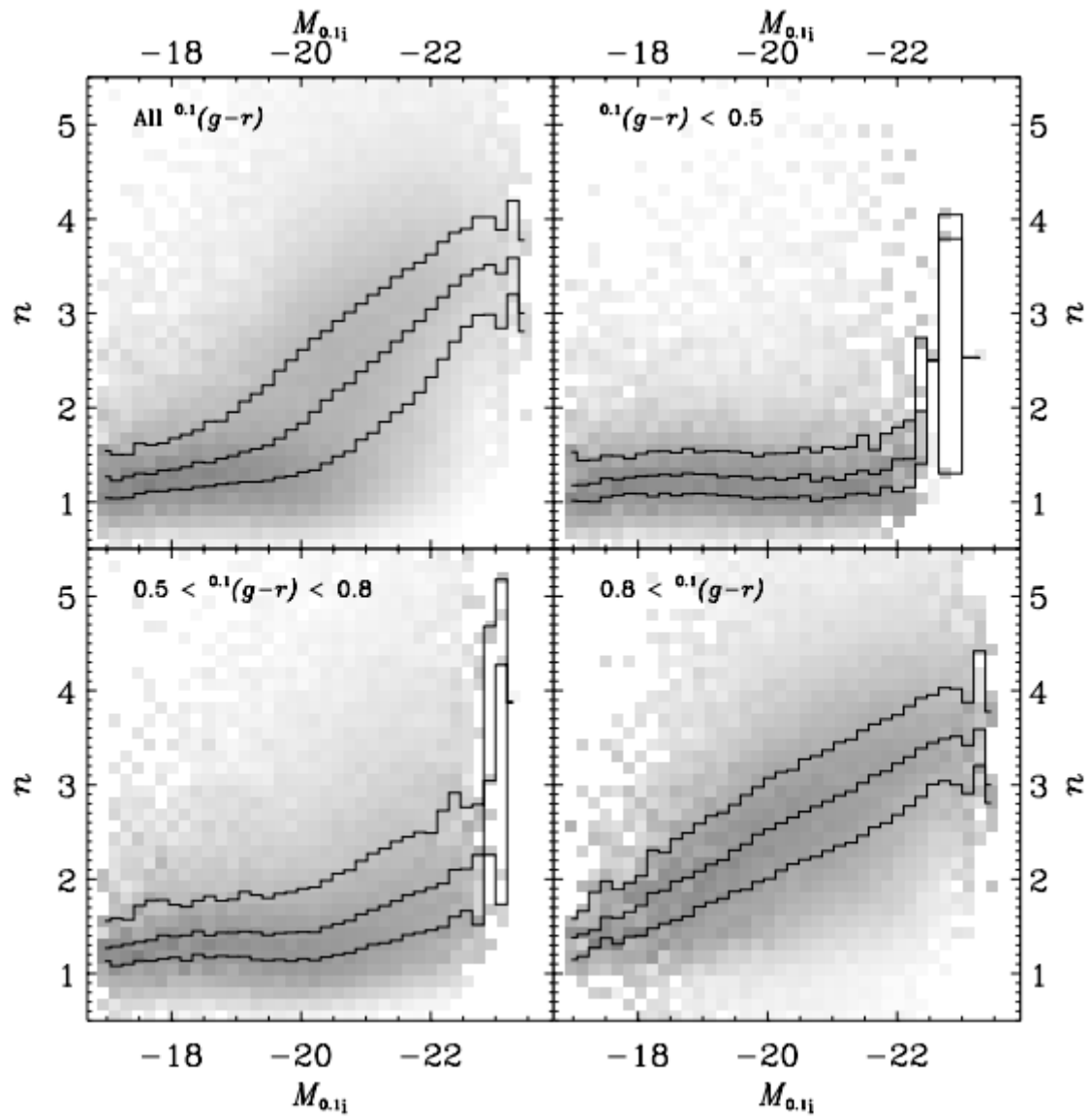
Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχ.5.1.6) δίνεται το χρώμα $(g-r)_0$ (διορθωμένο για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει του δείκτη του Sersic για τους 10 γαλαξίες προγενέστερου τύπου που επιλέξαμε από το SDSS (κόκκινα σημεία), σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές για τους 10 γαλαξίες της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης (μπλε σημεία). Τα προφίλ βρίσκονται στο Παράρτημα Α.2.



Σχήμα 5.1.6. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$, συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , οι οποίοι προέκυψαν από την προσαρμογή του νόμου του Sersic στα προφίλ 10 γαλαξιών προγενέστερου τύπου από το SDSS (κόκκινα σημεία), σε σύγκριση με τους αντίστοιχες τιμές των 10 γαλαξιών της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης (μπλε σημεία). Φαίνονται οι δείκτες n που αντιστοιχούν στην προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μεγάλου (αστερίσκοι) και του μικρού (τετράγωνα) άξονα του κάθε γαλαξία, συνοδευόμενοι από τα σφάλματά τους.

Παρατηρούμε πως οι γαλαξίες που επιλέξαμε από το SDSS παρουσιάζουν εμφανώς μεγαλύτερους δείκτες Sersic σε σχέση με αυτούς της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, οι οποίοι βρίσκονται στο διάστημα $2 < n < 4$, και η μέση τιμή τους είναι κοντά στο $n=3$. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη για ελλειπτικούς γαλαξίες.

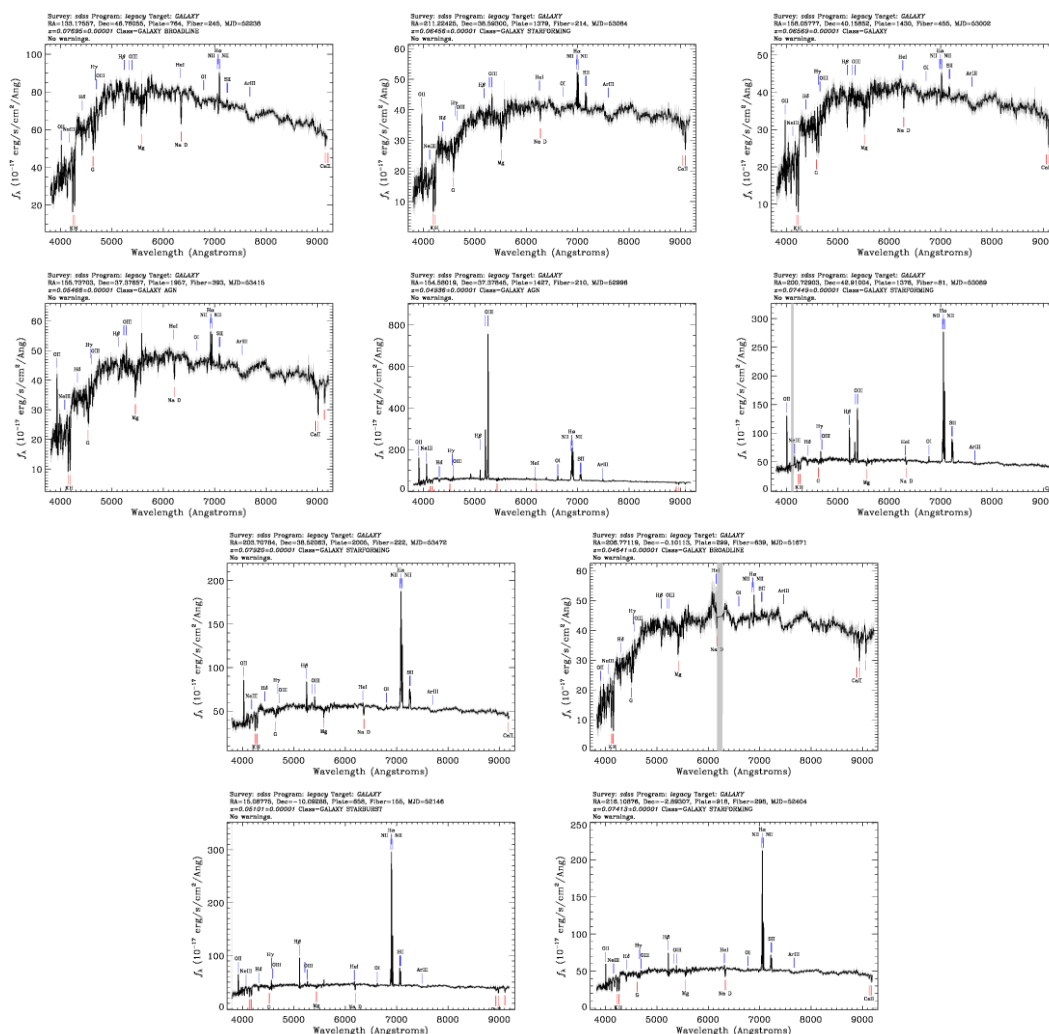
Σύμφωνα με τους Blanton et al. (2003), λαμπρότεροι γαλαξίες προγενέστερου τύπου με $(g-r) > 0.8$ τείνουν να εμφανίζουν μεγαλύτερους δείκτες Sersic, ενώ «μπλε» γαλαξίες με $(g-r) < 0.5$ τείνουν να εμφανίζουν εκθετικά προφίλ ($n \approx 1$) για όλα τα μεγέθη. Γαλαξίες με $(g-r)$ στο διάστημα $0.5 < (g-r) < 0.8$, εμφανίζουν μια ενδιάμεση συμπεριφορά του δείκτη n με το μέγεθος (Σχ.5.1.7).



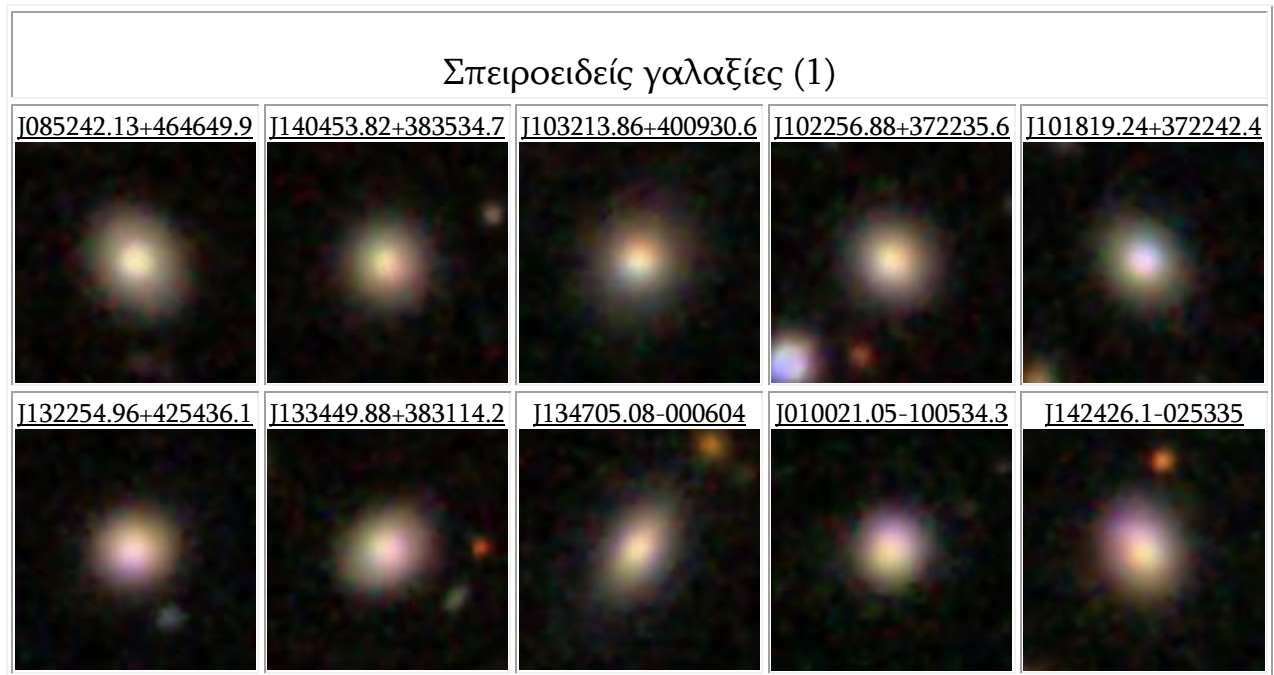
Σχήμα 5.1.7. Η εξάρτηση του δείκτη του Sérsic n , από το απόλυτο μέγεθος M , για διάφορα διαστήματα τιμών του χρώματος $(g-r)$, για γαλαξίες του SDSS (Blanton et al.2003)

5.2 Ακτινικά προφίλ σπειροειδών γαλαξιών

Προκειμένου να ελέγξουμε τη μορφολογία των σπειροειδών γαλαξιών, όπως αυτοί έχουν προσδιοριστεί μόνο από το φάσμα τους, κατασκευάζουμε τα προφίλ της επιφανειακής λαμπρότητας 10 γαλαξιών του αντίστοιχου δείγματος της εμπειρικής βιβλιοθήκης. Οι συγκεκριμένοι γαλαξίες είναι από τους λαμπρότερους του δείγματος. Τα μεγέθη τους βρίσκονται στο διάστημα $16 < r < 16.5$, στο φίλτρο r , το χρώμα τους $(g-r)_0$ βρίσκεται στο διάστημα είναι $0.4 < (g-r) < 0.8$ και επιλέχθηκαν έτσι ώστε τα φάσματά τους να θεωρούνται αντιπροσωπευτικά του δείγματος (Σχ.5.2.1). Οι φασματικές τους τάξεις επιλέχθηκαν έτσι ώστε να περιλαμβάνονται οι χαρακτηριστικές τάξεις του δείγματος της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης (4 starforming, 2 AGN, 1 starburst). Οι εικόνες των γαλαξιών αυτών στο φίλτρο r βρίσκονται στο Σχήμα 5.2.2, ενώ τα χαρακτηριστικά τους από το SDSS δίνονται στον Πίνακα 5.3.



Σχήμα 5.2.1. Τα φάσματα των 10 σπειροειδών γαλαξιών από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Η παρουσία των γραμμών εκπομπής, αλλού αρκετά και αλλού λιγότερο έντονες, είναι ενδεικτικές της αστρικής δημιουργίας.

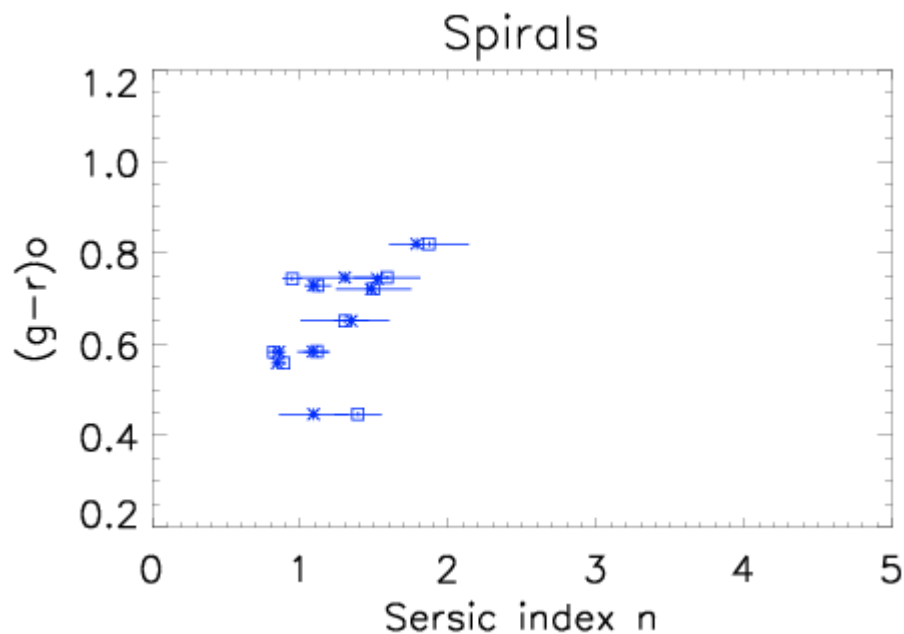


Σχήμα 5.2.2. Οι εικόνες των 10 σπειροειδών γαλαξιών της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, όπως δίνονται από το SDSS DR8.

	ra	dec	subClass	z	ext_g	ext_r	fDeV_r	g	r
1	133.17557	46.780546	-	0.0770	0.099235	0.071973	1	16.742575	15.969316
2	211.22425	38.592997	STARFORMING	0.0646	0.021626	0.015685	0.968788	17.324768	16.499205
3	158.05777	40.158525	-	0.0657	0.050088	0.036328	0.992305	17.200636	16.466043
4	155.73703	37.376568	AGN	0.0546	0.035813	0.025975	0.808179	17.039471	16.300987
5	154.58019	37.378451	AGN	0.0494	0.044629	0.032369	1	16.826191	16.367027
6	200.72903	42.910042	STARFORMING	0.0744	0.061514	0.044615	0.785036	16.915028	16.33951
7	203.70784	38.520627	STARFORMING	0.0792	0.024774	0.017968	0.881177	16.835072	16.177137
8	206.77119	-0.1011332	-	0.0464	0.104454	0.075759	0.939868	17.114857	16.34285
9	15.08775	-10.092877	STARBURST	0.0510	0.132008	0.095743	0.177182	17.046957	16.427341
10	216.10876	-2.8930748	STARFORMING	0.0741	0.254236	0.184393	0.515373	16.854115	16.200266

Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικές τιμές των 10 σπειροειδών γαλαξιών της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, όπως δίνονται από το SDSS DR8 (δίνονται η ορθή αναφορά και απόκλιση ra, dec, η φασματική τάξη (subclass), η ερυθρομετατόπιση z, τα μεγέθη g και r και η γαλαξιακή απορρόφηση ext_g, ext_r στα φίλτρα g και r αντίστοιχα, καθώς και ο λόγος fDeV στο φίλτρο r)

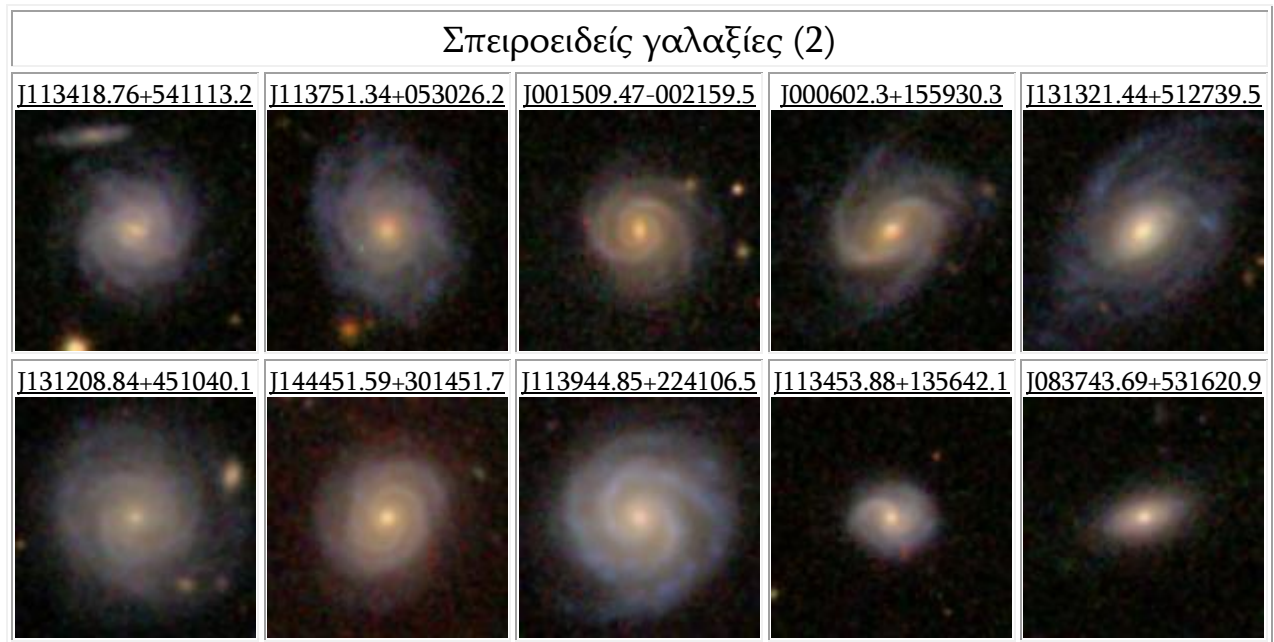
Στο διάγραμμα που ακολουθεί δίνεται το χρώμα $(g-r)_0$ (διορθωμένο για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει του δείκτη του Sersic για τους 10 σπειροειδείς γαλαξίες του δείγματος, όπως προέκυψε την προσαρμογή του νόμου του Sersic στα προφίλ τους (Παράρτημα Β.1).



Σχήμα 5.2.3. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$ (διορθωμένου για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , των 10 σπειροειδών γαλαξιών από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Φαίνονται οι δείκτες n που αντιστοιχούν στην προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μεγάλου (αστερίσκοι) και του μικρού (τετράγωνα) άξονα του κάθε γαλαξία, συνοδευόμενοι από τα σφάλματά τους.

Παρατηρούμε πως στην πλειοψηφία τους, οι γαλαξίες αυτοί εμφανίζουν εκθετικά προφίλ, με εύρος τιμών του δείκτη n στο διάστημα $0.8 < n < 2$, αρκετά μικρότερου εύρους από αυτό των γαλαξιών προγενέστερου τύπου, ενώ η μέση τιμή του n είναι περίπου 1.3. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές της ύπαρξης δίσκου στους γαλαξίες αυτούς, και επομένως αναμενόμενες, αν θεωρήσουμε πως οι γαλαξίες αυτοί είναι σπειροειδείς βάσει του φάσματος αλλά και της μορφολογίας τους.

Προκειμένου να ελέγξουμε την ορθότητα της μεθόδου μας όσον αφορά τη συμπεριφορά του δείκτη n για τους σπειροειδείς γαλαξίες, θα κατασκευάσουμε στη συνέχεια τα προφίλ 10 σπειροειδών γαλαξιών, οι οποίοι δεν ανήκουν στο δείγμα της βιβλιοθήκης, αλλά τα φάσματά τους είναι όμοια με τα συνθετικά φάσματα σπειροειδών γαλαξιών (Σχ.5.2.4), ενώ η μορφολογία τους, όπως ελέγχουμε από τις εικόνες του SDSS, είναι επίσης σπειροειδής (Σχ.5.2.5). Τα μεγέθη των γαλαξιών αυτών βρίσκονται στο διάστημα $14.1 < r < 15.9$, στο φίλτρο r , και επομένως είναι αρκετά λαμπροί ώστε η μορφολογία τους να μπορεί να διακριθεί άμεσα από την εικόνα τους. Για την αποφυγή σφαλμάτων στο χρώμα των γαλαξιών αυτών, η ερυθρομετατόπισή τους επιλέχθηκε να είναι $z < 0.1$. Τα χαρακτηριστικά των γαλαξιών αυτών δίνονται στον Πίνακα 5.4.

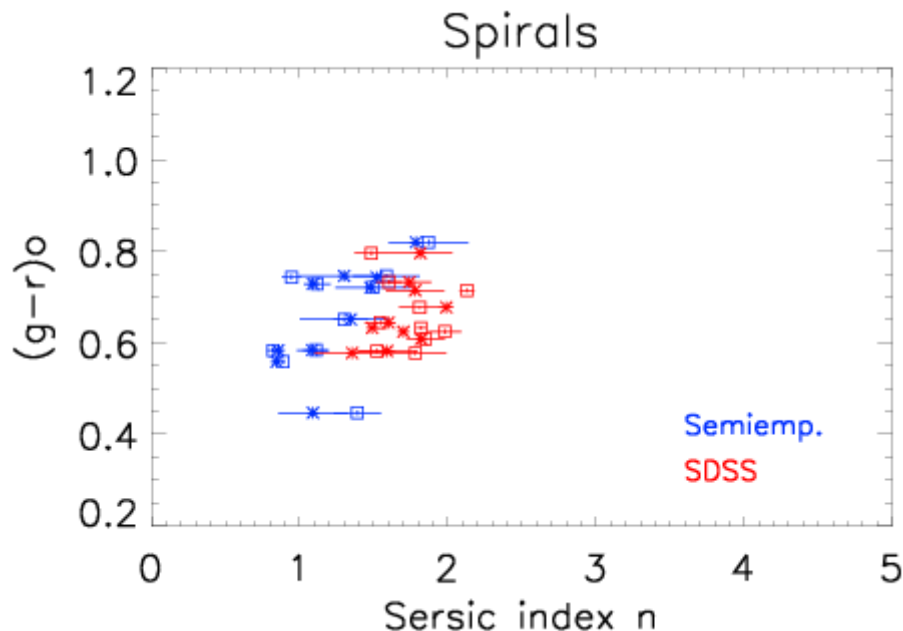


Σχήμα 5.2.5. Οι εικόνες 10 σπειροειδών γαλαξιών από το SDSS

	ra	dec	subClass	z	ext_g	ext_r	fDeV_r	g	r
1	173.57826	54.186944	-	0.0694	0.036787	0.026681	0.12899	15.841887	15.254067
2	174.46397	5.50729	-	0.0727	0.153472	0.111311	0.38622	15.373389	14.687228
3	3.7894936	-0.36649268	-	0.0661	0.246133	0.178516	0.49115	15.76304	14.899488
4	1.5095981	15.991755	AGN	0.0542	0.215054	0.155975	0.89381	15.698092	14.906477
5	198.3394	51.460886	-	0.0316	0.065732	0.047674	1	15.311668	14.616317
6	198.03688	45.177796	-	0.0367	0.051055	0.03703	0.08259	15.409188	14.787049
7	221.21499	30.247708	-	0.0598	0.049261	0.035728	0.43276	15.724153	14.996209
8	174.93691	22.685158	STARFORMING	0.0231	0.096331	0.069867	0.15474	14.816919	14.157842
9	173.72451	13.945036	STARFORMING	0.0537	0.137695	0.099868	0.32525	16.367178	15.747336
10	129.43211	53.27241	STARFORMING	0.0610	0.138625	0.100543	1	16.483398	15.820976

Πίνακας 5.4. Χαρακτηριστικές τιμές των 10 σπειροειδών γαλαξιών από το SDSS DR8 (δίνονται η ορθή αναφορά και απόκλιση ra, dec, η φασματική τάξη (subclass), η ερυθρομετατόπιση z, τα μεγέθη g και r και η γαλαξιακή απορρόφηση ext_g, ext_r στα φίλτρα g και r αντίστοιχα, καθώς και ο λόγος fDeV στο φίλτρο r)

Στο διάγραμμα που ακολουθεί δίνεται το χρώμα $(g-r)_0$ (διορθωμένο για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει του δείκτη του Sersic για τους 10 σπειροειδείς γαλαξίες του δείγματος που επιλέξαμε από το SDSS (κόκκινα σημεία) σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές για τους 10 σπειροειδείς γαλαξίες της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης (μπλε σημεία). Τα προφίλ βρίσκονται στο Παράρτημα Β.2)



Σχήμα 5.2.6. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$ (διορθωμένου για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , των 10 σπειροειδών γαλαξιών από το SDSS (κόκκινα σημεία), και των 10 σπειροειδών γαλαξιών της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης (μπλε σημεία). Φαίνονται οι δείκτες n που αντιστοιχούν στην προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μεγάλου (αστερίσκοι) και του μικρού άξονα (τετράγωνα) του κάθε γαλαξία, συνοδευόμενοι από τα σφάλματά τους.

Παρατηρούμε πως οι σπειροειδείς γαλαξίες που επιλέξαμε χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγαλύτερους δείκτες n σε σχέση με αυτούς της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Αυτό είναι αναμενόμενο, αν λάβουμε υπόψη τη συμπεριφορά του δείκτη n στο διάγραμμα του Σχ.5.1.7, δεδομένου πως οι γαλαξίες που επιλέξαμε είναι κατά 1-2 τάξεις μεγέθους λαμπρότεροι από αυτούς της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, καθώς και πως βρίσκονται στο διάστημα τιμών $0.4 < (g-r) < 0.9$. Εκτός αυτού, η συμμετοχή του bulge είναι πιο σημαντική στους γαλαξίες αυτούς, καθώς το bulge ενδέχεται να είναι μεγαλύτερο από το FWHM της PSF (1arcsec), το οποίο δεν συμμετέχει στο fitting. Για μικρότερα μεγέθη, είναι πιθανό ολόκληρο το bulge να βρίσκεται εντός της περιοχής $r < 1\text{arcsec}$.

Οι συνολικά 20 σπειροειδείς γαλαξίες που επιλέξαμε φαίνεται πως χαρακτηρίζονται από μικρότερους δείκτες Sersic σε σχέση με τους γαλαξίες προγενέστερου τύπου, με μία μέση τιμή κοντά στο $n \approx 1.5$, ενδεικτικό εκθετικών προφίλ, σε αντίθεση με την αντίστοιχη των προγενέστερων ($n \approx 2.5$).

Όσον αφορά την ποσότητα fDeV, η οποία είναι θεωρητικά $fDeV > 0.5$ για προφίλ τύπου DeVaucouleurs και $fDeV < 0.5$ για εκθετικά προφίλ, παρατηρούμε πως και για τους 20 σπειροειδείς γαλαξίες των 2 δειγμάτων, παίρνει τιμές κοντά στη μονάδα, επομένως πιθανότατα δεν αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο μορφολογικής ταξινόμησης.

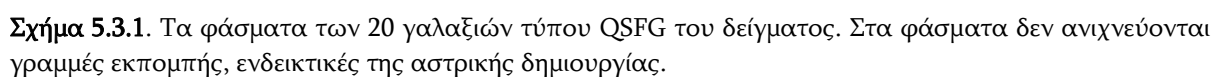
5.3 Ακτινικά προφίλ γαλαξιών τύπου QSFG

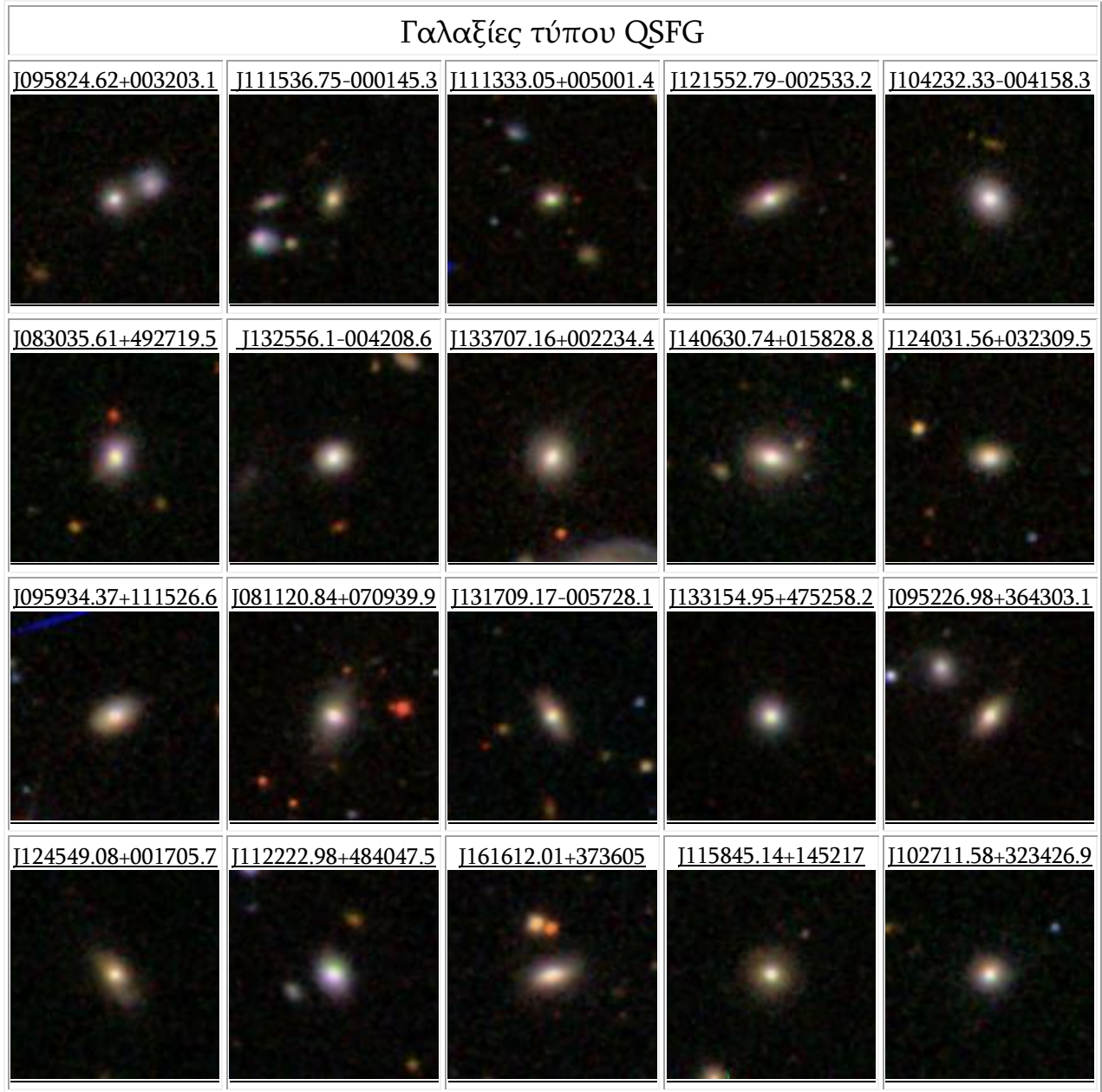
Με σκοπό να κατανοήσουμε τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των γαλαξιών φασματικού τύπου QSFG, θα κατασκευάσουμε στη συνέχεια τα προφίλ επιφανειακής λαμπρότητας 20 γαλαξιών του αντίστοιχου δείγματος της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης.

Για το λόγο αυτό επιλέξαμε 20 γαλαξίες τύπου QSFG από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης, των οποίων τα φάσματα από το SDSS αντιστοιχούν στα συνθετικά φάσματα, και φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχ.5.3.1). Οι περισσότεροι από αυτούς τους γαλαξίες δεν ανήκουν σε κάποια συγκεκριμένη φασματική τάξη, όπως δίνεται από το SDSS (no subclass), δεν ανιχνεύεται δηλαδή σε αυτούς αστρική δημιουργία. Οι συγκεκριμένοι γαλαξίες, αν και είναι από τους λαμπρότερους του δείγματος, είναι αρκετά αμυδροί ώστε να μπορεί να διακριθούν οπτικά τα χαρακτηριστικά τους, επομένως η ανάλυση των προφίλ τους αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση της μορφολογίας τους. Τα μεγέθη τους βρίσκονται στο διάστημα $15.9 < r < 17.7$, στο φίλτρο r του SDSS και το χρώμα τους είναι $0.5 < (g-r) < 0.9$. Τα χαρακτηριστικά τους δίνονται στον Πίνακα 5.5.

	ra	dec	subClass	z	ext_g	ext_r	fDeV_r	g	r
1	149.60259	0.53421222	-	0.092592	0.10074	0.073065	1	17.81743	17.244205
2	168.90318	-0.02924805	-	0.143187	0.221489	0.160642	1	18.630829	17.680632
3	168.38775	0.83371284	-	0.15229	0.12196	0.088456	1	18.440639	17.668371
4	183.96999	-0.42589006	-	0.07578	0.072457	0.052552	1	17.250885	16.555061
5	160.6347	-0.69949409	-	0.049733	0.180893	0.131198	1	16.573387	15.960488
6	127.64844	49.455339	-	0.132167	0.143141	0.103818	1	16.99715	16.24424
7	201.48376	-0.7023926	-	0.055671	0.102585	0.074403	0.95237	16.770729	16.131418
8	204.27985	0.37623293	-	0.048583	0.092062	0.066771	1	16.762173	16.091351
9	211.6281	1.9746547	-	0.073319	0.137427	0.099674	1	16.486734	15.772734
10	190.13152	3.3860069	-	0.052658	0.121609	0.088201	0.807234	17.227959	16.547699
11	149.89321	11.25741	-	0.076173	0.116635	0.084593	1	16.736246	16.066725
12	122.83684	7.1610944	-	0.052127	0.075804	0.05498	1	16.903076	16.224115
13	199.28818	-0.95782963	AGN	0.081497	0.114937	0.083362	1	17.630308	16.89406
14	202.97896	47.882828	-	0.109032	0.049285	0.035746	1	17.216221	16.583729
15	148.11244	36.717543	-	0.106122	0.037119	0.026921	0.964299	17.240322	16.484709
16	191.45452	0.28491691	-	0.131816	0.069103	0.050119	1	17.561922	16.741423
17	170.59579	48.679884	-	0.062948	0.041985	0.030451	1	16.659115	16.118061
18	244.05009	37.60138	-	0.065837	0.087635	0.06356	0.877944	16.836592	16.124863
19	179.68813	14.87141	-	0.118631	0.147088	0.106681	1	17.348627	16.560959
20	156.7983	32.574157	-	0.05643	0.068595	0.049751	1	17.09713	16.455891

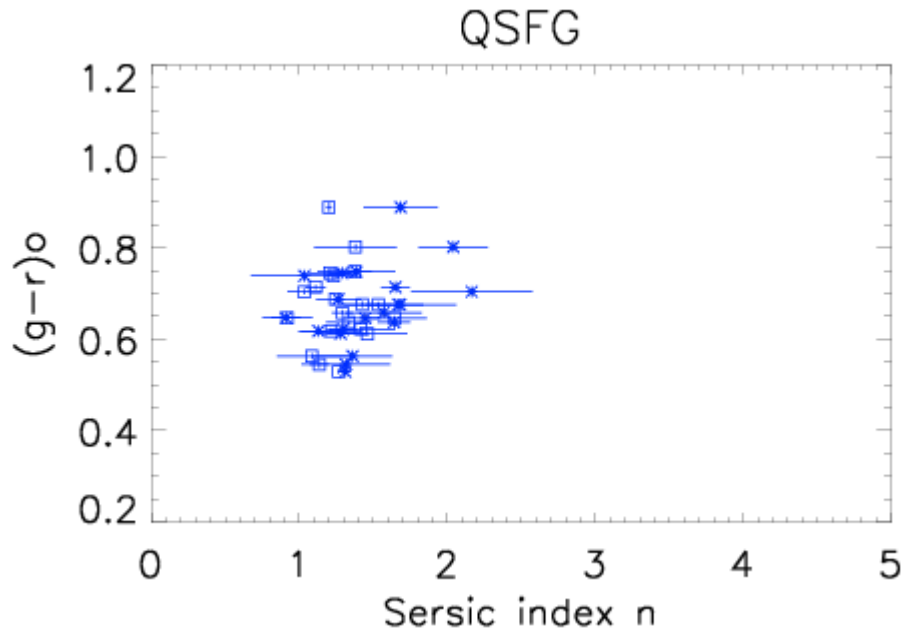
Πίνακας 5.5. Χαρακτηριστικές τιμές των 20 γαλαξιών τύπου QSFG από το SDSS (δίνονται η ορθή αναφορά και απόκλιση ra, dec, η ερυθρομετατόπιση z, τα μεγέθη g και r και η γαλαξιακή απορρόφηση ext_g, ext_r στα φίλτρα g και r αντίστοιχα για τον κάθε γαλαξία)





Σχήμα 5.3.2. Οι εικόνες των 20 γαλαξιών τύπου QSG του δείγματος από το SDSS DR8.

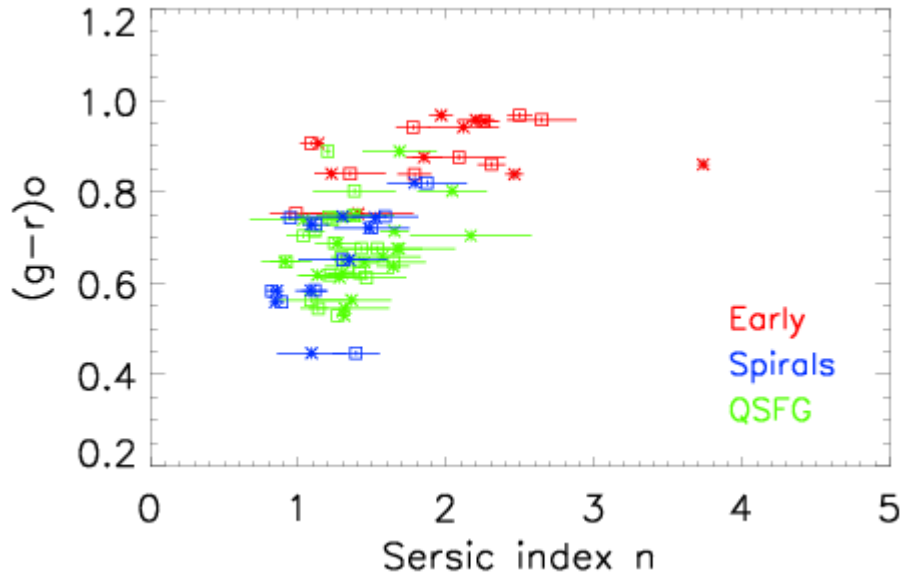
Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχ.5.3.3) απεικονίζονται οι τιμές των δεικτών Sersic n που προέκυψαν από την προσαρμογή του νόμου του Sersic στα προφίλ των 20 γαλαξιών τύπου QSG, συναρτήσει του διορθωμένου για τη γαλαξιακή απορρόφηση χρώματος $(g-r)_0$. Τα 80 προφίλ των 20 γαλαξιών βρίσκονται στο Παράρτημα Γ.



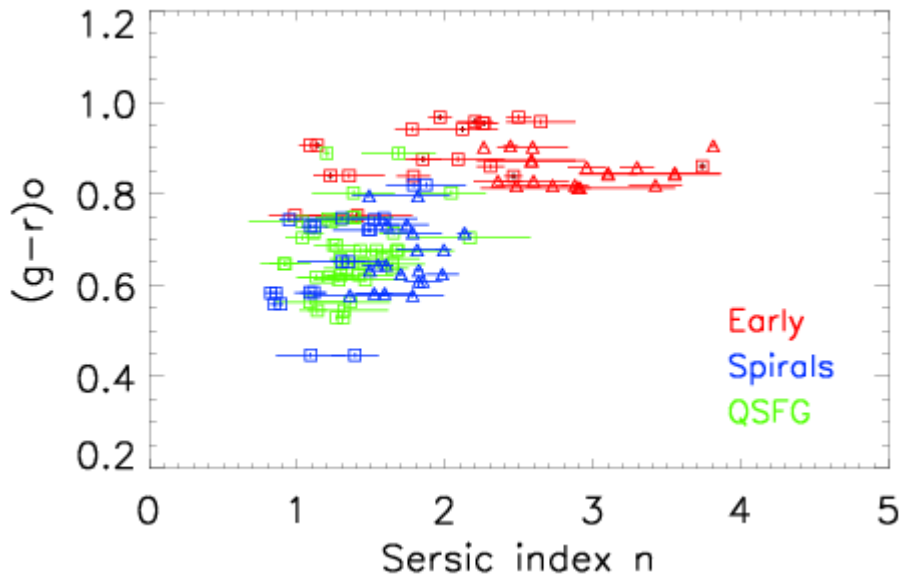
Σχήμα 5.3.3. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$, συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , των 20 γαλαξιών τύπου QSFG από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Φαίνονται οι δείκτες n που αντιστοιχούν στην προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μεγάλου (αστερίσκοι) και του μικρού άξονα (τετράγωνα) του κάθε γαλαξία.

Παρατηρούμε πως οι τιμές των δεικτών n για τους γαλαξίες τύπου QSFG είναι αρκετά μικρές (μέση τιμή $n \approx 1.3$), ενώ εξίσου μικρό είναι και το εύρος τους (η πλειοψηφία τους βρίσκεται στο διάστημα $0.8 < n < 1.9$). Η συμπεριφορά αυτή είναι παρόμοια με αυτή των σπειροειδών γαλαξιών. Συμπεραίνουμε πως οι γαλαξίες τύπου QSFG που επιλέξαμε, φαίνεται πως παρουσιάζουν εκθετικά προφίλ, όμοια με αυτά των σπειροειδών γαλαξιών και ενδεικτικά της παρουσίας δίσκου. Δεδομένου πως στα φάσματα των συγκεκριμένων γαλαξιών δεν ανιχνεύονται γραμμές εκπομπής ενδεικτικές της αστρικής δημιουργίας, οι γαλαξίες QSFG θα μπορούσαν να ανήκουν στο μορφολογικό τύπο των S0, είτε σε προγενέστερους σπειροειδείς με μεγάλο δείκτη D/B (disk-to-bulge-ratio).

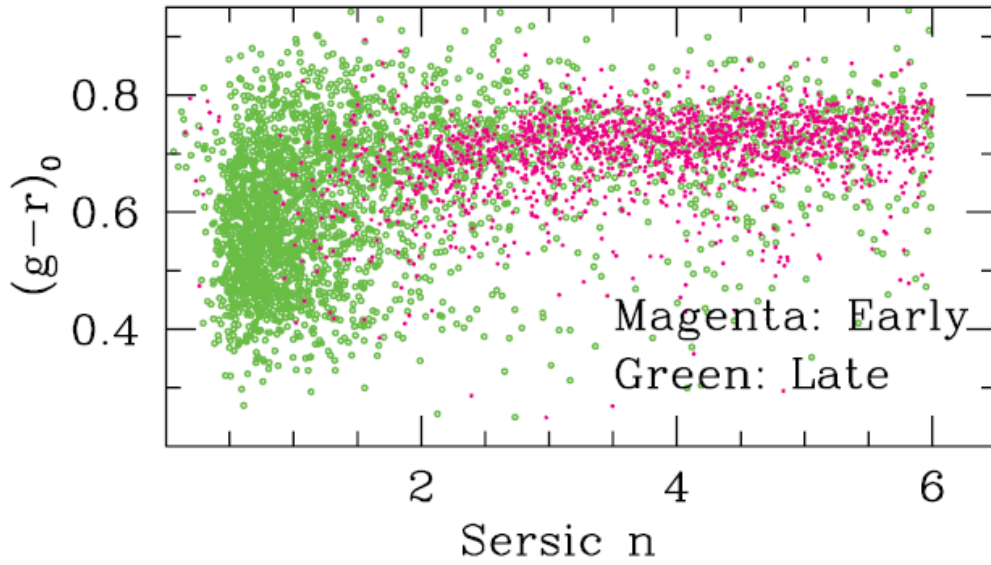
Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η συμπεριφορά των δεικτών n για όλους τους τύπους γαλαξιών, ενώ στο Σχήμα 5.3.6 φαίνεται το χαρακτηριστικό διάγραμμα του Van der Wel (2008) του χρώματος $(g-r)_0$ συναρτήσει του δείκτη n , για 4594 γαλαξίες από το SDSS, με redshift στο διάστημα $0.02 < z < 0.03$ και μεγέθη $r < 16.5$ στο φίλτρο r . Παρατηρούμε πως αν και το δείγμα μας είναι κατά πολύ μικρότερο αριθμητικά, ο μορφολογικός διαχωρισμός μεταξύ γαλαξιών προγενέστερου και μεταγενέστερου τύπου στην τιμή $n \approx 2$ παρατηρείται και στα δύο διαγράμματα (Σχ.5.3.5 και Σχ.5.3.6).



Σχήμα 5.3.4. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$ (διορθωμένου για τη γαλαξιακή απορρόφηση), συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , για τους 20 γαλαξίες τύπου QSGF (πράσινα σημεία), 10 γαλαξίες προγενέστερου τύπου (κόκκινα σημεία) και 10 σπειροειδείς γαλαξίες (μπλε σημεία) από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης. Φαίνονται οι δείκτες n που αντιστοιχούν στην προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος του μεγάλου (αστερίσκοι) και του μικρού (τετραγωνικά σημεία) άξονα του κάθε γαλαξία.

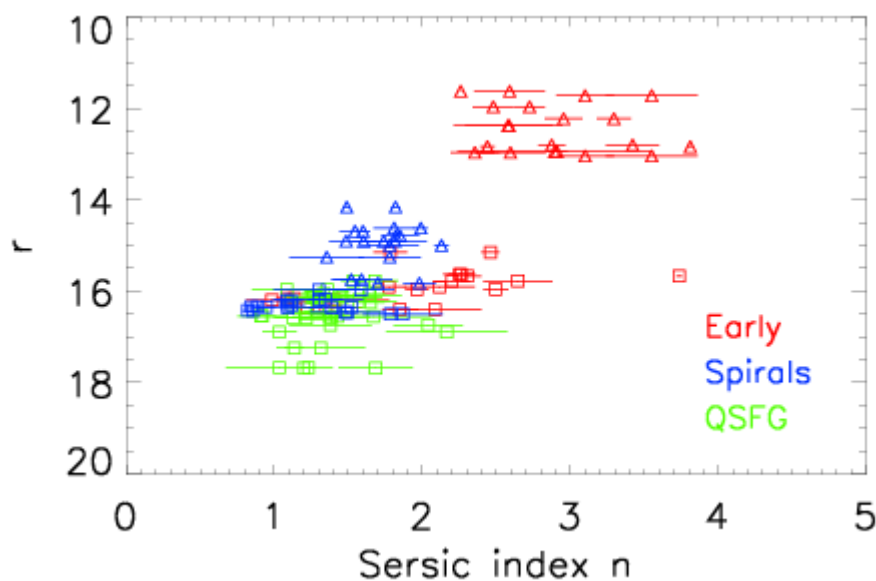


Σχήμα 5.3.5. Το ίδιο διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$ συναρτήσει των δεικτών του Sersic n , οι οποίοι προέκυψαν από την προσαρμογή του νόμου του Sersic στα προφίλ και των 60 γαλαξιών. Οι γαλαξίες από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης διακρίνονται με τα τετραγωνικά σύμβολα, ενώ οι υπόλοιποι με τριγωνικά.



Σχήμα 5.3.6. Το διάγραμμα χρώματος $(g-r)_0$ συναρτήσει του δείκτη Sersic n (Van der Wel 2008). Τα κόκκινα σημεία είναι γαλαξίες προγενέστερου τύπου (E+S0) ενώ τα πράσινα σημεία είναι γαλαξίες μεταγενέστερου τύπου (Sa και μεταγενέστεροι) από το SDSS, με $0.02 < z < 0.03$ και μεγέθη $r < 16.5$.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ.5.3.7) φαίνεται η εξάρτηση του δείκτη n από το μέγεθος r (cmodel magintude) του SDSS. Παρατηρούμε πως οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου εμφανίζουν μια τάση αύξησης του δείκτη n με την αύξηση της λαμπρότητάς τους, όπως είναι αναμενόμενο. Την ίδια συμπεριφορά φαίνεται να εμφανίζουν και οι σπειροειδείς γαλαξίες σε κάποιο βαθμό. Δεδομένου όμως πως τα μεγέθη r των 60 γαλαξιών του δείγματός μας δεν καλύπτουν ομοιόμορφα το εύρος των τιμών τους, τα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του δείκτη n συναρτήσει του μεγέθους για τους υπόλοιπους φασματικούς τύπους δε μπορούν να είναι ασφαλή.

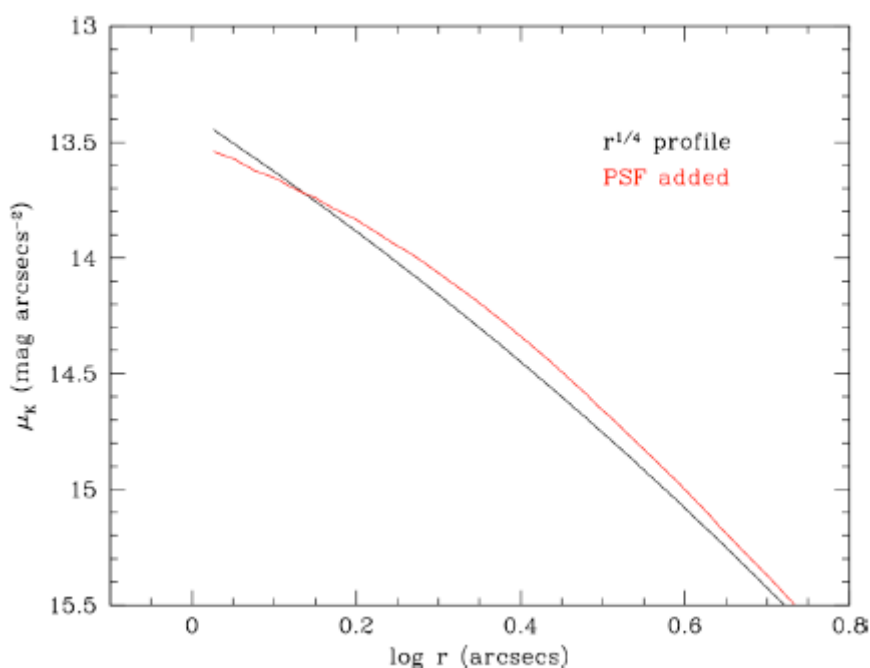


Σχήμα 5.3.7. Η εξάρτηση του δείκτη n από το μέγεθος r , για τους 60 γαλαξίες του δείγματός μας. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι γαλαξίες προγενέστερου τύπου, με μπλε οι σπειροειδείς και με πράσινο χρώμα οι γαλαξίες τύπου QSFG. Οι γαλαξίες από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης διακρίνονται με τα τετραγωνικά σύμβολα, ενώ οι υπόλοιποι με τριγωνικά.

5.4 Σχόλια-Σφάλματα

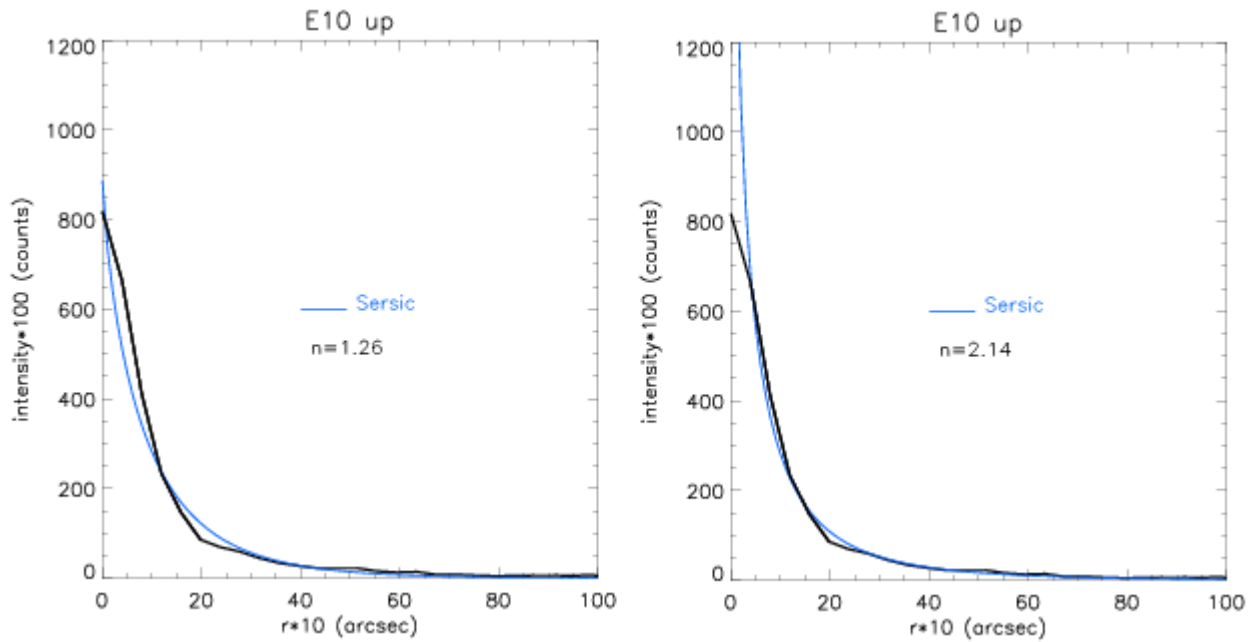
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε τα πρακτικά προβλήματα στην προσαρμογή του μοντέλου του Sersic στα γαλαξιακά προφίλ- αυτά δεν οφείλονται πιθανότατα στο ίδιο το μοντέλο αλλά αφορούν κοινά προβλήματα της γαλαξιακής φωτομετρίας. Τα κυριότερα από αυτά είναι η επίδραση του seeing, η εκτίμηση του υποβάθρου του ουρανού, η συμβολή πολλαπλών μορφολογικών δομών στο προφίλ του γαλαξία (bulge, ράβδος, σπείρες, δίσκος), καθώς και η ύπαρξη της σκόνης.

Το seeing επιδρά στο προφίλ με τέτοιο τρόπο ώστε η κεντρική περιοχή του γαλαξία να παρουσιάζει μικρότερη λαμπρότητα απ'ότι στην πραγματικότητα, με αποτέλεσμα όλα τα προφίλ να χαρακτηρίζονται από μικρότερους δείκτες n . Αυτό οφείλεται στην την επίδραση του ατμοσφαιρικού seeing καθώς και στη διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί αν συμπεριληφθεί στο μοντέλο του Sersic και ένα μοντέλο για το seeing, το οποίο χαρακτηρίζεται συνήθως από μια γκαουσιανή PSF συνάρτηση (βλ.Σχήμα 5.4.1). Εάν η PSF δεν συμπεριληφθεί στο μοντέλο, τότε οι τιμές των δεικτών του Sersic θα τείνουν προς το 0.5, αφού για $n=0.5$, ο νόμος του Sersic είναι η γκαουσιανή συνάρτηση (Graham & Driver, 2005).



Σχήμα 5.4.1. Η συμβολή της PSF στο μοντέλο του DeVaucouleurs (Schombert, Smith 2005)

Στην περίπτωση μας η PSF δεν έχει συμπεριληφθεί στην προσαρμογή του μοντέλου του Sersic. Στην περίπτωση αυτή, η προσαρμογή του μοντέλου του Sersic θα πρέπει να γίνεται για ακτίνες μεγαλύτερες του FWHM της PSF (Schombert & Smith 2005), το οποίο είναι περίπου 1arcsec για το Sloan. Για το λόγο αυτό, ο κώδικας προσαρμογής διορθώθηκε, έτσι ώστε τα σημεία του προφίλ για $r < 1\text{arcsec}$ να μην θεωρούνται σημαντικά από το πρόγραμμα, ενώ δώθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στα σημεία κοντά στις πτέρυγες του προφίλ (βλ.Σχ.5.4.2).

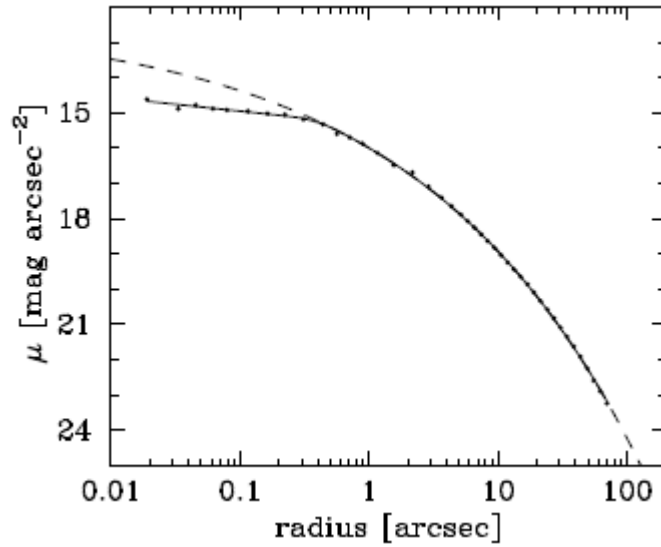


Σχήμα 5.4.2. **Αριστερά:** προσαρμογή του μοντέλου του Sersic στο προφίλ ενός γαλαξία προγενέστερου τύπου του δείγματός μας. **Δεξιά:** διορθωμένη εκδοχή του ίδιου μοντέλου, όπου η εσωτερική περιοχή $r < 1 \text{ arcsec}$ ($\approx \text{FWHM}_{\text{PSF}}$) δεν συμμετέχει στην προσαρμογή, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο n .

Η μέθοδός μας εξακολουθεί να περιέχει σφάλματα που οφείλονται στη μη συμμετοχή της ίδιας της PSF για κάθε γαλαξία στη διαδικασία προσαρμογής, τα οποία, όμως, θεωρούνται πολύ μικρότερα σε σχέση με αυτά που συνόδευσαν τα αποτελέσματά μας πριν τη διόρθωση.

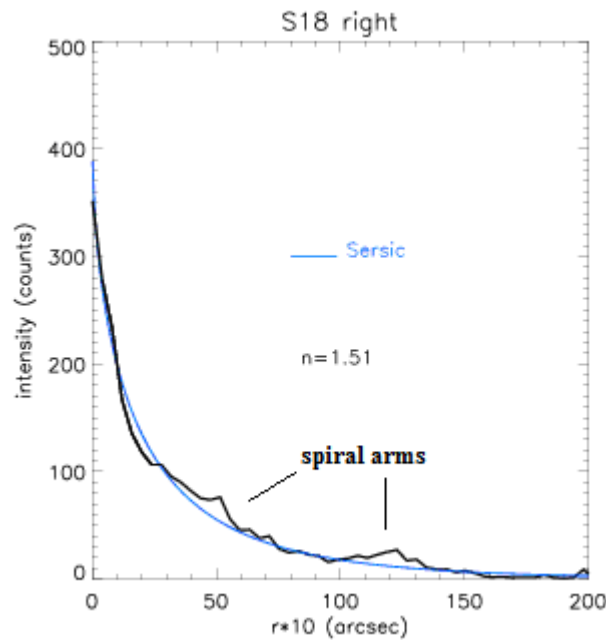
Η εκτίμηση του υποβάθρου του ουρανού παίζει επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην μορφή του γαλαξιακού προφίλ, καθώς καθορίζει την ακτίνα του γαλαξία και τη συμπεριφορά του προφίλ στις πτέρυγες, όπου δίνεται και η μεγαλύτερη βαρύτητα από τον κώδικα προσαρμογής. Μια υπερεκτίμηση του υποβάθρου του ουρανού μπορεί να οδηγήσει σε προφίλ με απότομη κλίση στις πτέρυγες, το οποίο οδηγεί σε μικρότερους δείκτες Sersic n , και αντίστοιχα μια υποτίμηση του υποβάθρου του ουρανού μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες τιμές του n . Αυτό επηρεάζει σημαντικά τα προφίλ των σπειροειδών γαλαξιών. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε την αντίστοιχη εκτίμηση για το υπόβαθρο του ουρανού, όπως αυτή δίνεται από το SDSS DR8.

Η ύπαρξη πυρήνα σε πολλούς ελλειπτικούς γαλαξίες, είναι επίσης πιθανό να προκαλεί περαιτέρω αποκλίσεις στο δείκτη του Sersic (βλ. Σχήμα 2.3). Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να προσαρμόζεται στο προφίλ ένα διορθωμένο μοντέλο Sersic (core-Sersic model) (Σχ.5.4.3).



Σχήμα 5.4.3. Το προφίλ του ελλειπτικού γαλαξία NGC 3348, κατά μήκος του μεγάλου φαινόμενου άξονα στο φίλτρο R. Η διακεκομμένη καμπύλη αναπαριστά το μοντέλο του Sersic, ενώ η συνεχής καμπύλη το μοντέλο core-Sersic (Graham et al.2003a,b; Trujillo et al.2004).

Η ύπαρξη πολλαπλών συνιστωσών στο προφίλ αφορά εκτός από τους ελλειπτικούς και τους σπειροειδείς γαλαξίες, όπου το προφίλ τους μπορεί να αποκλίνει από το εκθετικό, το οποίο αφορά μόνο το δίσκο. Ο δείκτης του Sersic θα παίρνει μεγαλύτερες τιμές, στην περίπτωση που είναι έντονη η παρουσία του bulge σε σχέση με το δίσκο (bulge-to-disk-ratio), ενώ η ύπαρξη ράβδων, σπειρών και σκόνης προκαλούν περαιτέρω αποκλίσεις του προφίλ από το εκθετικό (Σχ.5.4.4).



Σχήμα 5.4.4. Η παρουσία των σπειροειδών βραχιόνων στο προφίλ ενός γαλαξία του δείγματός μας (S18).

Η προσαρμογή πολλαπλών μοντέλων σε ένα γαλαξιακό προφίλ, τα οποία να περιγράφουν τις ξεχωριστές μορφολογικές δομές ενός δισκοειδή γαλαξία (bulge, ράβδος, δίσκος, σπείρες) ξεφεύγει από τα όρια μιας στατιστικής μελέτης, που είναι ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας. Η προσαρμογή πολλαπλών μοντέλων φαίνεται, όμως, πως είναι αναγκαία για την ακριβή περιγραφή των μορφολογικών χαρακτηριστικών ενός γαλαξία και μπορεί να επιτευχθεί από προγράμματα δισδιάστατης προσαρμογής, όπως το GALFIT (Peng et al. 2002), το GIM2D (Marleau & Simard 1998) και το BUDDA (de Souza, Gadotti & dos Anjos 2004).

Η επίδραση της σκόνης στα γαλαξιακά προφίλ είναι επίσης μια πηγή σφάλματος, λόγω της μεγαλύτερης, εν γένει, συγκέντρωσής της στην κεντρική περιοχή του γαλαξία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερες τιμές της επιφανειακής λαμπρότητας στο κέντρο, με αποτέλεσμα μικρότερους δείκτες n . Η επίδραση της σκόνης μπορεί να αποφευχθεί για παρατηρήσεις στο κοντινό υπέρυθρο.

Εκτός από τα παραπάνω σφάλματα, τα οποία αφορούν γενικά τεχνικά προβλήματα της γαλαξιακής φωτομετρίας, μεγάλη πηγή σφαλμάτων αποτελεί και ο ανθρώπινος παράγοντας, όσον αφορά την κατασκευή των γαλαξιακών προφίλ. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι η αβεβαιότητα στην εκτίμηση του κέντρου και των αξόνων συμμετρίας των εικόνων των γαλαξιών.

Κεφάλαιο 6

Μηχανισμοί διακοπής της αστρικής δημιουργίας

Προκειμένου να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά των προφίλ των γαλαξιών τύπου QSGF, τα οποία, όπως φαίνεται από την προσαρμογή του νόμου του Sersic, είναι ενδεικτικά της παρουσίας δίσκου, θα εξετάσουμε τους θεωρητικούς μηχανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας σε έναν γαλαξία.

6.1 Ενδείξεις διακοπής της αστρικής δημιουργίας

Οι γαλαξίες στο Τοπικό μας Σύμπαν μπορούν να διαχωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

α) στους γαλαξίες με «μπλε» δείκτη χρώματος και αστρική δημιουργία (**blue+starforming**), που τυπικά βρίσκονται σε περιοχές χαμηλής πυκνότητας και β) στους «κόκκινους» γαλαξίες όπου δεν παρατηρείται αστρογέννεση (**red+dead**), οι οποίοι συναντώνται σε περιοχές υψηλής πυκνότητας στο Σύμπαν (Gabor et al. 2010).

Ο συγκεκριμένος διμορφισμός παρουσιάζεται στη μορφολογία αλλά και στο χρώμα των γαλαξιών (Strateva et al. 2001), μια παράμετρος που συνδέεται με το ρυθμό δημιουργίας αστέρων (SFR), ενώ βάσει της μάζας τους, ο πληθυσμός γαλαξιών με μεγάλη μάζα (μεγαλύτερη των $10^{10.5} M_{\odot}$) κυριαρχείται από κόκκινους σφαιροειδείς γαλαξίες (red spheroids), ενώ οι γαλαξίες μικρότερης μάζας είναι κυρίως δισκοειδείς γαλαξίες με αστρογέννεση (Kauffmann et al. 2003). Ο διμορφισμός φαίνεται πως υπάρχει έως το $z=1$ και πιθανότατα έως το $z=2$.

Η φυσική προέλευση του διμορφισμού αυτού δεν έχει πλήρως κατανοηθεί-οι red+dead αποτελούν εξέλιξη των blue+starforming γαλαξιών, υπό την έννοια ότι γαλαξίες που κυριαρχούνται σήμερα από γηραιά άστρα, απέκτησαν την αστρική τους μάζα μέσω δημιουργίας αστέρων σε νεαρότερη ηλικία.

Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα θεωρίες της δημιουργίας γαλαξιών, πρωταρχικά νέφη αερίου μέσω βαρυτικής κατάρρευσης σχηματίζουν περιστρεφόμενους δίσκους, όπου δημιουργούνται σταδιακά νέοι αστέρες. Σύμφωνα με τα ιεραρχικά μοντέλα, οι μικρότεροι γαλαξίες στη συνέχεια συγχωνεύονται προς τη δημιουργία μεγαλύτερων. Μια τέτοια διαδικασία γνωρίζουμε πως μπορεί να μετατρέψει σπειροειδείς σε ελλειπτικούς γαλαξίες (Toomre & Toomre 1972), όχι όμως πώς αυτό συνοδεύεται από τη μετατροπή του χρώματος από blue+starforming σε red+dead.

Την τελευταία δεκαετία επίσης έχει αρχίσει να γίνεται σαφές πως ο **κοσμικός** ρυθμός αστρικής δημιουργίας (cosmic SFR) έχει μειωθεί κατά μία τάξη μεγέθους από το $z=1$ (Lilly et al. 1996; Madau et al. 1998; Hogg et al. 1998; Flores et al. 1999; Haarsma et al. 2000; Hopkins 2004). Οι πιο πιθανές αιτίες είναι είτε η μείωση του ρυθμού των γαλαξιακών συγκρούσεων ή μια σταδιακή κατανάλωση του κρύου γαλαξιακού αερίου.

Από την άλλη, υπάρχουν ενδείξεις πως η μετάβαση των γαλαξιών από τον ένα τύπο στον άλλο συμβαίνει σε χρονικό διάστημα αρκετά μικρό (περίπου 1 Gyr), το οποίο δεν είναι αρκετό ώστε ο γαλαξίας να προλάβει να καταναλώσει το «κρύο» γαλαξιακό αέριο αποκλειστικά μέσω της αστρικής δημιουργίας (Bell et al. 2004).

6.2 Θεωρητικοί μηχανισμοί

Όλες οι παραπάνω ενδείξεις αναδεικνύουν την ανάγκη της μελέτης εκείνων των μηχανισμών οι οποίοι μπορούν να σταματήσουν αποδοτικά και μακροπρόθεσμα την αστρική δημιουργία σε ένα γαλαξία. Αυτοί οι μηχανισμοί αφορούν διαδικασίες είτε αποβολής του «ψυχρού» αερίου από το γαλαξία, ή θέρμανσής του, σε σημείο που να μην είναι ικανό να δημιουργήσει νέους αστέρες (Kerës et al. 2009). Οι μέχρι στιγμής προταθέντες μηχανισμοί, συνοψίζονται στους εξής:

1) Θέρμανση του αερίου από τη γαλαξιακή άλω

Ένας από τους πιο γνωστούς μηχανισμούς που έχουν προταθεί για τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας είναι η θέρμανση του γαλαξιακού αερίου, καθώς αυτό προσπίπτει στη γαλαξιακή άλω. Ο μηχανισμός αυτός αφορά κυρίως γαλαξίες με άλους μεγάλης μάζας ($>10^{12}M_{\odot}$), ώστε η ψύξη του αερίου μέσω ακτινοβολίας να μην μπορεί να αντισταθμίσει τη θέρμανση. Η διαδικασία αυτή, φαίνεται πως μπορεί να επιτύχει τη θέρμανση του αερίου και τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας για μικρό μόνο χρονικό διάστημα (περίπου 2 Gyr), καθώς στη συνέχεια θα επικρατήσει η ψύξη του αερίου μέσω ακτινοβολίας (Birnbom et al. 2007). Ο μηχανισμός αυτός, λοιπόν, αν και απαιτεί πρόσθετες διαδικασίες θέρμανσης του γαλαξιακού αερίου, μπορεί, καθώς αφορά μαζικούς γαλαξίες, να εξηγήσει την εξάρτηση του γαλαξιακού διμορφισμού βάσει της μάζας τους.

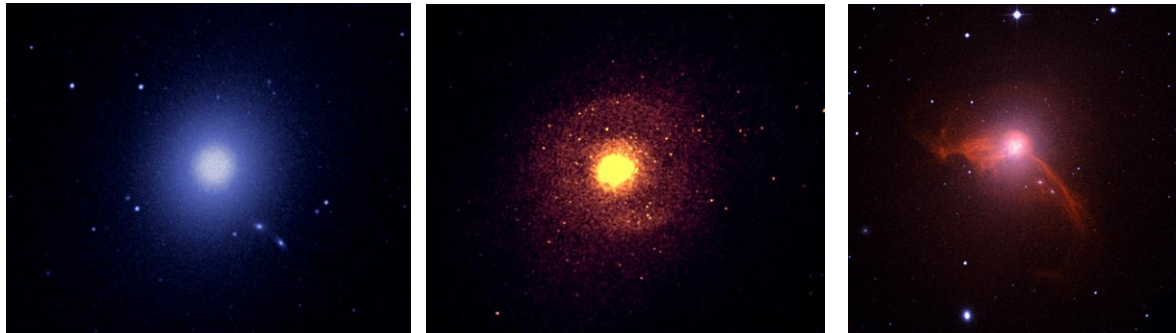
2) Θέρμανση και αποβολή του αερίου από μελανές οπές/AGNs

Μία περαιτέρω θέρμανση ή/και αποβολή του κρύου γαλαξιακού αερίου μπορεί να επιτευχθεί από την παρουσία των μελανών οπών στα κέντρα των μαζικών γαλαξιών.

Ο AGN που μπορεί να σχηματιστεί από την προσάυξηση αερίου στην κεντρική μελανή οπή, είναι δυνατόν, καθώς εκλύει ενέργεια στο περιβάλλον του, να θερμάνει ή/και να απομακρύνει το γαλαξιακό αέριο από το γαλαξία (McNamara et al. 2006).

Ένα παράδειγμα της παραπάνω σύνδεσης μεταξύ των κεντρικών μελανών οπών με τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας αποτελεί και η περίπτωση του ελλειπτικού γαλαξία M87. Το 2006, το τηλεσκόπιο ακτίνων X Chandra, ανακάλυψε γιγαντιαίους βρόγχους και δακτυλίους στο θερμό αέριο που περιβάλλει τον M87, ενδεικτικό της δραστηριότητας της κεντρικής του μελανής οπής (βλ. Σχήμα 6.1), η οποία θεωρείται ότι προκαλεί περιοδικές εκτοξεύσεις ύλης κάθε μερικά Myr.

Η περιοδική έκλυση ενέργειας από τη μελανή οπή θεωρείται ότι θερμαίνει το αέριο το οποίο υπάρχει στο γαλαξία και είναι υπεύθυνη για τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας και τη μορφολογία ελλειπτικού τύπου του M87 (Ghizzardi et al. 2004).



Σχήμα 6.1. **Αριστερά:** ο ελλειπτικός γαλαξίας M87 στο οπτικό (DSS). **Μέση:** ο M87 στις ακτίνες X υψηλής ενέργειας από το Chandra. Φαίνεται ένας εξωτερικός δακτύλιος ενδεικτικός της δραστηριότητας της κεντρικής μελανής οπής. **Δεξιά:** Δύο γιγαντιαίοι πίδακες θερμού αερίου του M87 στις ακτίνες X χαμηλής ενέργειας από το Chandra.

3) Γαλαξιακές συγκρούσεις

Οι γαλαξιακές αλληλεπιδράσεις είναι επίσης δυνατό να προκαλέσουν θέρμανση ή και αποβολή του αερίου από το γαλαξιακό δίσκο. Το φαινόμενο της αποβολής αερίου λόγω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων (tidal stripping) συναντάται συχνά σε νάνους γαλαξίες-δορυφόρους.

Ο μηχανισμός κατά τον οποίο οι δισκοειδείς γαλαξίες μετατρέπονται, μέσω συγχωνεύσεων, σε ελλειπτικούς, είναι αρκετά διαδεδομένος. Η διακοπή της αστρικής δημιουργίας που μπορεί να επακολουθήσει μετά από μια τέτοια διαδικασία, μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δημιουργίας ενός AGN στο κέντρο του γαλαξία που θα δημιουργηθεί, αλλά και μέσω της θέρμανσης του αερίου από τους αστρικούς ανέμους που συνοδεύουν την έντονη αστρική δημιουργία κατά τη διάρκεια της συγχώνευσης.

4) Βαρυτική ευστάθεια του δίσκου

Το 2009 οι Martig et al. πρότειναν έναν θεωρητικό μηχανισμό διακοπής της αστρικής δημιουργίας, ο οποίος δεν απαιτεί την αποβολή του αερίου ή την παρουσία AGN, ενώ δεν περιορίζεται στους πολύ μαζικούς γαλαξίες (με άλω μάζας $> 10^{12} M_{\odot}$). Ο μηχανισμός αυτός, βασίζεται στη βαρυτική ευστάθεια του γαλαξιακού δίσκου.

Δεδομένου πως για να δημιουργηθούν αστέρες, απαιτείται η ύπαρξη βαρυτικών ασταθειών στον αέριο γαλαξιακό δίσκο, η αστρική δημιουργία μπορεί να διακοπεί, αν ο δίσκος αποκτήσει βαρυτική ευστάθεια, για παράδειγμα, μέσω της ανάπτυξης του bulge εις βάρος του δίσκου, καθώς παρατηρήσεις δείχνουν πως γαλαξίες με μεγάλο λόγο B/D

(bulge/disk) έχουν λιγότερα αποδοτικό ρυθμό αστρικής δημιουργίας (SFR) σε σχέση με τους δισκοειδείς.

Η ευστάθεια ενός γαλαξιακού δίσκου καθορίζεται από τη γνωστή παράμετρο Q του Toomre:

$$Q = \frac{\kappa \sigma}{\epsilon G \Sigma}$$

όπου σ είναι η διασπορά των ταχυτήτων στο δίσκο, κ η επικυκλική συχνότητα, η οποία καθορίζεται από τη μορφή της γωνιακής ταχύτητας $\Omega(r)$ και Σ η επιφανειακή πυκνότητα του δίσκου. Ο παράγοντας ϵ είναι 3.36 για αστρικούς δίσκους και π για ρευστούς (αέριους δίσκους).

Ένας γαλαξιακός δίσκος χαρακτηρίζεται ασταθής όταν $Q < 1$ και ευσταθής όταν $Q > 1$.

Ως πιο πρακτικό κριτήριο ευστάθειας του δίσκου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και αυτό των Hockney και Hohl (1969), σύμφωνα με το οποίο εάν η διασπορά των ταχυτήτων στο δίσκο είναι περίπου 27% της ταχύτητας στα άκρα του, τότε αυτός θεωρείται ευσταθής.

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός θα μπορούσε να εξηγήσει την εμφάνιση γαλαξιών μικρής μάζας, χωρίς την παρουσία AGN στο κέντρο τους, οι οποίοι μπορούν να διαθέτουν μεγάλες ποσότητες αερίου στο δίσκο τους, αλλά η αστρική δημιουργία σε αυτούς έχει διακοπεί.

6.3 Προβληματισμοί για τους γαλαξίες τύπου QSFG

Οι περισσότεροι προταθέντες μηχανισμοί που ευθύνονται για τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας σε ένα γαλαξία, αφορούν κυρίως είτε γαλαξίες μεγάλης μάζας (με άλλη μάζας μεγαλύτερης των $10^{12} M_{\odot}$), ή αλληλεπιδρώντες γαλαξίες. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε πως η διακοπή της αστρικής δημιουργίας στους γαλαξίες QSFG ενδέχεται να αποτελεί παροδικό, και όχι μόνιμο φαινόμενο στην ηλικιακή εξέλιξη των γαλαξιών αυτών (αφορά χρονική διάρκεια έως 250 Myr), επομένως ενδέχεται η διαδικασία θέρμανσης του αερίου από τη μαζική άλω (η οποία μπορεί να διαρκέσει έως 2 Gyr περίπου) να αποτελεί πιθανή αιτία της προέλευσής τους. Θα πρέπει, λοιπόν, να εξεταστεί περαιτέρω εάν οι γαλαξίες QSFG του δείγματός μας ανήκουν σε αυτή την κατηγορία γαλαξιών.

Ο μηχανισμός κατά τον οποίο η ύπαρξη AGN μπορεί να θερμάνει ή και να αποβάλλει το κρύο γαλαξιακό αέριο, θα μπορούσε να εξηγήσει επίσης την παρουσία ενός μεγάλου ποσοστού (6%) AGNs στον πληθυσμό των γαλαξιών τύπου QSFG του δείγματος, σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό των υπόλοιπων τύπων.

Οι γαλαξίες QSFG της ημιεμπειρικής λίστας είναι, ομοίως, πιθανό να έχουν δημιουργηθεί μέσω μιας διαδικασίας επίτευξης βαρυτικής ευστάθειας του γαλαξιακού δίσκου. Παρ'όλο που η ανάλυση των γαλαξιακών τους προφίλ αναδεικνύει την παρουσία δίσκου σε αυτούς, ενώ η παραπάνω διαδικασία υπονοεί την ανάπτυξη του bulge εις βάρος του δίσκου, δεν αποκλείεται οι γαλαξίες QSFG να έχουν υψηλό λόγο B/D (bulge/disk). Θα πρέπει να σημειώσουμε πως η ανάλυση των γαλαξιών αυτών έγινε

κοντά στις πτέρυγες των προφίλ λαμπρότητάς τους, και εξαιτίας της μικρής τους λαμπρότητας, αποκλείσαμε ένα μεγάλο μέρος της κεντρικής τους περιοχής από την προσαρμογή, το οποίο θα μπορούσε να αποτελεί τη συνιστώσα ενός κυρίαρχου bulge. Με άλλα λόγια, οι γαλαξίες QSGF θα μπορούσαν να μοιάζουν μορφολογικά με γαλαξίες S0 ή σπειροειδείς γαλαξίες προγενέστερου τύπου (Sa), με μεγάλο λόγο B/D, ο οποίος να προκαλεί και τη διακοπή της αστρικής δημιουργίας. Αυτός θα μπορούσε να είναι και ο λόγος για τον οποίο η προσαρμογή των αλγορίθμων του SDSS, αν αυτοί θεωρούνται αξιόπιστοι, εμφανίζει προφίλ τύπου DeVaucouleurs στην πλειοψηφία των γαλαξιών τύπου QSGF (πάνω από 90%), μιας και οι αλγόριθμοι αυτοί περιλαμβάνουν και την κεντρική περιοχή του γαλαξία. Ο λόγος, βέβαια, για τον οποίο θα μπορούσε να αναπτυχθεί το bulge ή γενικότερα η επίτευξη της βαρυτικής ευστάθειας σε αυτούς τους γαλαξίες, εξακολουθεί να παραμένει ασαφής. Από την άλλη, μία ουσιαστική αντίφαση στον παραπάνω συλλογισμό είναι πως οι γαλαξίες S0 εμφανίζουν, εν γένει, φασματικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των ελλειπτικών γαλαξιών, και όχι με αυτά των QSGF γαλαξιών.

Όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί αναδεικνύουν μελλοντικούς προβληματισμούς για τη φύση και την προέλευση των γαλαξιών τύπου QSGF. Η εξέταση των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών μπορεί να εξεταστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια, εάν στη διαδικασία της φασματικής τους ταξινόμησης συμπεριληφθούν γαλαξίες με μεγαλύτερα μεγέθη, έτσι ώστε οποιαδήποτε ανάλυση να συνοδεύεται από οπτική μορφολογική ταξινόμηση.

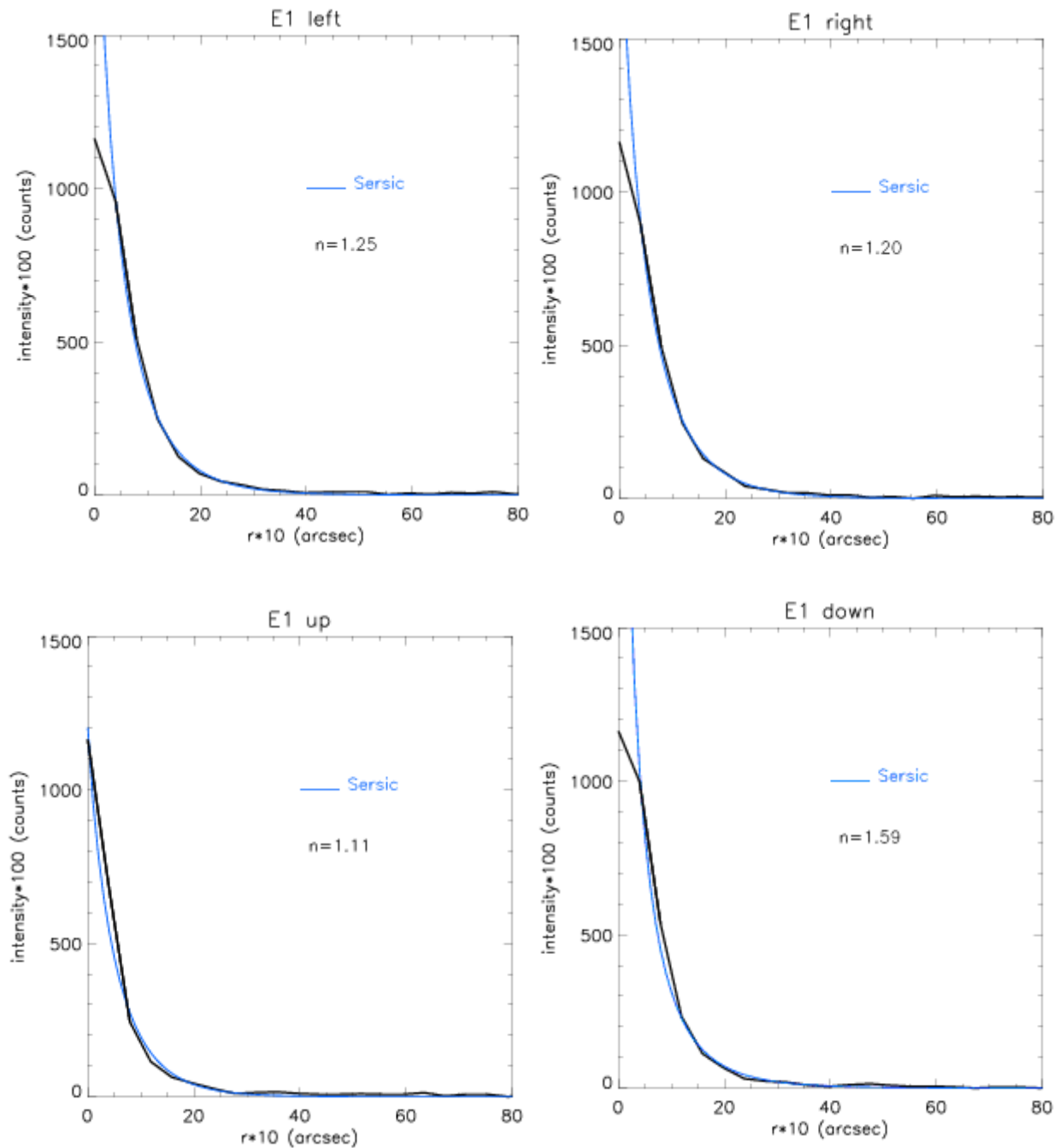
Η ανάλυση των προφίλ λαμπρότητας θα μπορούσε να γίνει ακόμη πιο ακριβής, εάν συμπεριληφθεί η επίδραση του seeing και η προσαρμογή του νόμου του Sersic να αφορά τουλάχιστον δύο συνιστώσες (bulge+disk), έτσι ώστε να ελέγξουμε την πιθανότητα οι γαλαξίες QSGF να μοιάζουν μορφολογικά με τους γαλαξίες S0.

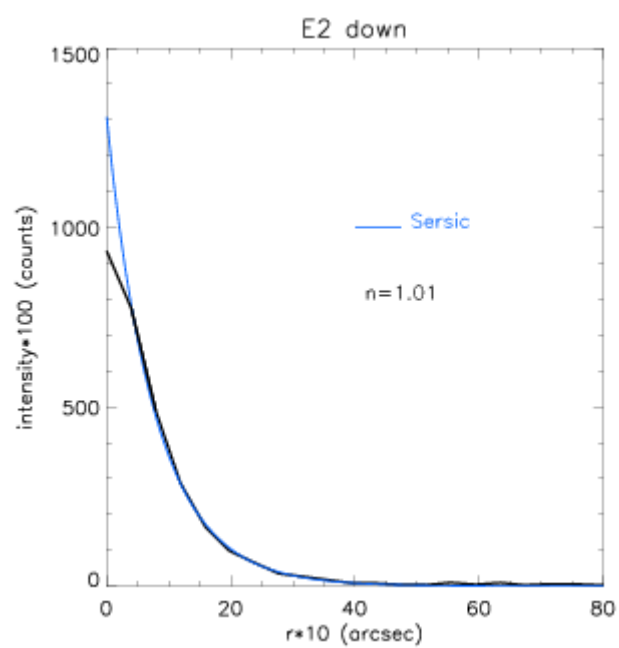
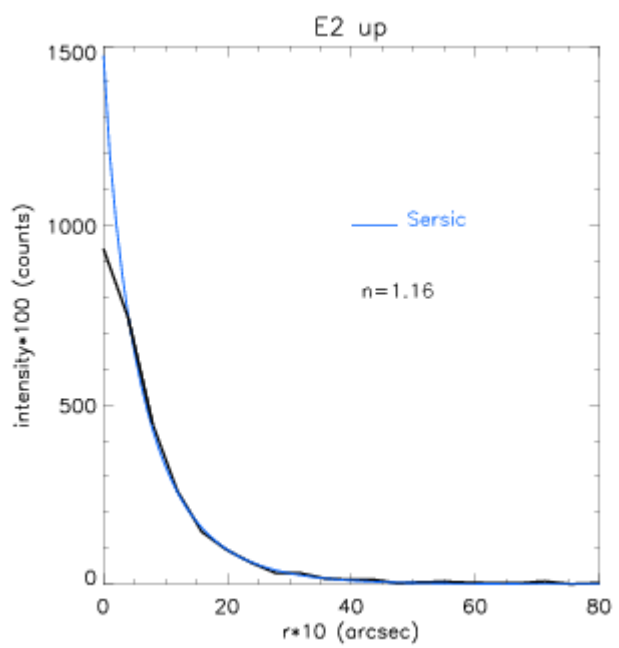
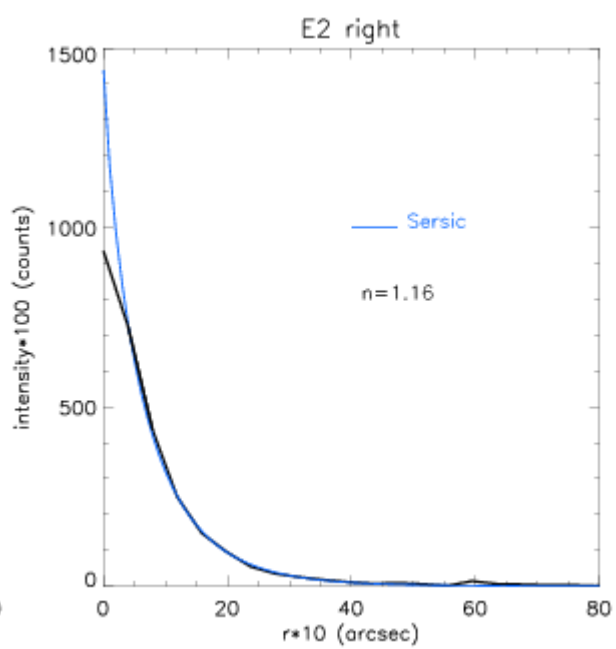
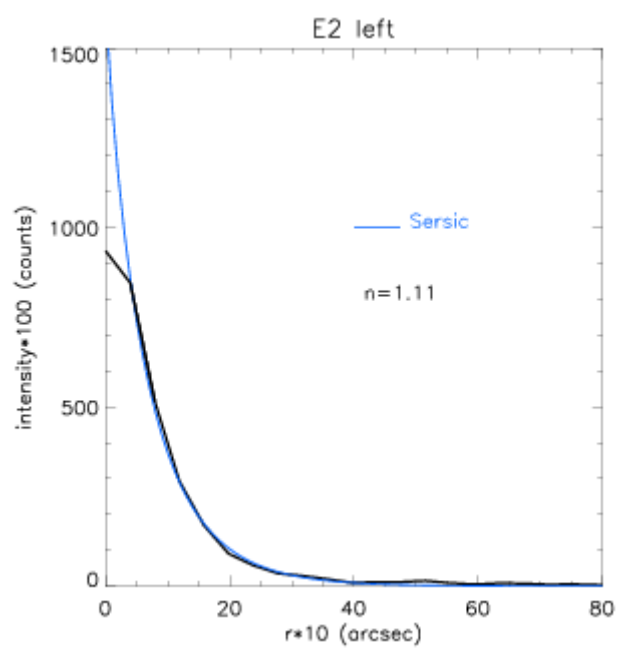
Η προέλευση της διακοπής της αστρικής δημιουργίας θα μπορούσε να μελετηθεί από την ανάλυση της μάζας της άλου, τη μελέτη ύπαρξης κεντρικών μελανών οπών στους γαλαξίες αυτούς, αλλά και τη διερεύνηση της πιθανότητας να προέρχονται από γαλαξιακές αλληλεπιδράσεις. Τέλος, για τον έλεγχο του μηχανισμού επίτευξης βαρυτικής ευστάθειας (Martig et al. 2009) στο γαλαξιακό δίσκο ως υπεύθυνο για την προέλευση των γαλαξιών τύπου QSGF, κρίνεται σκόπιμος ο προσδιορισμός των παραμέτρων Toomre, και επομένως η μελέτη της κινηματικής τους.

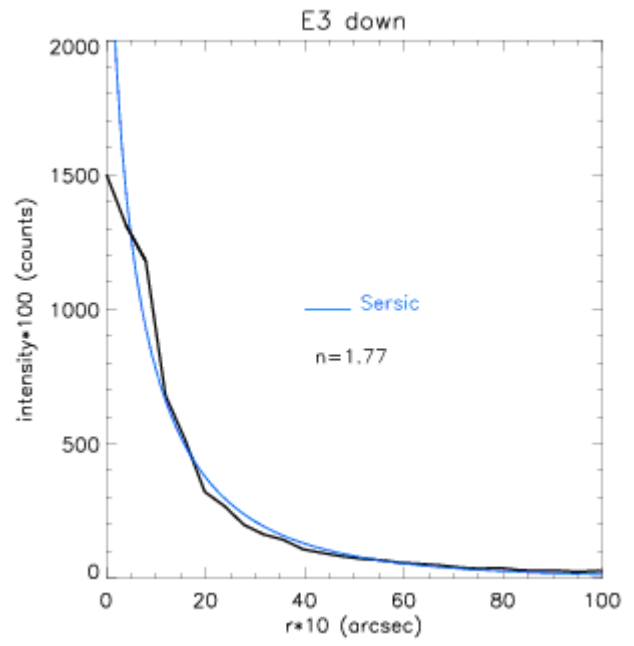
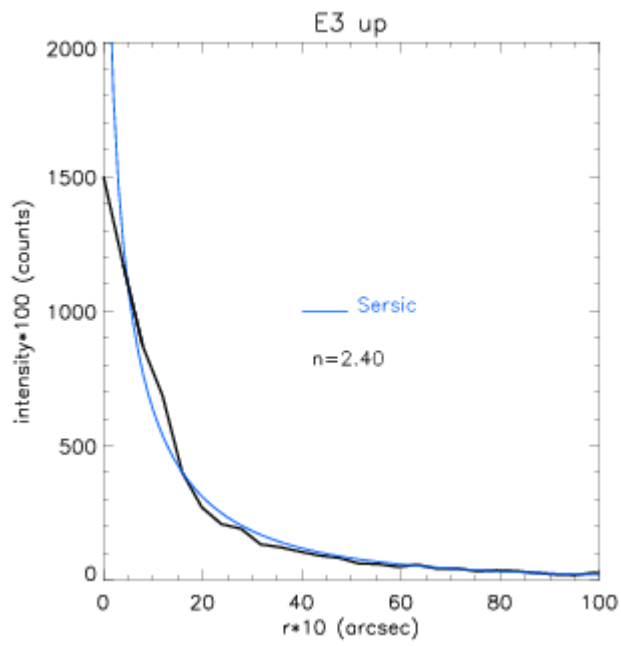
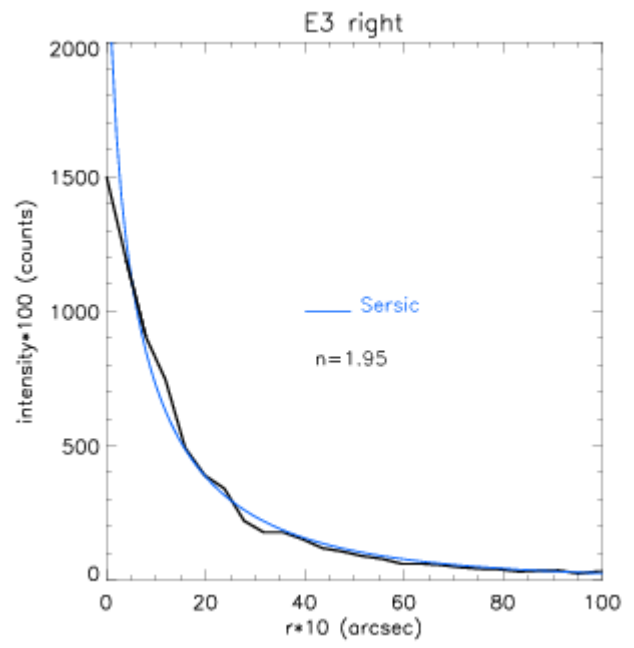
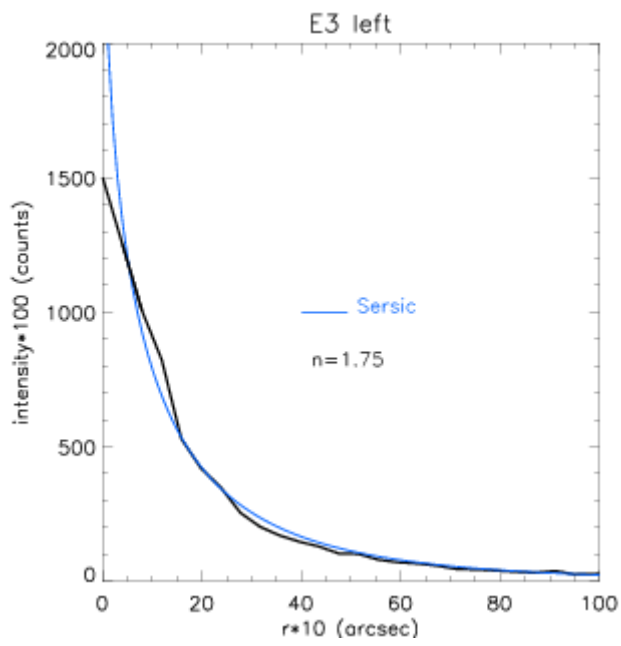
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

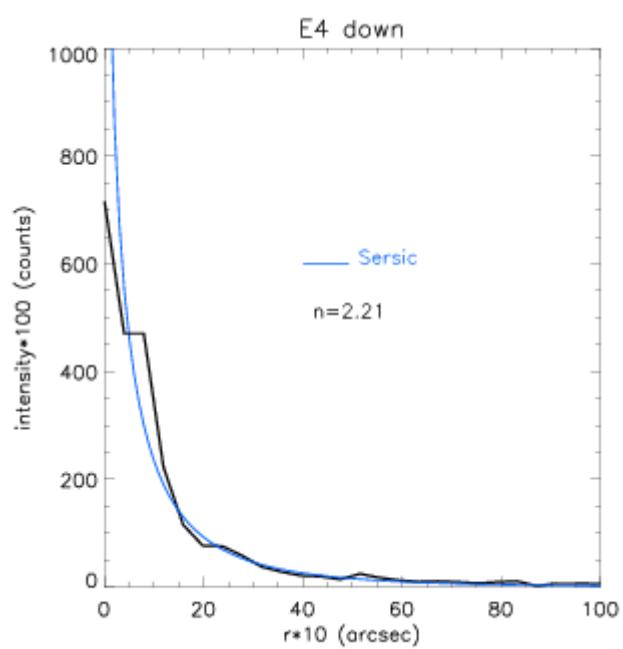
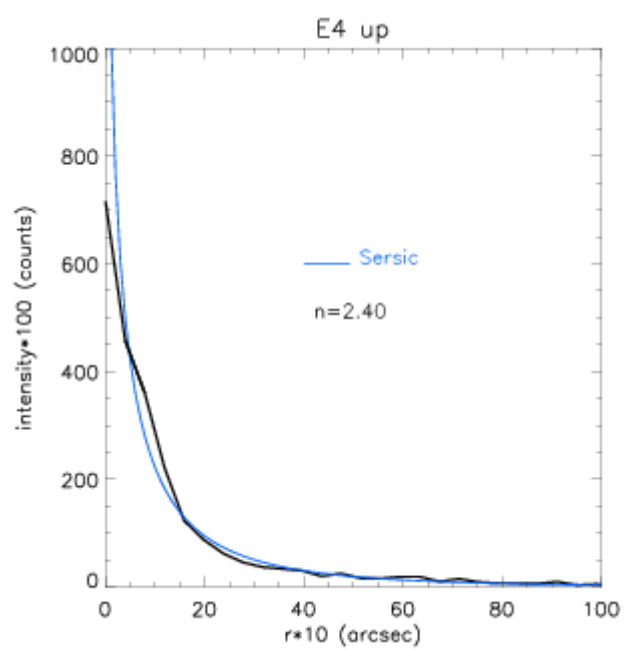
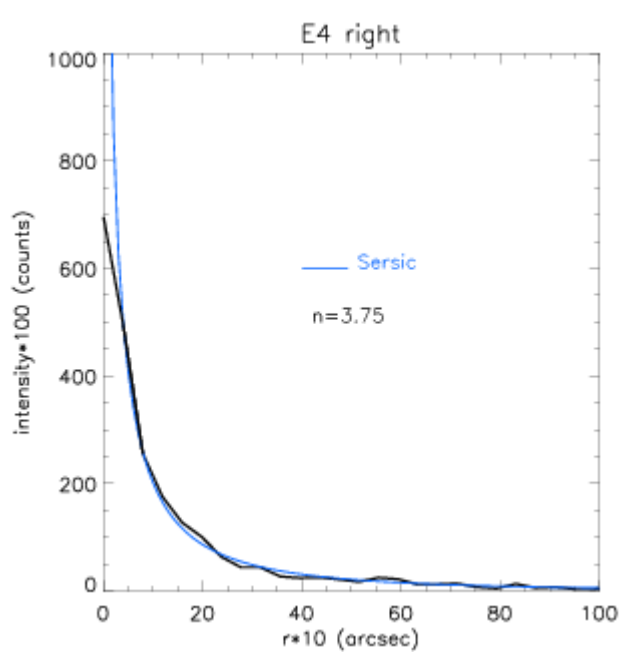
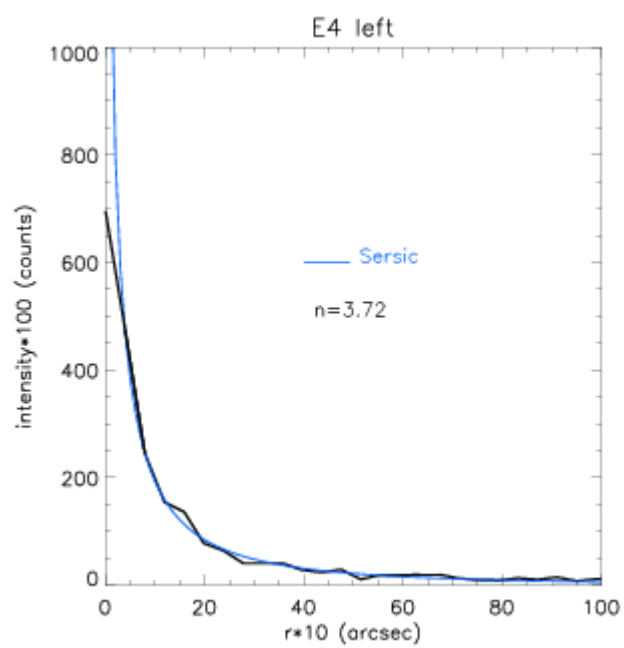
Προσαρμογή του νόμου του Sersic στα γαλαξιακά προφίλ

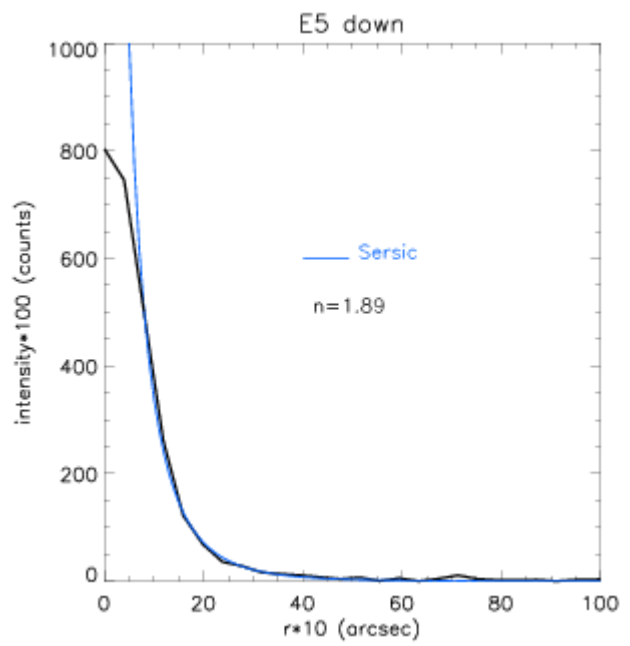
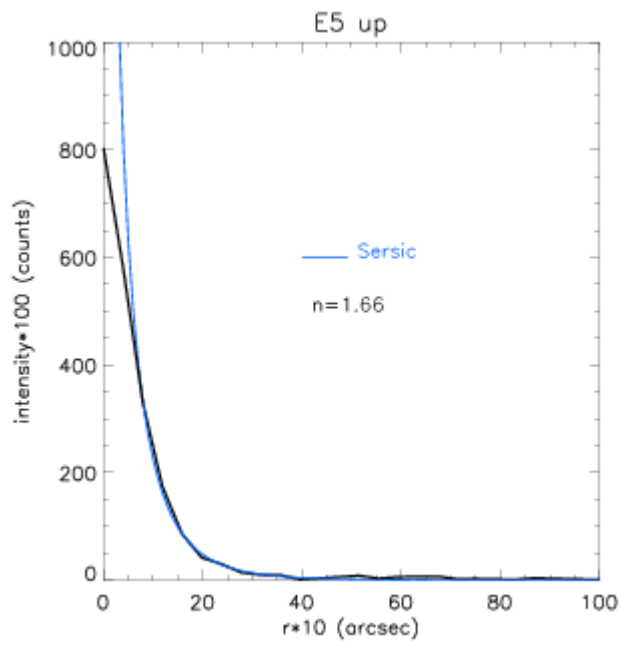
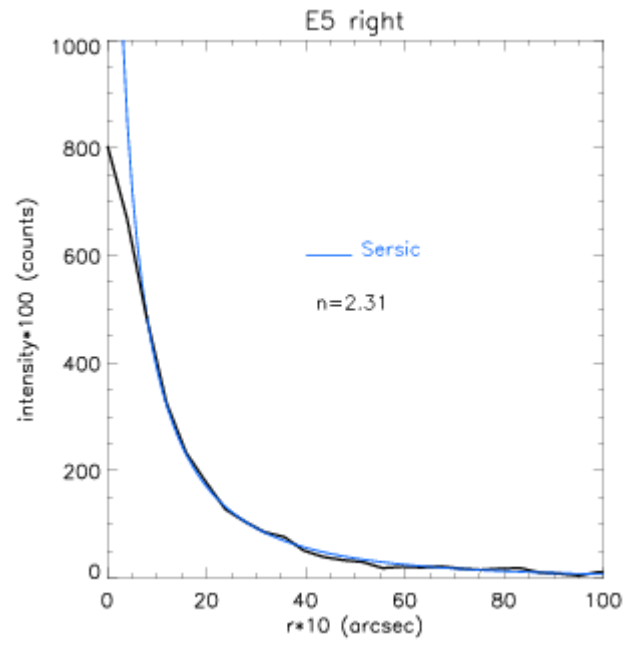
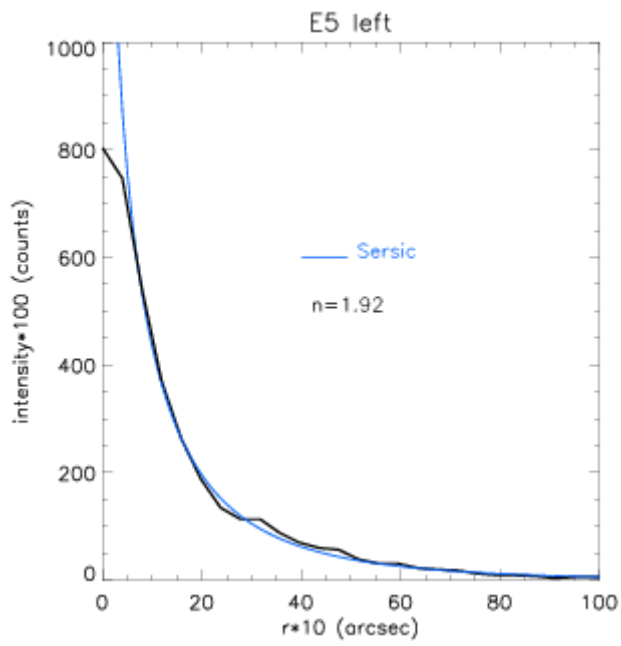
A.1 Γαλαξίες προγενέστερου τύπου από το δείγμα της ημιεμπειρικής βιβλιοθήκης

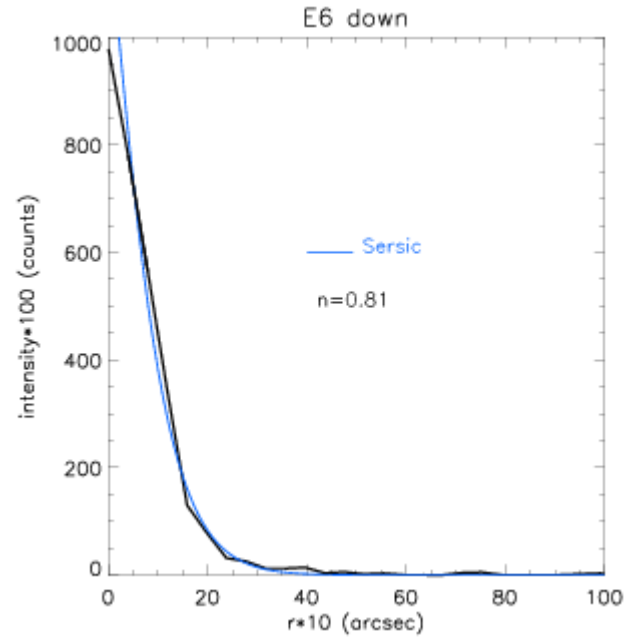
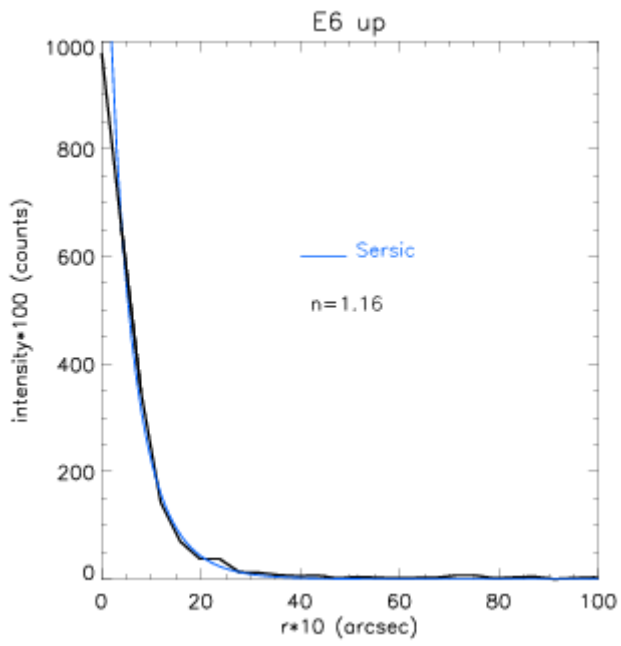
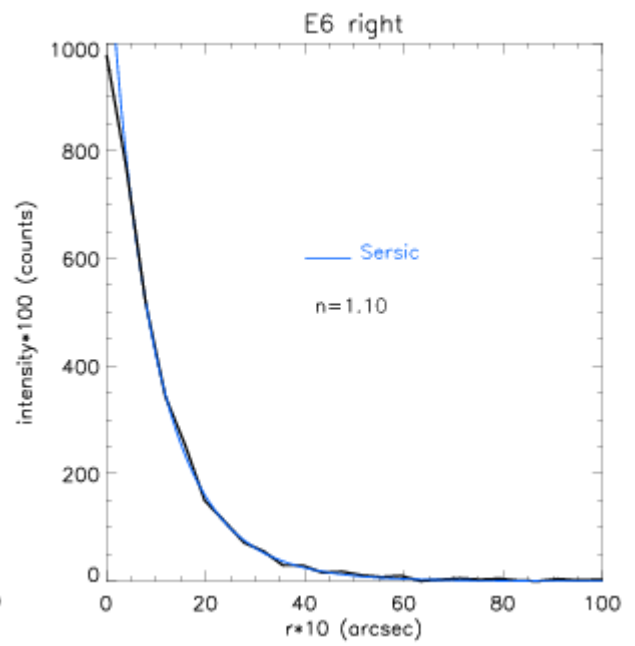
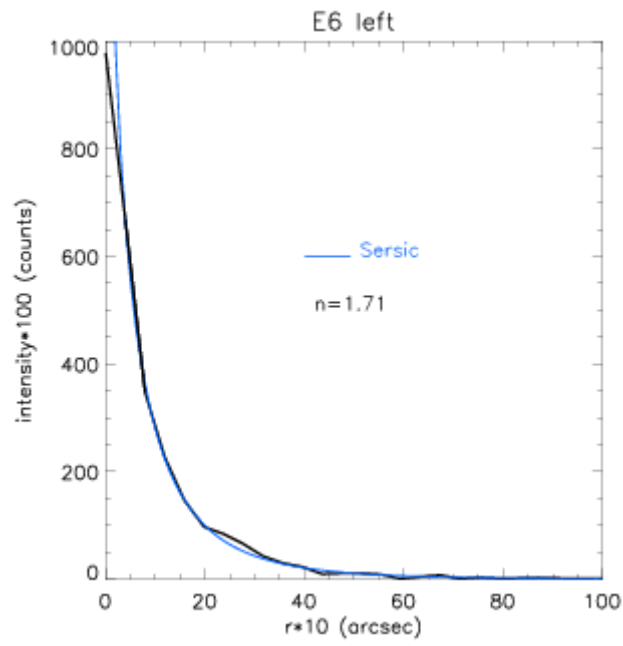


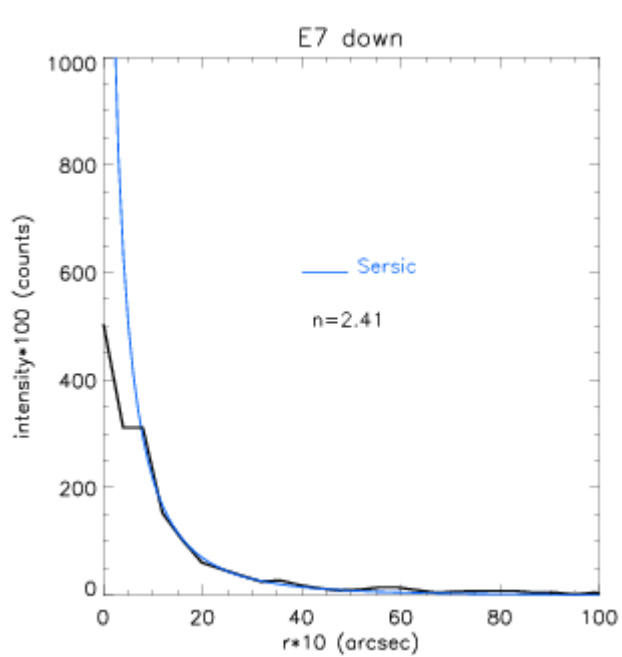
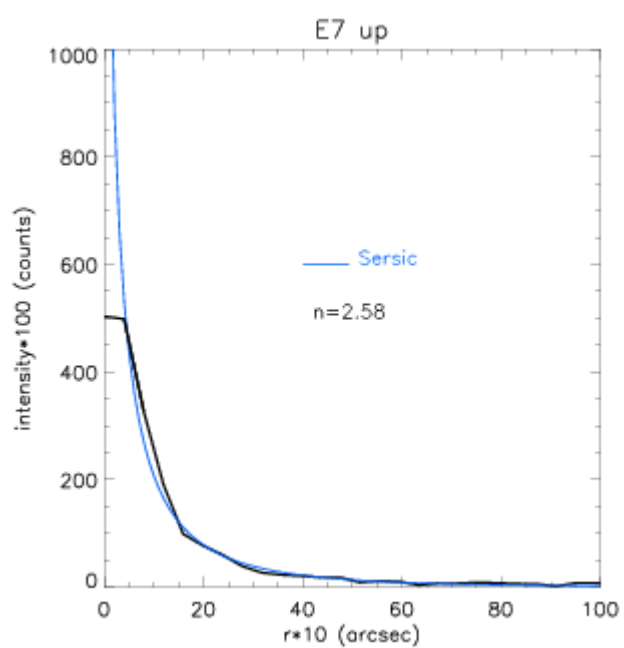
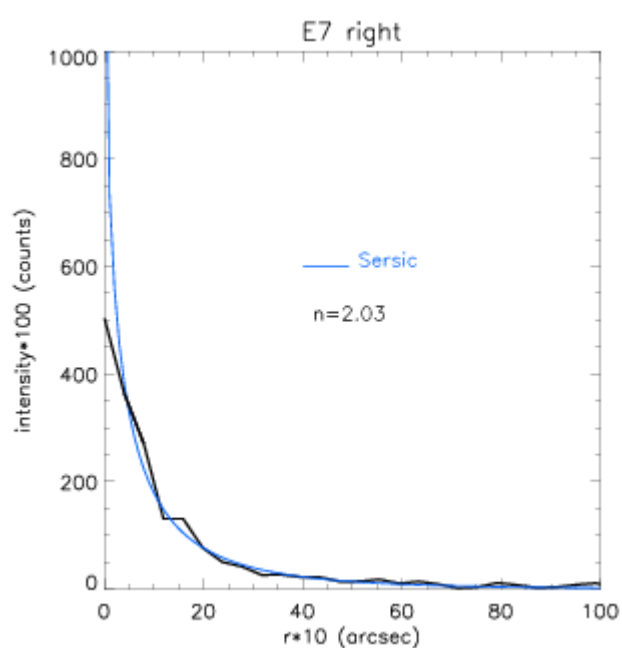
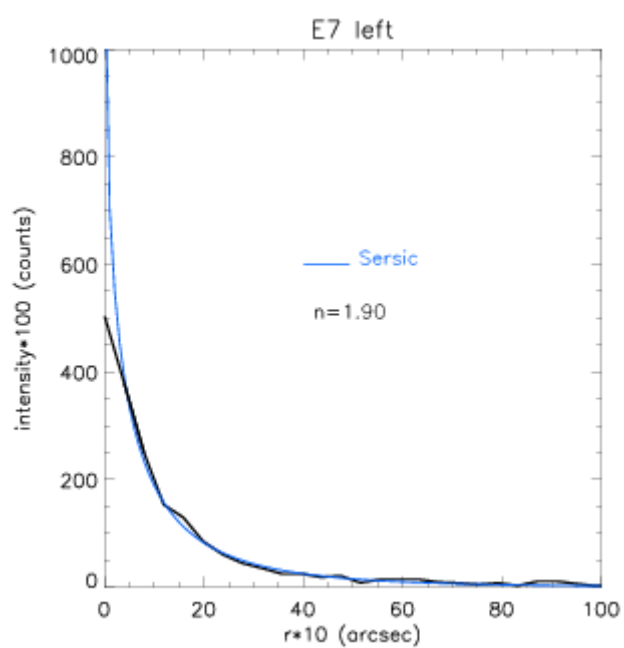


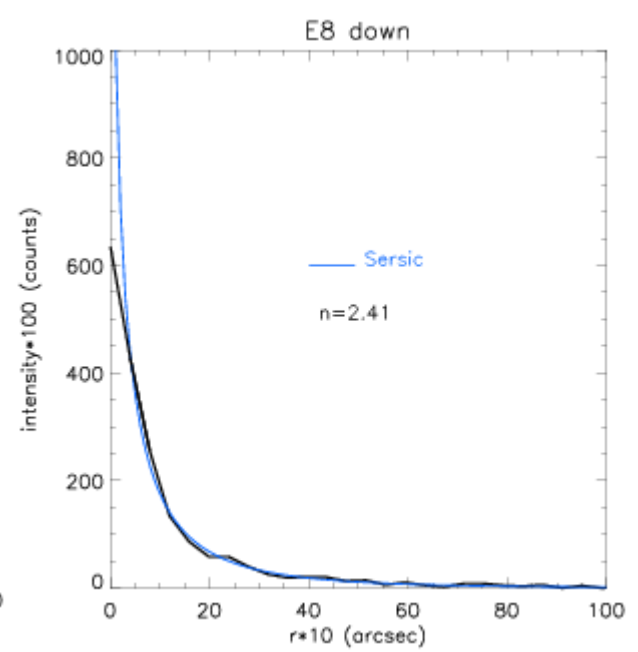
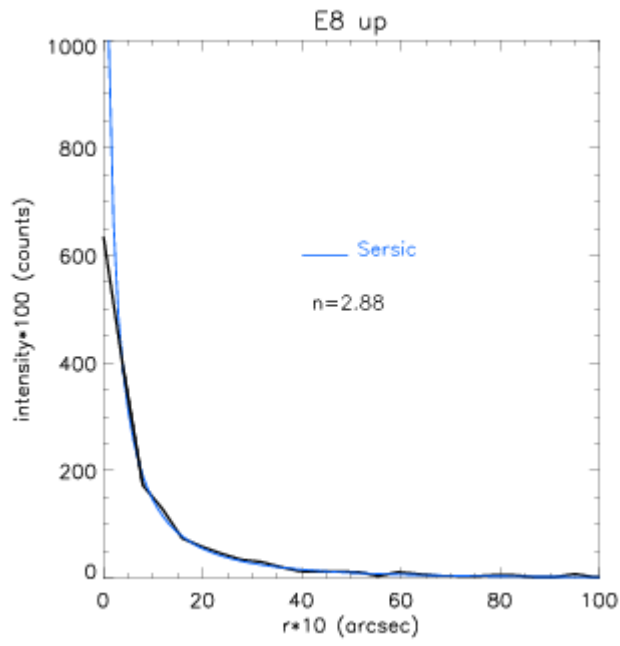
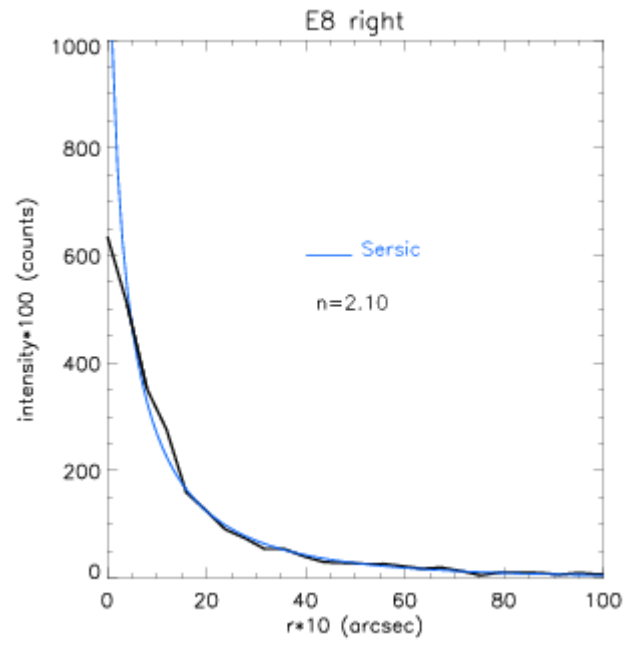
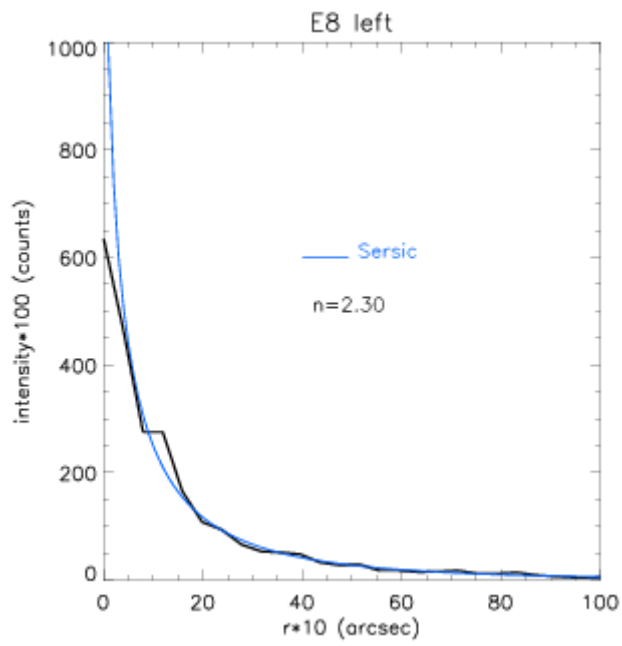


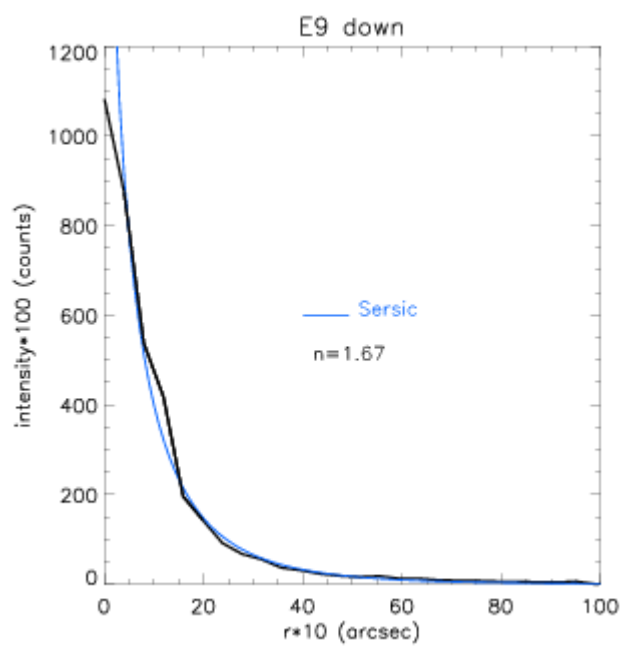
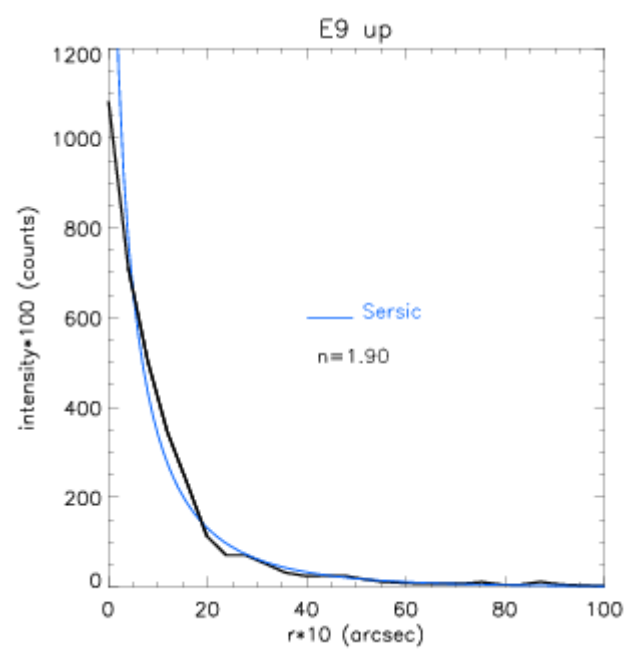
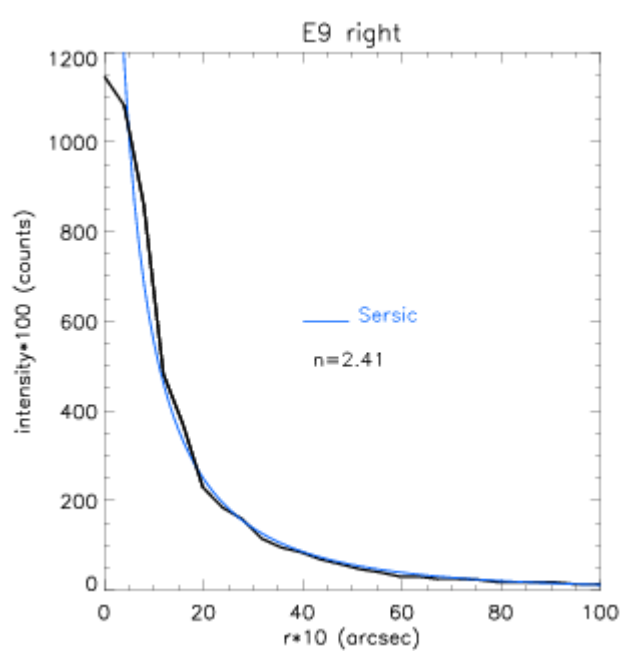
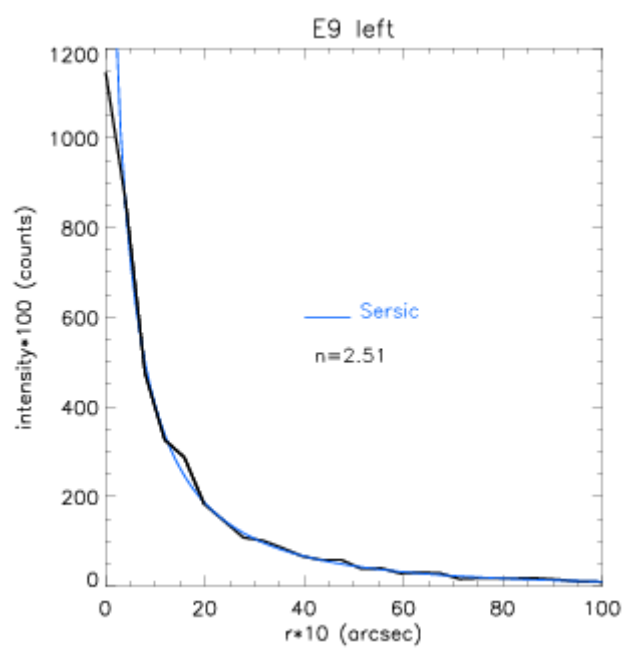


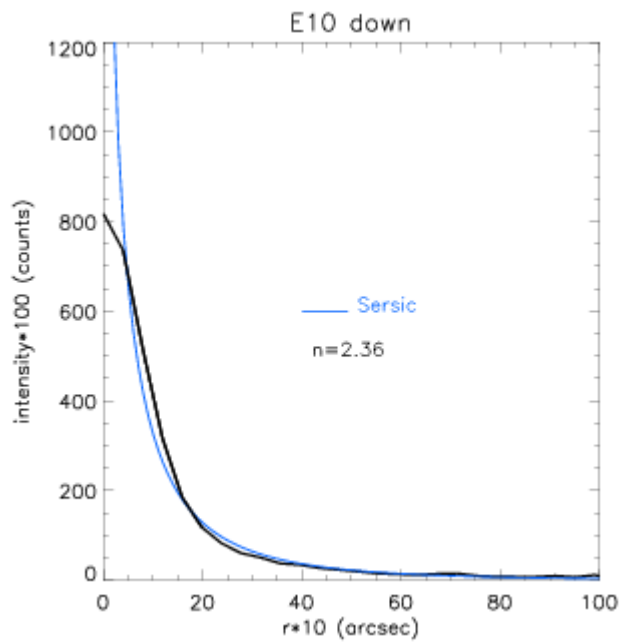
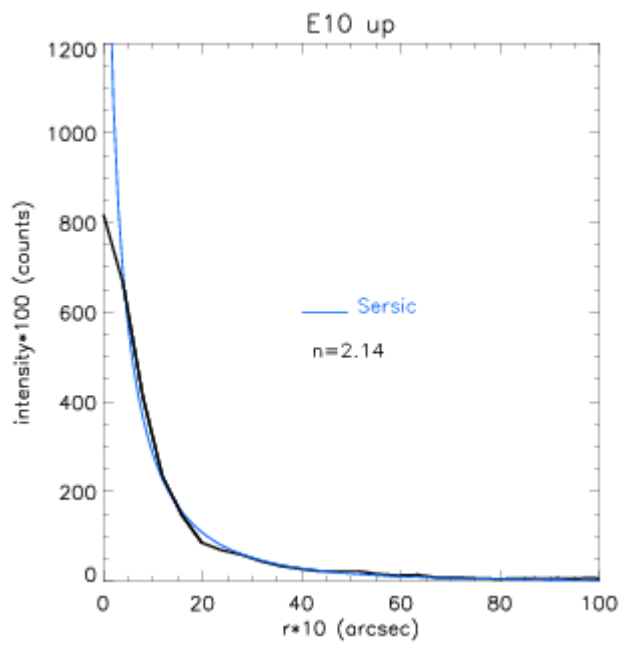
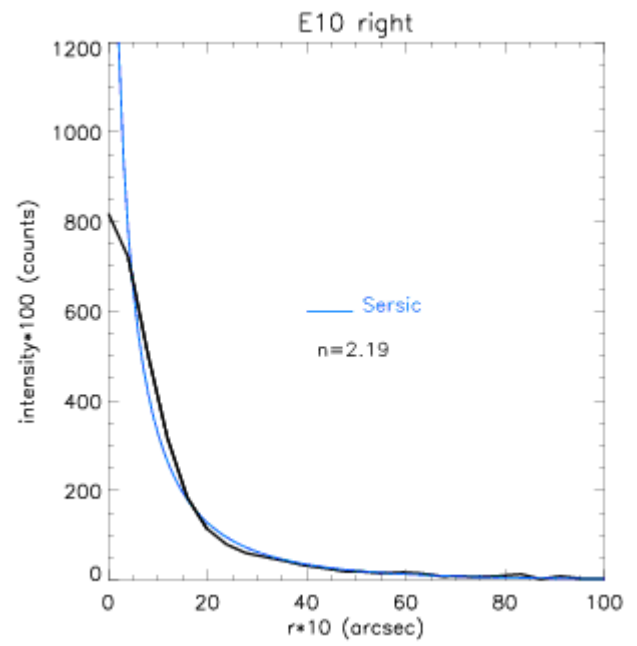
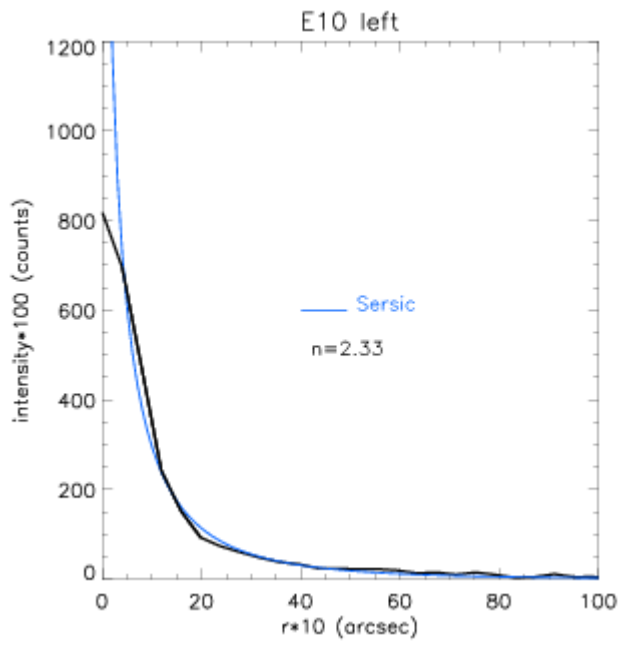




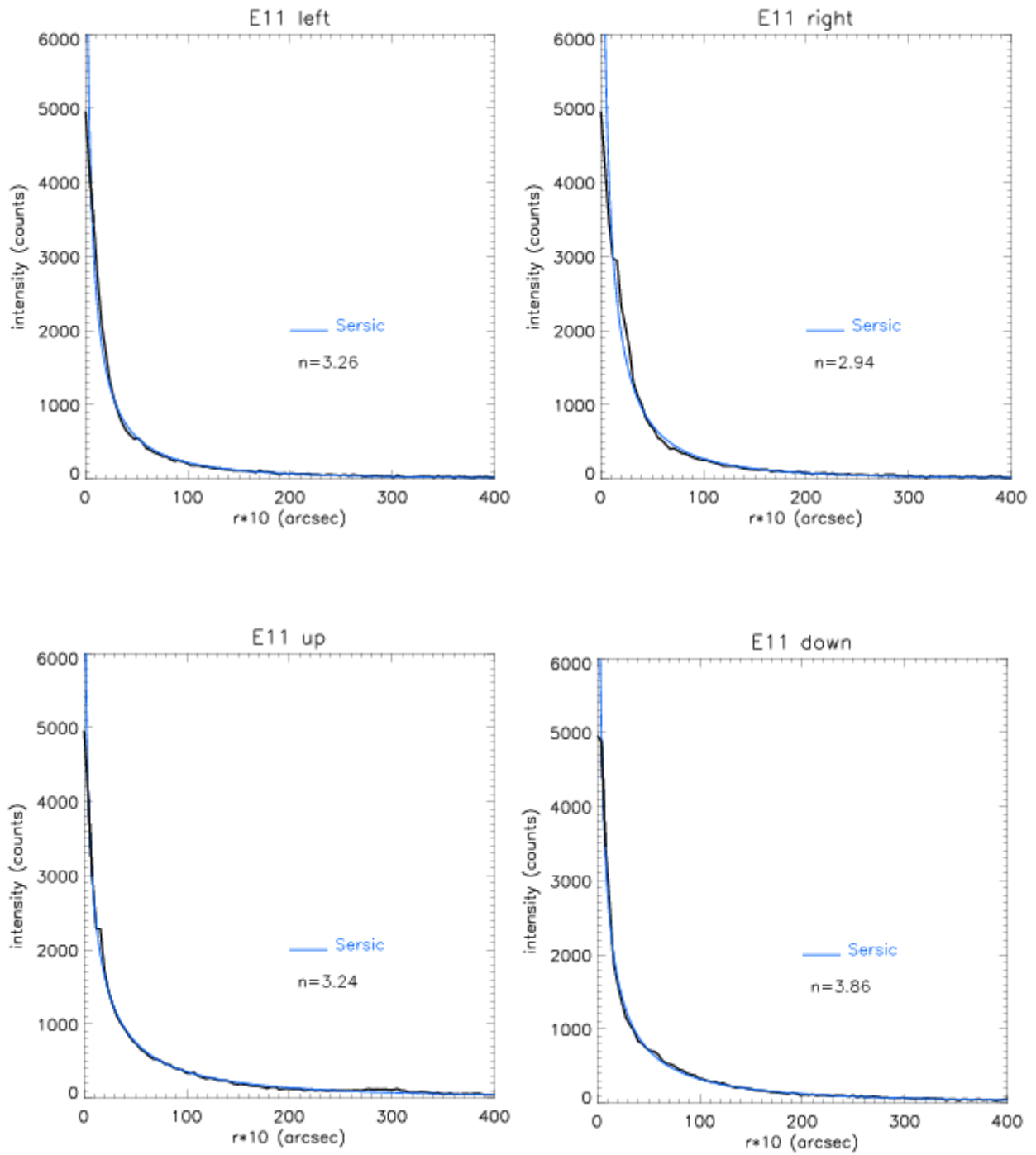


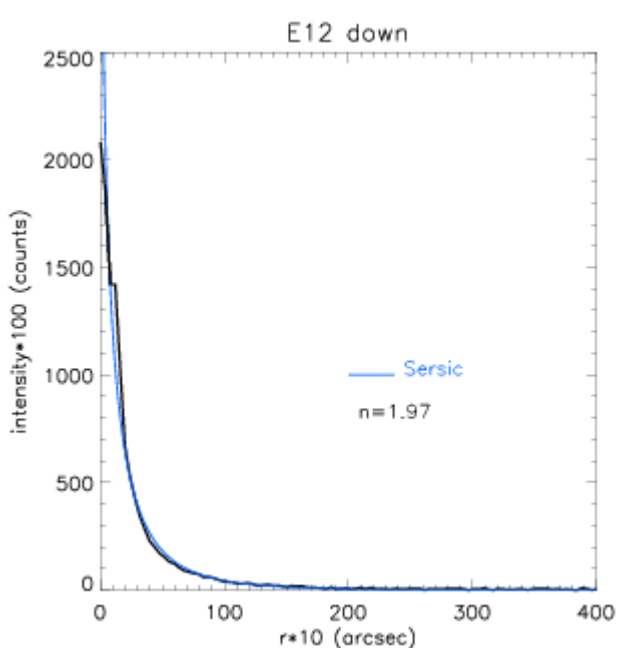
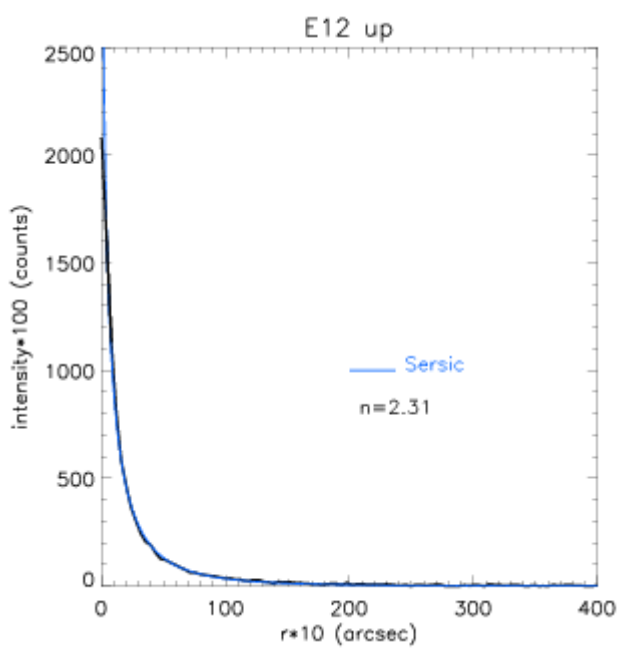
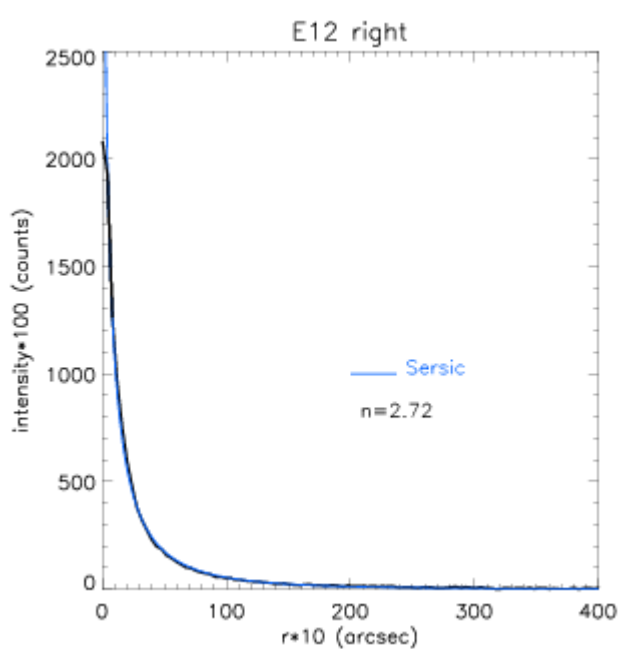
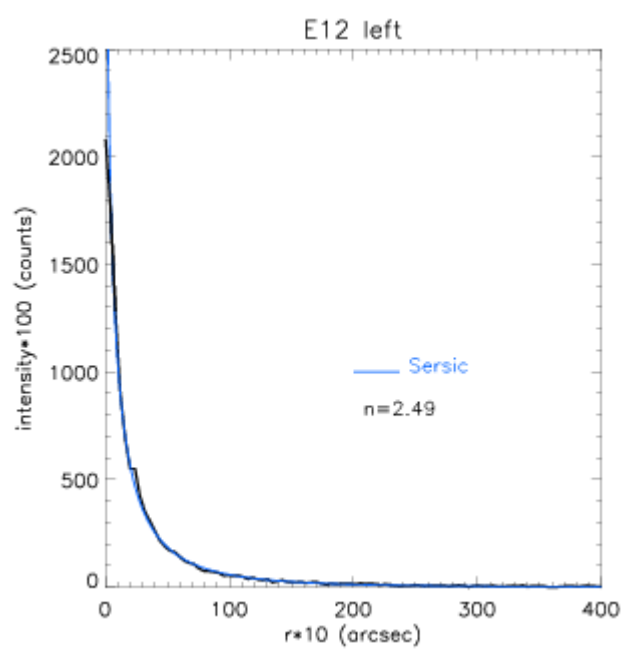


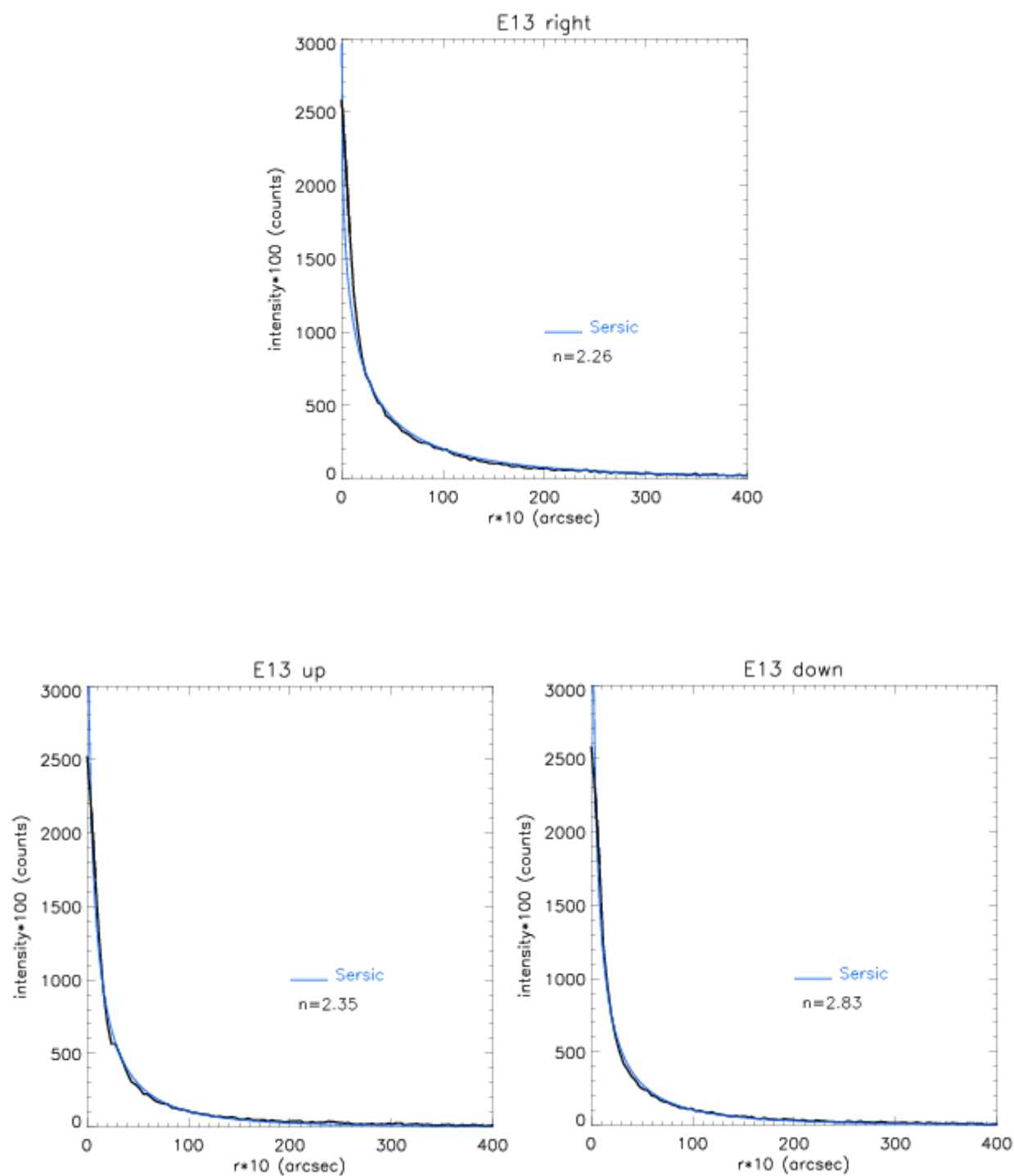




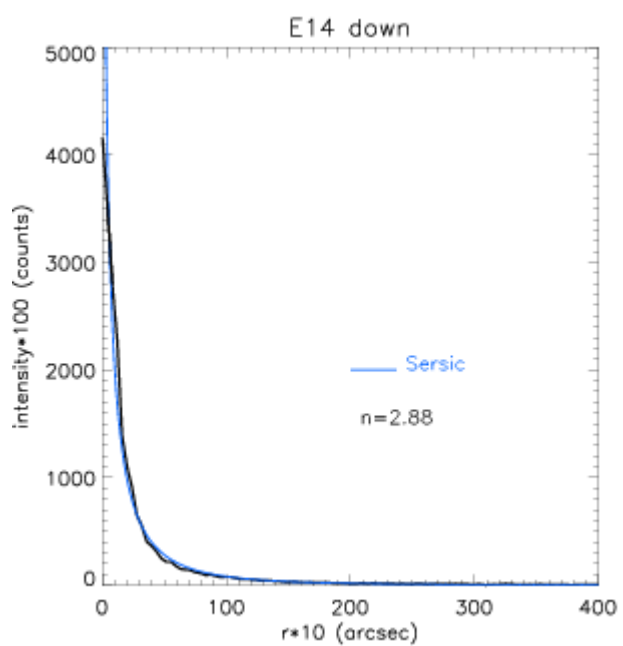
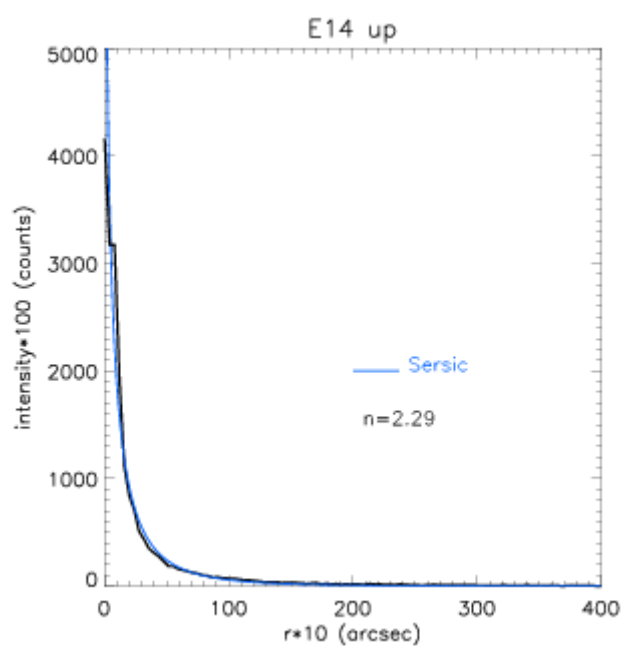
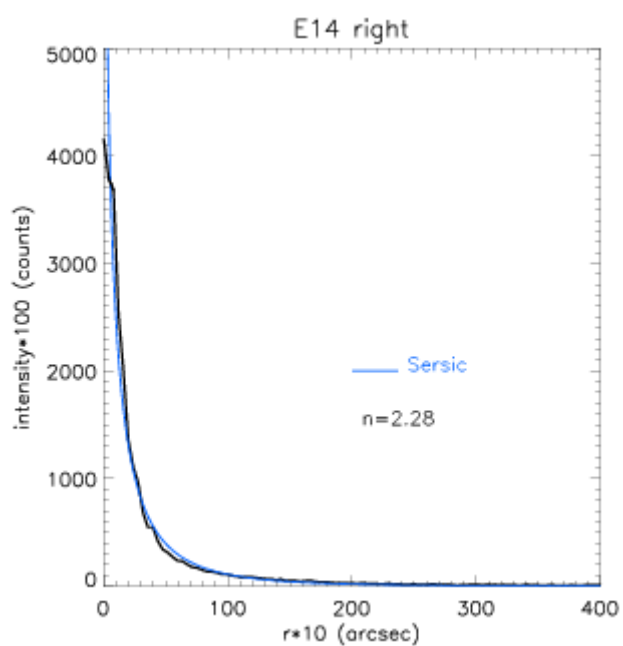
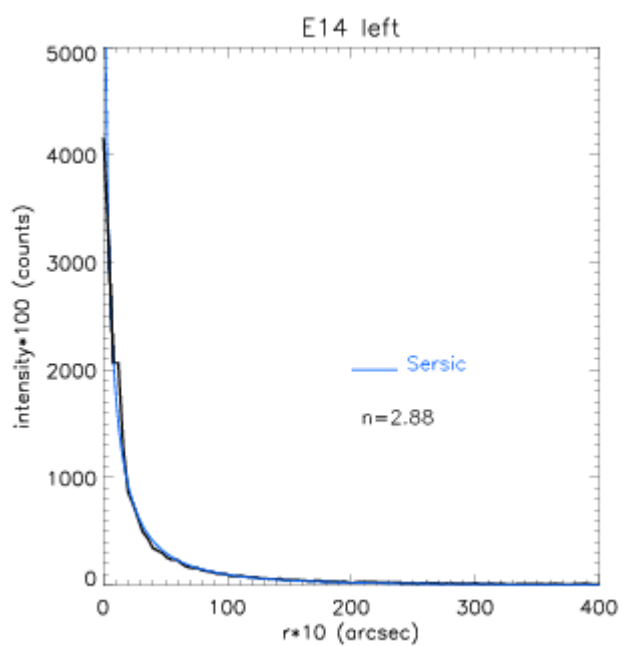
A.2. Γαλαξίες προγενέστερου τύπου από το SDSS

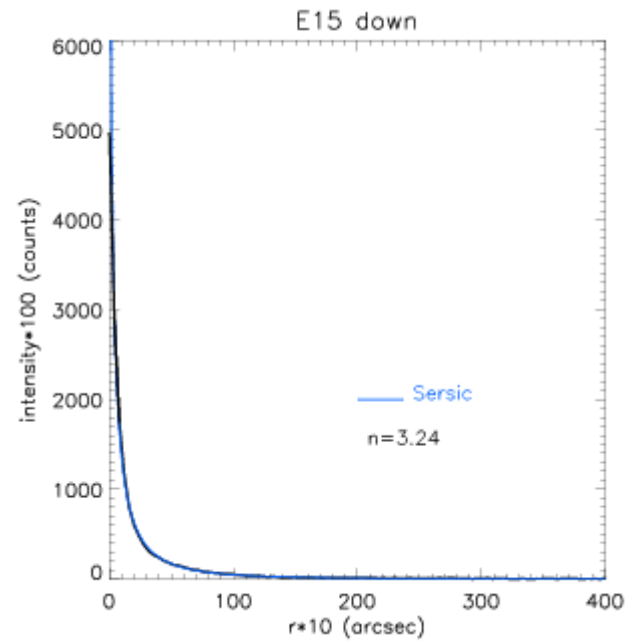
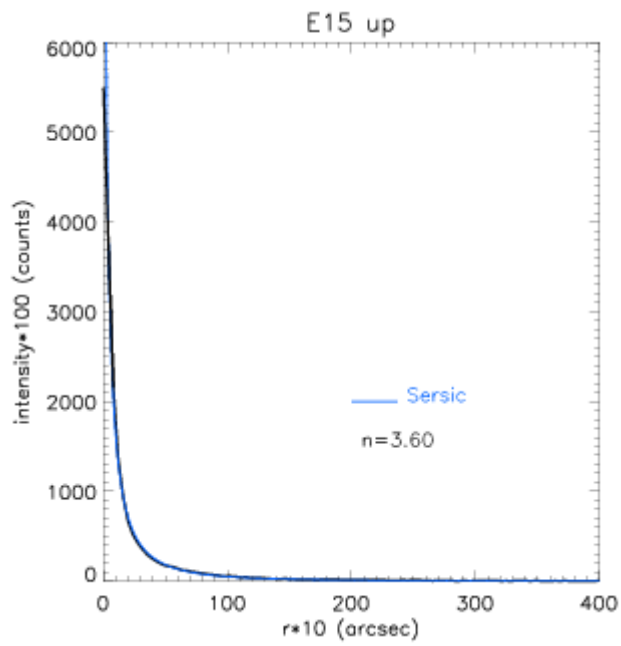
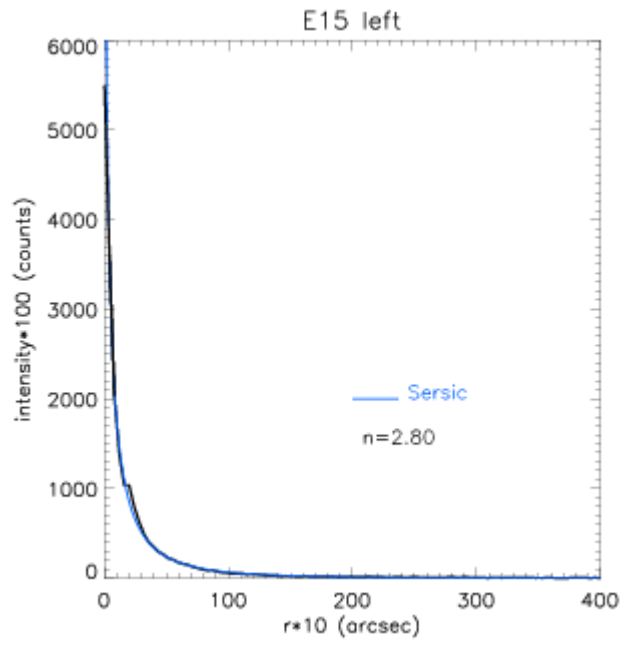
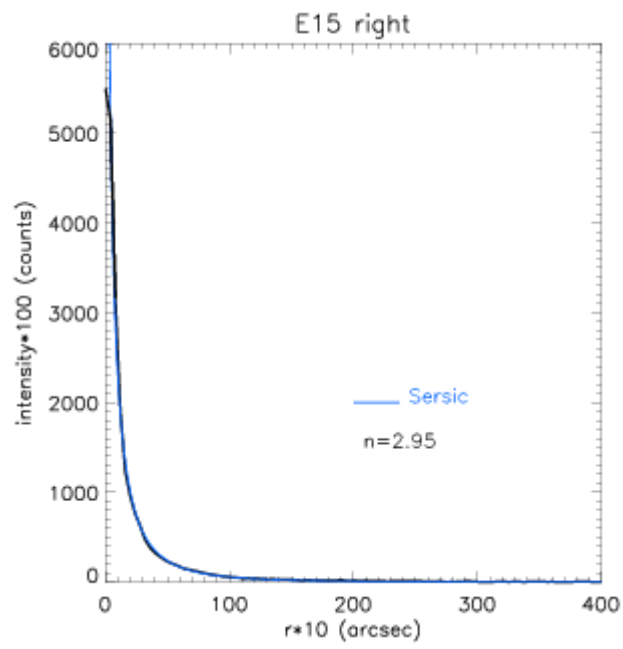


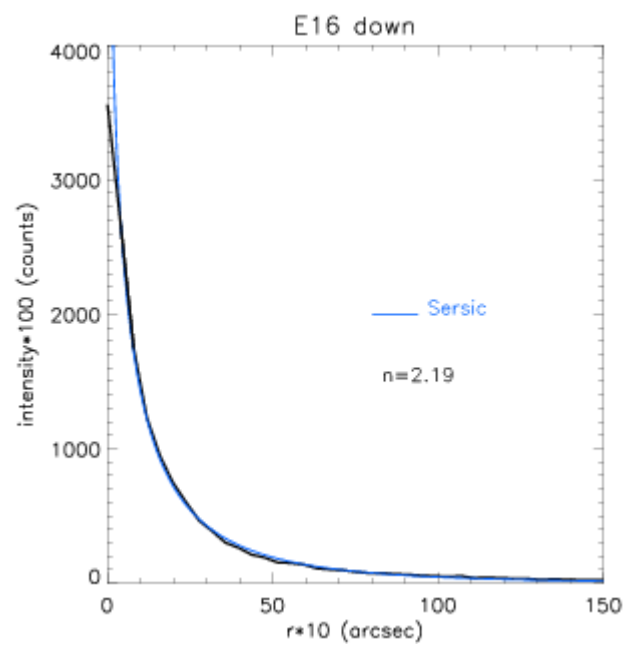
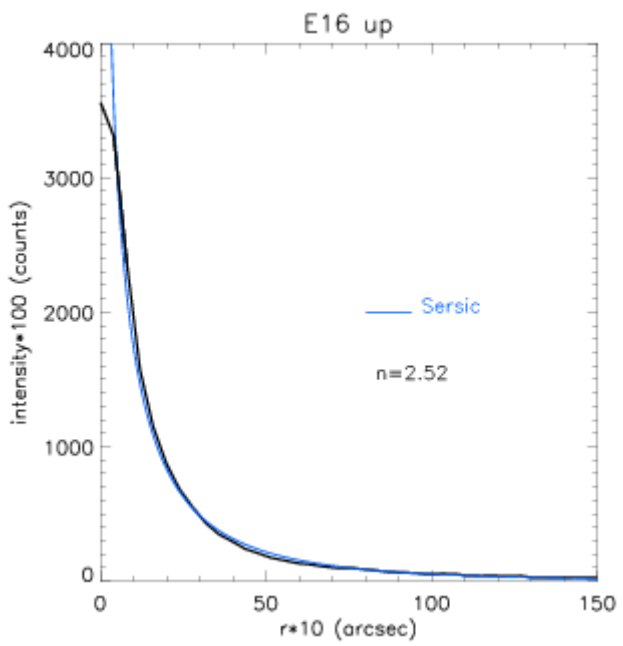
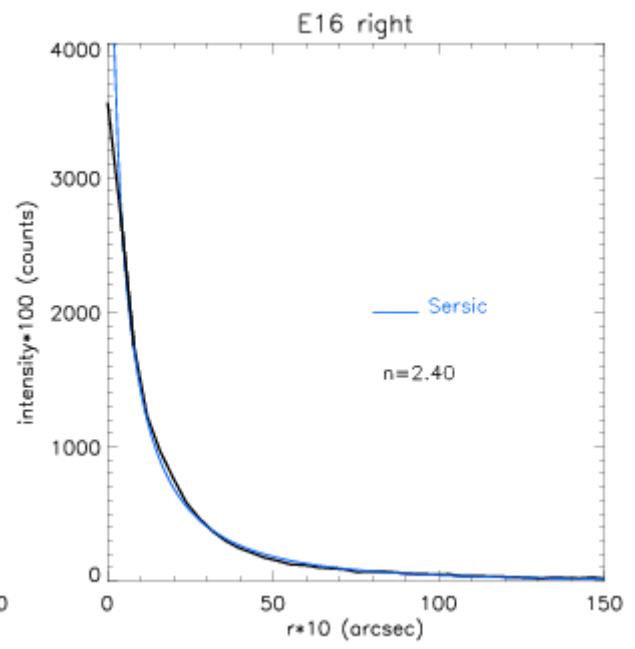
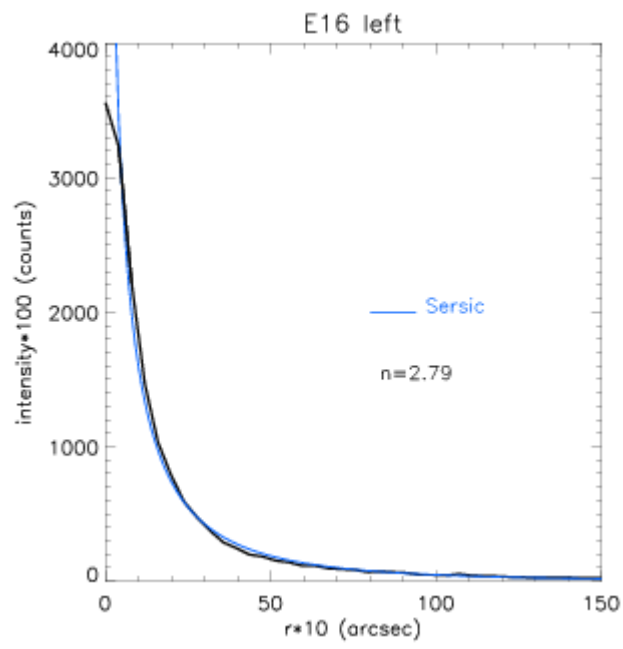


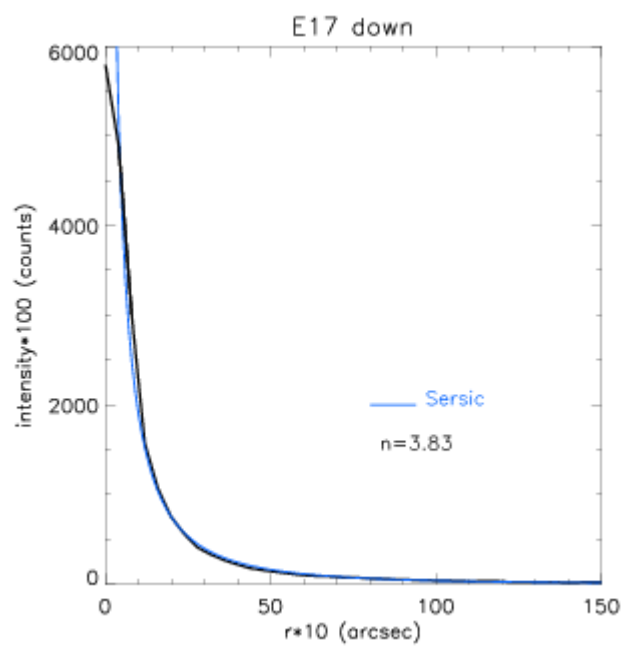
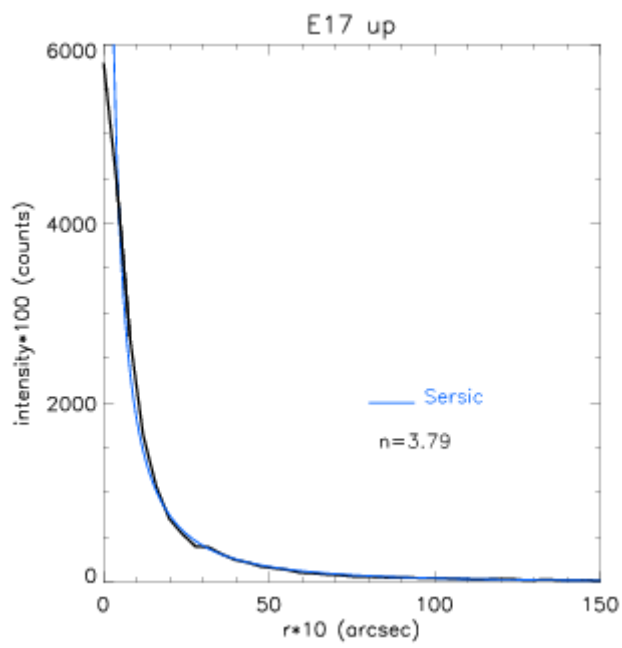
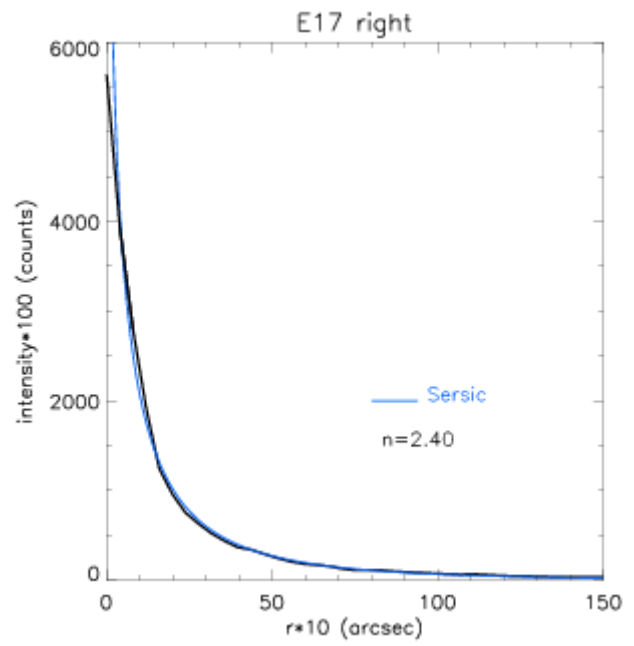
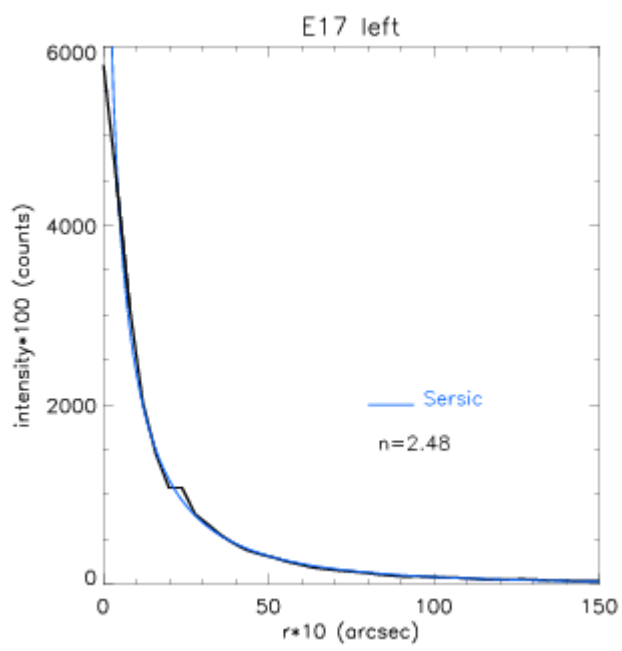


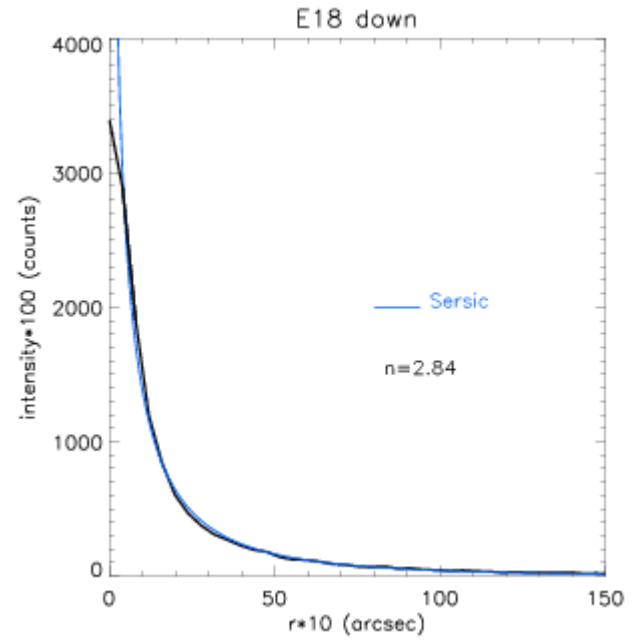
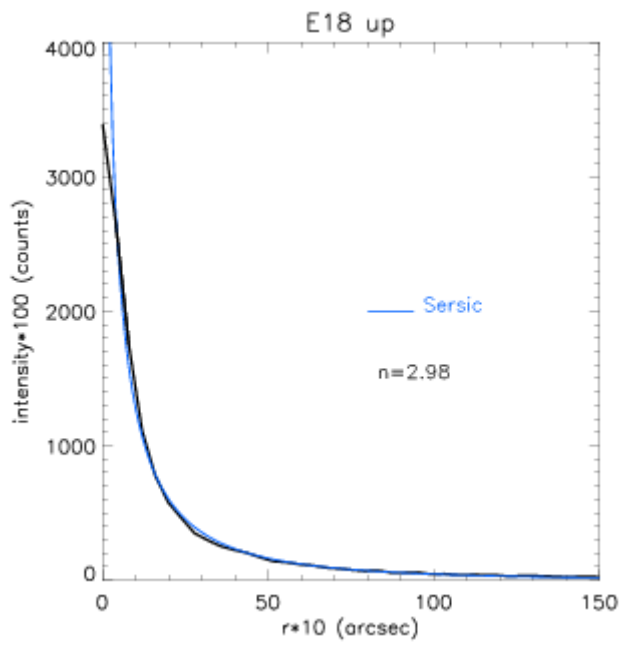
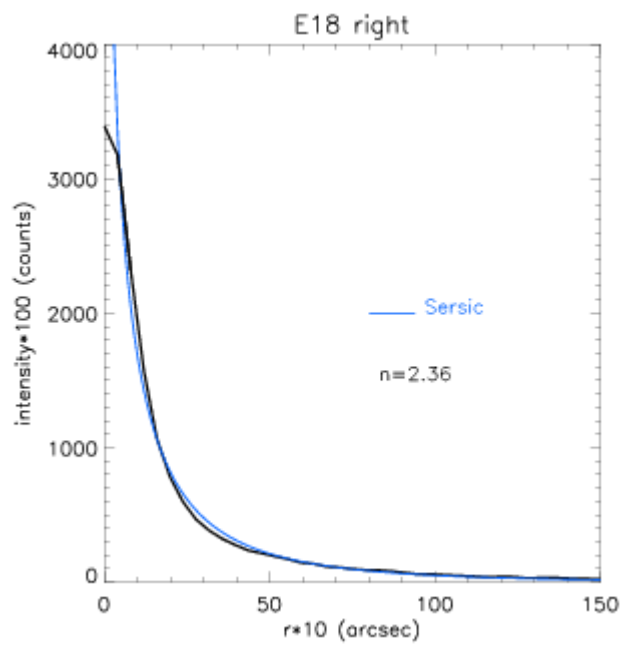
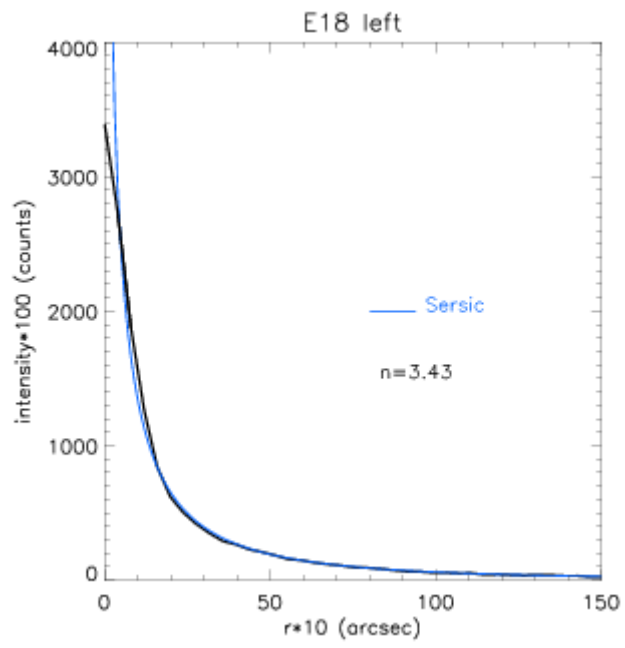
Σημείωση: Το προφίλ του γαλαξία E13 στην αριστερή διεύθυνση απορρίφθηκε, λόγω παρεμβολής άλλου αντικειμένου στο πεδίο.

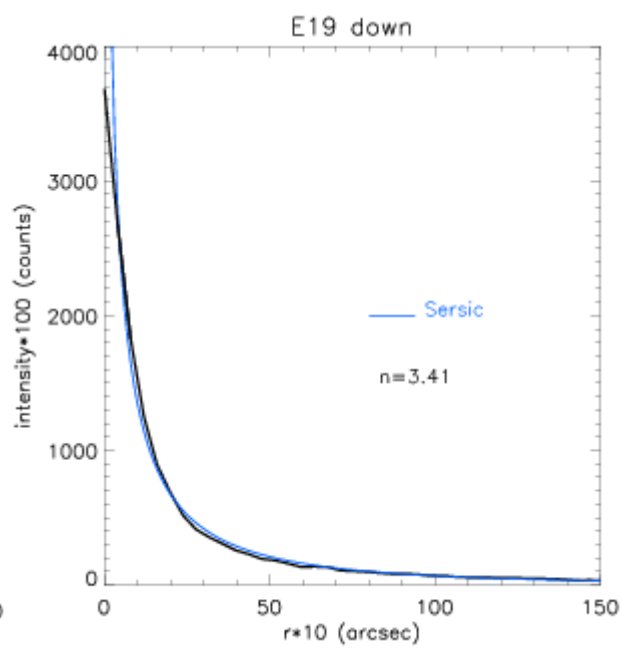
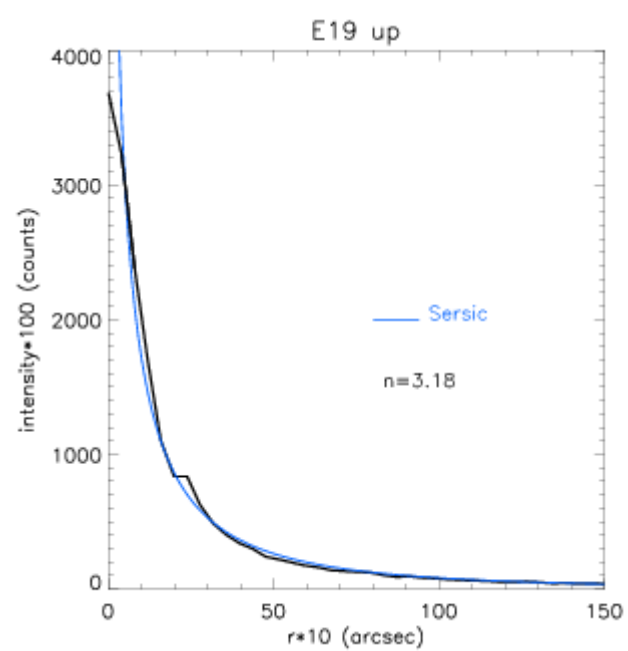
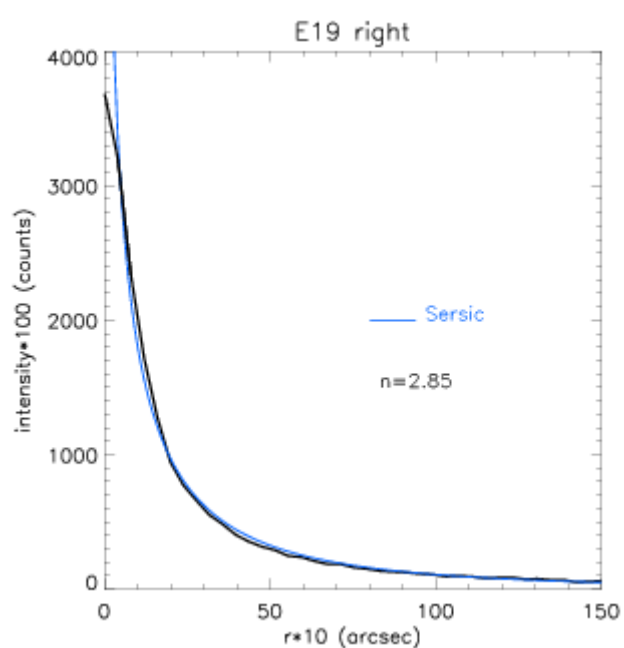
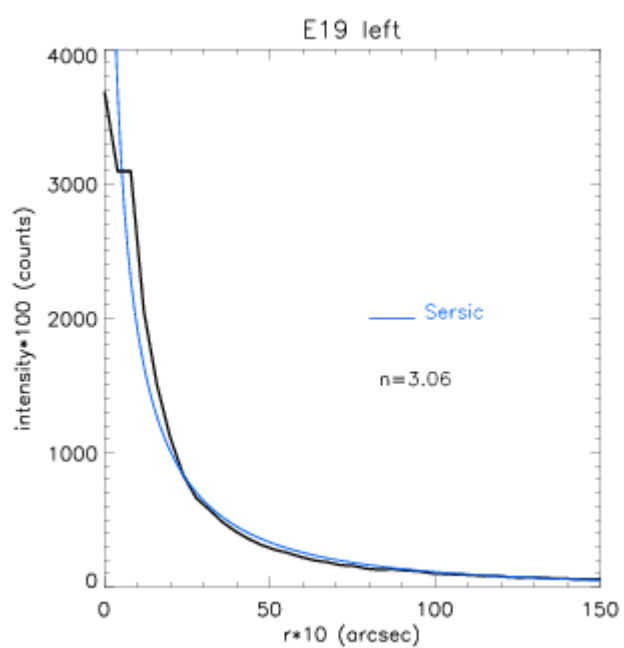


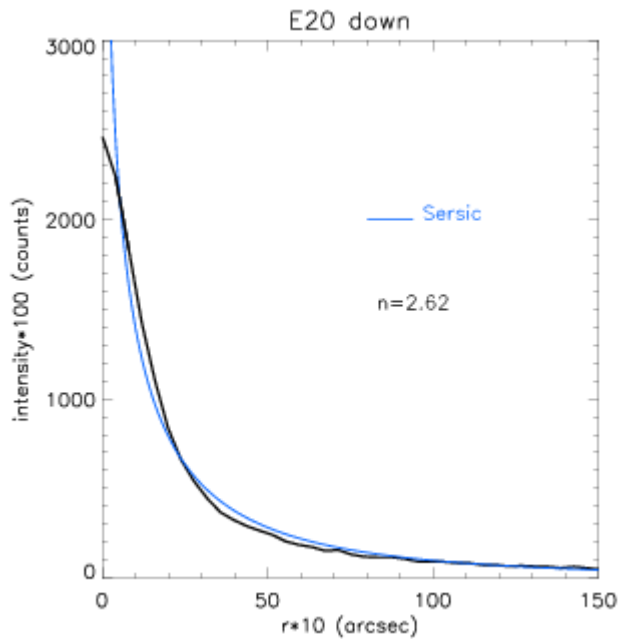
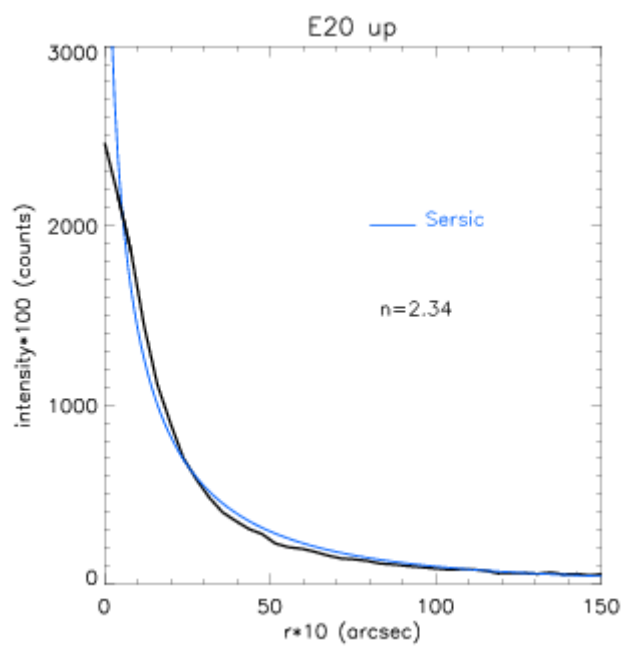
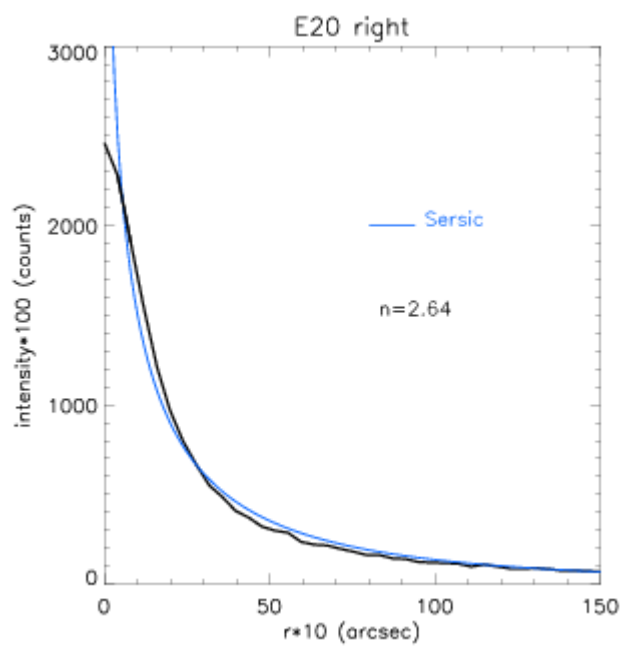
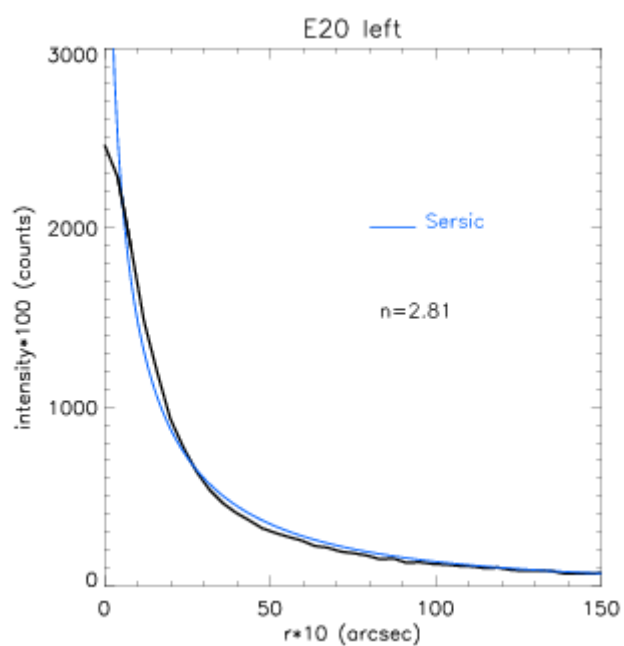




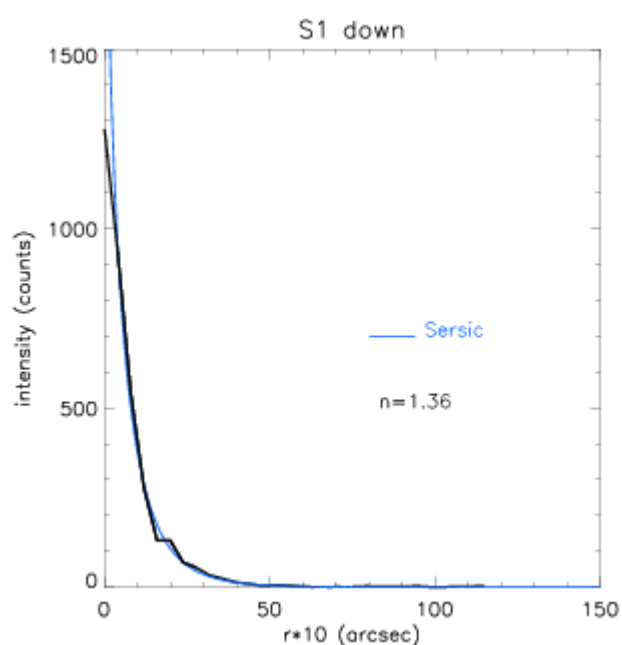
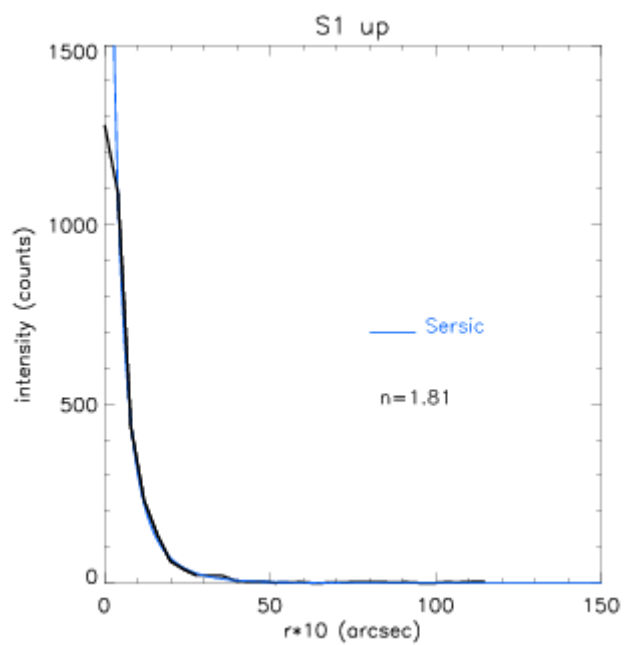
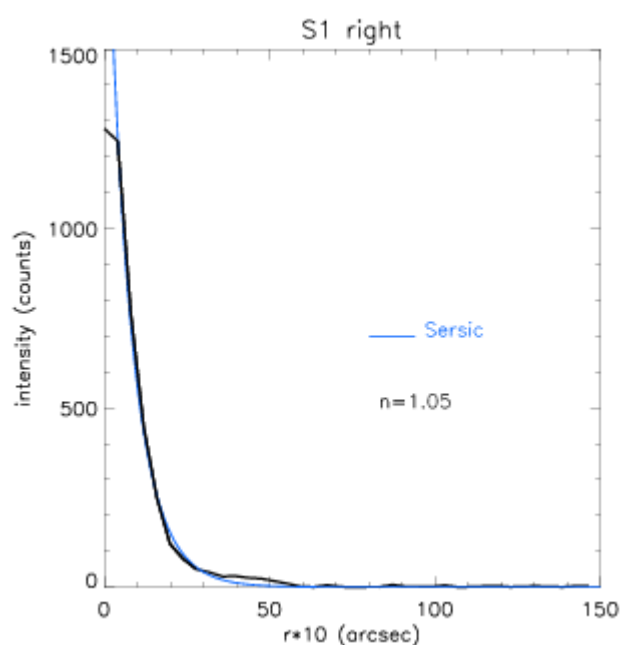
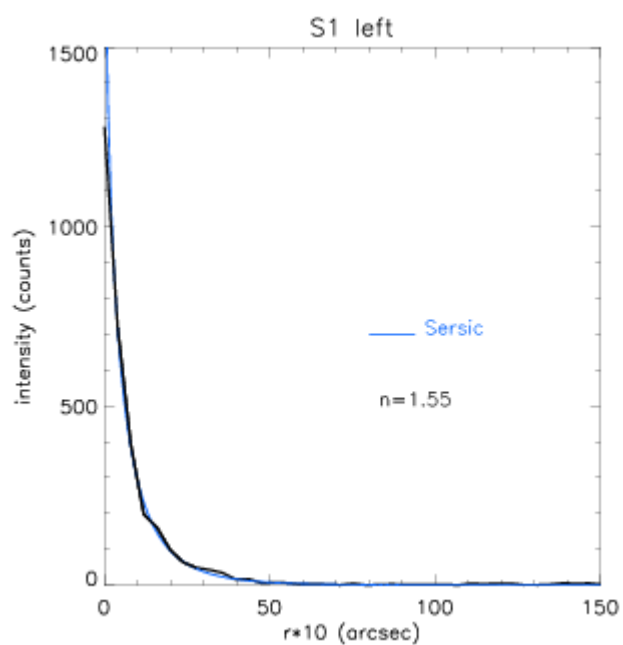


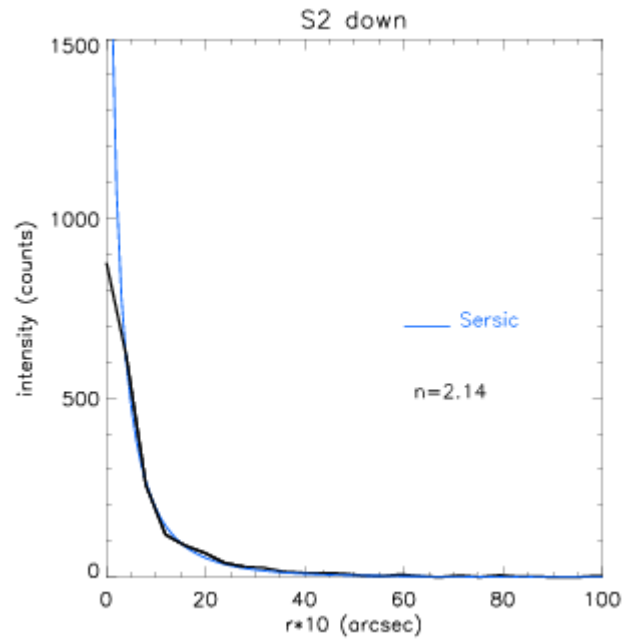
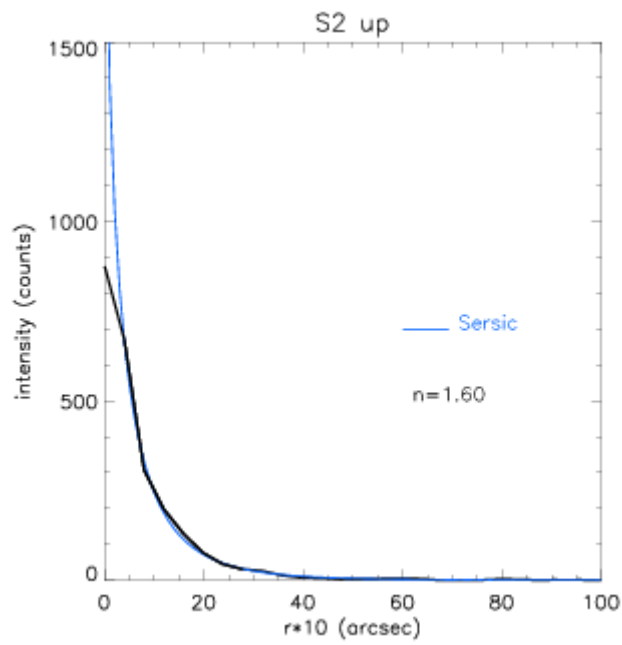
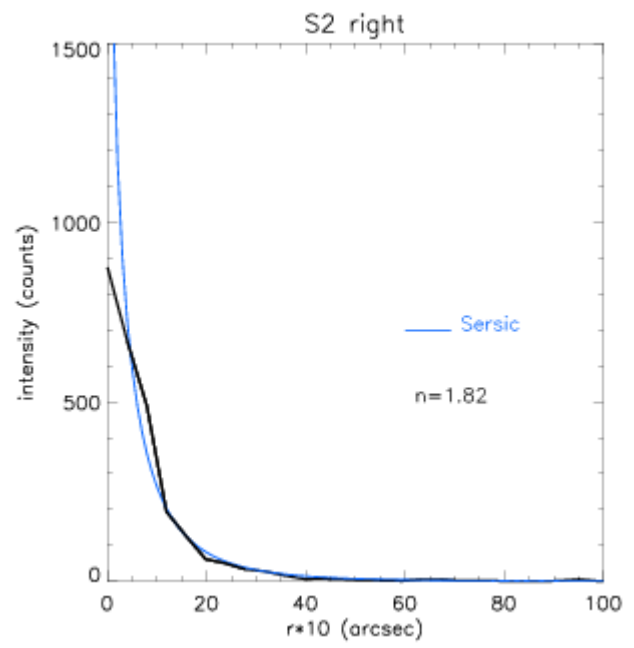
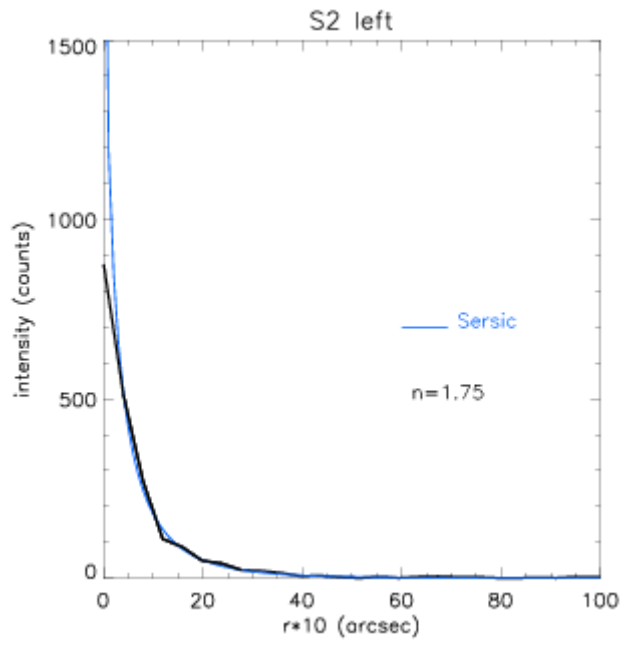


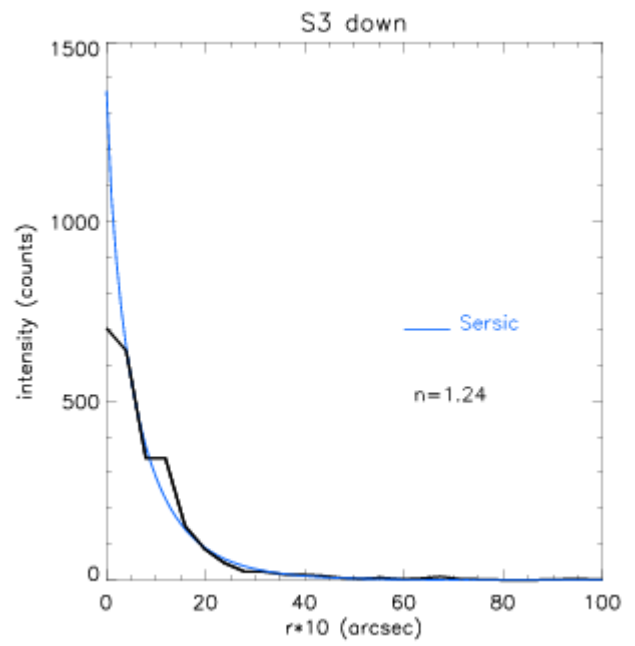
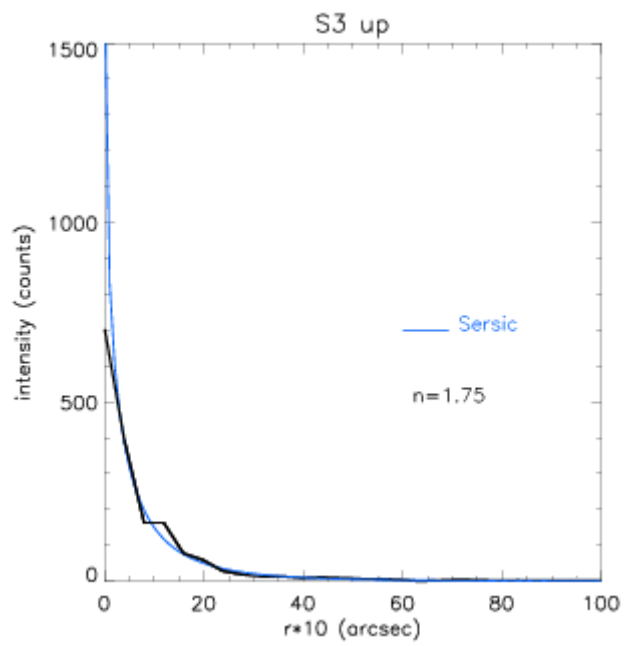
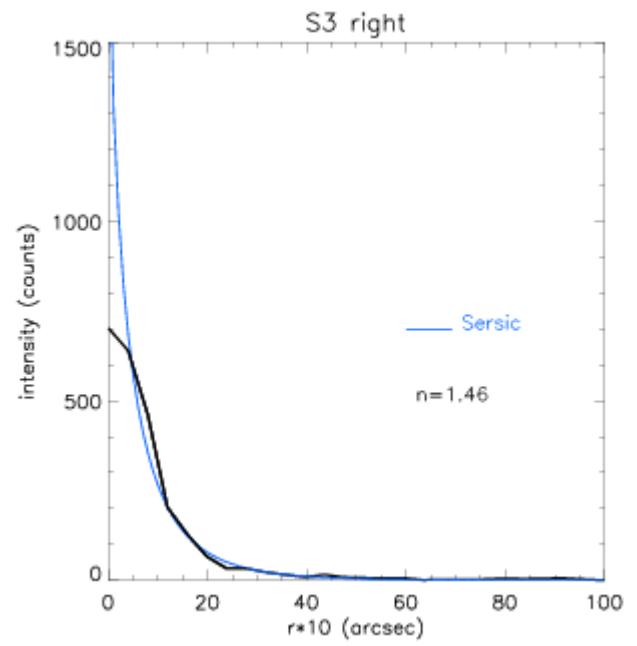
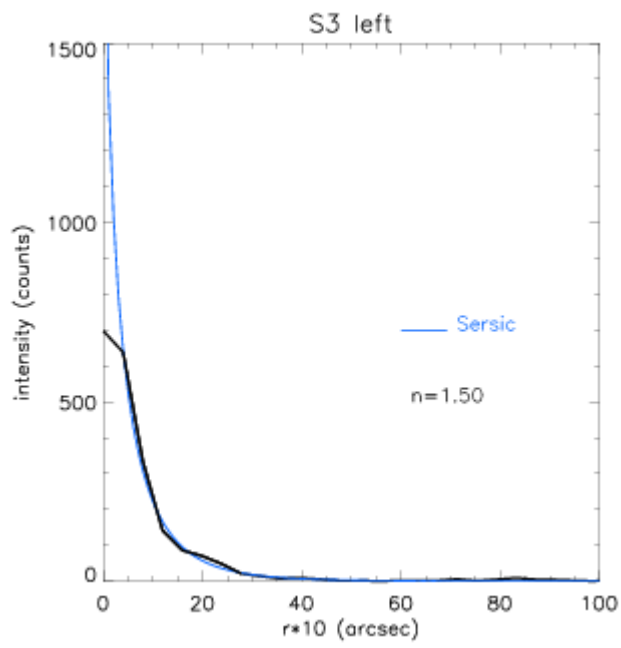


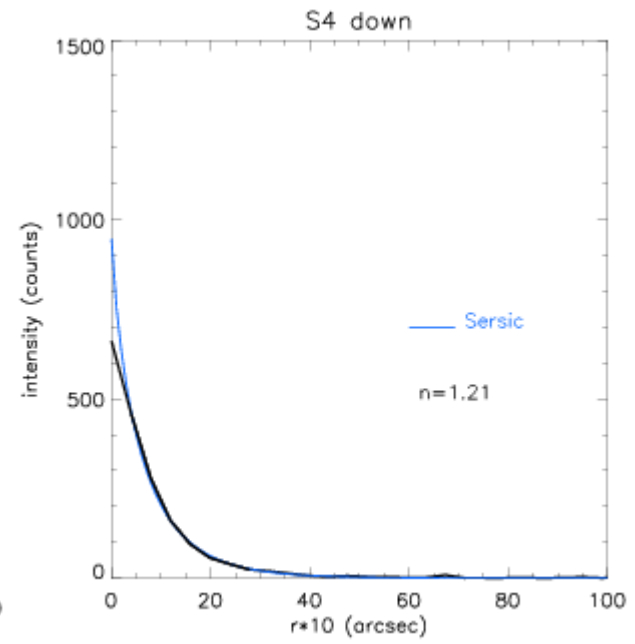
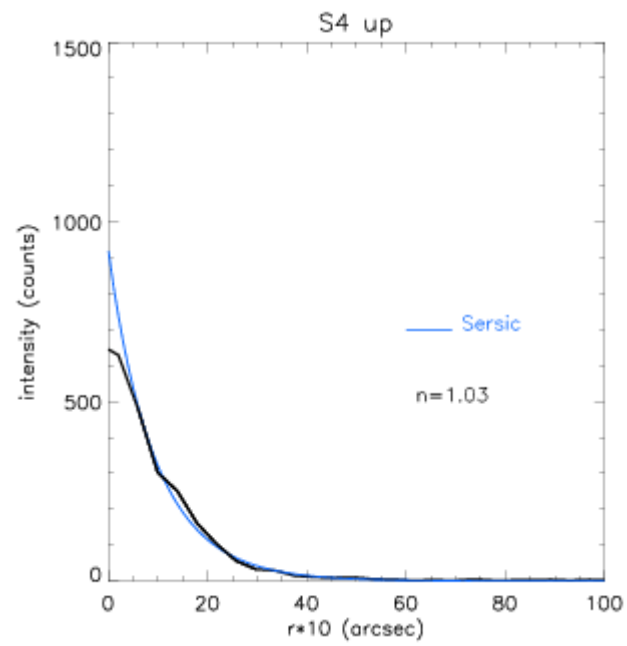
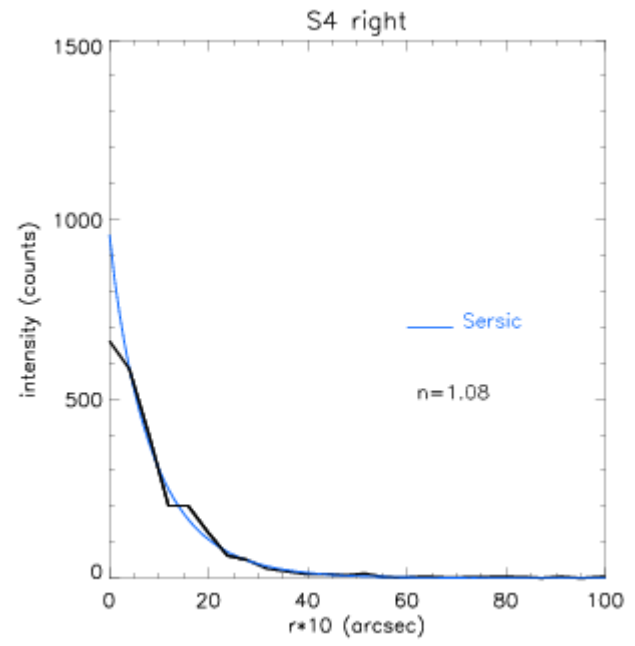
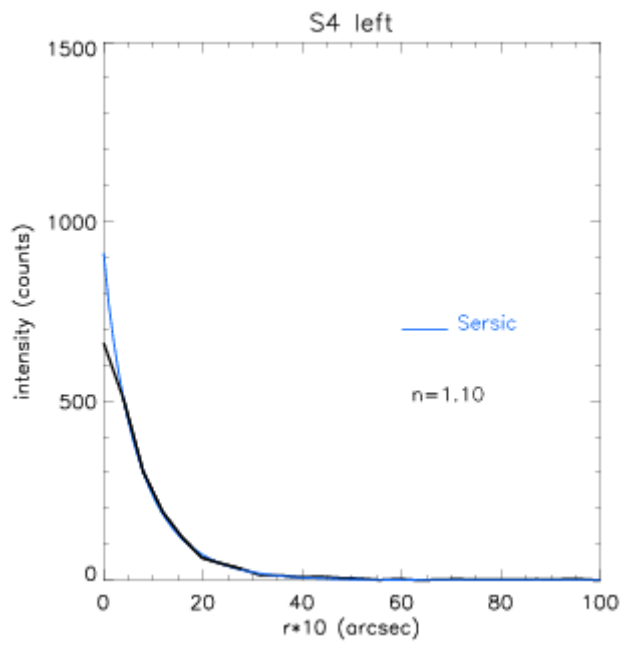


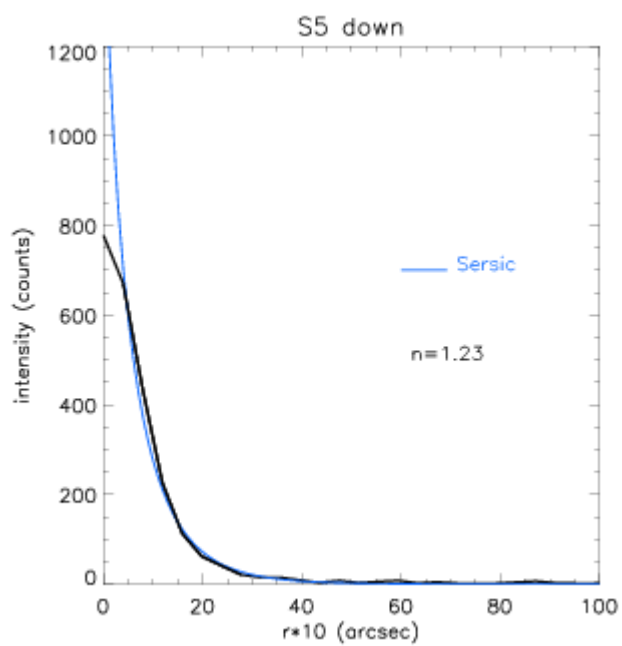
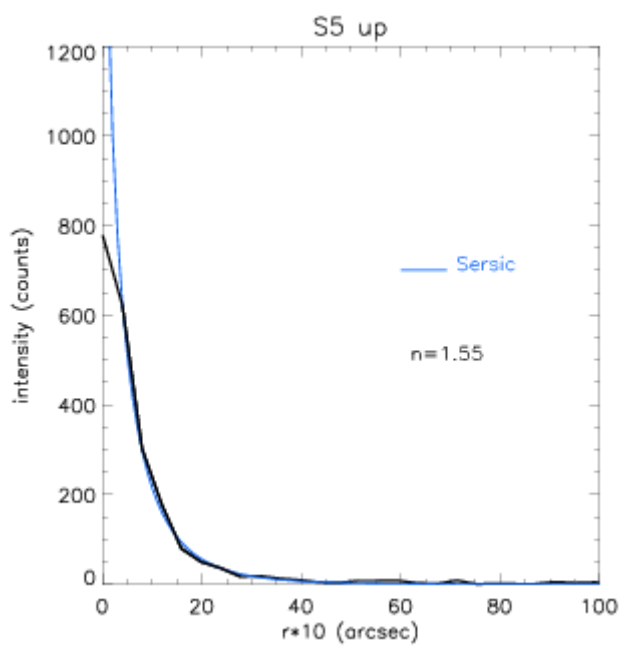
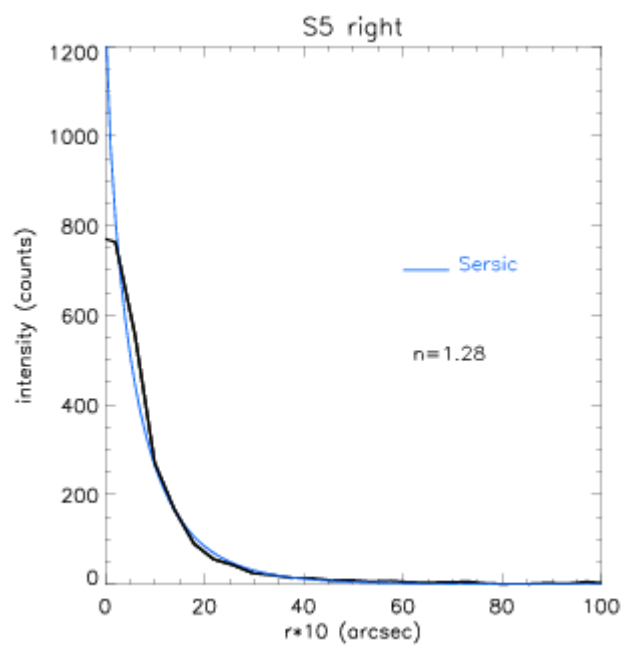
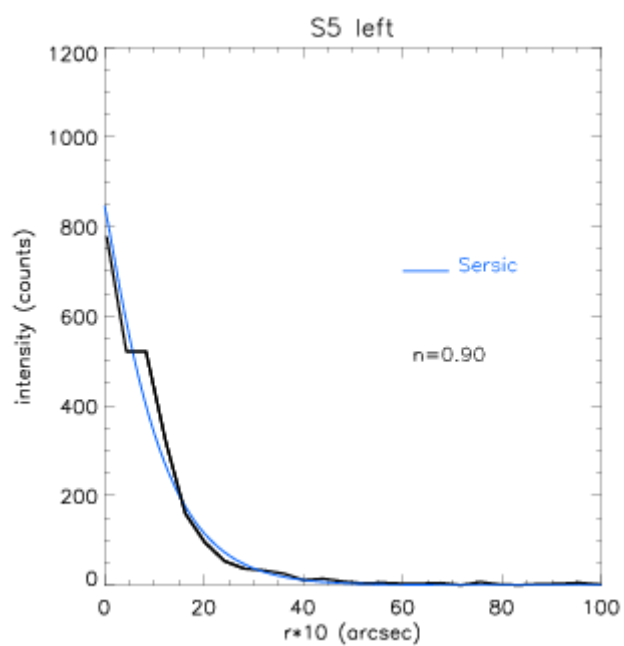
B.1. Ακτινικά προφίλ σπειροειδών γαλαξιών από την ημιεμπειρική βιβλιοθήκη

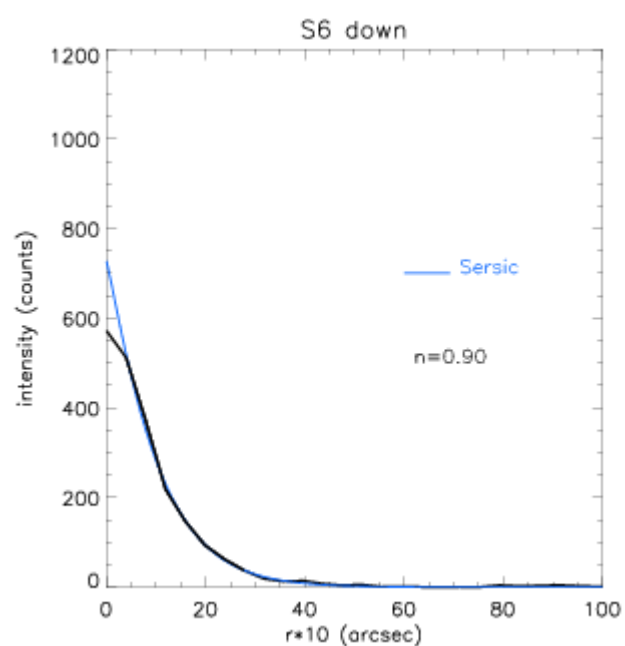
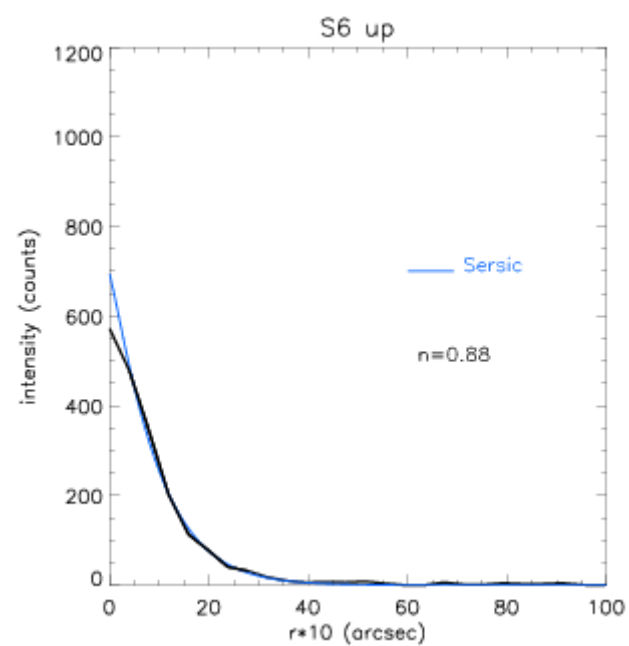
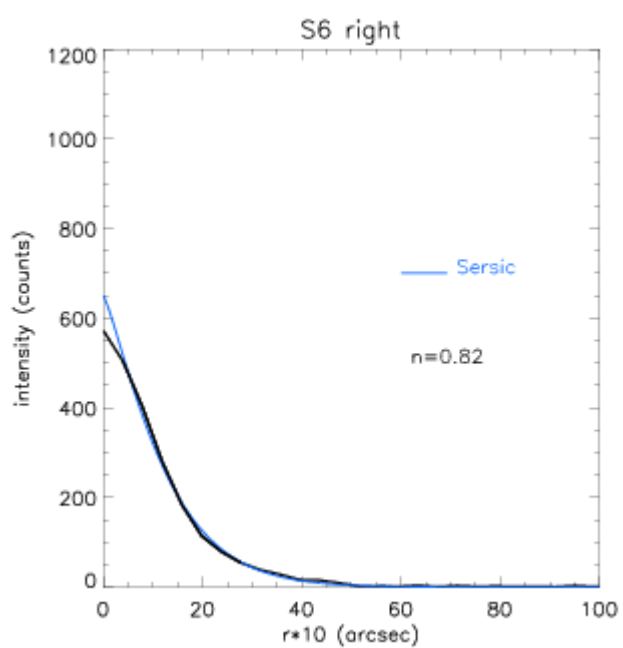
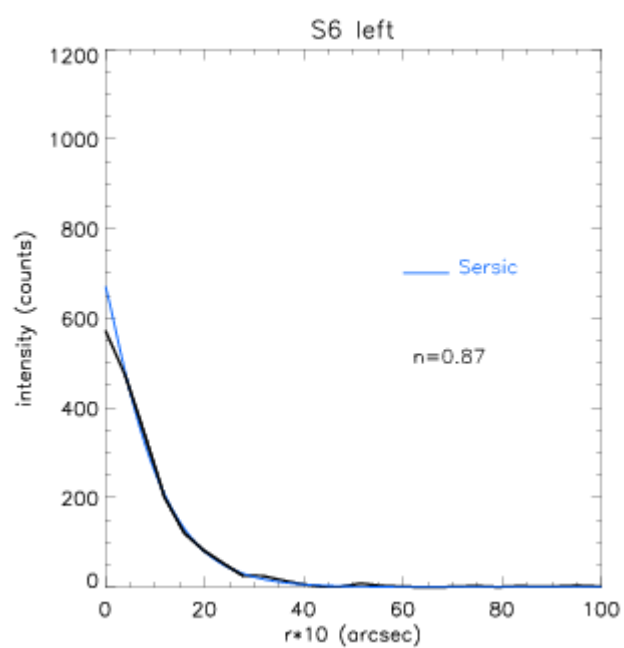


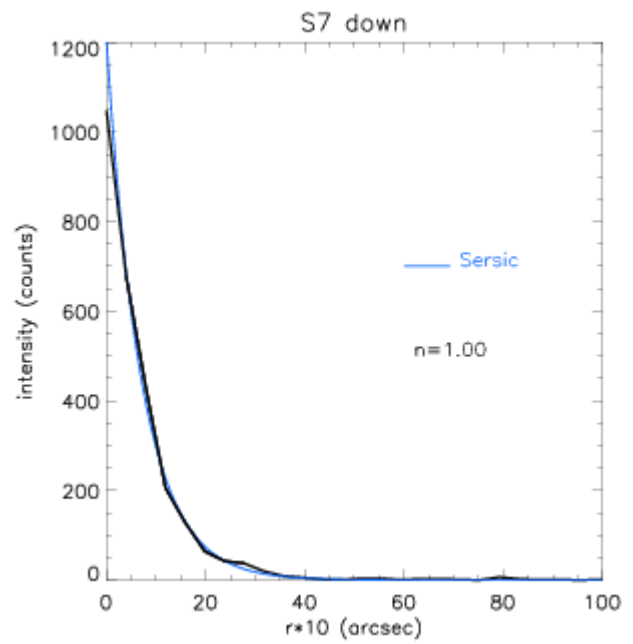
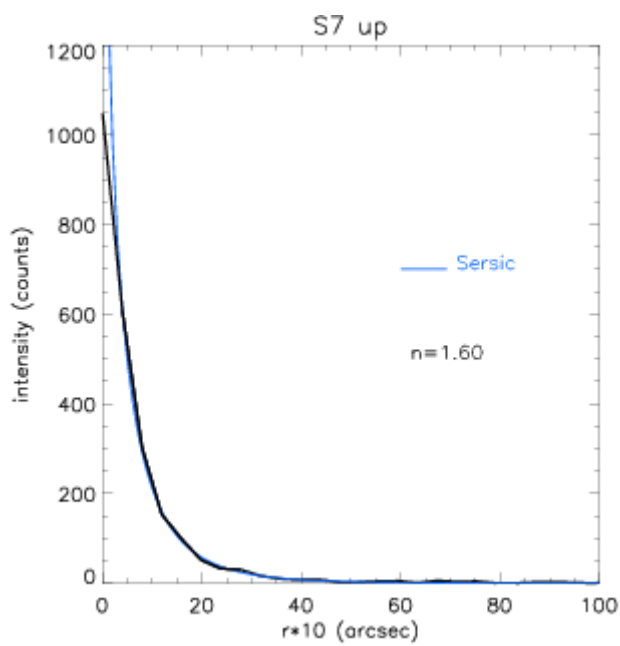
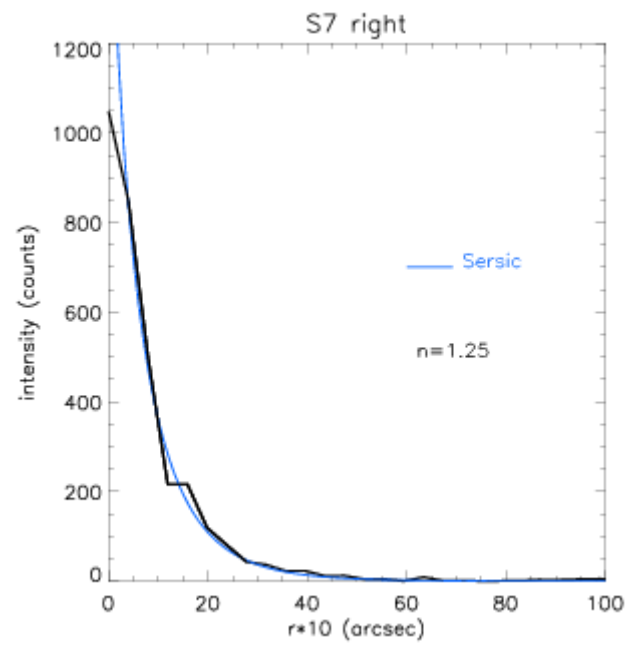
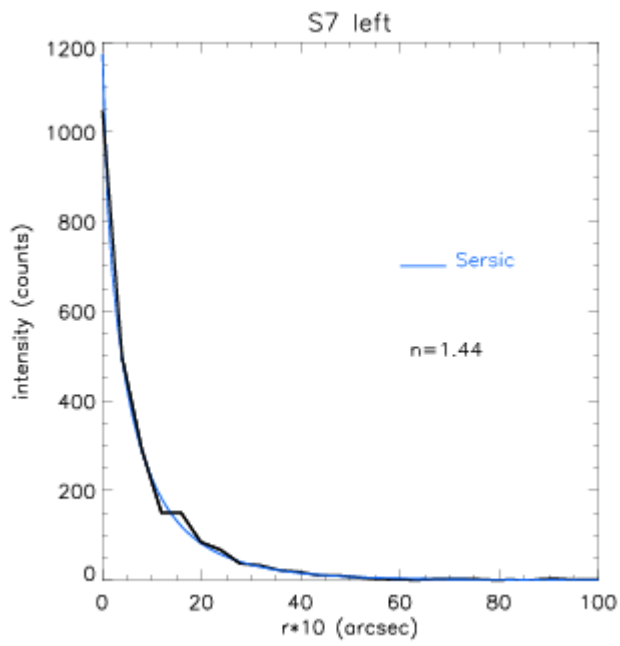


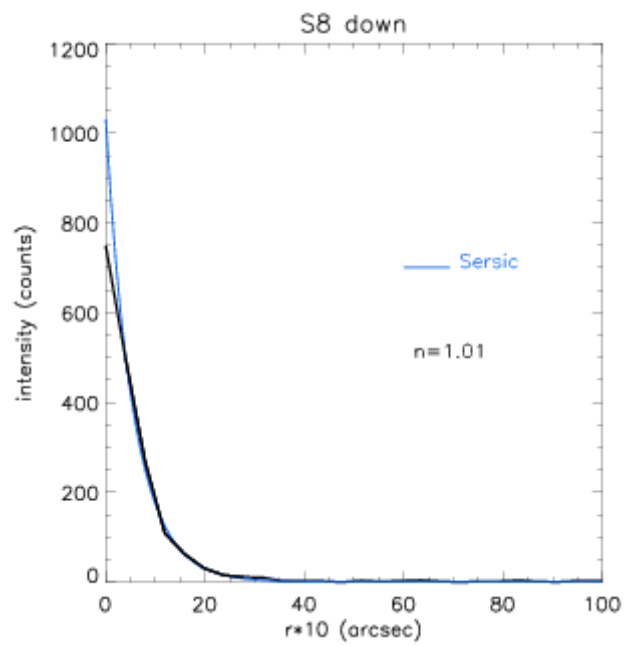
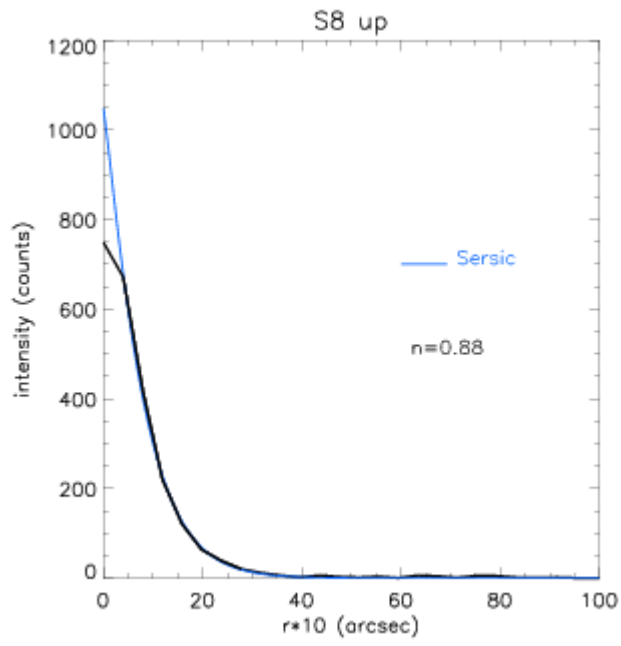
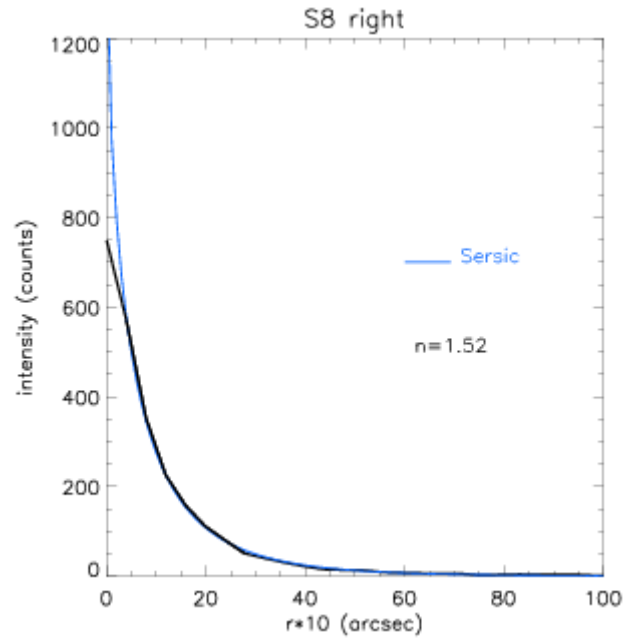
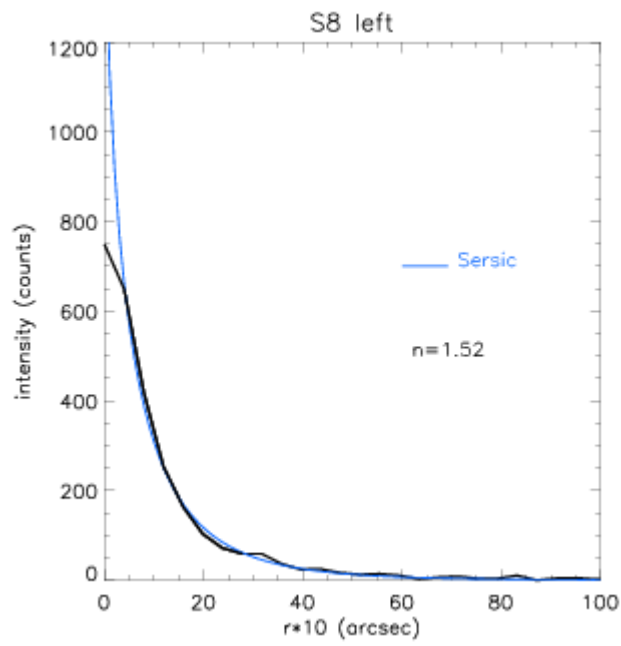


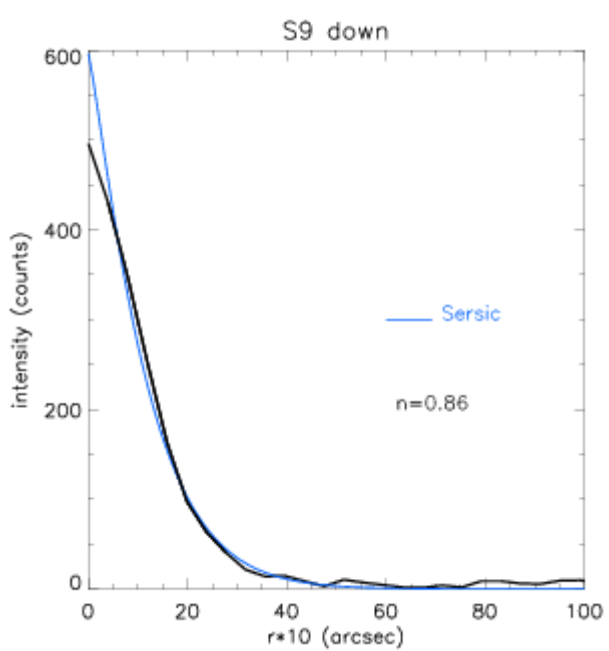
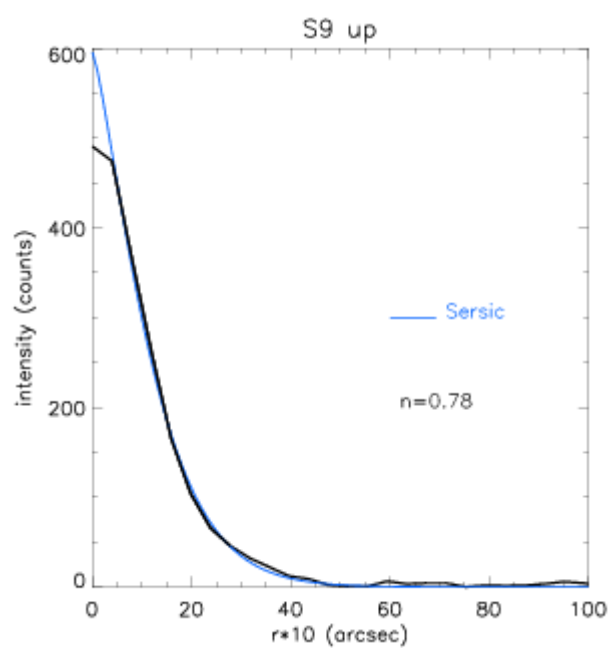
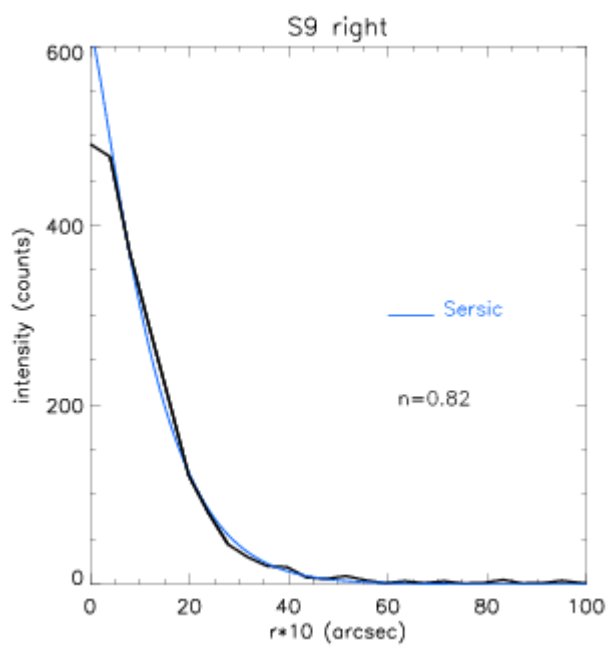
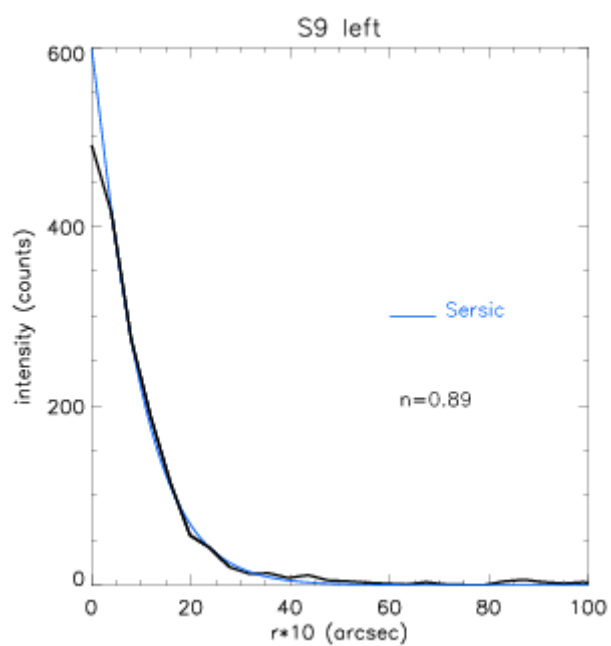


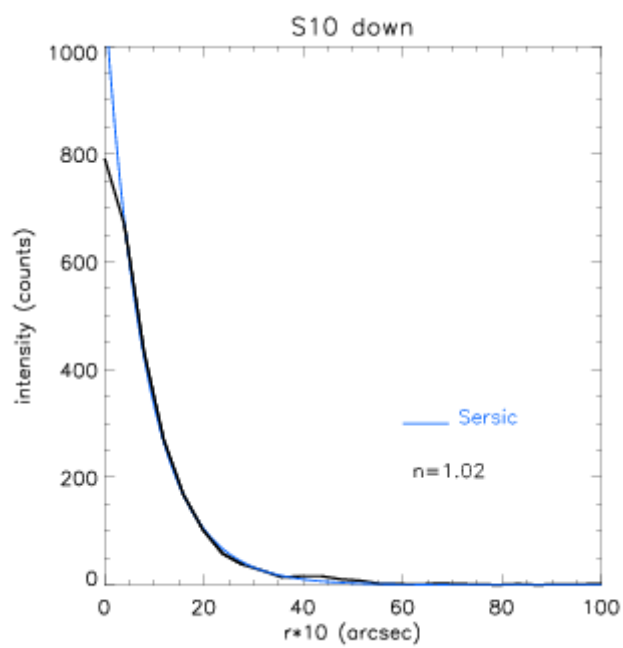
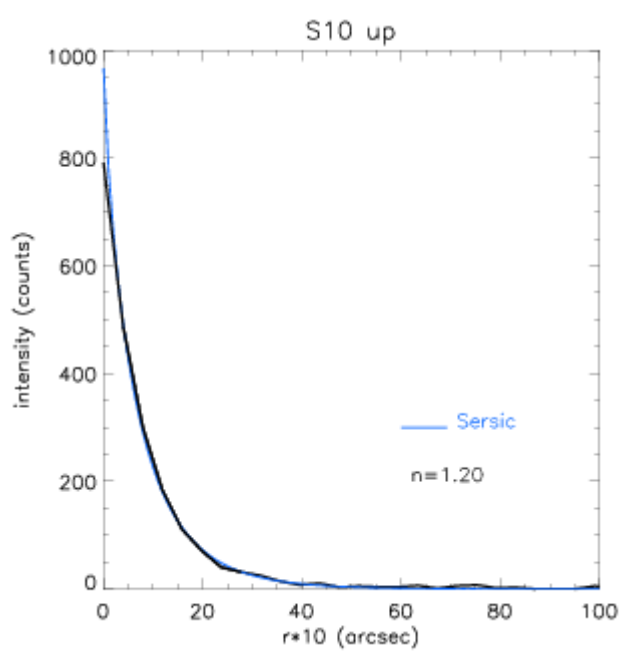
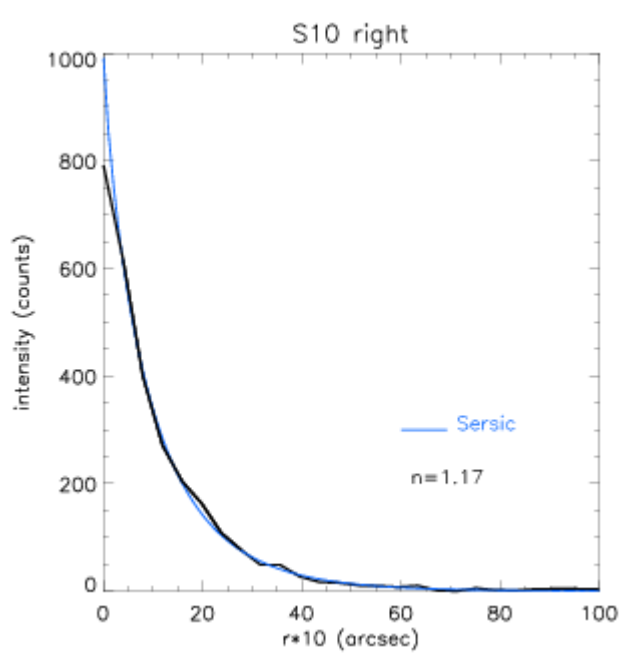
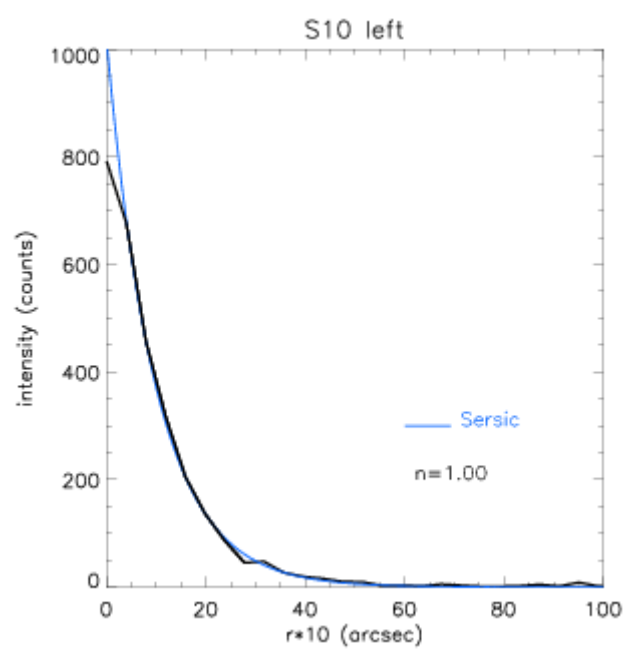




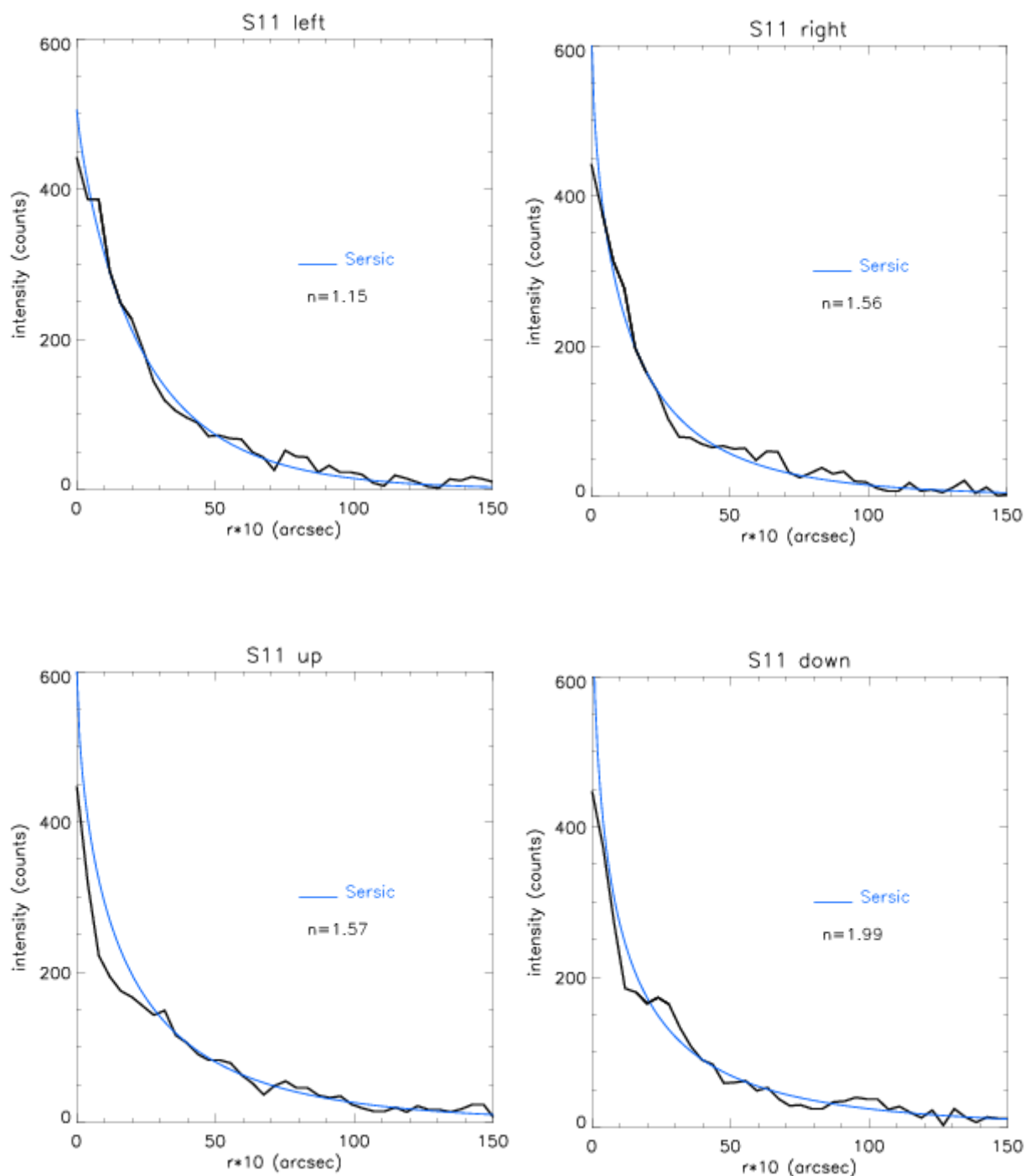




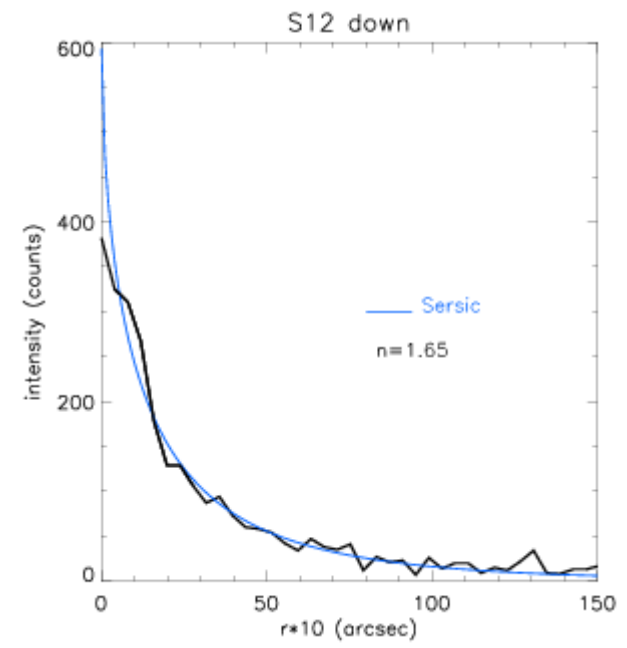
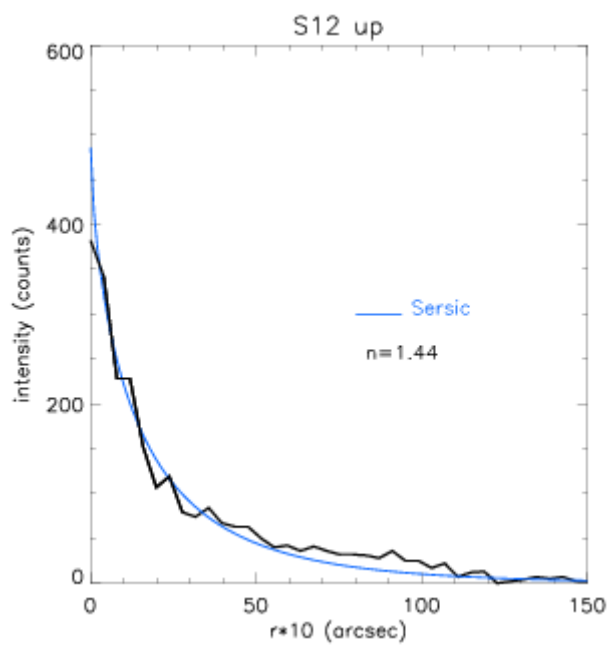
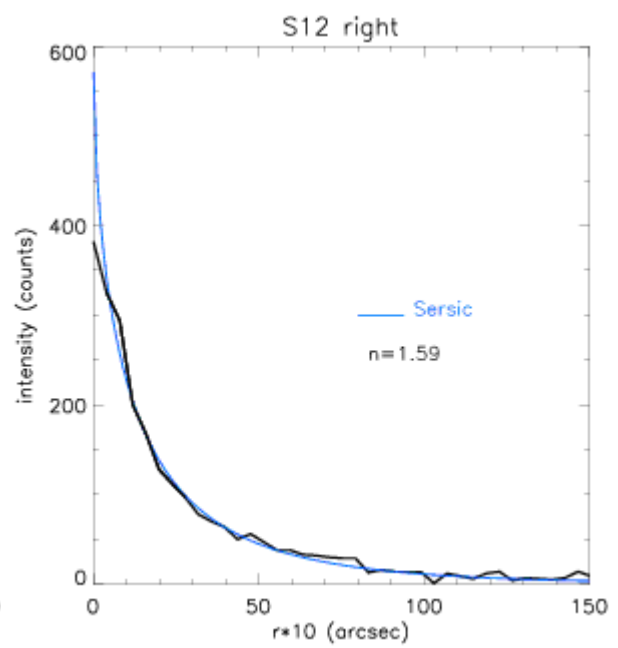
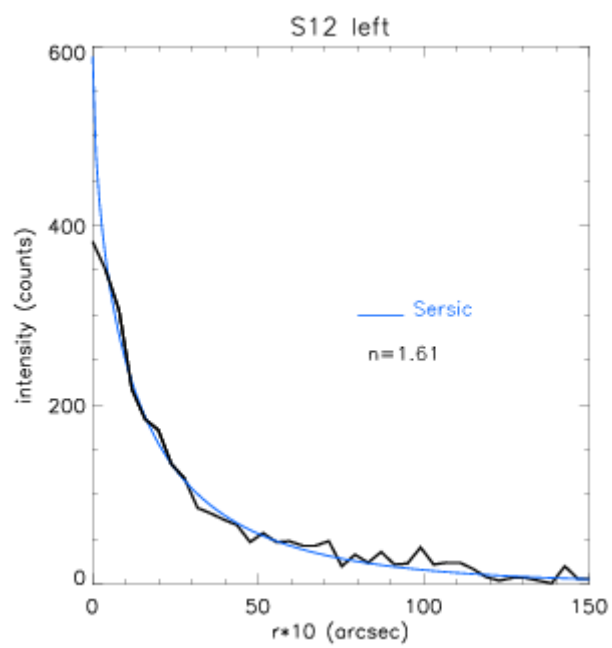


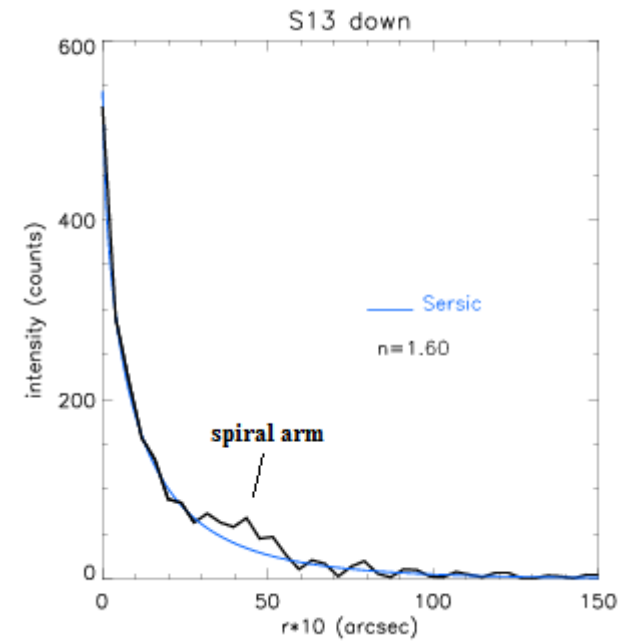
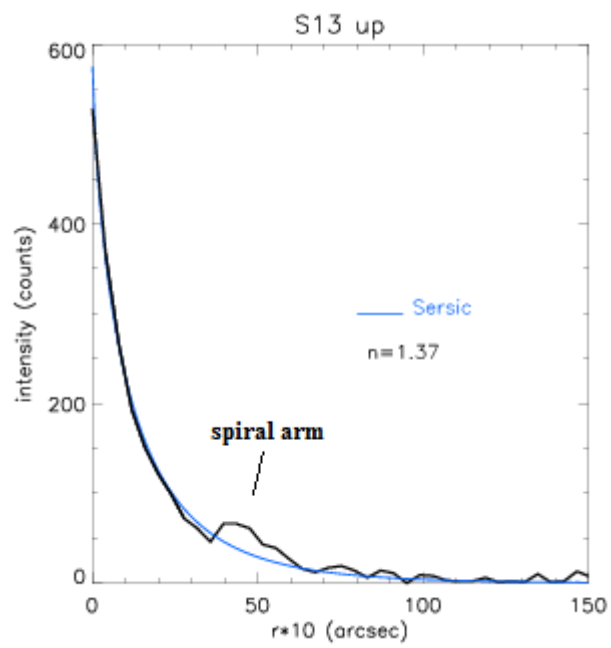
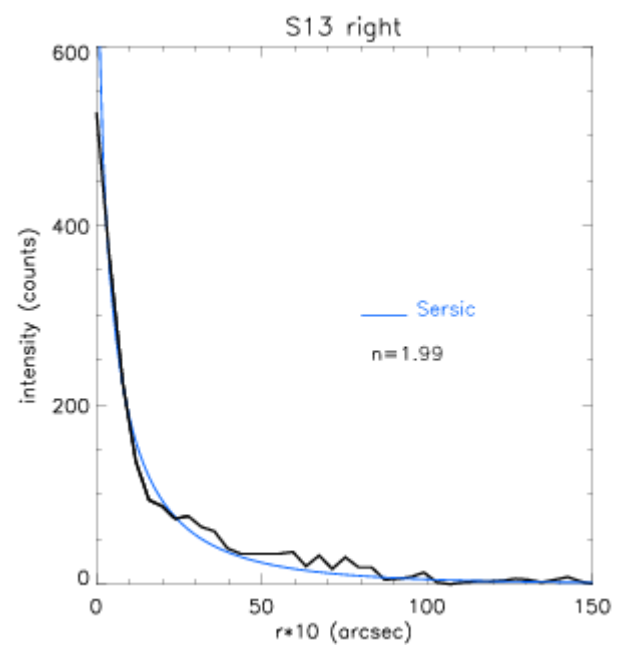
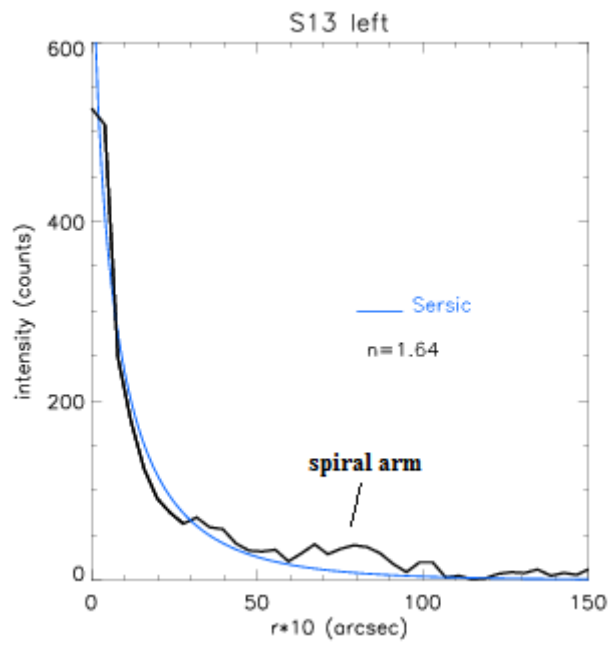


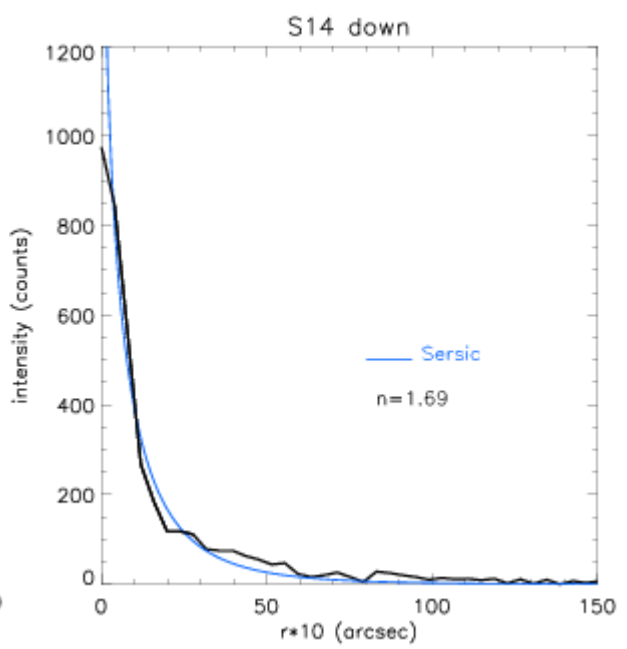
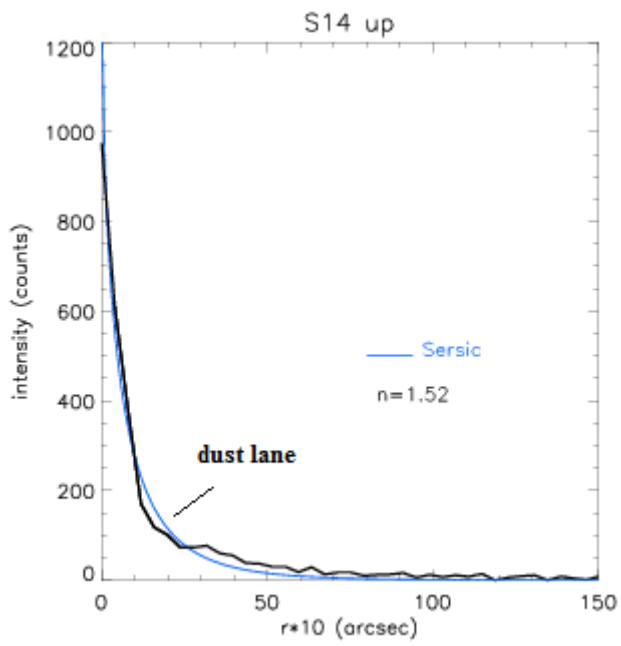
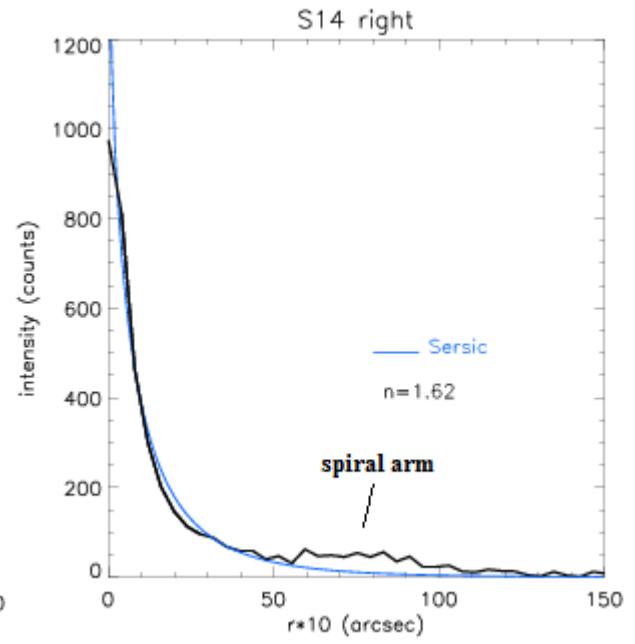
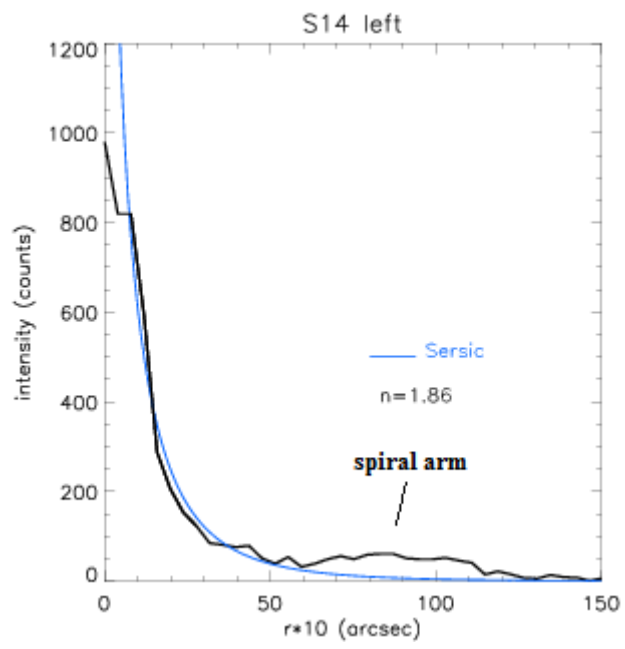
Β.2. Ακτινικά προφίλ σπειροειδών γαλαξιών από το SDSS

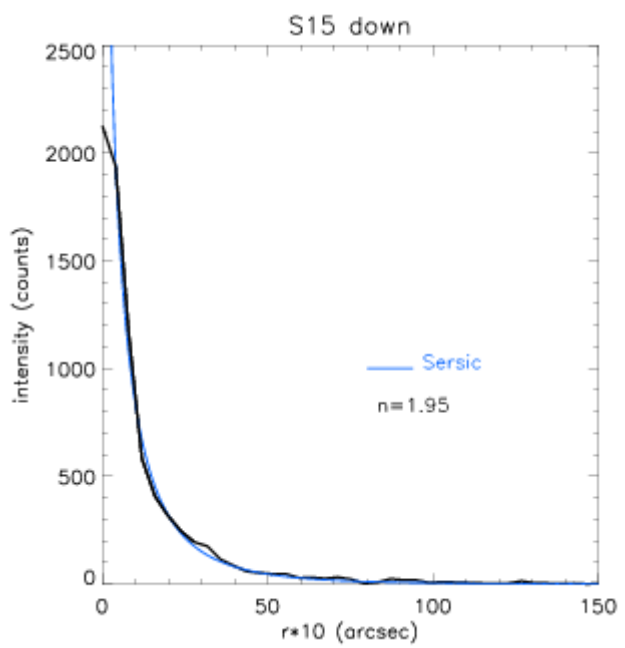
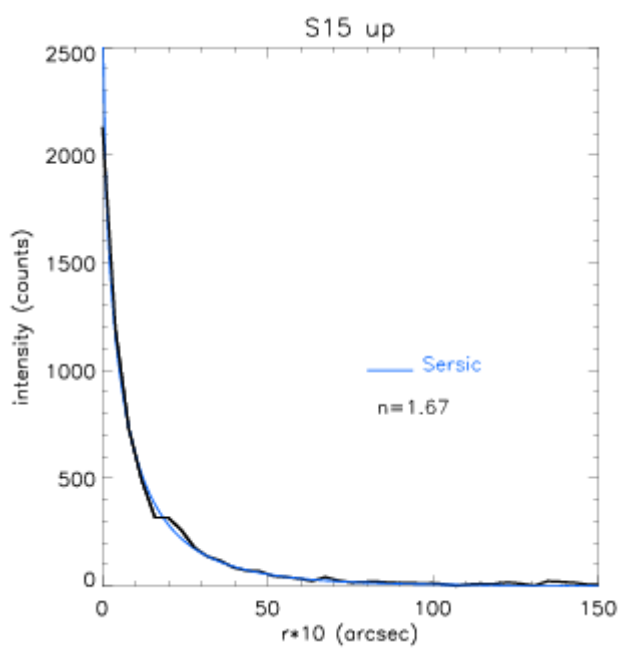
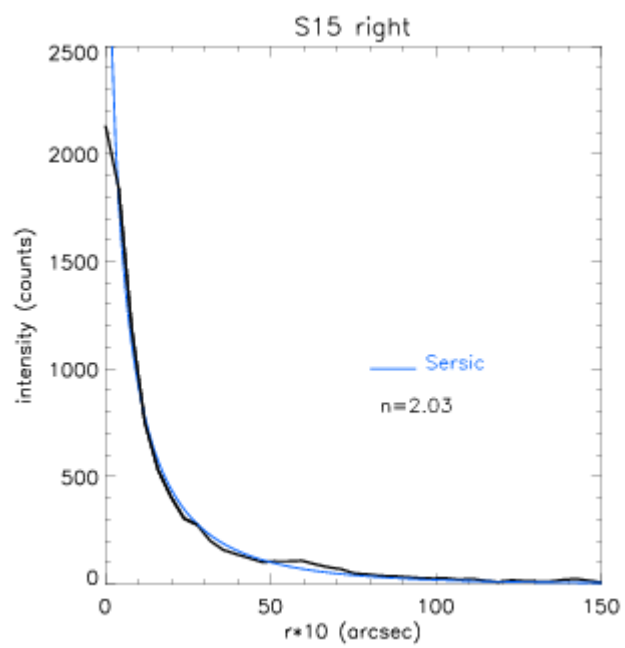
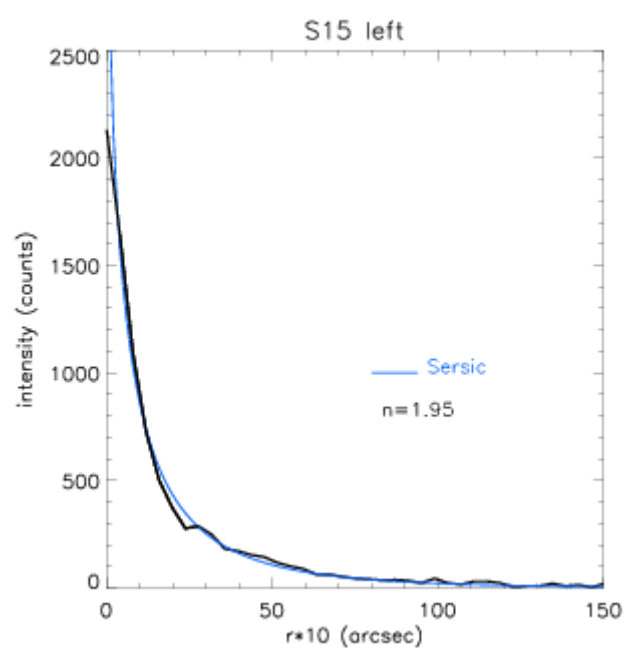


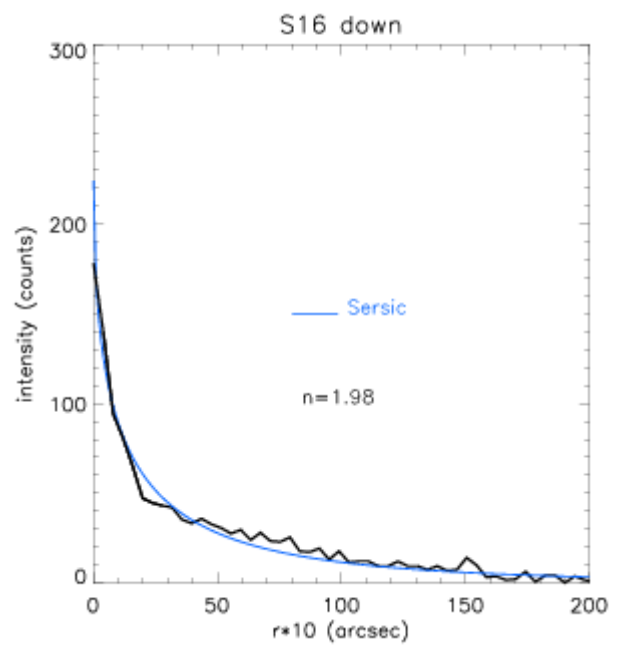
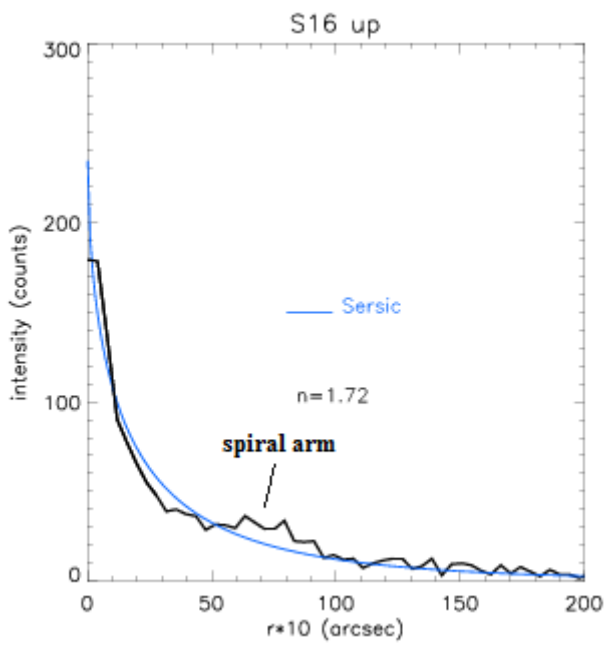
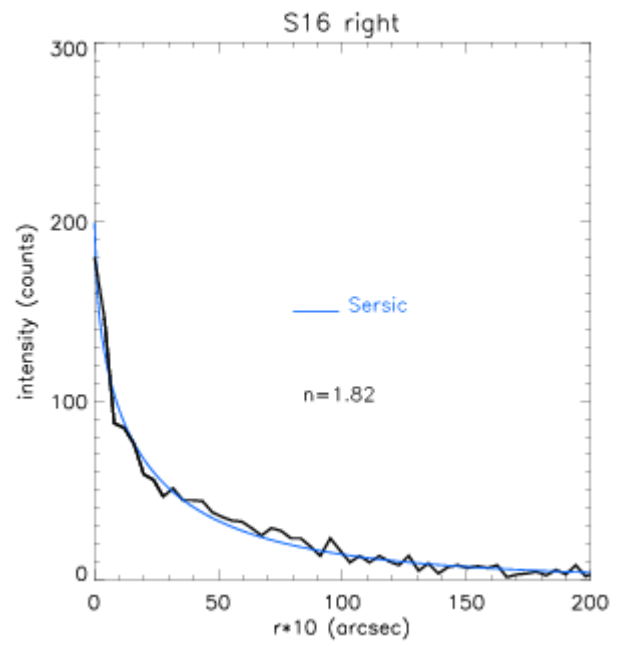
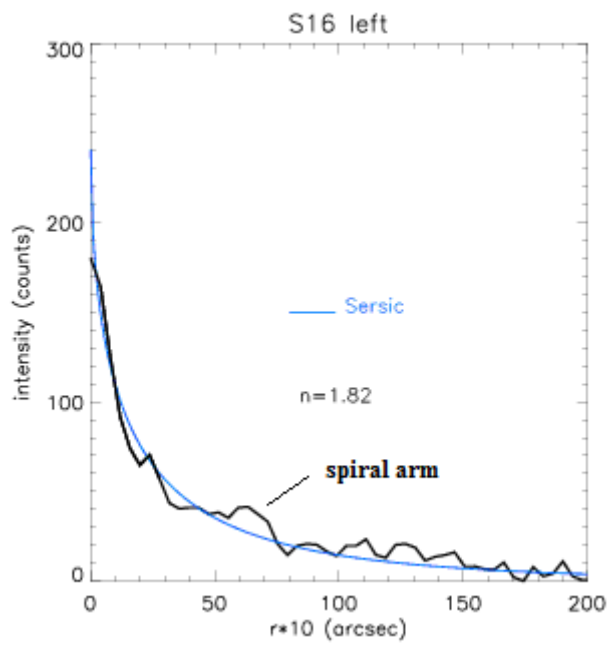
Σημείωση: Ο γαλαξίας S11 είναι ένας ραβδωτός γαλαξίας του SDSS. Η προβολή της επιφανειακής λαμπρότητας κατά μήκος της ράβδου (up, down) είναι ενδεικτική της παρουσίας της ράβδου, η οποία φαίνεται να εκτείνεται ως τα 3arcsec περίπου.

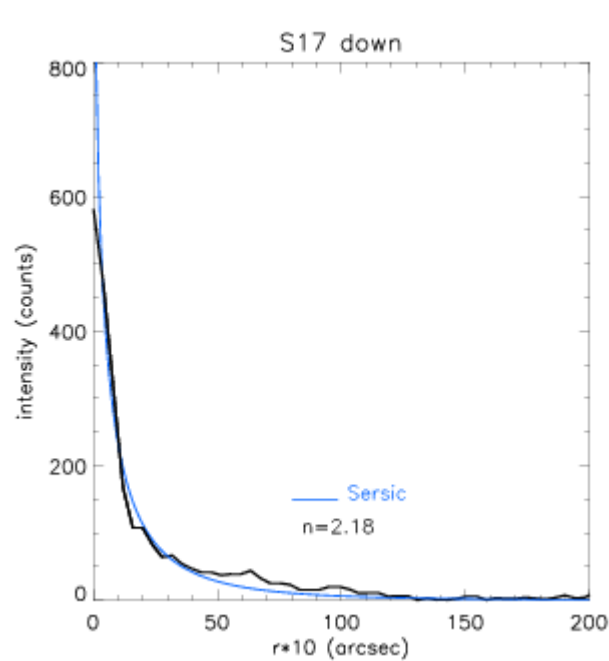
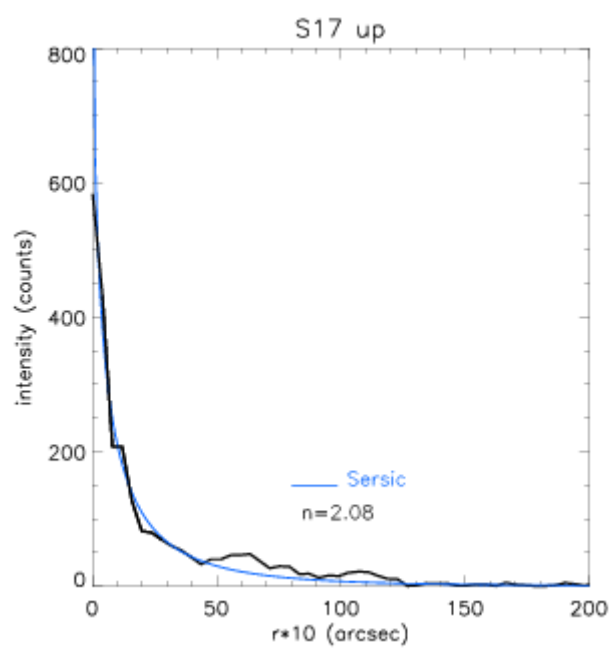
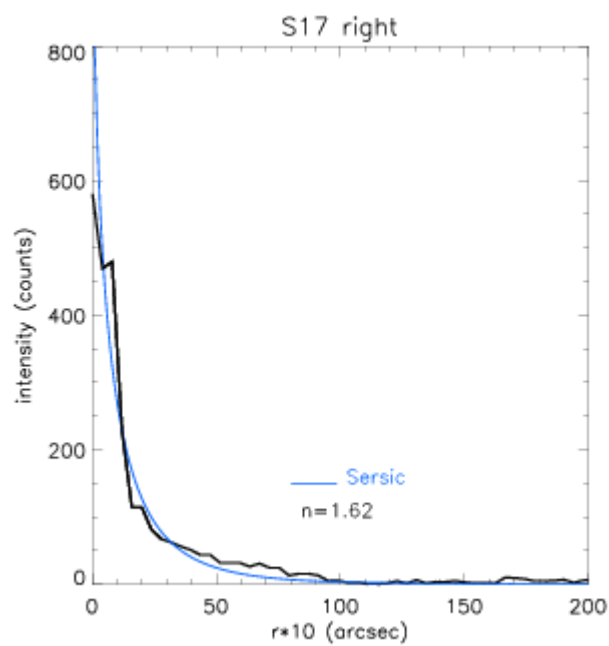
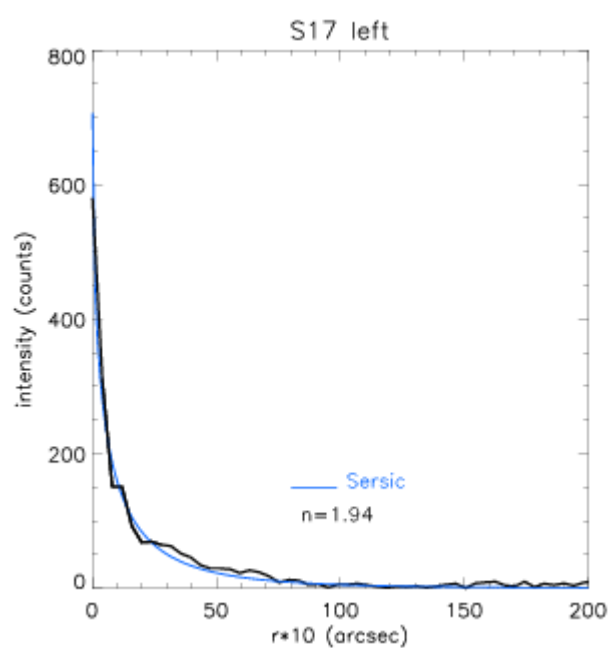


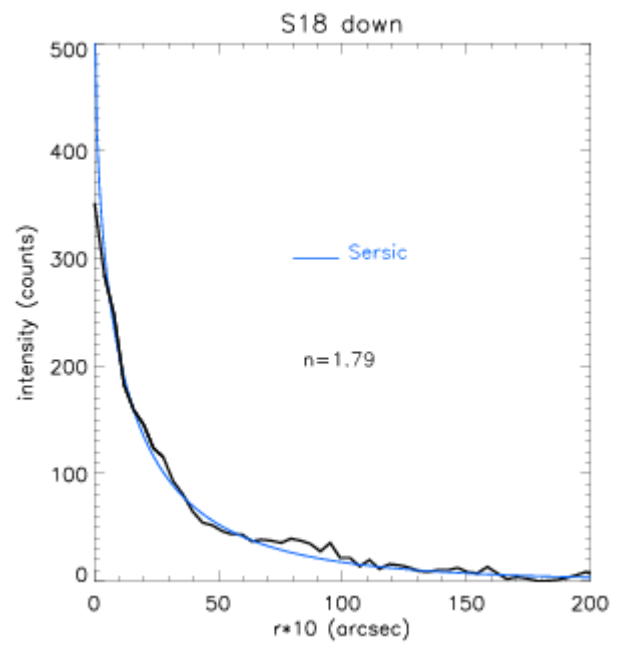
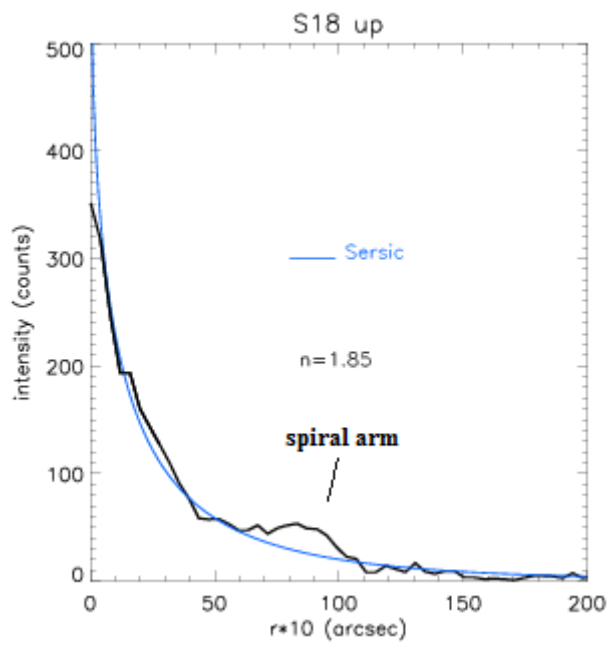
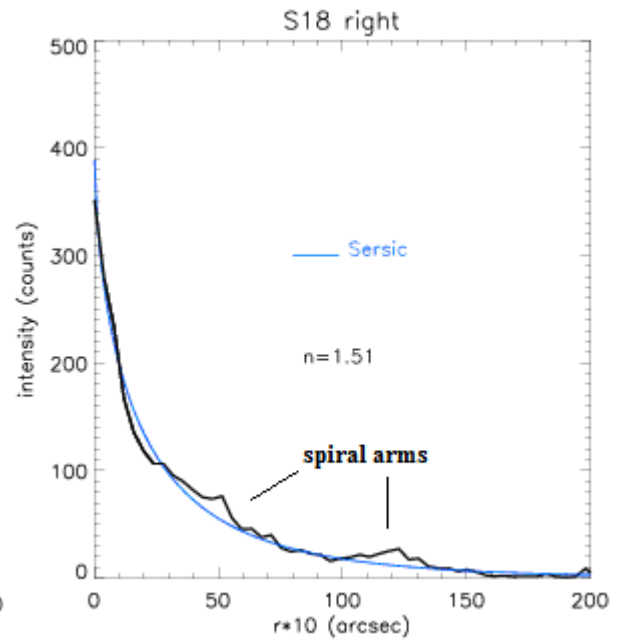
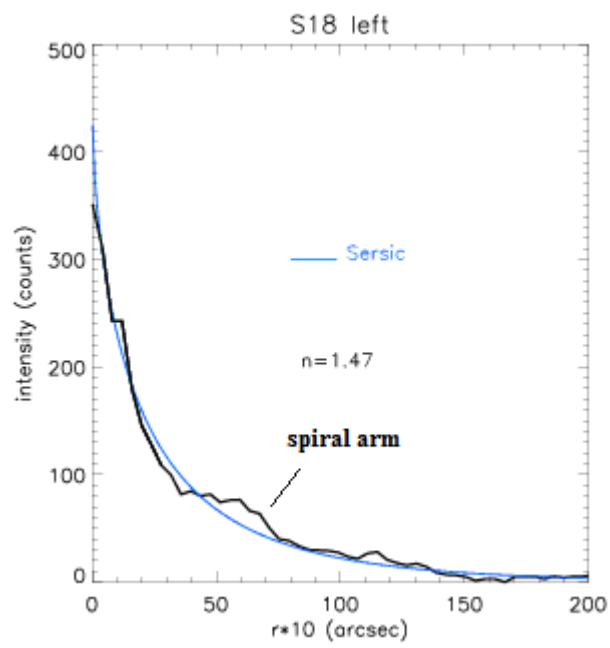


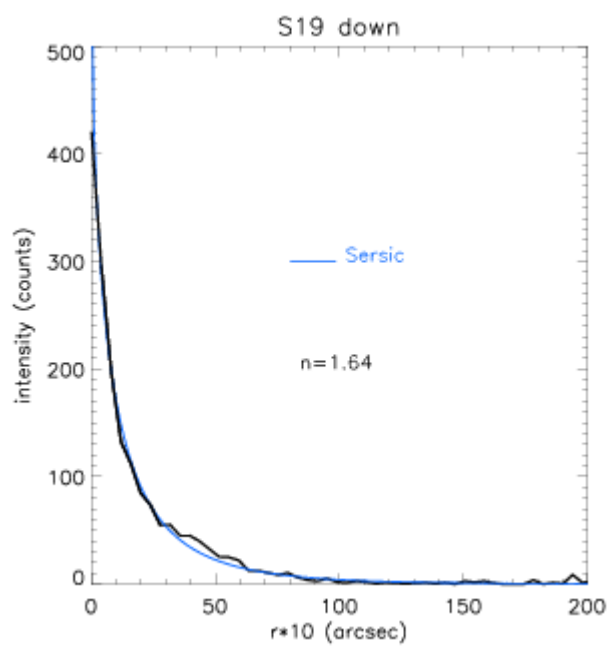
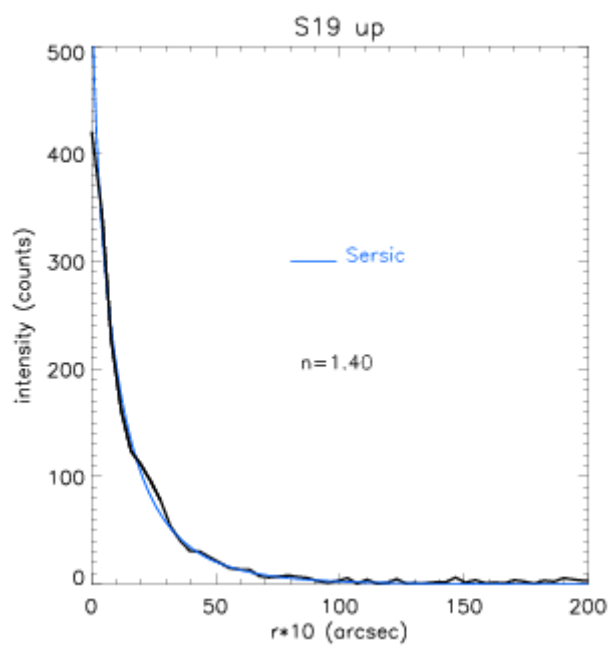
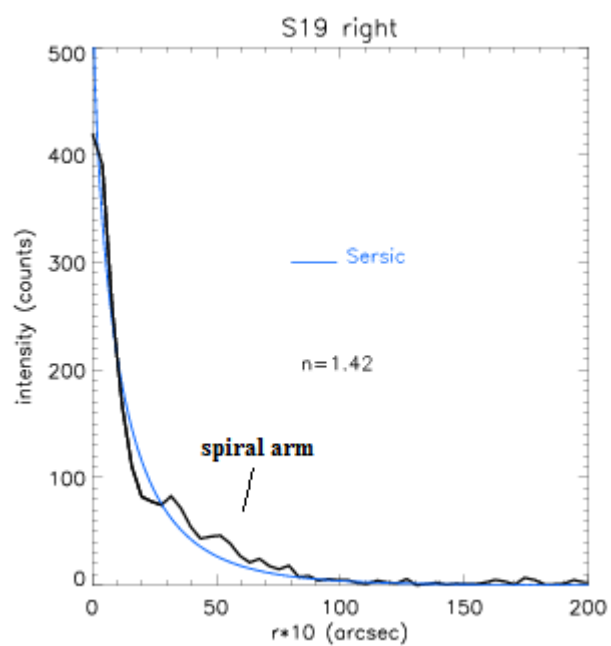
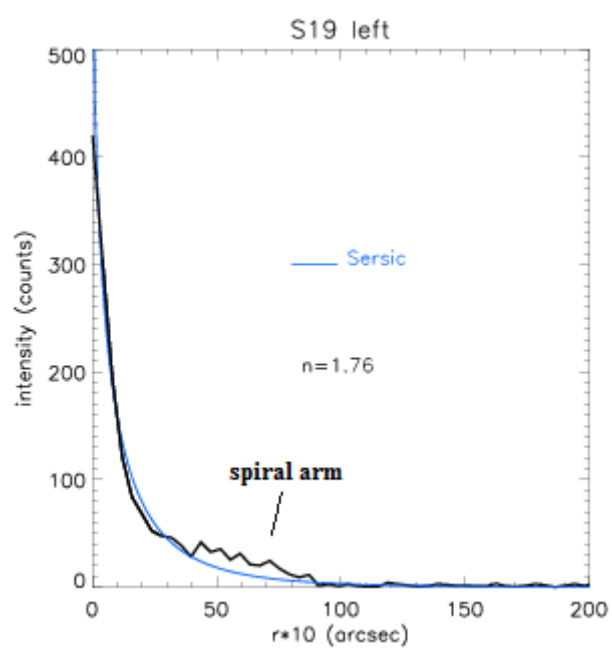


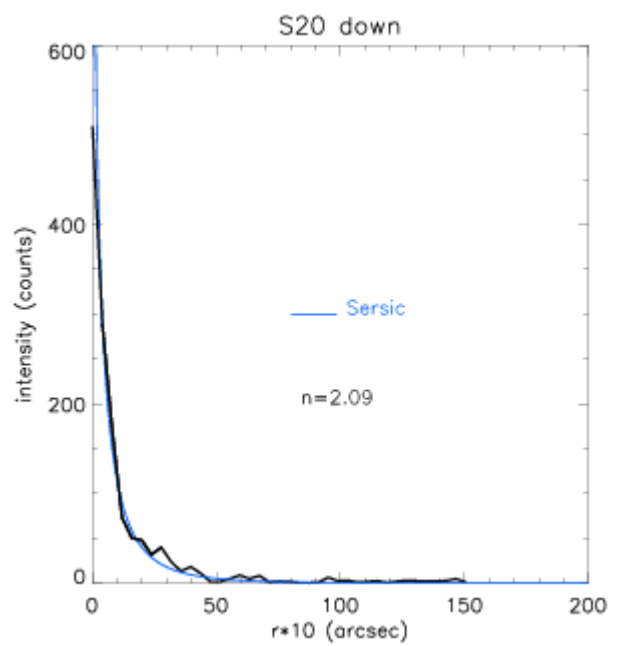
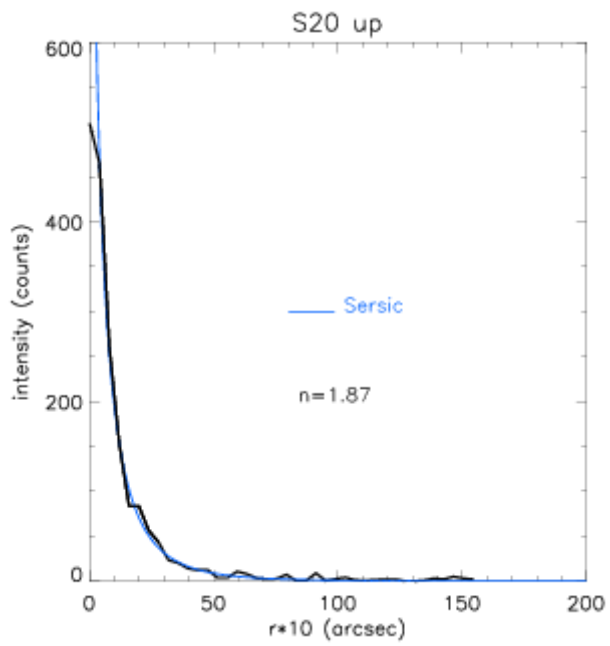
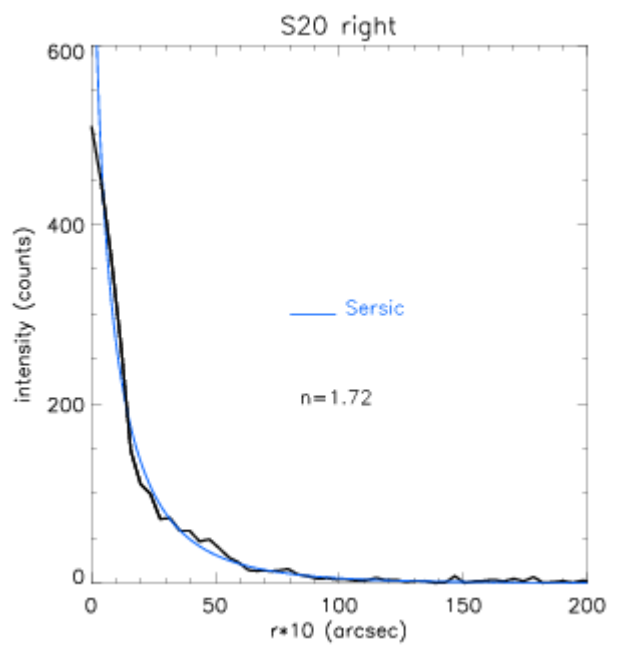
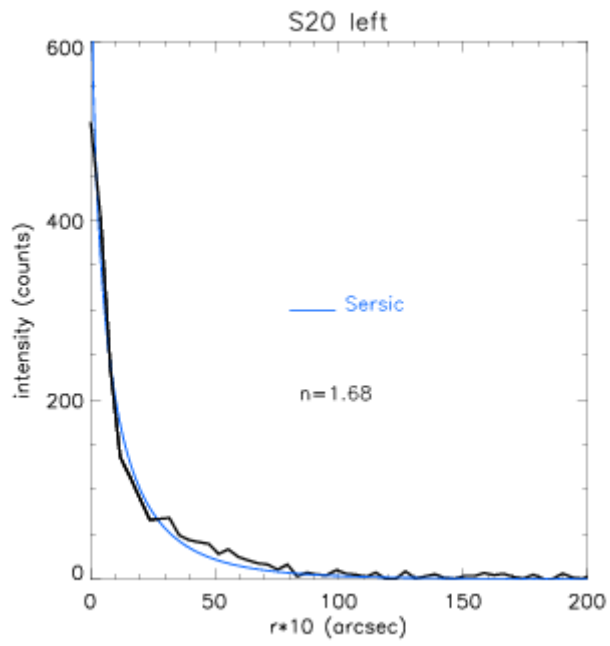




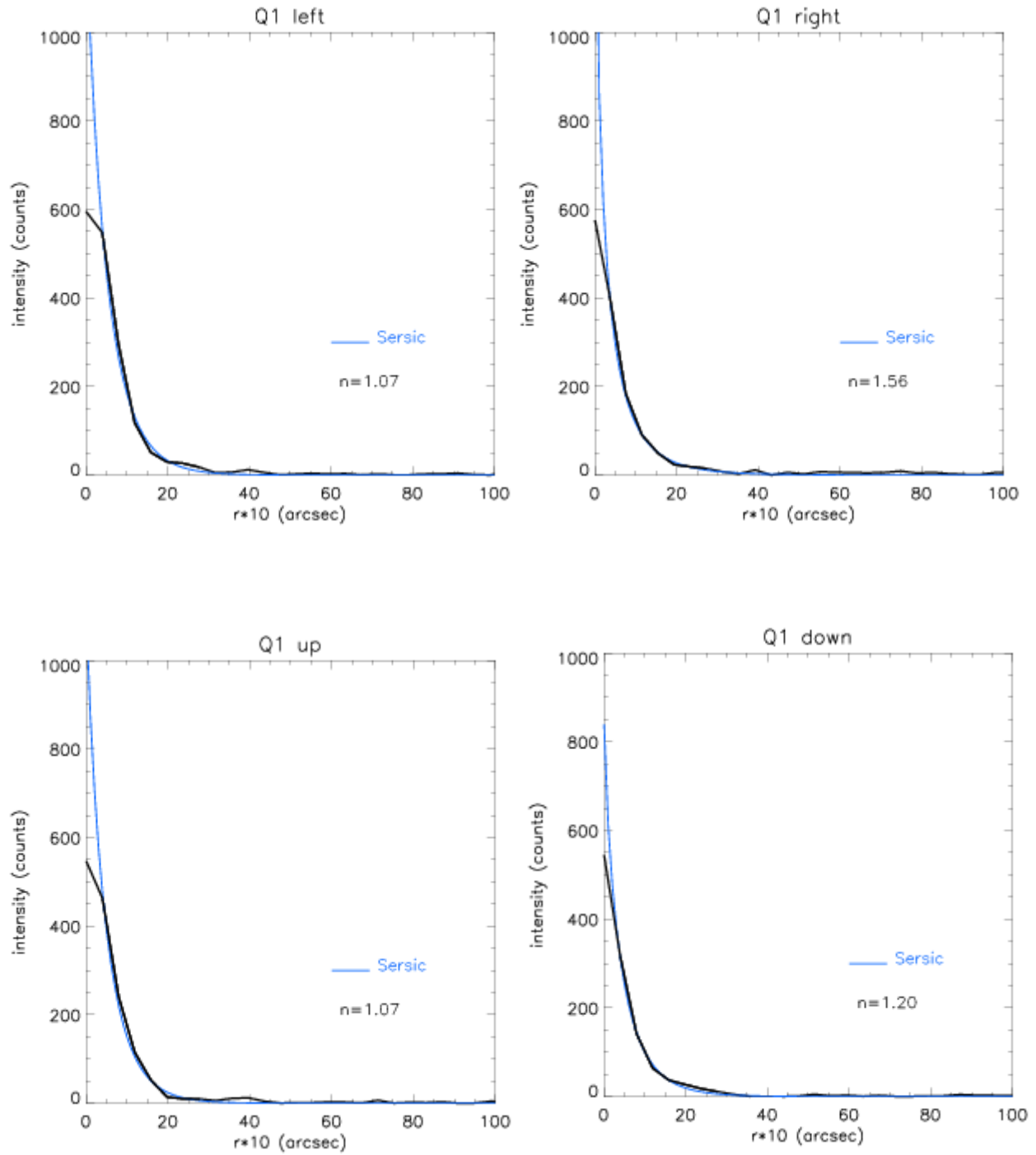


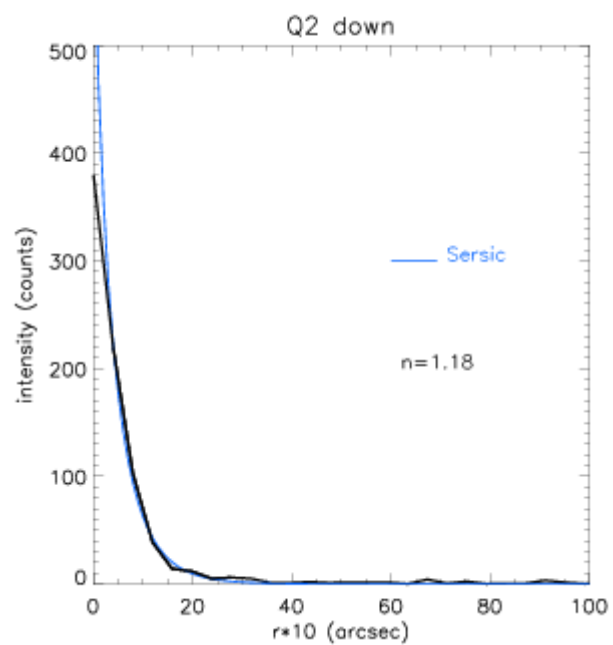
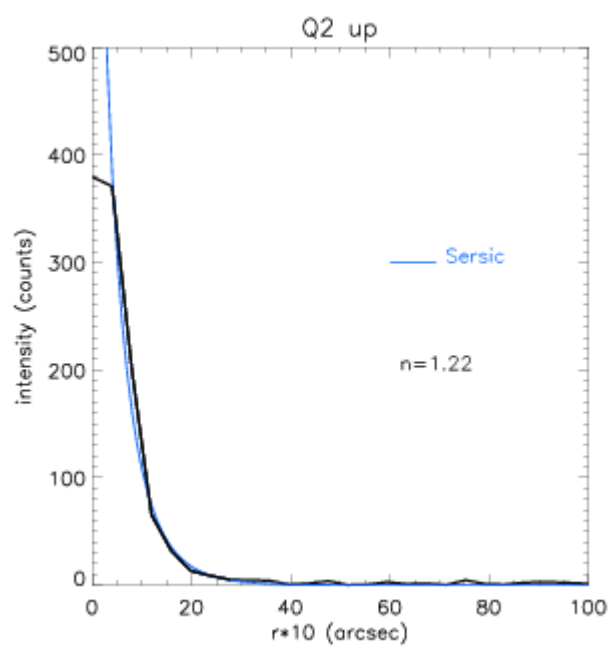
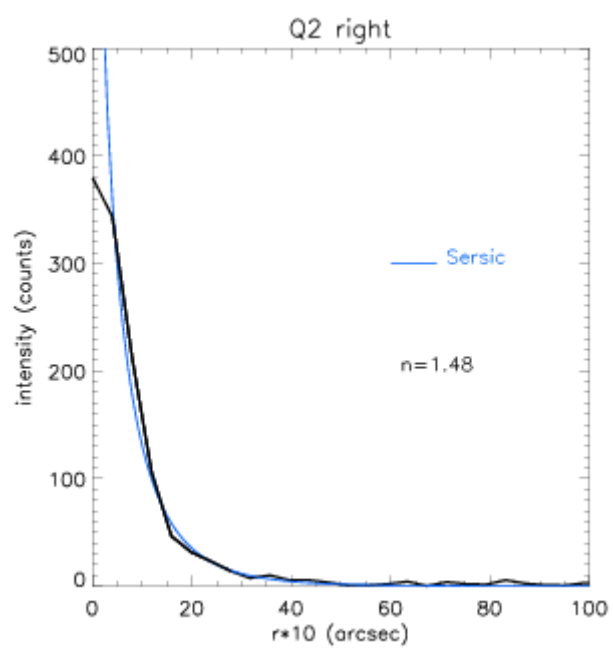
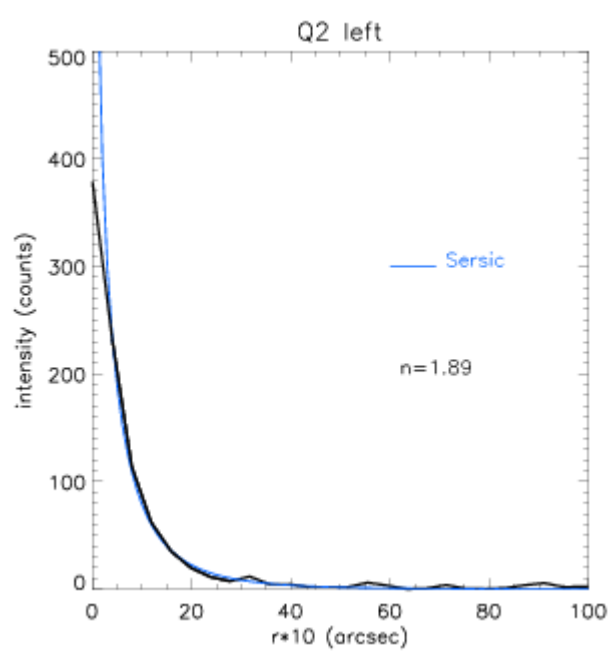


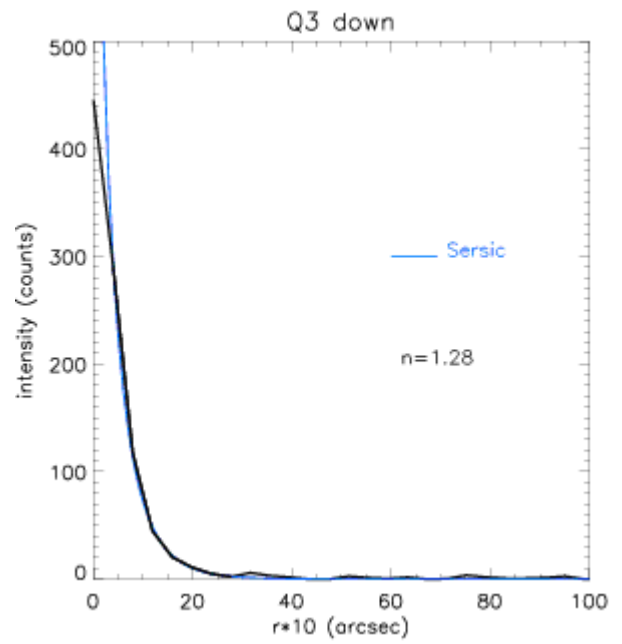
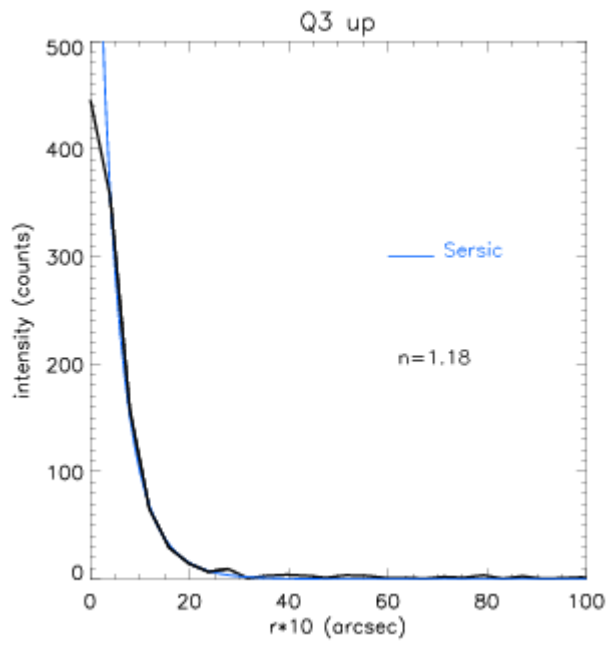
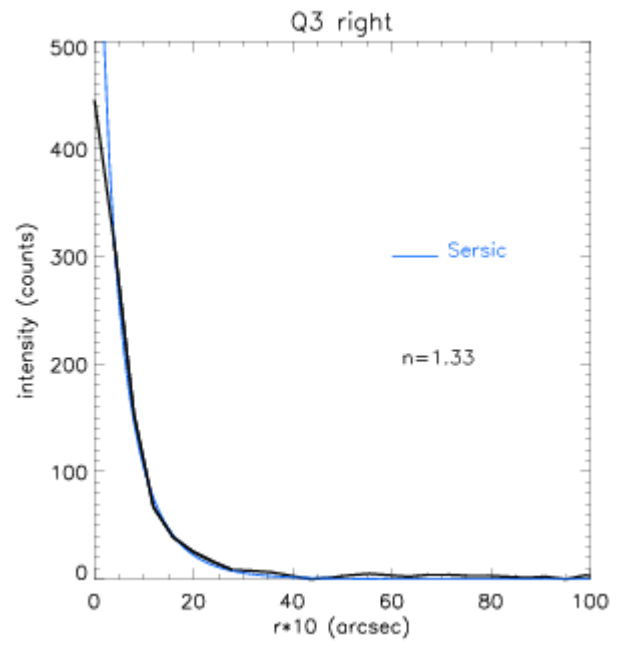
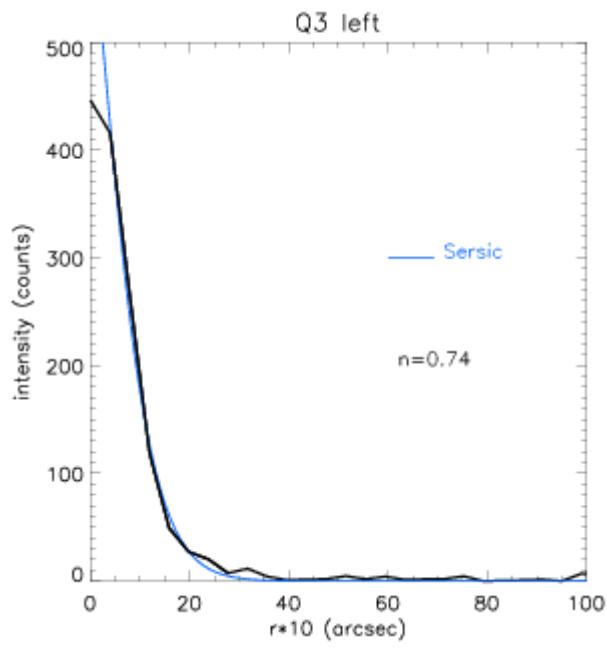


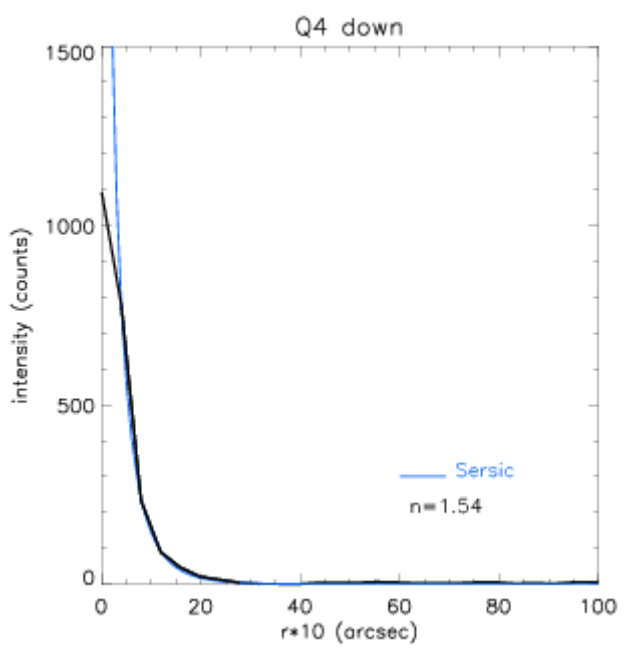
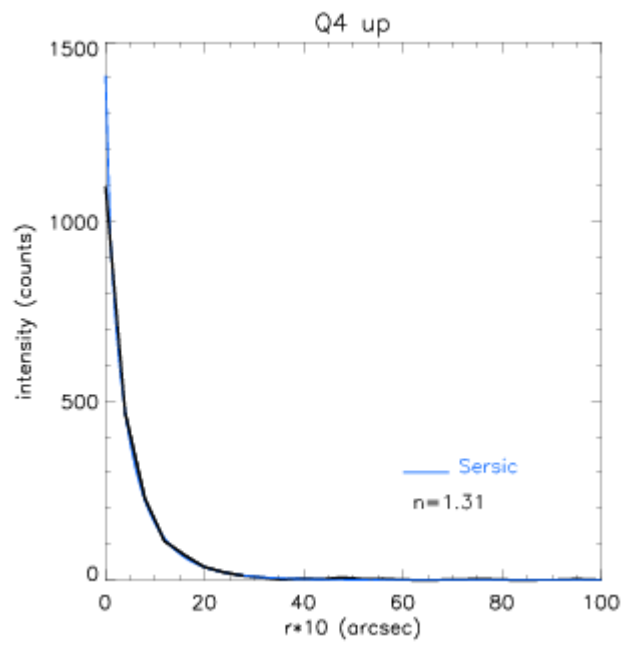
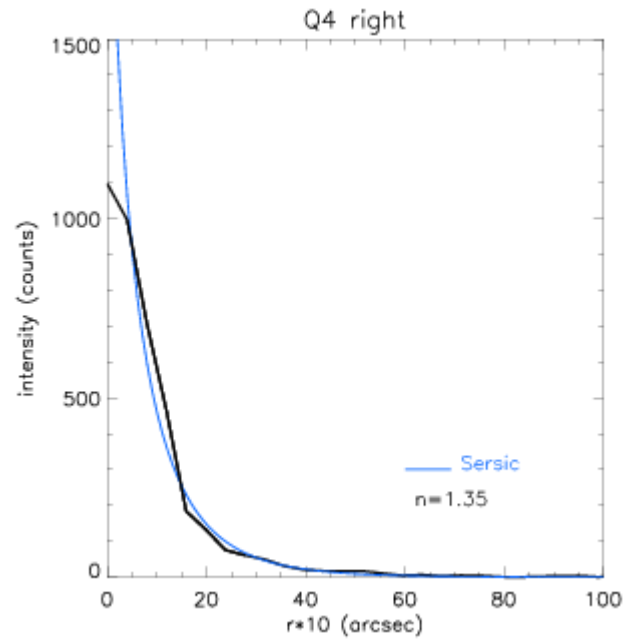
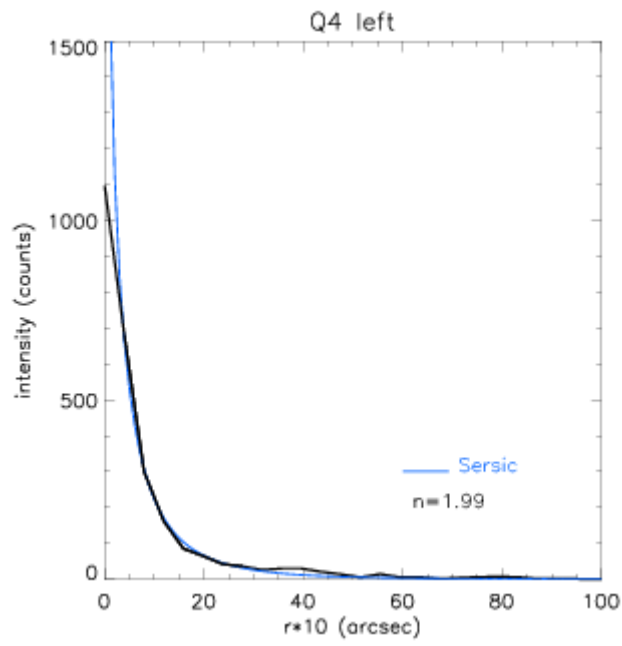


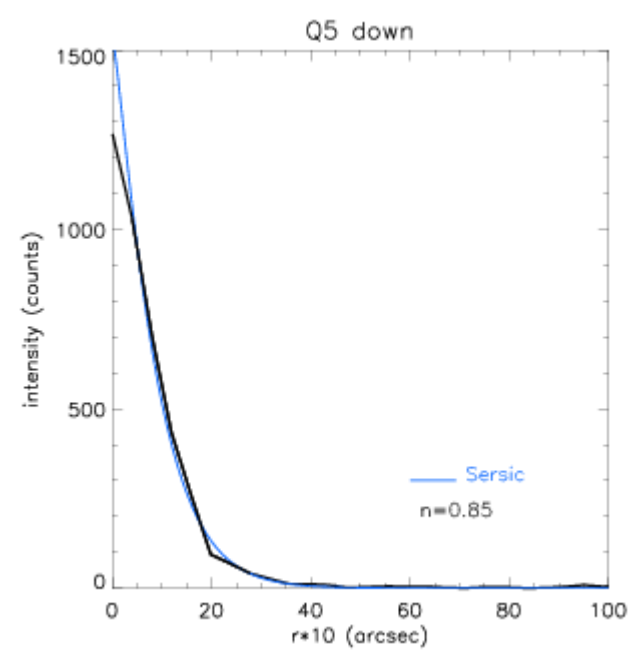
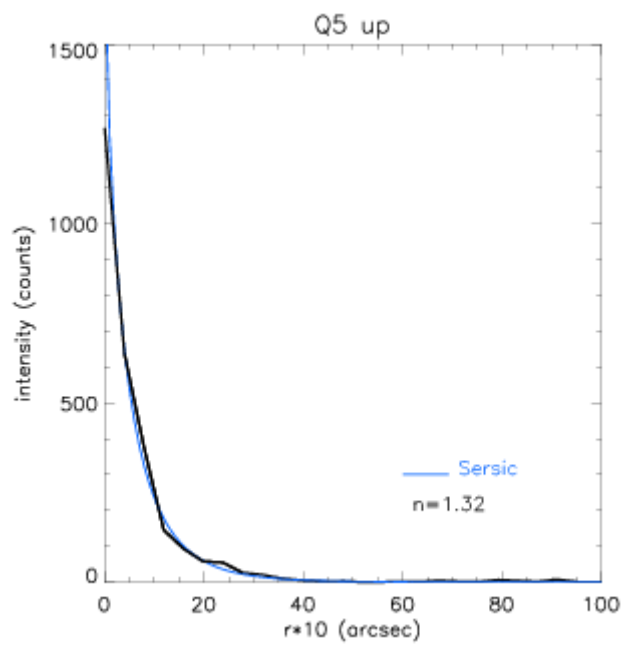
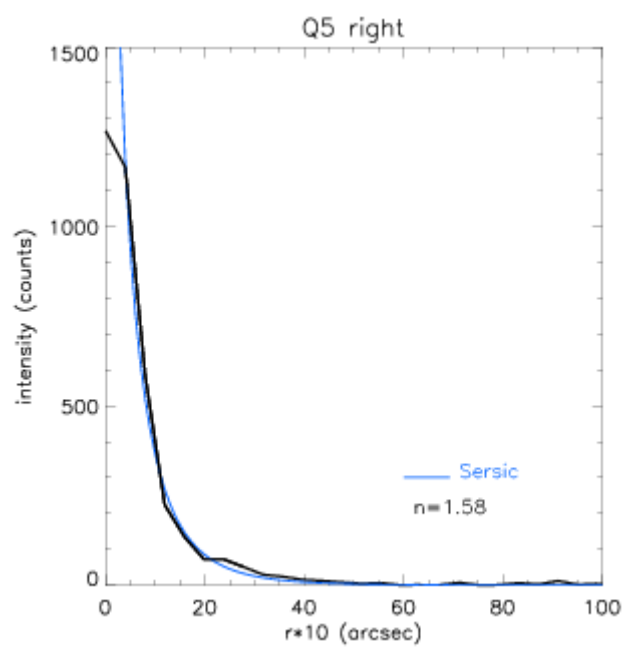
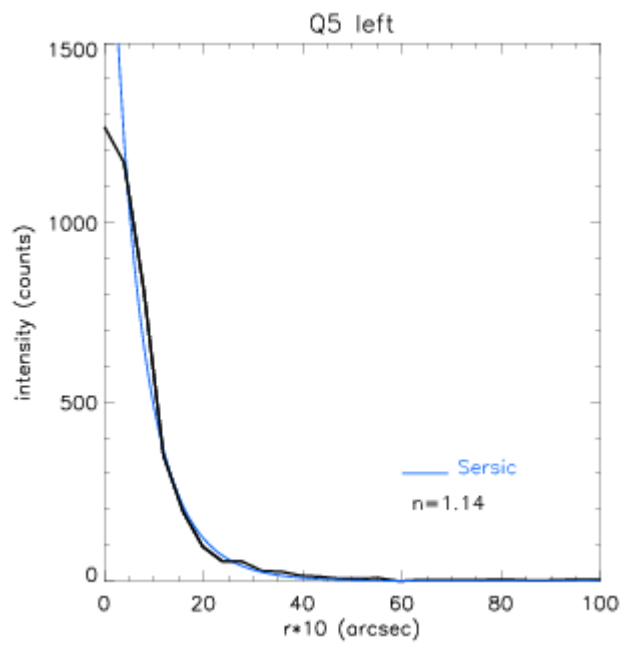
Γ. Γαλαξίες τύπου QSGF

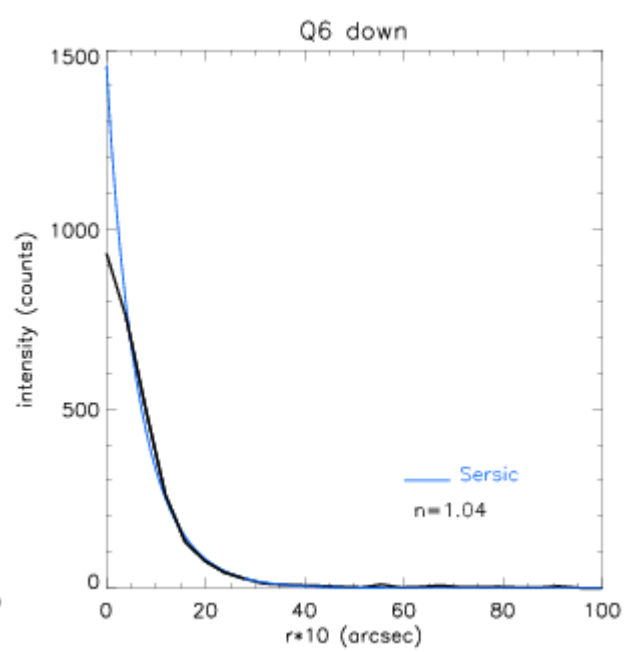
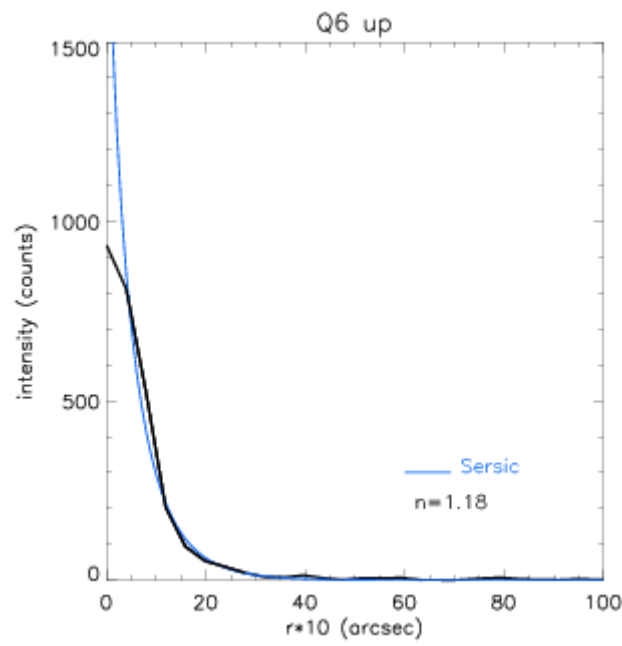
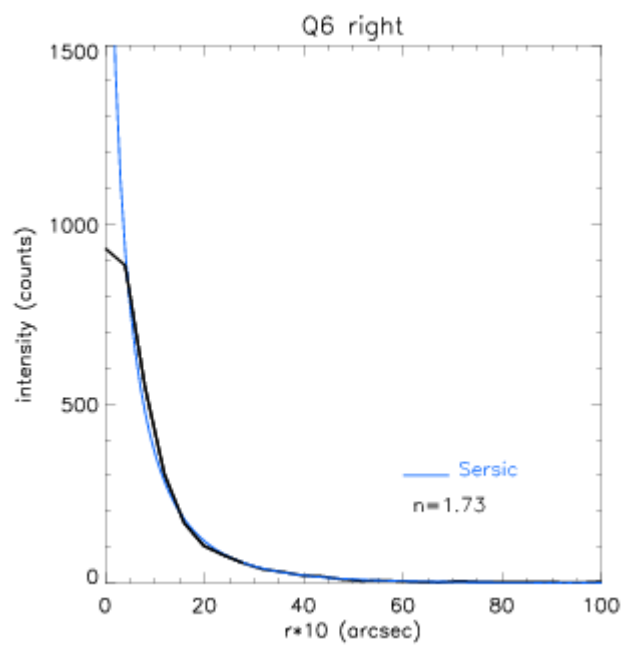
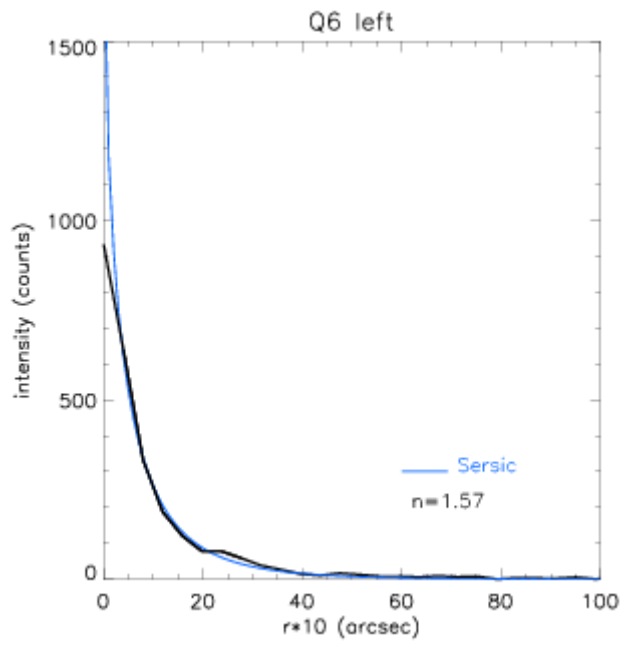


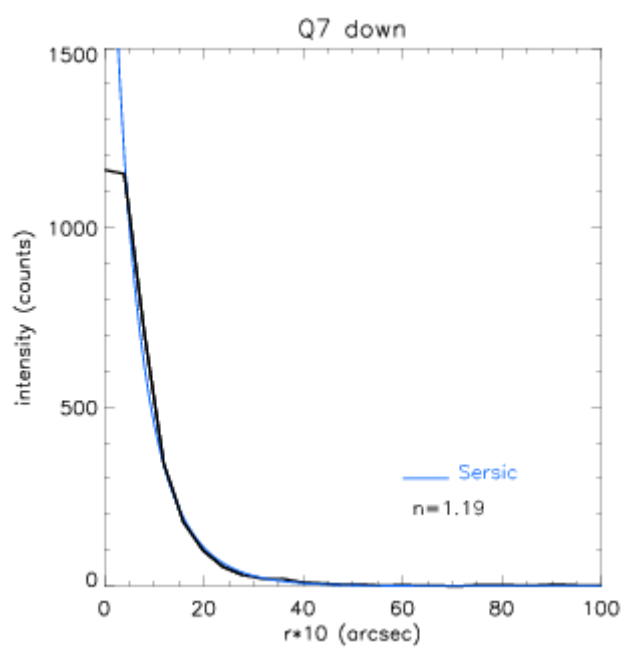
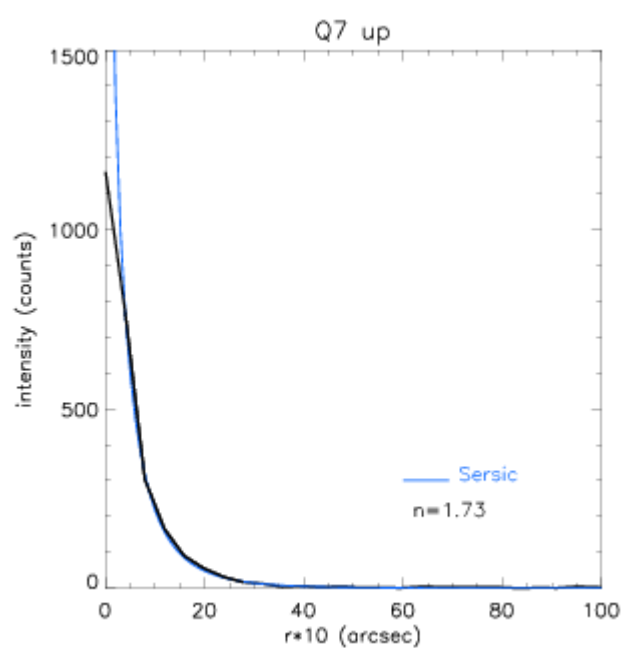
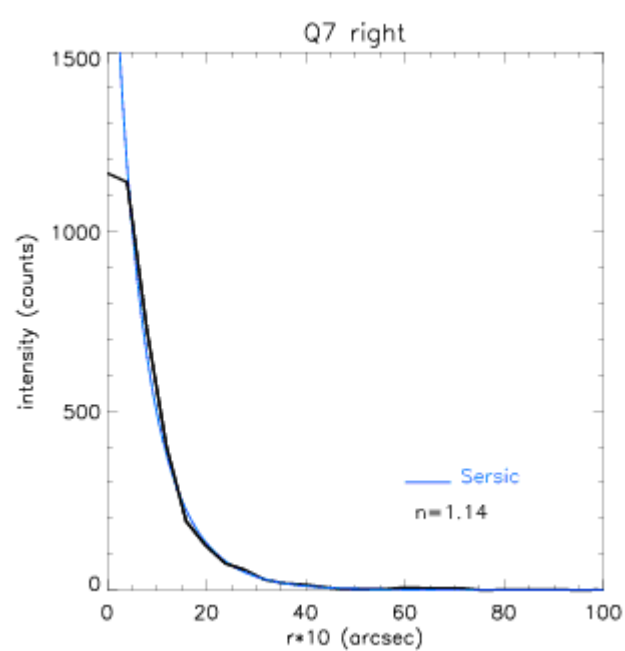
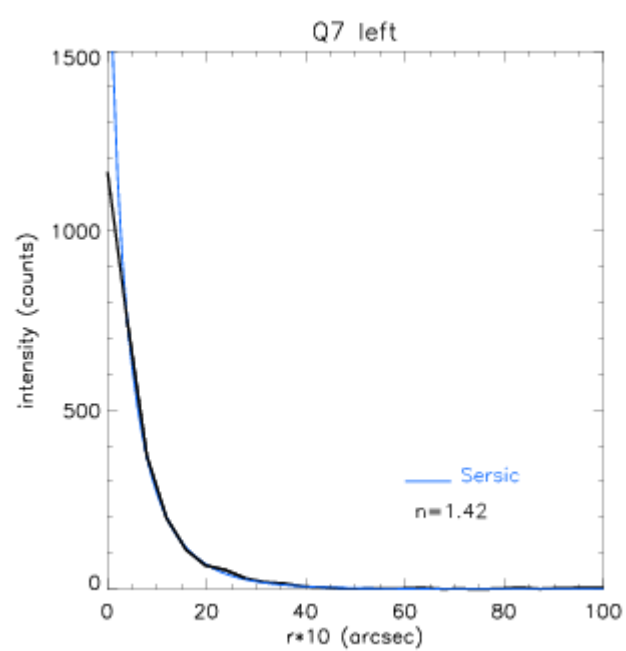


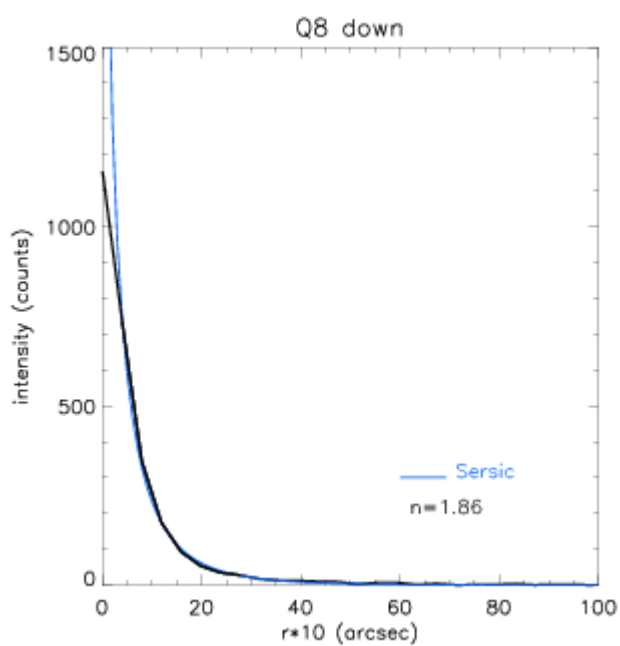
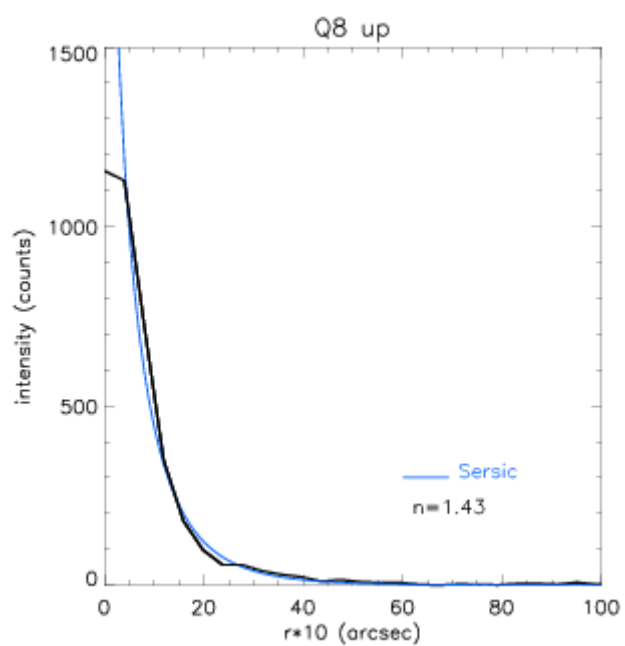
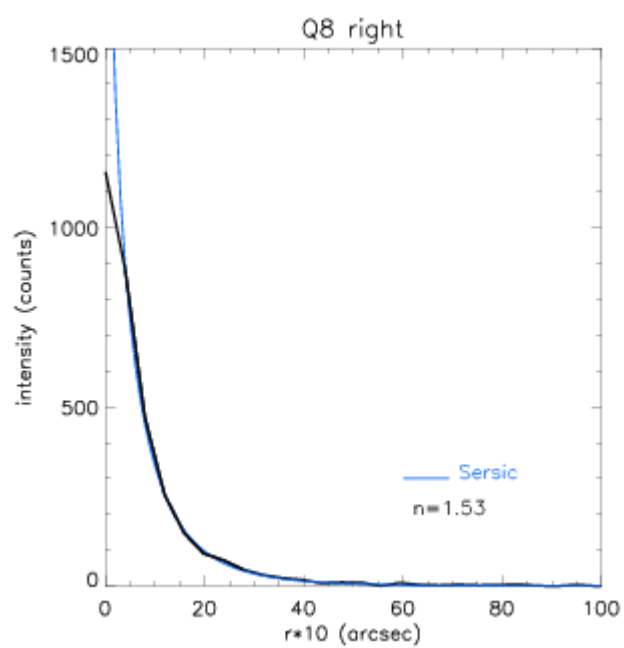
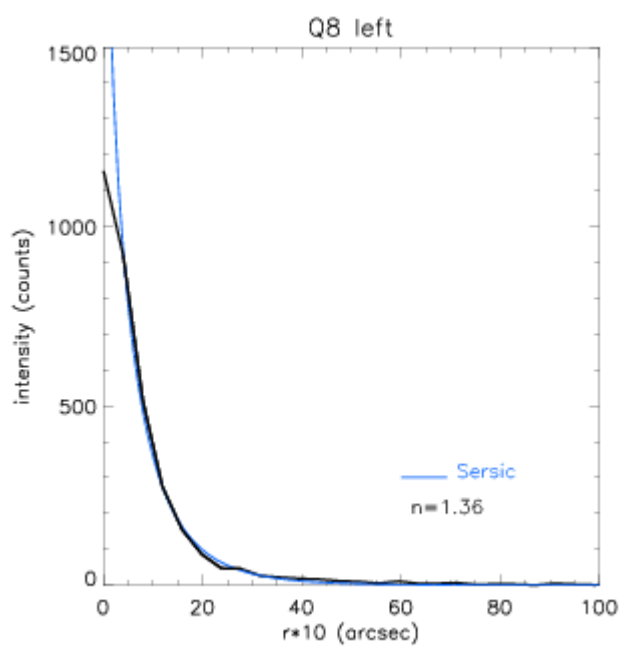


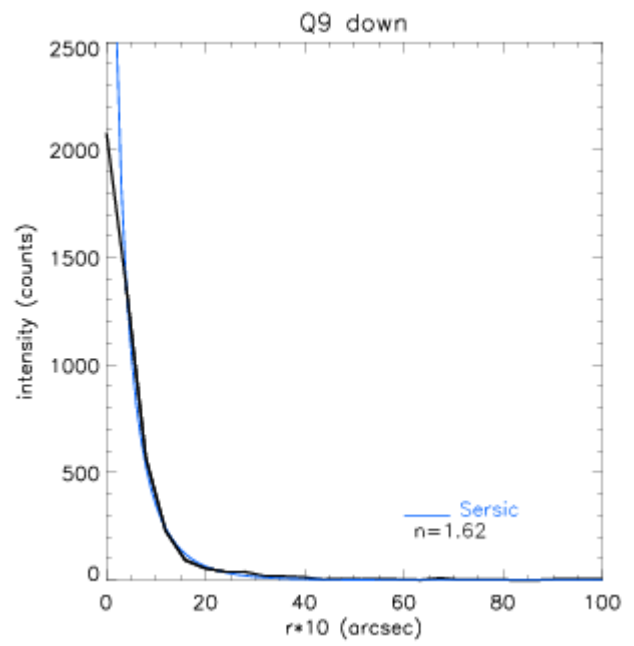
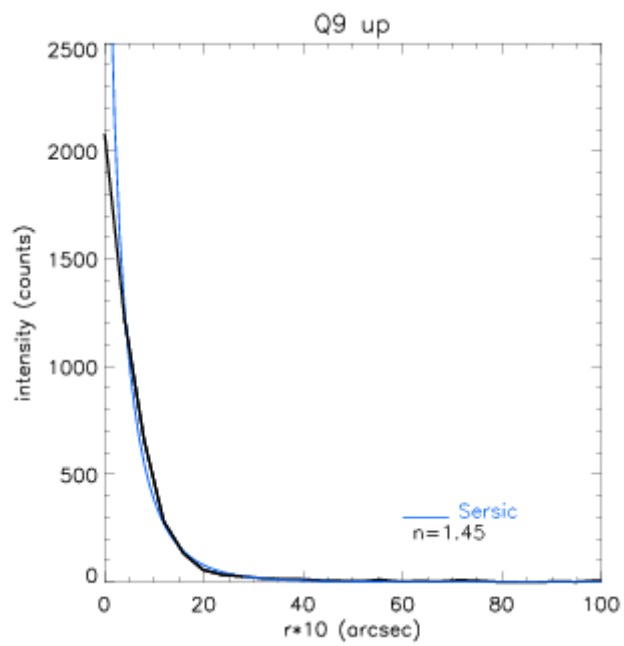
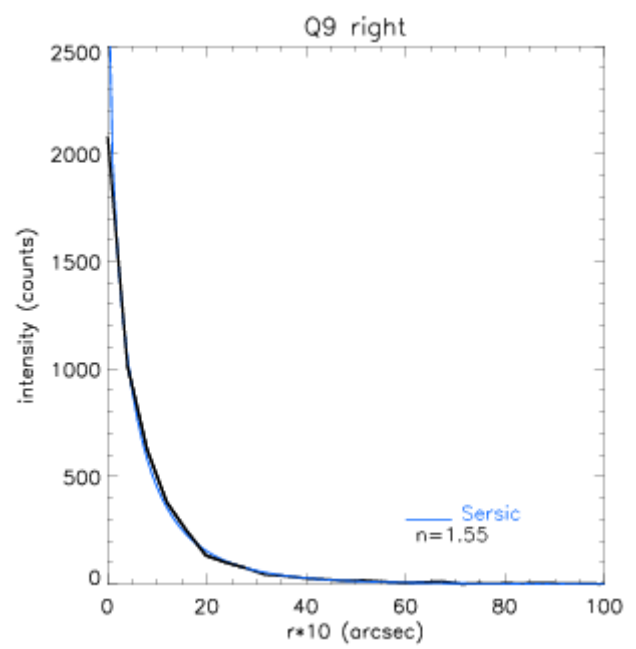
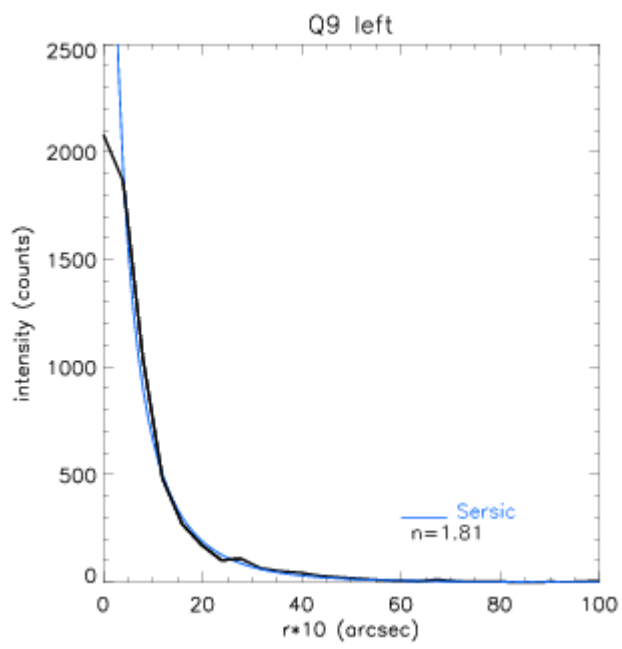


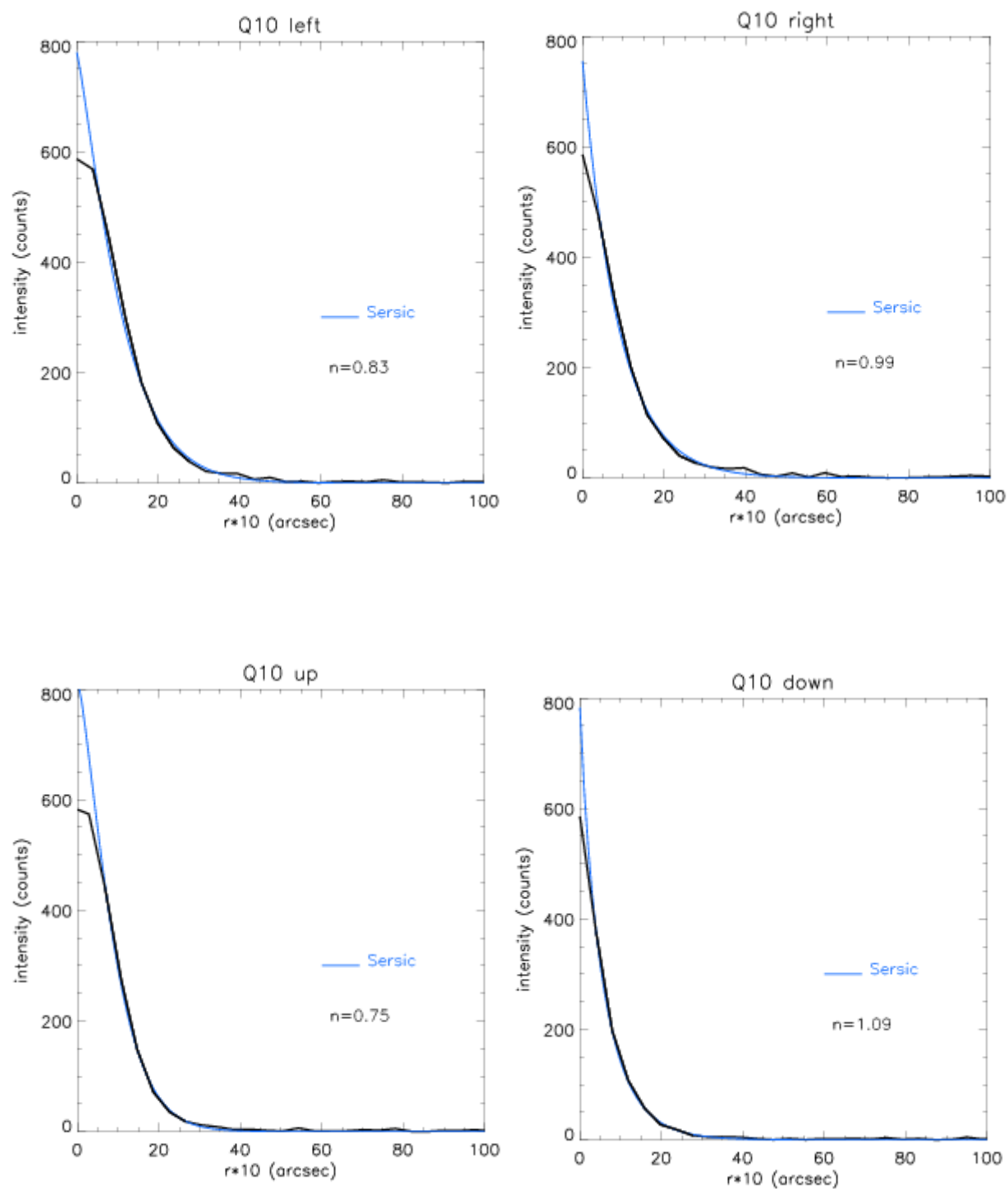


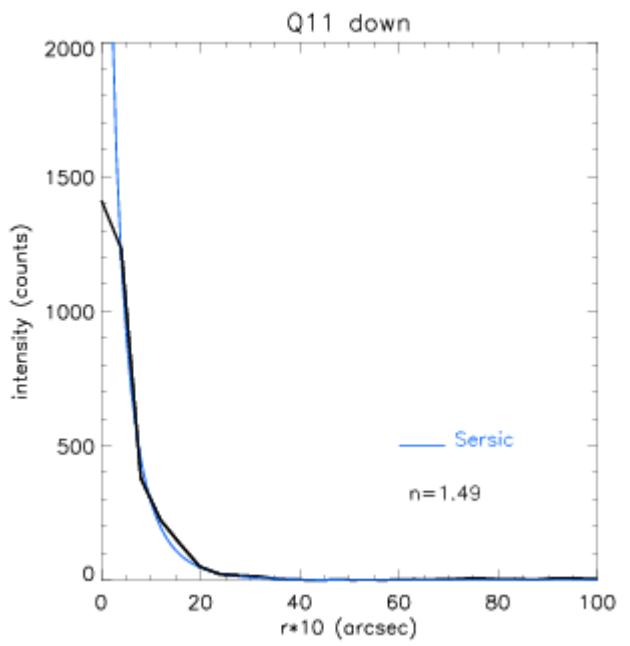
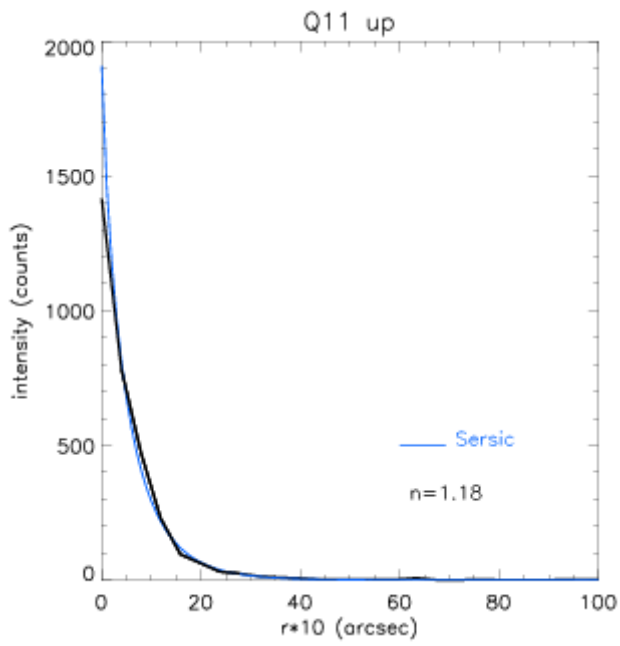
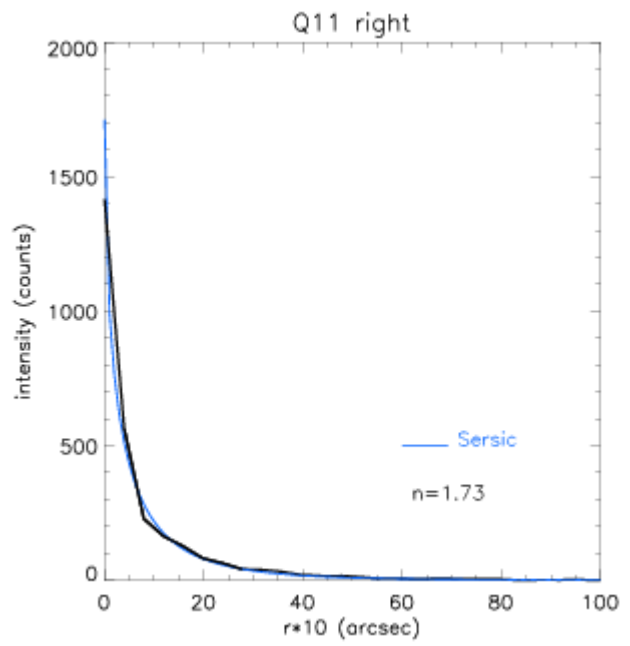
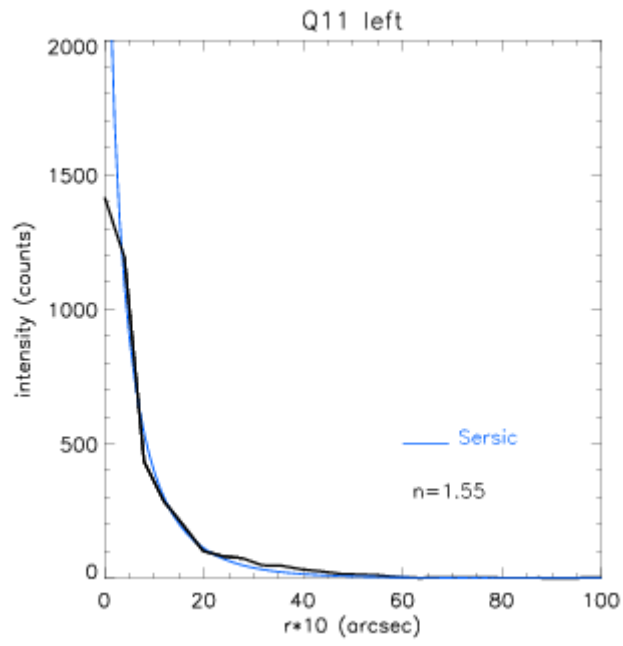


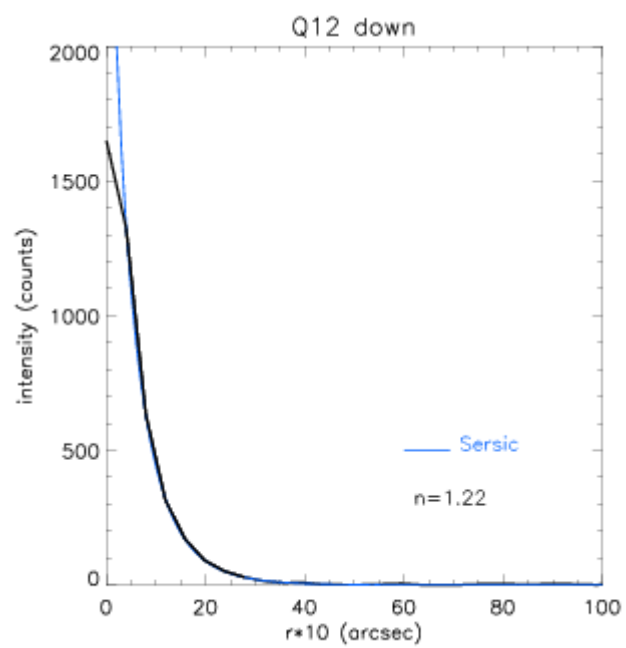
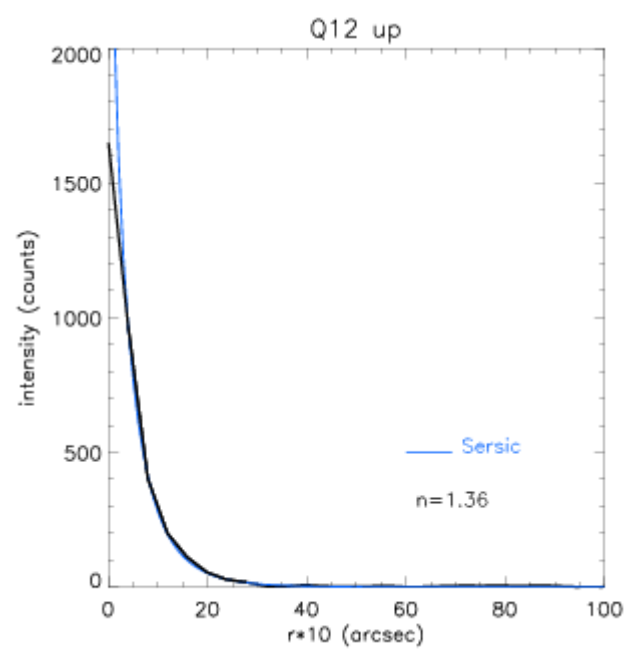
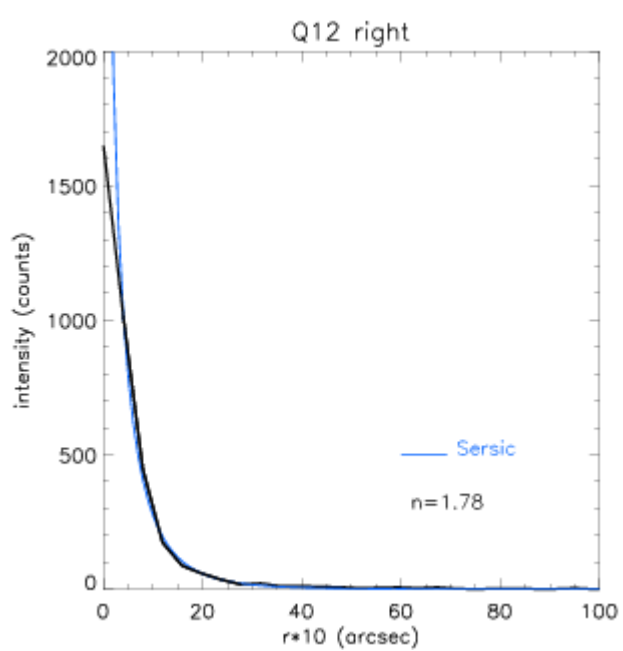
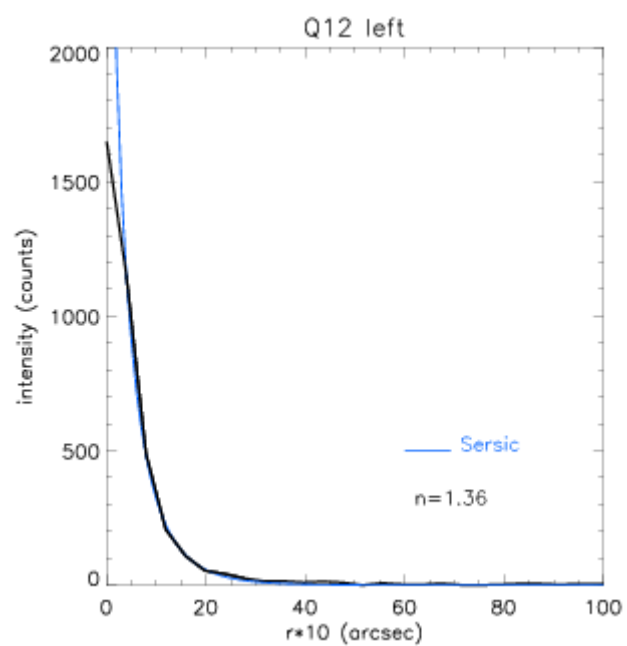


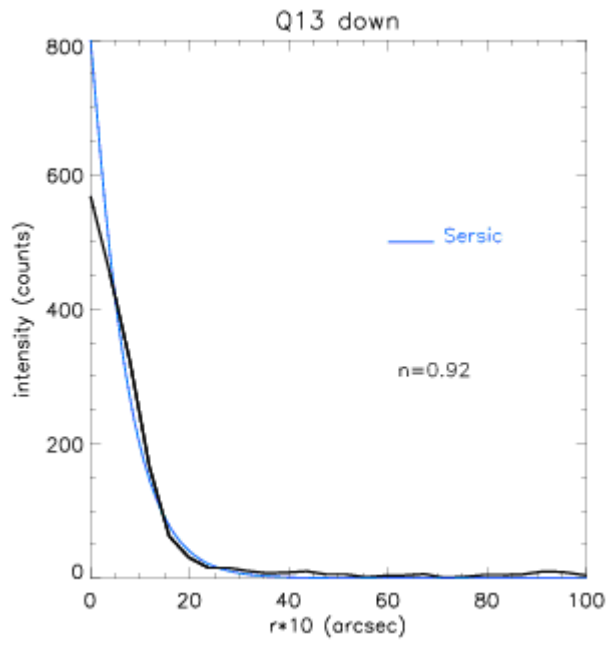
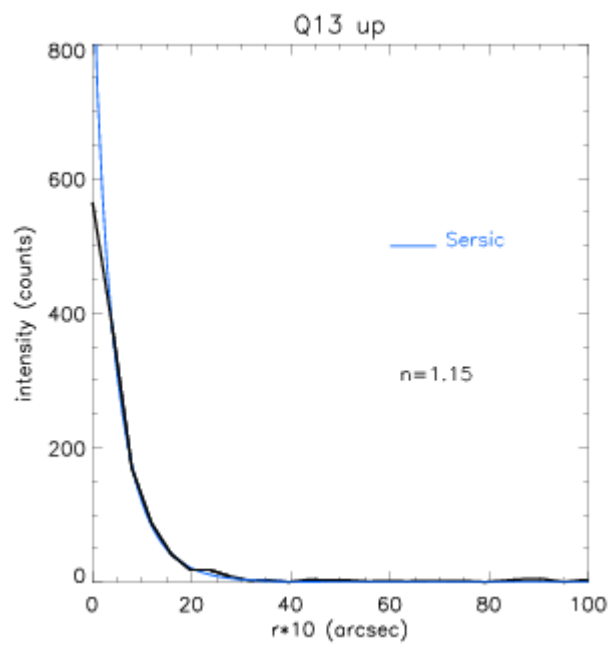
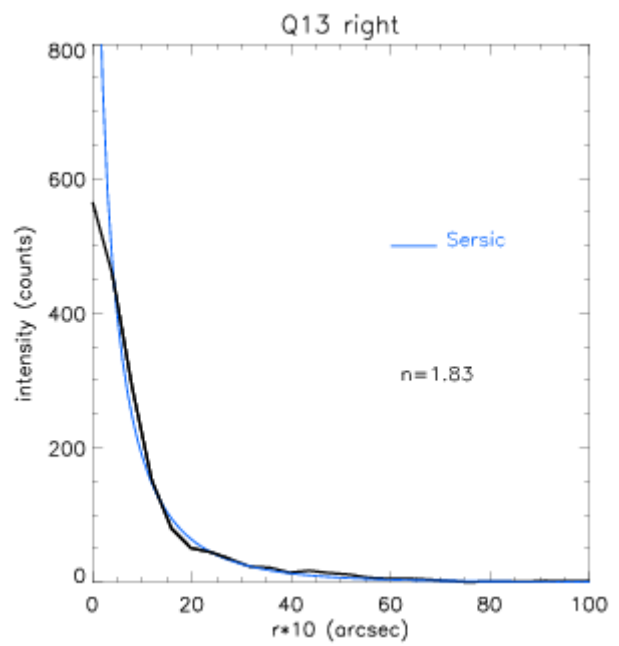
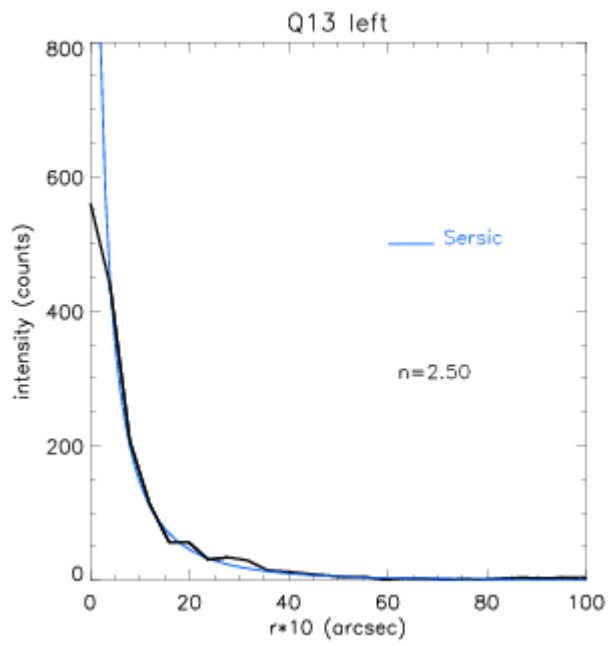


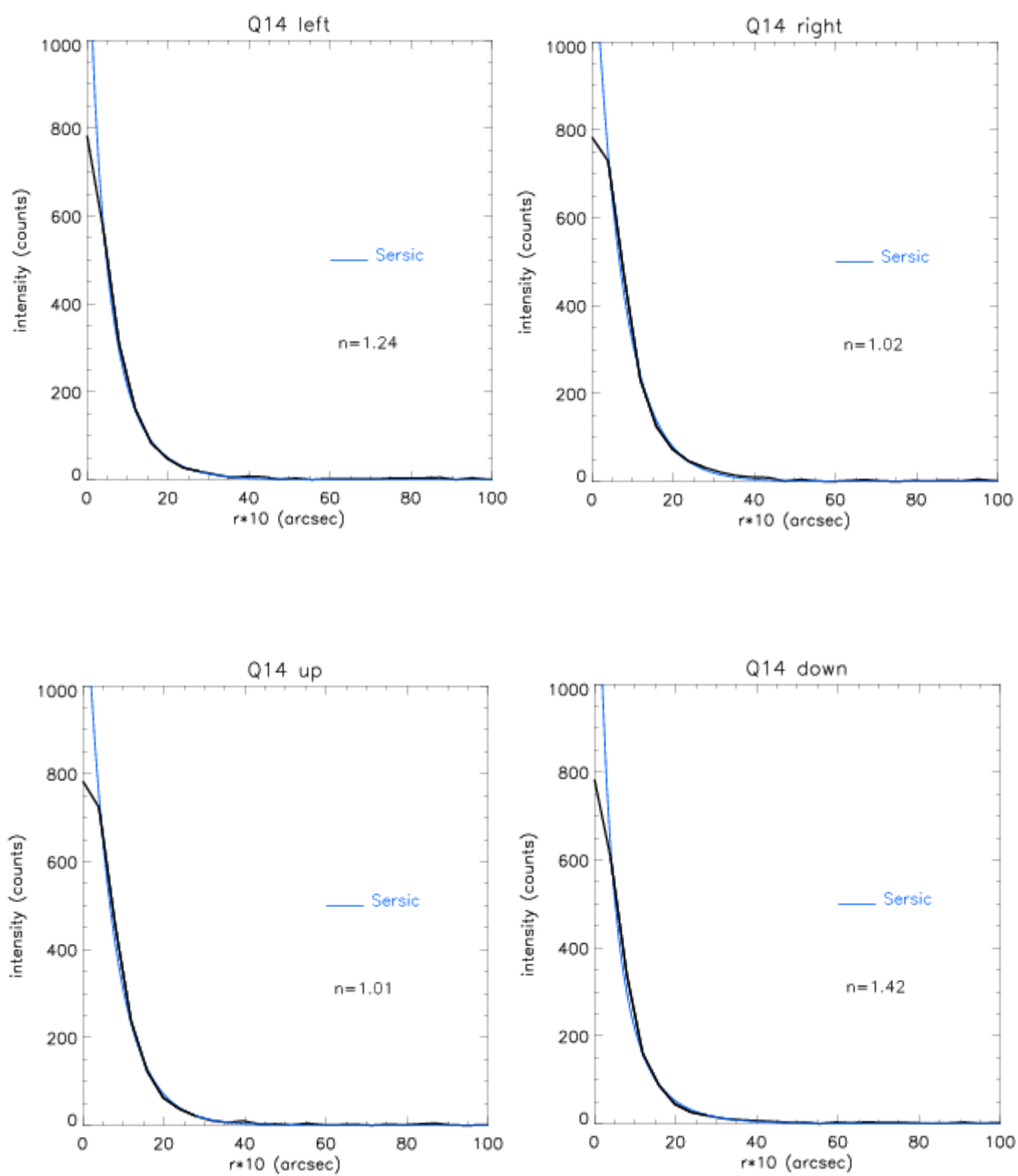


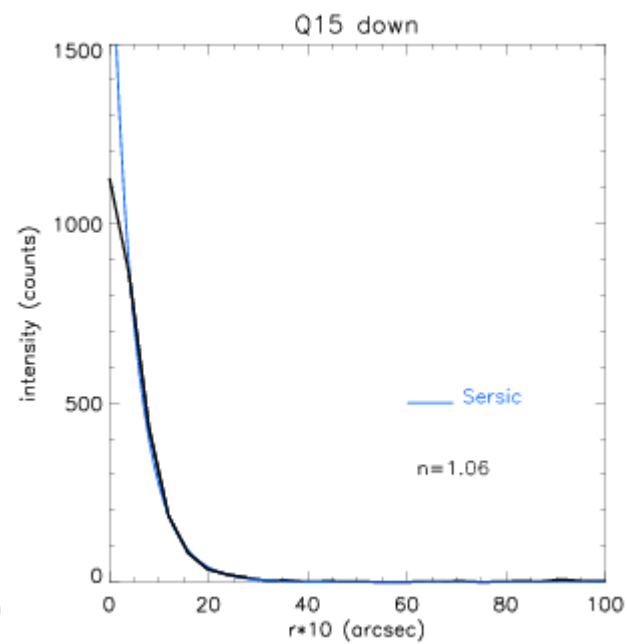
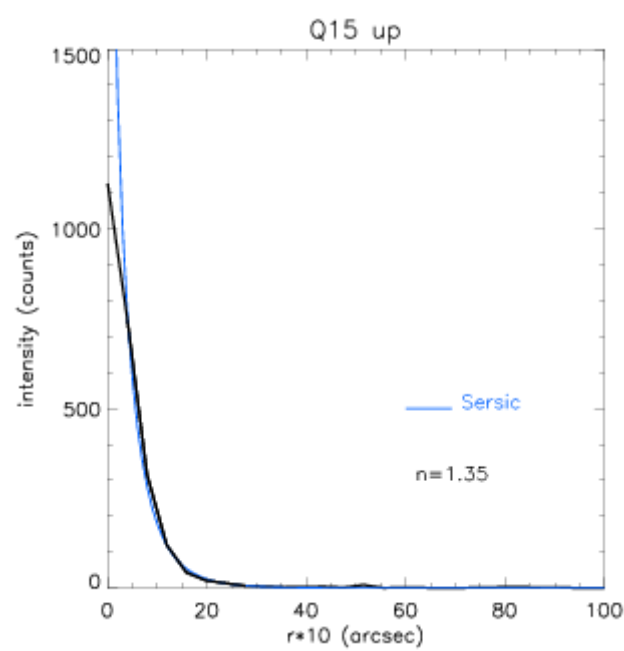
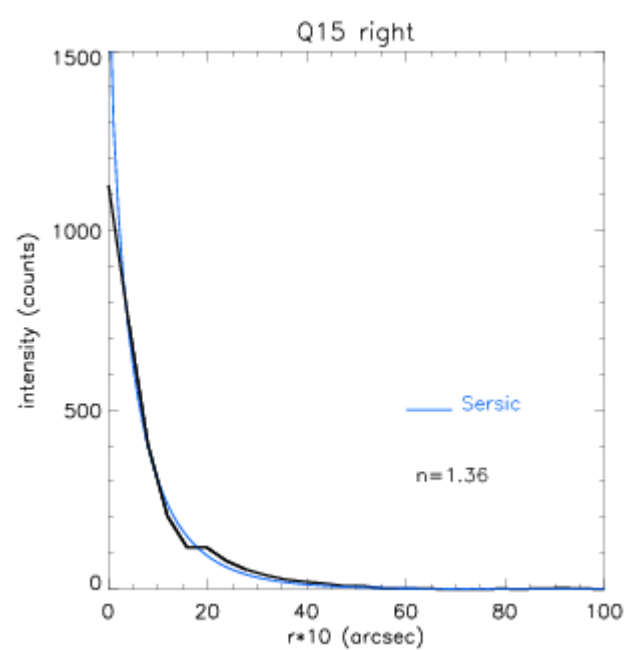
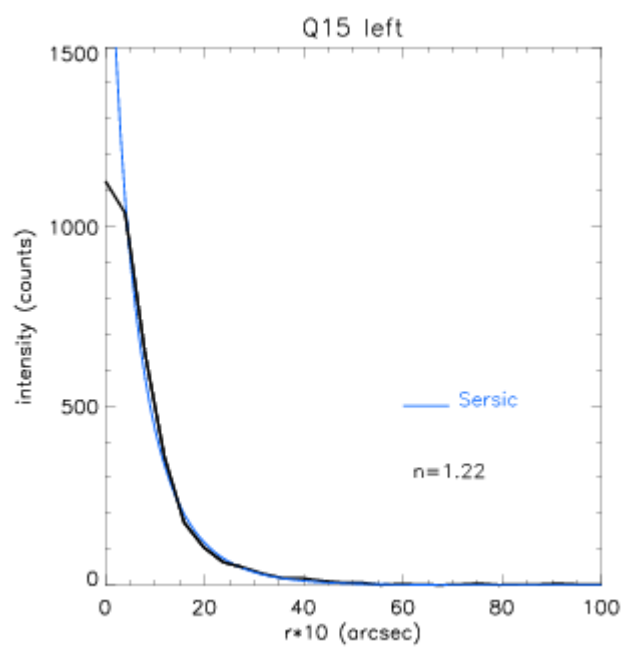


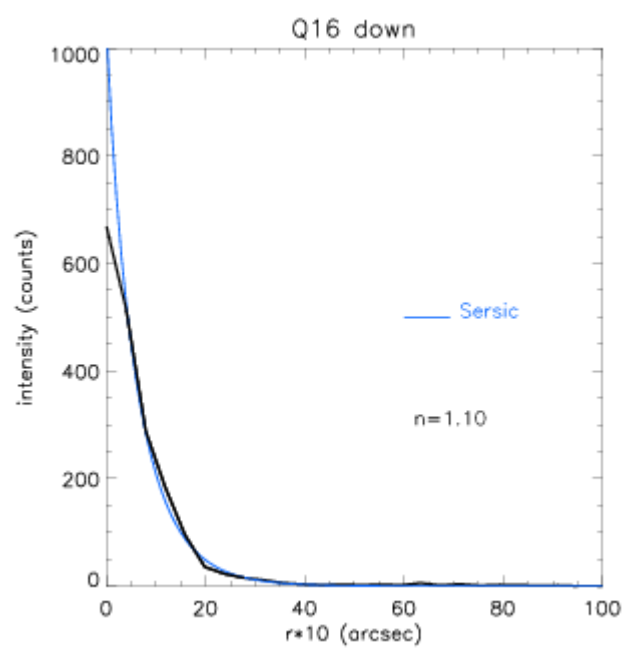
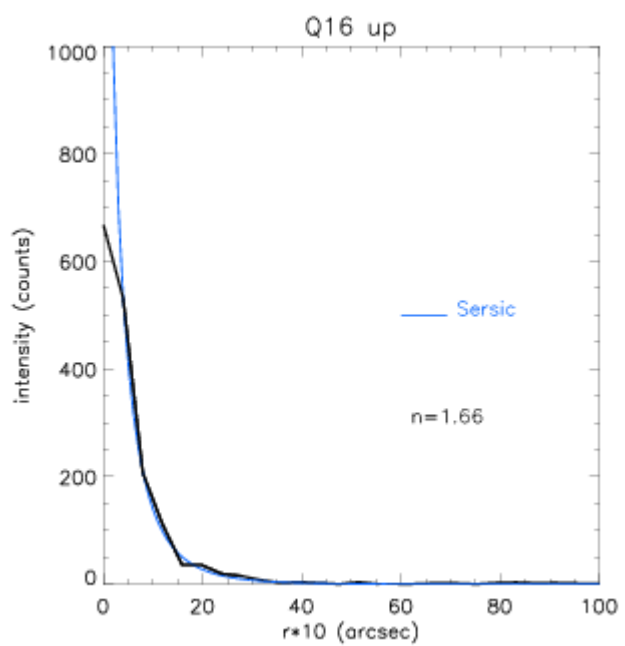
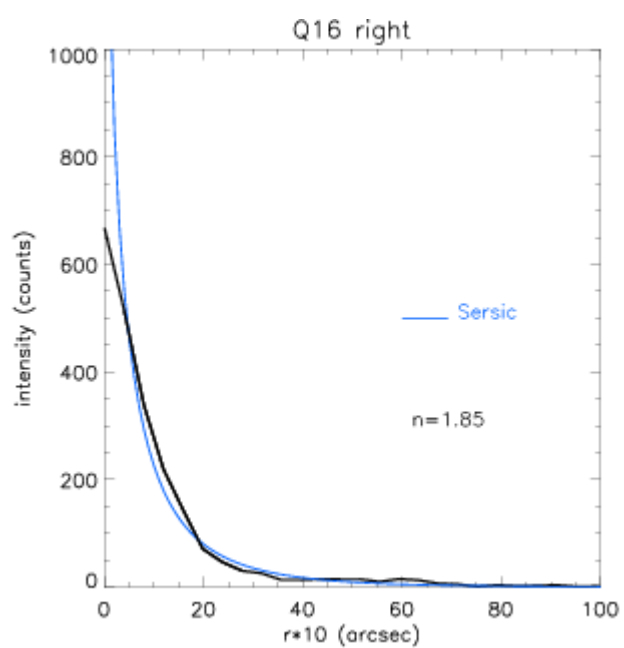
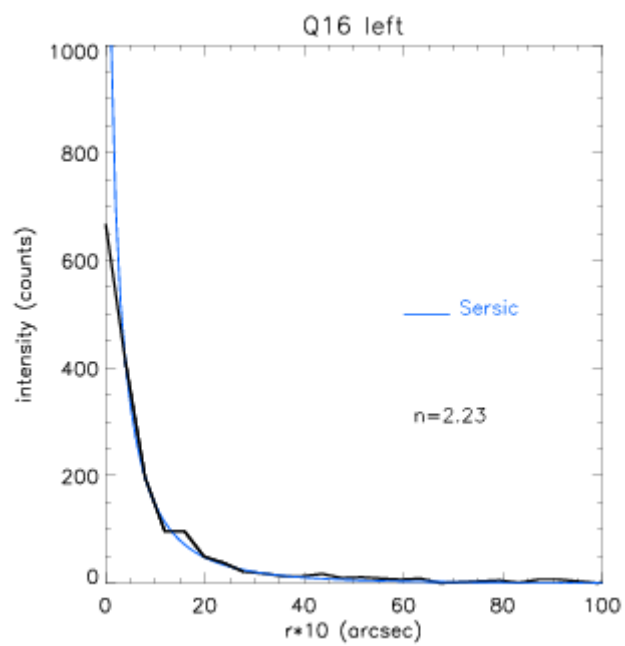


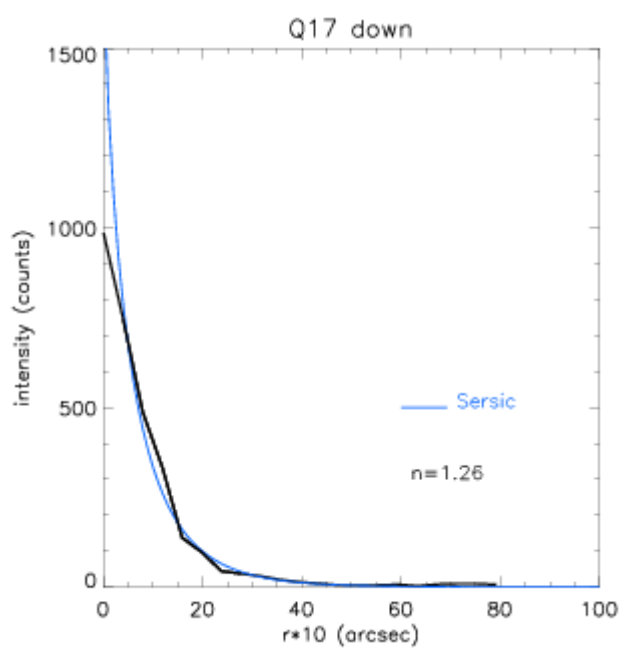
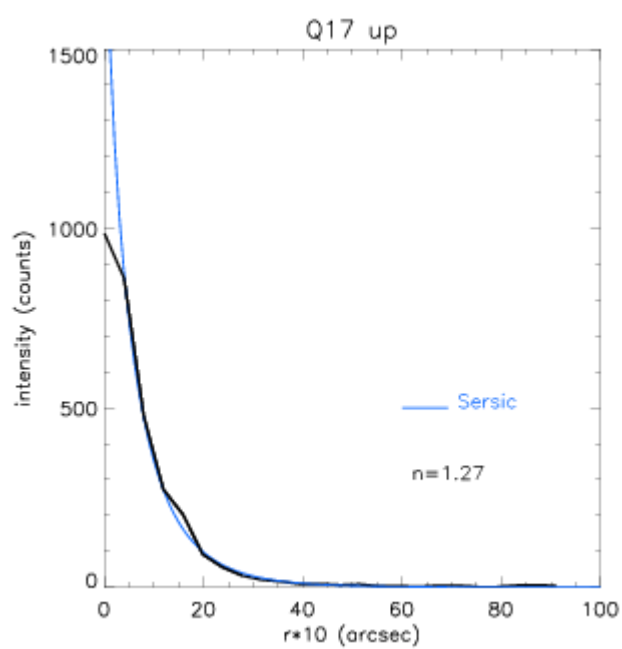
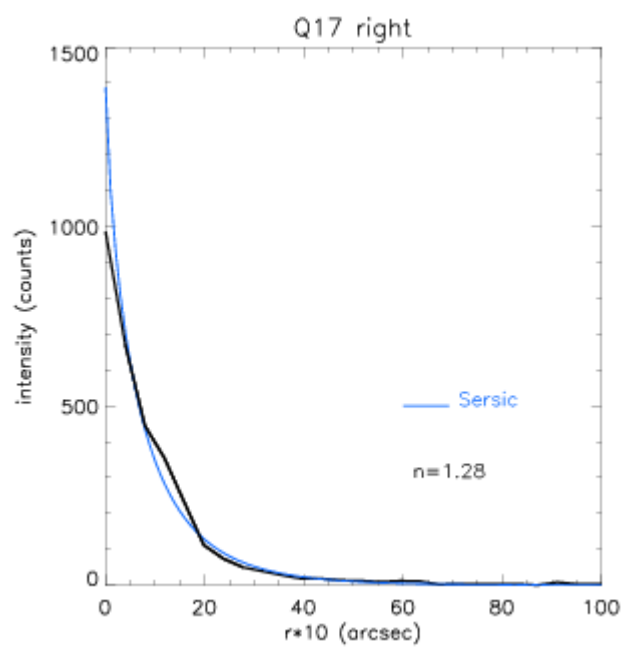
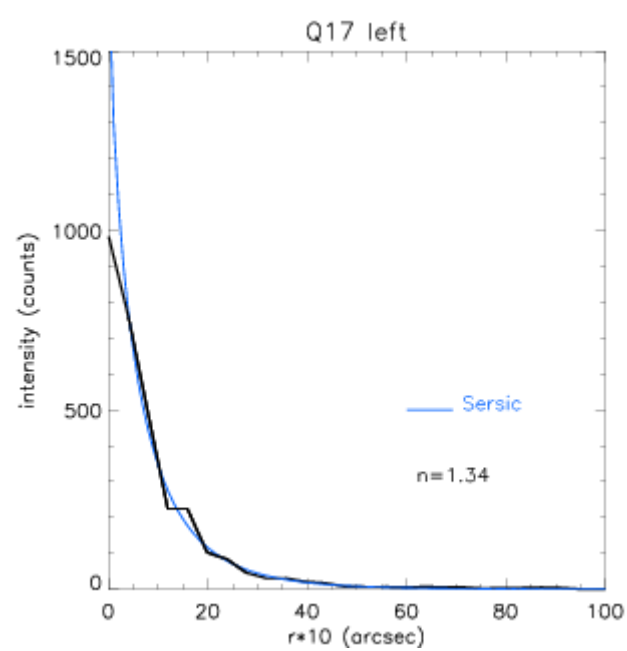


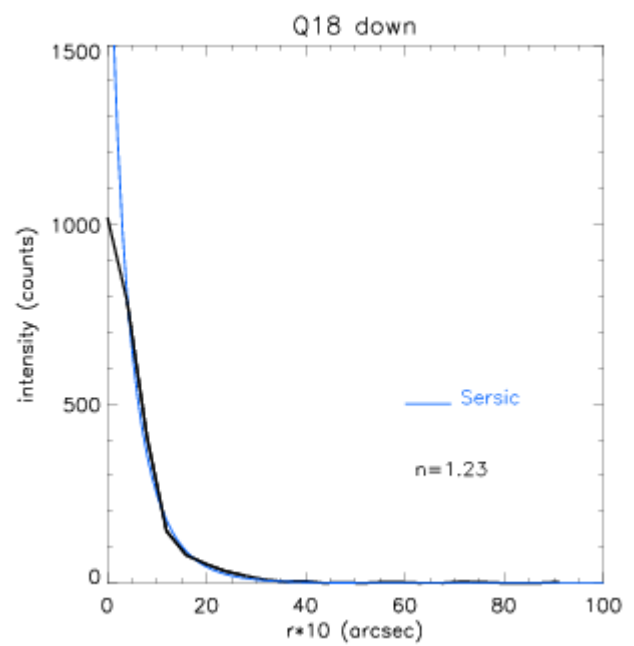
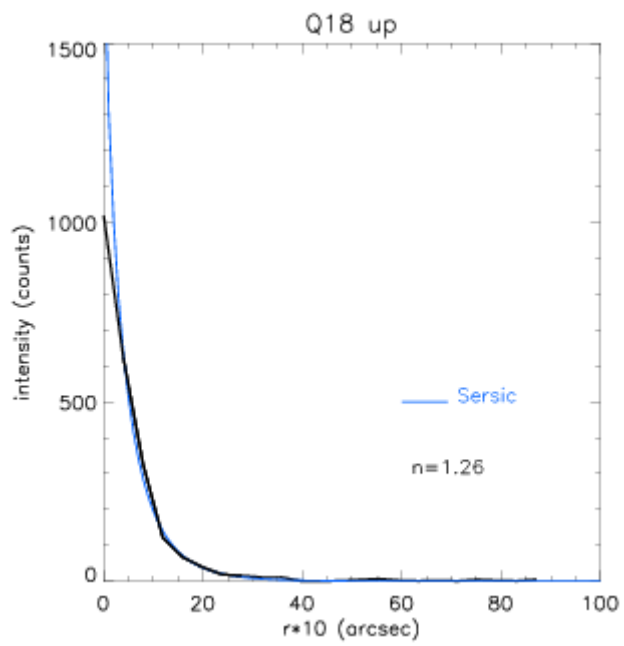
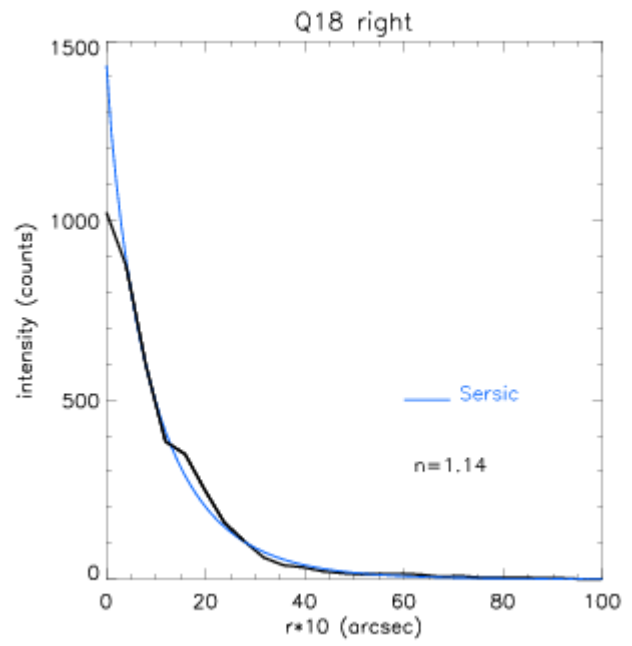
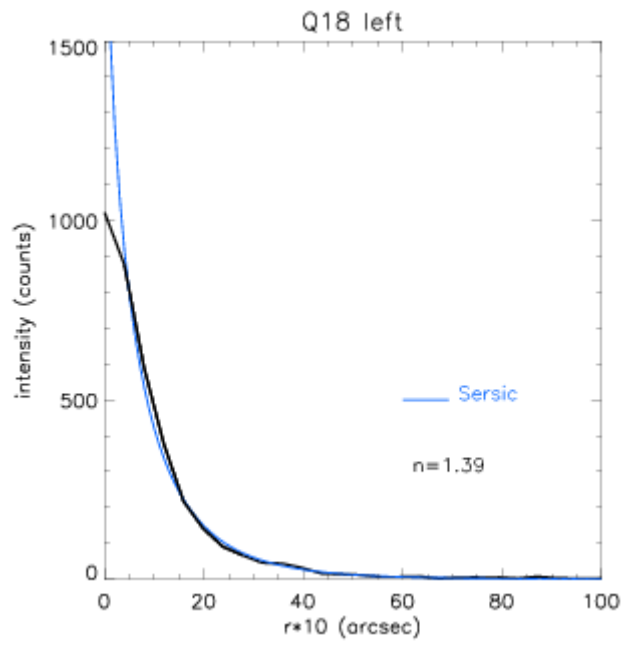


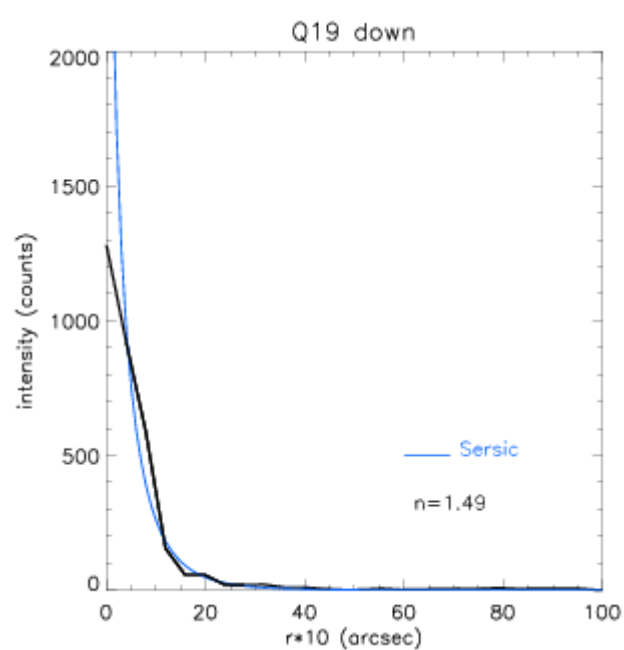
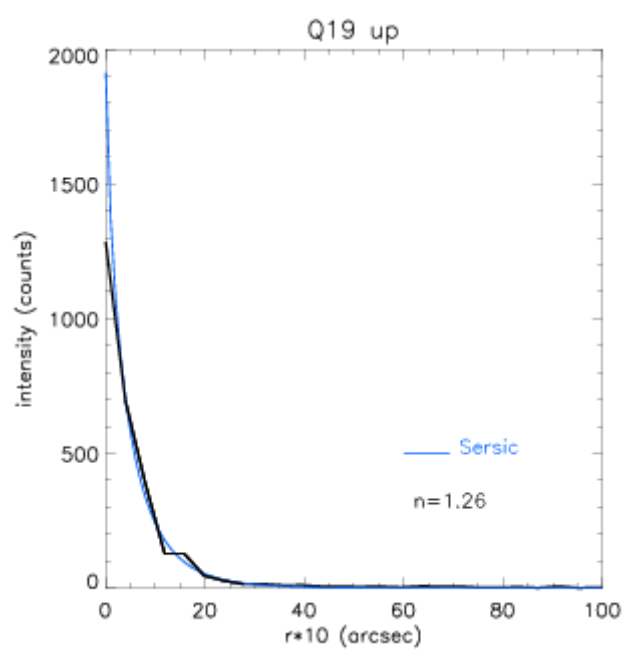
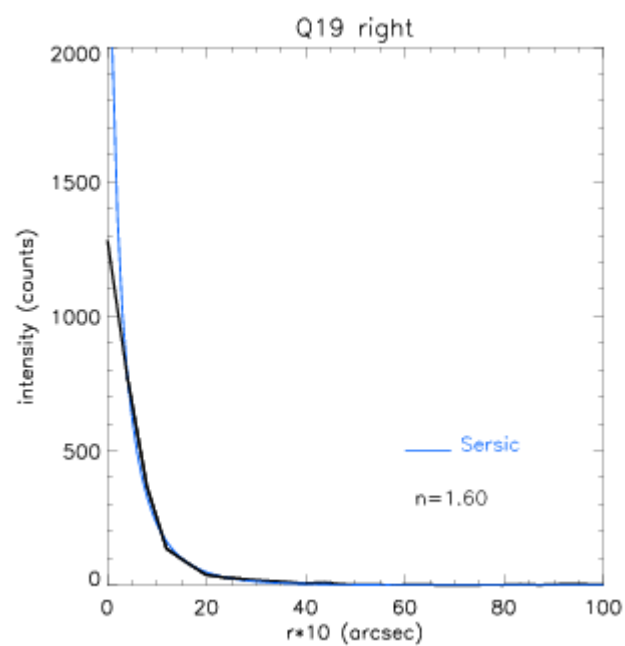
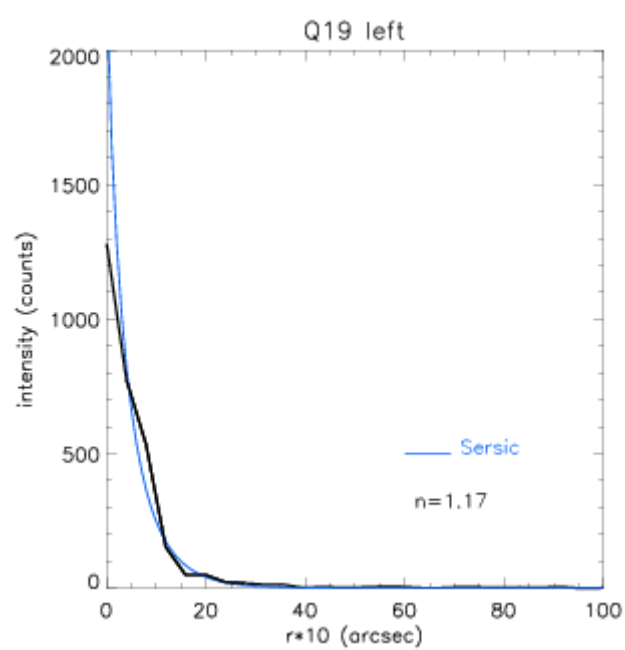


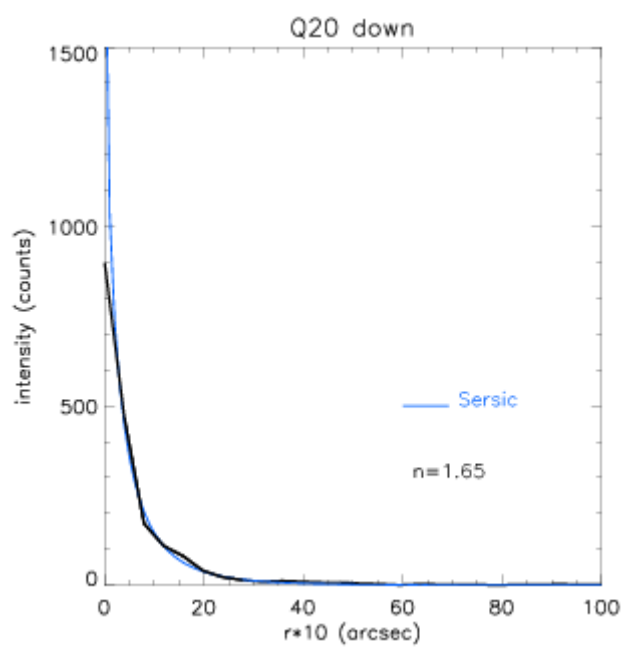
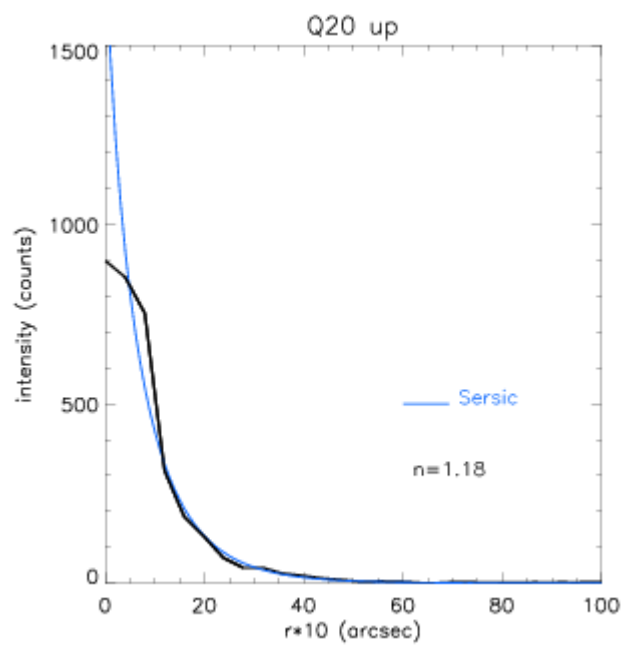
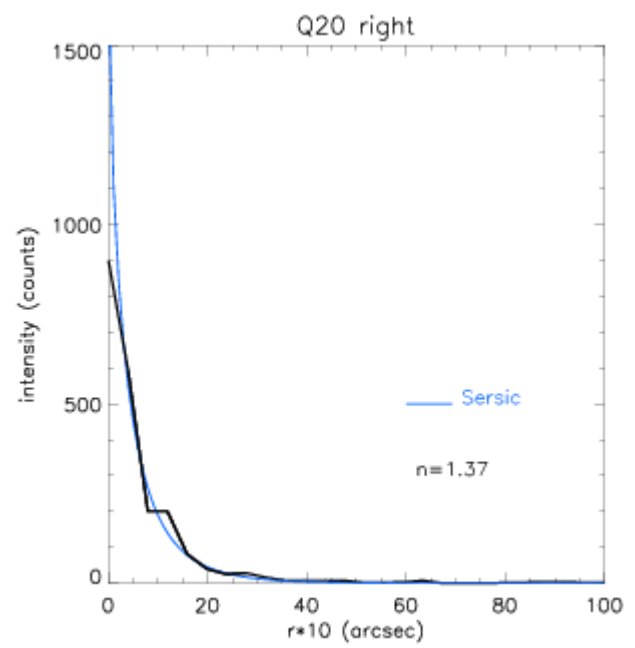
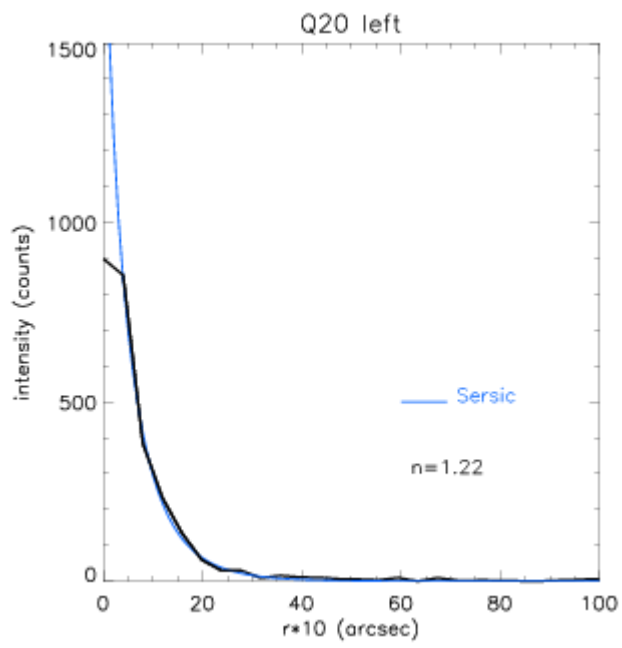












Βιβλιογραφία

- [1] **Andredakis Y. C., Sanders R. H.**, 1994, Exponential bulges in late-type spirals: an improved description of the light distribution, *MNRAS*, 267, 283
- [2] **Bell E.F, et al.**, 2004, Nearly 5000 Distant Early-Type Galaxies in COMBO-17: A Red Sequence and Its Evolution since $z \sim 1$, *ApJ*, 608, 752
- [3] **Birnboim Y., Dekel A., Neistein E.**, 2007, Bursting and quenching in massive galaxies without major mergers or AGNs, *MNRAS*, 380, 339
- [4] **Blanton M.R., Moustakas J.**, 2009, Physical Properties and Environments of Nearby Galaxies, *ARA&A*, 47, 159
- [5] **Blanton M.R., et al.**, 2003, The Broadband Optical Properties of Galaxies with Redshifts $0.02 < z < 0.22$, *ApJ*, 594, 186
- [6] **Borosan T.**, 1981, The distribution of luminosity in spiral galaxies, *ApJ*, 46, 177
- [7] **Elmegreen D. M.**, 1998, *Galaxies and Galactic Structure*, Prentice-Hall
- [8] **Fioc M., Rocca-Volmerange B.**, 1999, PÉGASE.2, a metallicity-consistent spectral evolution model of galaxies: the documentation and the code, [arXiv: astro-ph/9912179]
- [9] **Fioc M., Rocca-Volmerange B.**, 1997, PÉGASE: a UV to NIR spectral evolution model of galaxies. Application to the calibration of bright galaxy counts, *A&A*, 326, 950
- [10] **Gabor J. M., Davé R., Finlator, K., Oppenheimer B. D.**, 2010, How is star formation quenched in massive galaxies?, *MNRAS*, 407, 749
- [11] **Ghizzardi S. et al**, 2004, Radiative Cooling and Heating and Thermal Conduction in M87, *ApJ*, 609, 638
- [12] **Graham A.W., Driver S.P.**, 2005, A Concise Reference to (Projected) Sérsic $R^{1/n}$ Quantities, Including Concentration, Profile Slopes, Petrosian Indices, and Kron Magnitudes, *PASA*, 22, 118
- [13] **Hockney R.W., Hohl F.**, 1969, Effects of Velocity Dispersion on the Evolution of a Disk of Stars, *ApJ*, 74, 1102
- [14] **Karampelas A. et al.**, 2012, Optimization of synthetic galaxy spectra. Application to ESA's Gaia mission, *A&A*, 538, A38

- [15] **Kauffmann et al.**, 2003, The dependence of star formation history and internal structure on stellar mass for 10^5 low-redshift galaxies, *MNRAS*, 341, 54
- [16] **Kerš D. et al.**, 2009, Galaxies in a simulated Λ CDM universe - II. Observable properties and constraints on feedback, *MNRAS*, 396, 2332
- [17] **Kormendy J., Fisher D.B., Cornell M.E., Bender R.**, 2009, Structure and Formation of Elliptical and Spheroidal Galaxies, *ApJS*, 182, 216
- [18] **Le Borgne D., Rocca-Volmerange B.**, 2002, Photometric redshifts from evolutionary synthesis with PÉGASE: The code Z-PEG and the $z=0$ age constraint, *A&A*, 386, 446
- [19] **Martig M., Bournaud F., Teyssier R., Dekel A.**, 2009, Morphological Quenching of Star Formation: Making Early-Type Galaxies Red, *ApJ*, 707, 250
- [20] **McNamara B.R. et al.**, 2006, The Starburst in the Abell 1835 Cluster Central Galaxy: A Case Study of Galaxy Formation Regulated by an Outburst from a Supermassive Black Hole, *ApJ*, 648, 164
- [21] **Schombert J., Smith A.K.**, 2005, The Structure of Galaxies: I. Surface Photometry Techniques, *PASA*, 22, 118
- [22] **Strateva I., et al.**, 2001, Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *AJ*, 122, 1861
- [23] **Tsalmantza P., Karamelas A., Kontizas M., Bailer-Jones C.A.L., Rocca-Volmerange B., Livanou E., Bellas-Velidis I., Kontizas E., Vallenari A.**, 2012, A semi-empirical library of galaxy spectra for Gaia classification based on SDSS data and PÉGASE models, *A&A*, 537, A42
- [24] **Tsalmantza P. et al.**, 2009, Towards a library of synthetic galaxy spectra and preliminary results of classification and parametrization of unresolved galaxies for Gaia. II, *A&A*, 504, 1071
- [25] **Tsalmantza P. et al.**, 2007, Towards a library of synthetic galaxy spectra and preliminary results of classification and parametrization of unresolved galaxies for Gaia, *A&A*, 470, 761
- [26] **Tsalmantza P.**, 2007, Classification and Parametrization of Galaxies for the Gaia Mission, PhD Thesis, National Kapodistrian University of Athens
- [27] **Van der Wel A.**, 2008, The Dependence of Galaxy Morphology and Structure on Environment and Stellar Mass, *ApJ*, 675, L13

This research has made use of NASA's Astrophysics Data System Abstract Service (**ADS**).

This research has made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (**NED**) which is operated by the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration.

Funding for the creation and distribution of the SDSS Archive has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation, the Participating Institutions, the National Aeronautics and Space Administration, the National Science Foundation, the U.S. Department of Energy, the Japanese Monbukagakusho, and the Max Planck Society. The SDSS Web site is <http://www.sdss.org/>.

The SDSS is managed by the Astrophysical Research Consortium (ARC) for the Participating Institutions. The Participating Institutions are The University of Chicago, Fermilab, the Institute for Advanced Study, the Japan Participation Group, The Johns Hopkins University, the Korean Scientist Group, Los Alamos National Laboratory, the Max-Planck-Institute for Astronomy (MPIA), the Max-Planck-Institute for Astrophysics (MPA), New Mexico State University, University of Pittsburgh, Princeton University, the United States Naval Observatory, and the University of Washington.

