

Ελλειπτικοί γαλαξίες



M87

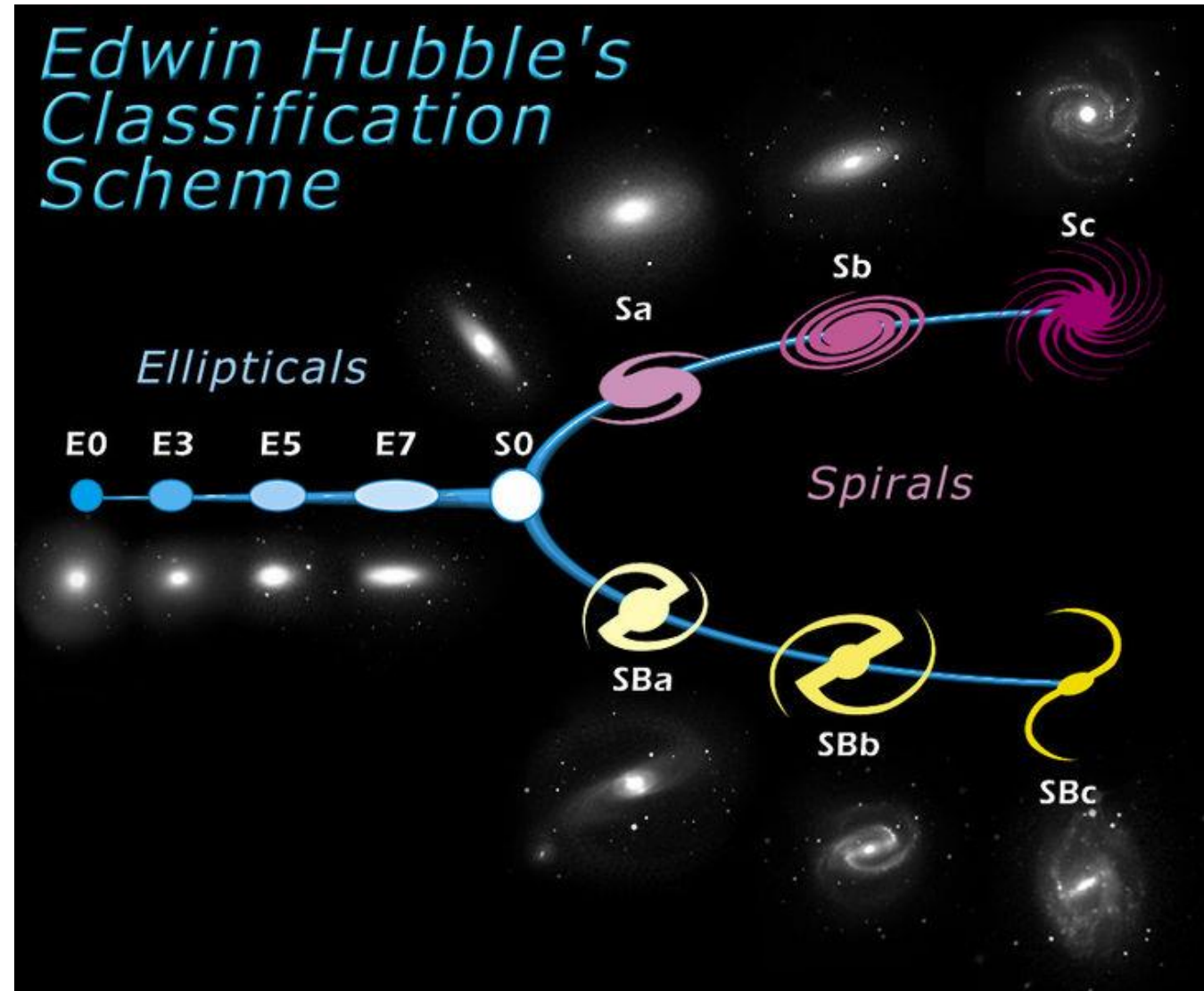
Γ.Νικολιδάκης

Ελλειπτικοί γαλαξίες

- Μορφολογική ταξινόμηση γαλαξιών
- Γενικά χαρακτηριστικά ελλειπτικών
- Ελλειπτικότητα
- Μορφολογική ταξινόμηση Ελλειπτικών
- Σκόνη και αέριο σε ελλειπτικούς γαλαξίες
- Προφίλ φωτεινότητας
- Βασικό επίπεδο-Fundamental plane
- Ταχύτητες Περιστροφής
- Δομή Ελλειπτικών Γαλαξιών
- Disky και Boxy γαλαξίες
- Ισοφωτεινή συστροφή ελλειπτικών
 - Απόδειξη για τριαξονικό σφαιροειδές
- Σχηματισμός ελλειπτικών Γαλαξιών

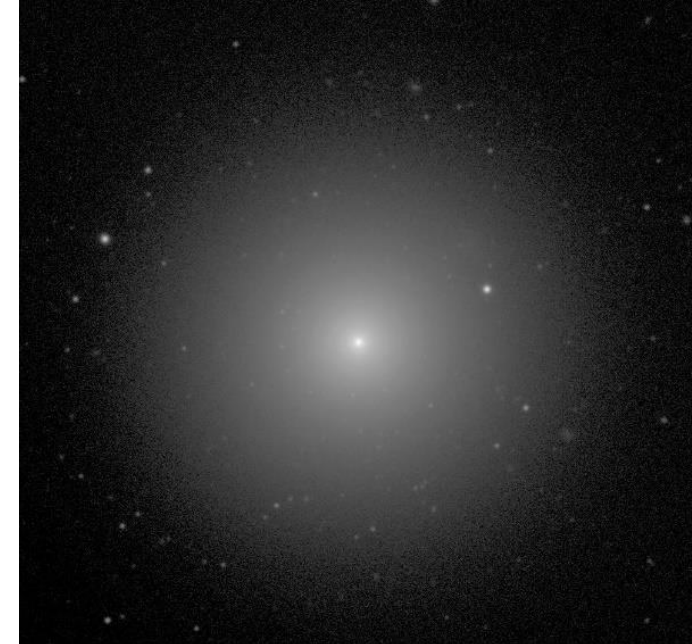
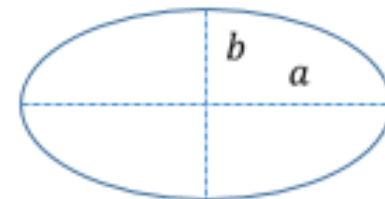
Μορφολογική ταξινόμηση γαλαξιών

- Η Ακολουθία Hubble
- Edwin Hubble το 1926.
- Μορφολογικό σύστημα ταξινόμησης για γαλαξίες που βασίζεται στο σχήμα τους.
- Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σύστημα.
 - Στην επαγγελματική αστρονομική και στην ερασιτεχνική αστρονομία.
- Hubble διάγραμμα διαπασών.
 - Ελλειπτικοί (~20%)
 - Σπειροειδείς (~75%)
 - Κανονικοί
 - Με μπάρα
 - φακοειδής
 - Ακανόνιστοι (~5%)

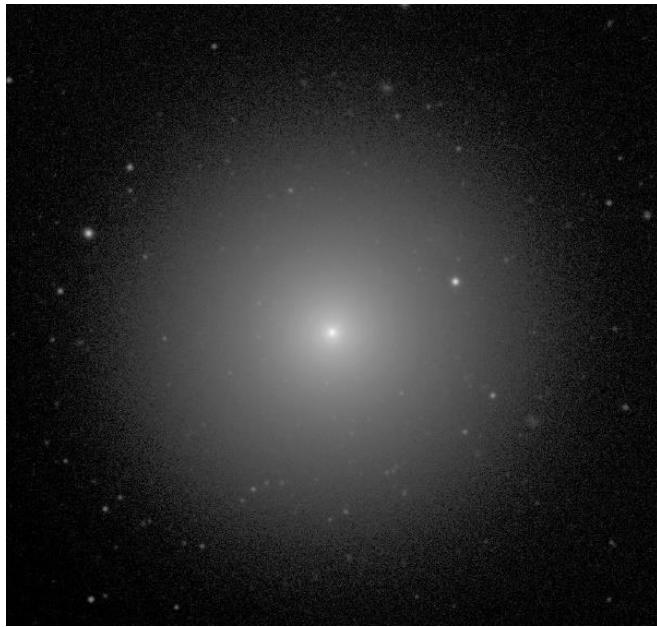
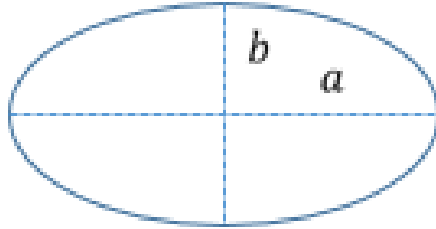


Γενικά χαρακτηριστικά ελλειπτικών

- Είναι ο πιο άφθονος τύπος γαλαξιών στο σύμπαν (όταν συμπεριλαμβάνονται και οι αμυδροί νανογαλαξίες) και επίσης οι γαλαξίες με την μεγαλύτερη ηλικία. Τα αστέρια τους είναι γηραιότερα δίνοντας περισσότερο κόκκινο φως από τα νεότερα αστέρια.
- Ιδιότητές που τους κάνουν να ξεχωρίζουν από τους υπόλοιπους γαλαξίες.
 - Δεν έχουν βραχίονες όπως οι σπειροειδείς γαλαξίες.
 - Ομαλή Επιφάνεια.
 - Φωτεινή κατανομή χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.
 - Στις φωτογραφίες εμφανίζονται ως ελλείψεις.
- Απόλυτα μεγέθη $M_B (8 - (-23))$ $M_B = m - (\log r - 1)$
- Μάζες $10^6 - 10^{14} M$
- Διάμετροι
 - Οι γιγάντιοι ελλειπτικοί γαλαξίες είναι μεταξύ των μεγαλύτερων αντικειμένων στο σύμπαν, ενώ οι μικρότεροι νάνοι είναι συγκρίσιμοι σε μέγεθος με ένα τυπικό σφαιρωτό σμήνος.
- Οι νάνοι είναι μακράν οι πιο πολυάριθμοι στο σύμπαν.
- Συμβολίζονται με το γράμμα E που συνοδεύεται από ένα ακέραιο αριθμό που αντιπροσωπεύει τον βαθμό της ελλειπτικότητας.
- $e = 1 - \frac{b}{a}$
- $n = 10 \times e$
- Παράδειγμα $a = 2b \rightarrow e = 1 - \frac{1}{2} = 0.5$
- $n = 10 \times 0.5 = 5 \rightarrow E5$



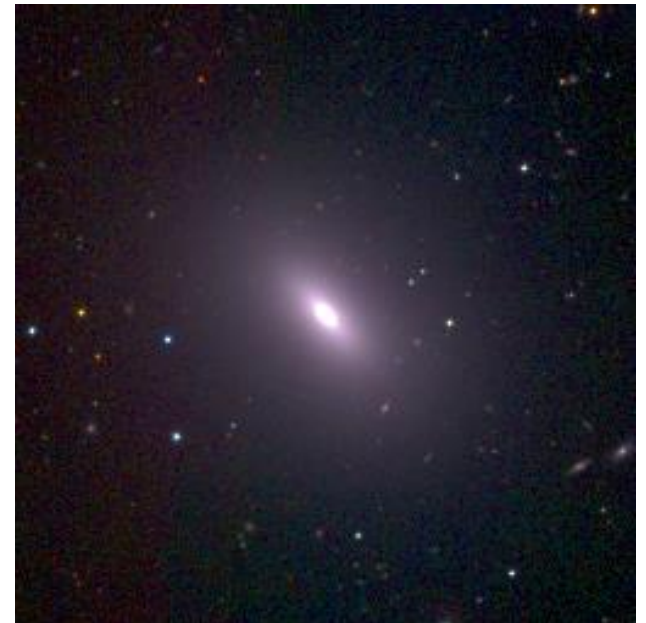
Ελλειπτικότητα



NGC 1379 E0 $a=b$

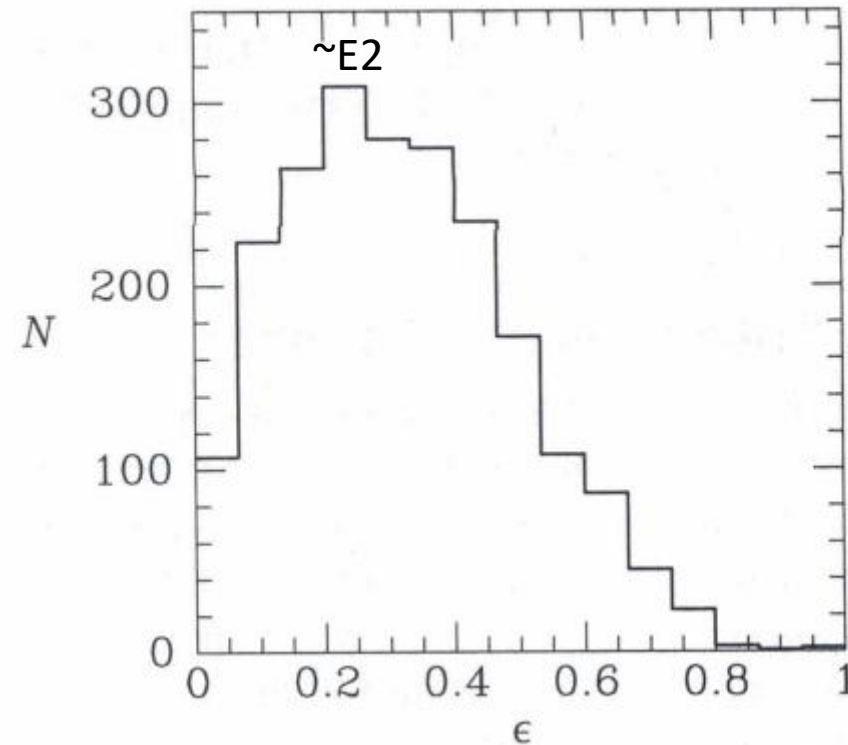


M 32 E2 $a=1,25b$



C 3377 E6 $a=2,5b$

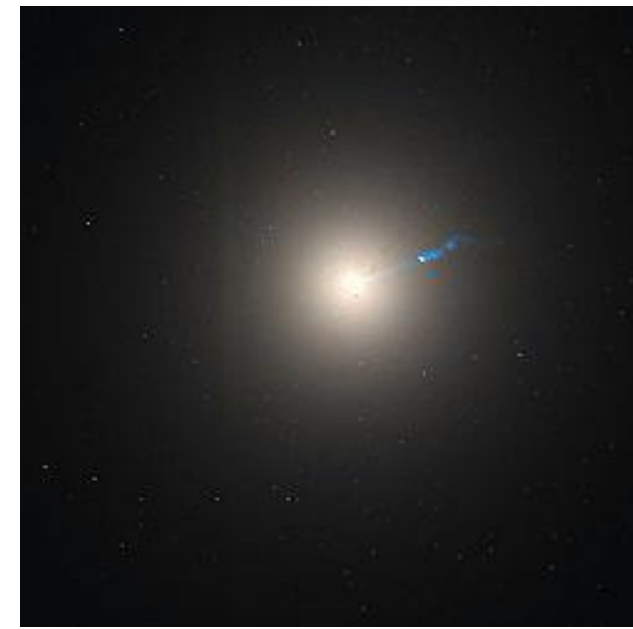
The observed distribution



NGC 720 E5 $a=2b$

Μορφολογική ταξινόμηση Ελλειπτικών

- cD Ελλειπτικοί (central Dominant)
 - Υπεργίγαντες βρίσκονται στα κέντρα των μεγάλων και πυκνών γαλαξιακών σμηνών.
 - $10^{13} - 10^{14} M_{\odot}$
 - Έχουν κεντρική περιοχή με υψηλή επιφανειακή φωτεινότητα και πολύ εκτεταμένη άλω, πολλά σφαιρωτά σμήνη και μεγάλο λόγο μάζας προς φωτεινότητα που οδηγεί στο συμπέρασμα εκτεταμένης σκοτεινής ύλης.
 - M87
- Κανονικοί ελλειπτικοί.
 - Περιλαμβάνει τους γιγαντιαίους ελλειπτικούς (gE's), τους ενδιάμεσους ελλειπτικούς (E) και τους συμπαγείς ελλειπτικούς (cE's).
 - $10^8 - 10^{13} M_{\odot}$
 - M49
- Ελλειπτικοί νανογαλαξίες (dE).
 - Πιο αμυδροί από τους cE.
 - $10^7 - 10^9 M_{\odot}$
 - M32 στην Ανδρομέδα.



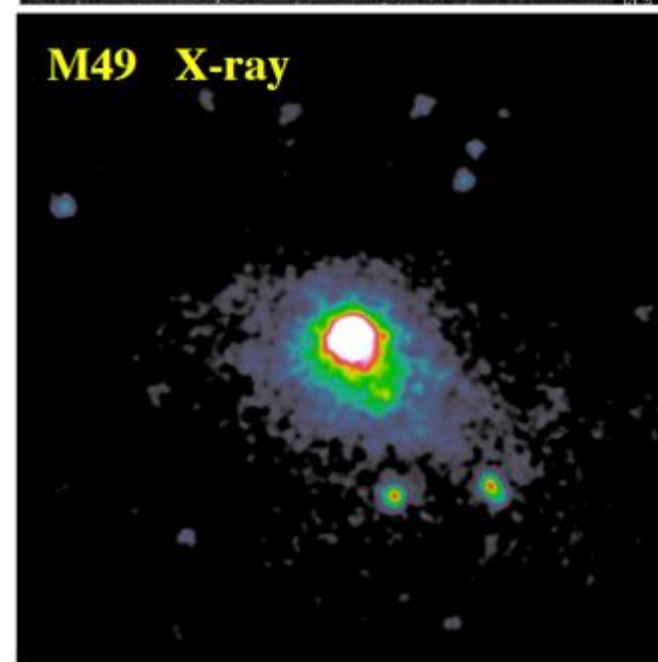
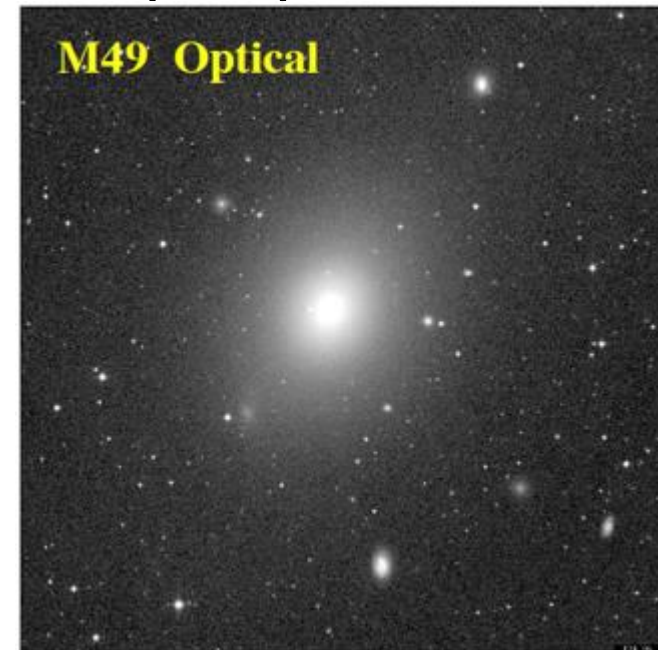
Μορφολογική ταξινόμηση Ελλειπτικών

- Ελλειπτικοί σφαιροειδείς νανογαλαξίες (dSph)
 - Εξαιρετικά χαμηλής φωτεινότητας
 - Μόνο στην γειτονιά του γαλαξία μας.
 - $10^7 - 10^8 M_{\odot}$
 - NGC 185, NGC 147 Στον αστερισμό της Κασσιόπης.
- Μπλε συμπαγείς νανογαλαξίες blue compact dwarf (BCD)
 - Ασυνήθιστα μπλε μικροί γαλαξίες
 - Μεγάλη ατρογένεση
 - $10^9 M_{\odot}$
 - 1/10 του μεγέθους ενός τυπικού γαλαξία όπως ο δικός μας
 - Αποτελούνται από μεγάλες συστάδες θερμών μαζικών αστεριών που εκπέμπουν στο μπλε.
 - Δεν περιέχουν ούτε πολλή σκόνη ούτε βαριά στοιχεία.
 - Η σύνθεσή τους είναι πολύ παρόμοια με το υλικό από το οποίο σχηματίστηκαν τα πρώτα αστέρια στο πρώιμο σύμπαν.
 - Είναι αντικείμενα μελέτης που βελτιώνουν την κατανόησή μας για πρωτόγονες διαδικασίες σχηματισμού αστεριών.
 - UGC 11411



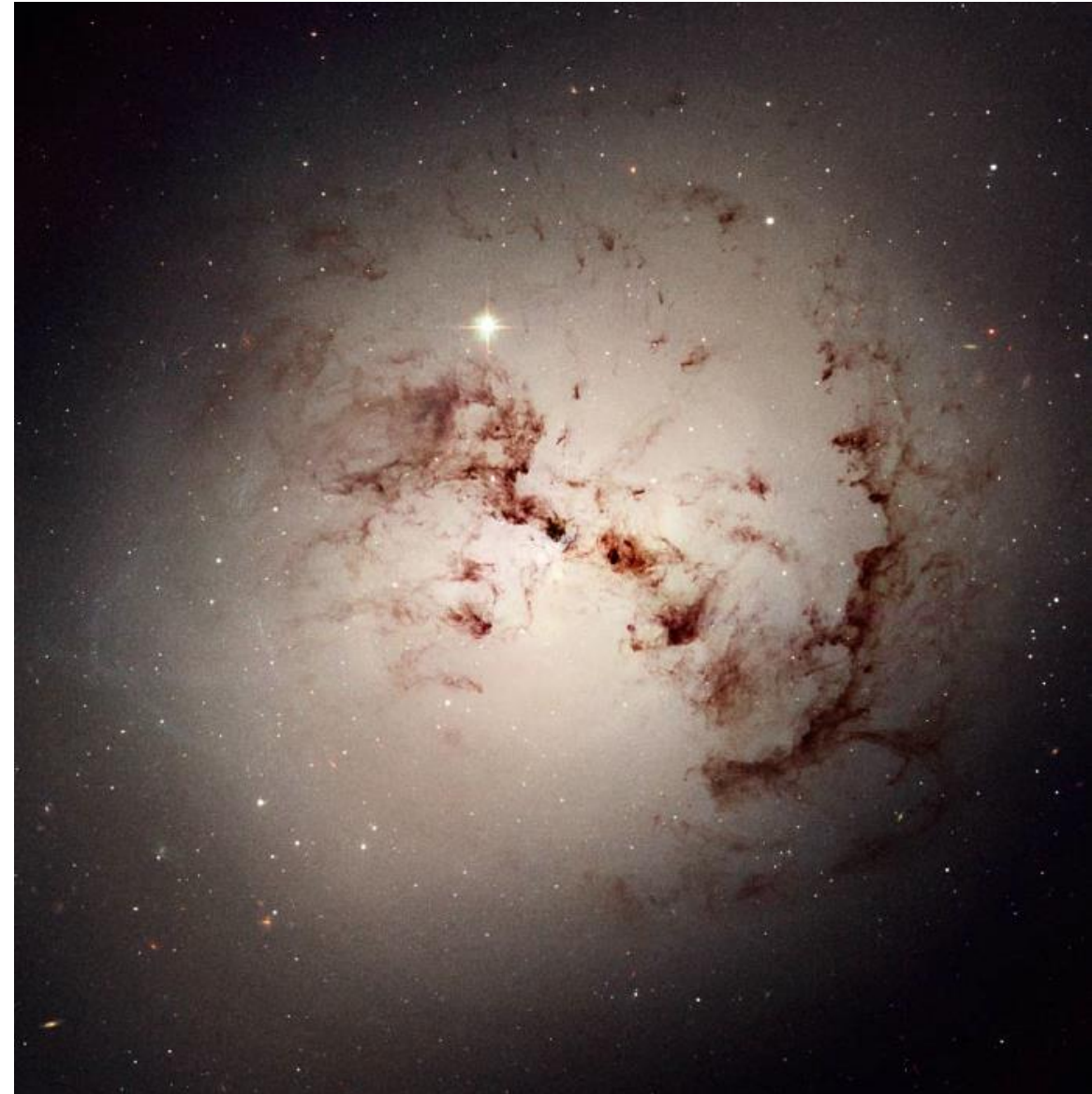
Σκόνη και αέριο σε ελλειπτικούς γαλαξίες

- Συνήθως έχουμε συνδέσει τους ελλειπτικούς γαλαξίες με βαρετά γηραιά απλά συστήματα που αποτελούνται από ηλικιωμένα αστέρια, που δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη αστροσύνθεση, αφού θεωρούσαμε ότι αντιπροσωπεύουν συστήματα χωρίς διαστρική σκόνη και διαστρικό αέριο που είναι απαραίτητα για την διαδικασία της αστροσύνθεσης.
- Οι τελευταίες απόψεις είναι ότι οι ελλειπτικοί γαλαξίες είναι αρκετά περίπλοκα συστήματα.
 - Αέριο και σκόνη υπάρχουν μέσα στους περισσότερους κανονικούς ελλειπτικούς γαλαξίες, αν και σε κάπως μειωμένα επίπεδα σε σχέση με τους σπειροειδείς.
 - Εμφανίζουν «κελύφη» ή «κυματισμούς»
 - Περιέχουν υποσυστήματα όπως και οι σπειροειδείς γαλαξίες.
 - Κάποιοι περιέχουν ασθενείς δίσκους με πυρήνες.
 - Οι περισσότεροι έχουν υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες στο κέντρο τους.
- Περιέχουν πολύ θερμό αέριο $\sim 10^7 \text{ K}$ με εκπομπή στις X-ray
 - Κυριαρχεί στο ISM στους φωτεινούς ελλειπτικούς και έχει μάζα $10^{10} M_{\odot}$ της συνολικής μάζα του γαλαξία.



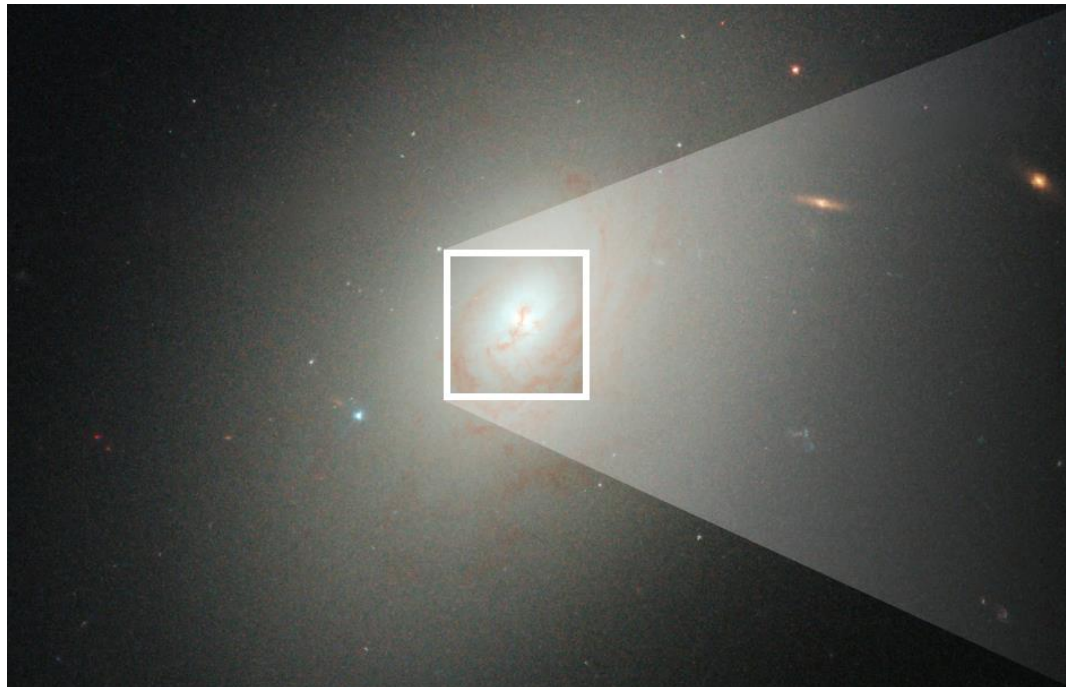
Σκόνη και αέριο σε ελλειπτικούς γαλαξίες

- Περιέχουν μικρά προσά ζεστού ιονισμένου αερίου $10^4 K$ με μάζες $10^4 M_{\odot}$ της συνολικής μάζα του γαλαξία.
- $\sim 25\%$ έχει αποθέματα ψυχρών αερίων και σκόνης $< 100 K$ με μάζες $10^6 - 10^8 M_{\odot}$ της συνολικής μάζα του γαλαξία και σχηματίζει νέους αστέρες με χαμηλό ρυθμό.
- Το αέριο υδρογόνο που υπάρχει στους ελλειπτικούς είναι συνήθως εμφανές σε διάφορες μορφές όπως περιοχές HII (H α), κρύο HI που ανιχνεύεται στα 21 cm αλλά και από μελέτες εκπομπών CO δείχνουν την παρουσία μοριακού υδρογόνου.
- 50% όλων των ελλειπτικών γαλαξιών περιέχει Αξιόλογες ποσότητες σκόνης, με τυπικές μάζες στην κλίμακα από 10^5 έως 10^6 Ηλιακές.
- Λόγω σχετικά χαμηλού βαρυτηκού δυναμικού οι νανογαλαξίες dE και dSph είναι δύσκολο να διατηρήσουν σημαντική ποσότητα αερίου.
 - Είναι ουσιαστικά χωρίς αέριο και δεν σχηματίζουν ενεργά αστέρια σήμερα.



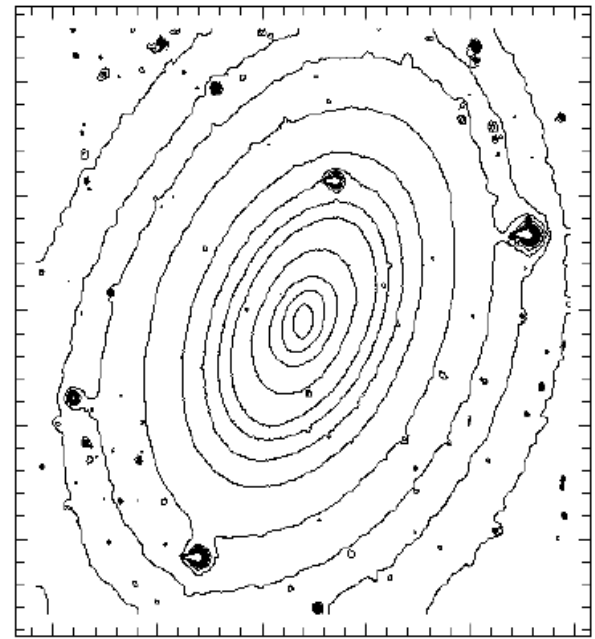
Σκόνη και αέριο σε ελλειπτικούς γαλαξίες

- Ο NGC 4150 στην υπεριώδη ακτινοβολία με την ευρεία κάμερα Wide Field 3 (WFC3), αποκαλύπτει ρεύματα σκόνης και αερίου και μπλε αστέρια που έχουν ηλικία κάτω των ενός δισεκατομμυρίου ετών.
- Το αέριο βρίσκεται σε ένα μικρό δίσκο κοντά στο κέντρο του γαλαξία όπου δημιουργεί νηματώδεις και ανομοιόμορφες μορφολογίες με σκόνη και αέριο
- Την γέννηση των αστέρων προκάλεσε μια συγχώνευση με έναν νάνο γαλαξία.
- Τέτοια φαινόμενα είναι πολύ συχνά στις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε μεγάλους γαλαξίες.
- Υπάρχουν πιθανώς έως και 10 φορές συχνότερες συγκρούσεις μεταξύ ενός μεγάλου και ενός μικρού γαλαξία.
- Μεγάλες συγκρούσεις είναι ευκολότερες να τις δούμε, διότι δημιουργούν μεγάλες στρεβλώσεις στο γαλαξίες, μακριές ροές αερίου και δεκάδες νέους συστάδες αστέρων.
- Οι μικρότερες αλληλεπιδράσεις είναι πιο δύσκολο να ανιχνευθούν επειδή αφήνουν σχετικά μικρό ίχνος.



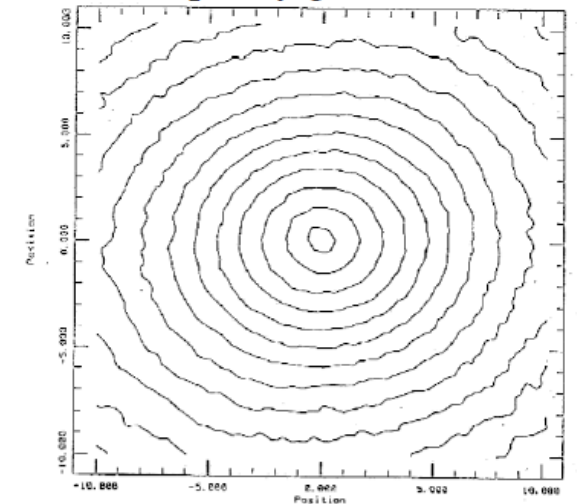
Προφίλ φωτεινότητας

- Καλούνται ελλειπτικοί διότι το προφίλ της προβαλλόμενης επιφανειακής τους φωτεινότητας (ισοφωτεινές επιφάνειες) φαίνεται όμοιο με μια έλλειψη.
- Ο τρόπος που ποσοτικοποιούμε την δομή των Ελλειπτικών γαλαξιών, είναι μέσω φωτομετρίας της επιφανείας τους.
 - Αυτό που μετριέται, είναι η επιφανειακή φωτεινότητα ανά μονάδα επιφάνειας ως συνάρτηση της ακτίνας και του αζιμούθιου του γαλαξία.
 - Στην συνέχεια από την φωτεινότητα συσχετίζουμε την ποσότητα της μάζας της φωτεινής ύλης αστέρων , αερίων κλπ και μετατρέπουμε την φωτεινότητα σε μάζα μέσω κινηματικών μετρήσεων των αστέρων.



NGC 1533

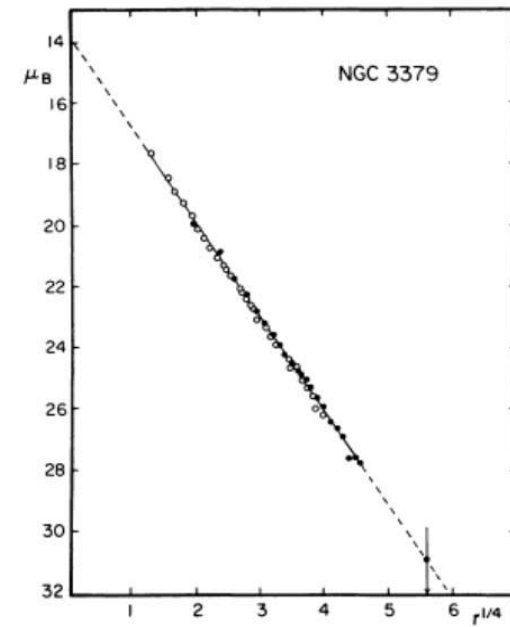
Note the apparent ellipticity gradient



NGC 4689

Προφίλ φωτεινότητας

- Προφίλ της ακτινική τους φωτεινότητας.
 - Πόσο μεταβάλλεται η φωτεινότητά τους κατά μήκος της ακτίνας τους.
- Προφίλ: (Sersic , Hubble, Nuker) Vaucouleurs που δείχνει ότι η φωτεινότητα πέφτει με την δύναμη του $R^{1/4}$ που είναι ο νόμος του Vaucouleurs.
 - $I(R) = I_0 e^{-kR^{1/4}}$
 - Best fit σε κανονικούς E
- Η φωτεινότητα της επιφάνειας των γαλαξιών E δεν μειώνεται πάντα ομαλά με ακτίνα.
 - Όταν αφαιρείται ένα ομαλό προφίλ φωτεινότητας από την πραγματική φωτεινότητα της επιφάνειας, εμφανίζονται «κελύφη» ή «κυματισμοί» Τουλάχιστον το 17% των γαλαξιών έχουν τέτοιους σχηματισμούς.
- Σύμφωνα με το προφίλ φωτεινότητας έχουμε τρεις τύπους ελλειπτικών γαλαξιών:
 - 1. Σφαιροειδή: (διάχυτα dEs και dSph).
 - 2. Ελλειπτικοί χωρίς πυρήνα:
 - 3. Ελλειπτικοί με πυρήνα

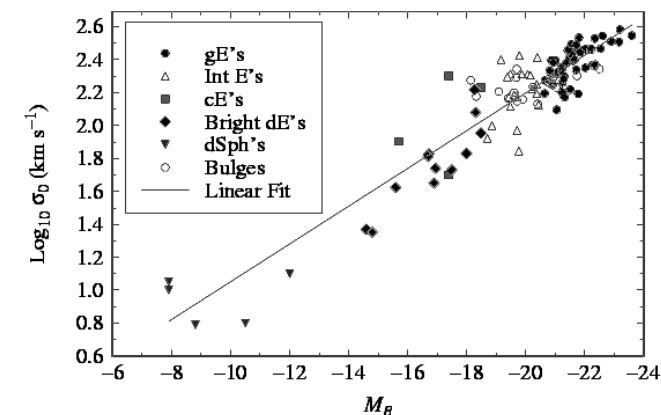


Γαλαξίας NGC3379 ταιριάζει απόλυτα με profile $R^{1/4}$
Δυστυχώς υπάρχουν περιπτώσεις με μεγάλες αποκλίσεις, όπως σε πολύ μικρά radii ειδικά όταν υπάρχει πυρήνας στον γαλαξία.

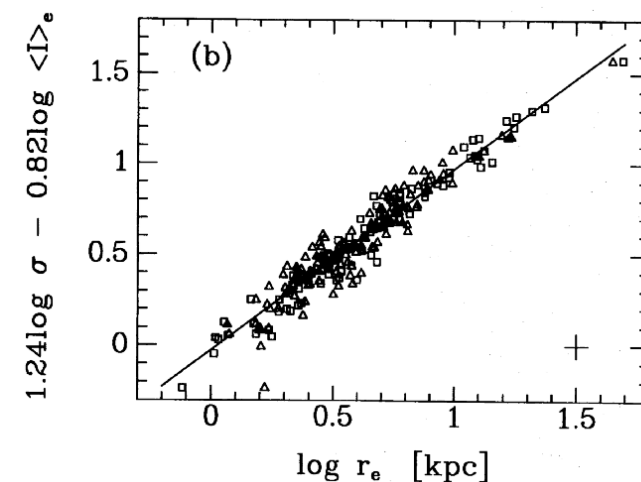
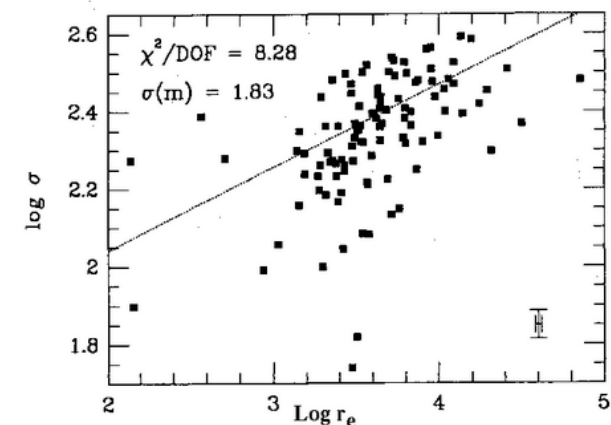


Βασικό επίπεδο-Fundamental plane

- Η ιδέα είναι ότι ψάχνουμε συσχετίσεις ανάμεσα σε βασικές παραμέτρους που πιθανόν να κρύβουν κάποιες ιδιότητες ή κάποια δυναμική-φυσική του συστήματος.
- Νόμο Tully-Fisher για τους γαλαξίες με δίσκο: $L \sim V_c^4$
 - Πολύ σφικτή σχέση, όπου σε μια δεδομένη κυκλική ταχύτητα, υπάρχει μια απόκλιση μερικά δέκατα μεγέθους φωτεινότητας.
 - Μπορούμε να κάνουμε έναν παρόμοιο νόμο για τους ελλειπτικούς γαλαξίες;
- Ο νόμος Faber-Jackson έχει πολλή διασπορά:
 - Σε μια δεδομένη διασπορά ταχύτητας, υπάρχει μια απόκλιση ± 2 μεγεθών σε φωτεινότητα.
- Χρειάζεται κάτι που να κάνει πιο σφικτή της σχέση μια ακόμη παράμετρο.
 - Το 1987, δύο ομάδες αστρονόμων αναγνώρισαν για τρίτη παράμετρο - την δραστική ακτίνα.
- Αντί δύο παράμετροι που συσχετίζονται (ορίζουν μια ευθεία γραμμή), υπάρχουν τρεις παράμετροι που συσχετίζονται (σε αυτή την περίπτωση ορίζεται ένα επίπεδο) το θεμελιώδες επίπεδο. Αν ορίσουμε τον χώρο των παρατηρούμενων παραμέτρων σαν ένα χώρο 3D οι ελλειπτικοί βρίσκονται σε ένα κεκλιμένο "θεμελιώδες επίπεδο" στο χώρο των παρατηρούμενων παραμέτρων.
- Έχουμε 4 πράγματα που μπορούμε να μετρήσουμε:
 - Φωτεινότητα (L)
 - Δραστική ακτίνα (r_e)
 - Μέση επιφανειακή φωτεινότητα $\langle I_e \rangle$
 - Ταχύτητα διασποράς (σ - sigma)
- Υπάρχουν μόνο τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές εδώ (L , r_e , και $\langle I_e \rangle$ δεν είναι όλες ανεξάρτητες).
 - Εάν σχεδιάσουμε μία μεταβλητή έναντι της άλλης, η Τρίτη εισάγει διασπορά.
 - Εάν σχεδιάσουμε ένα συνδυασμό των άλλων δύο βλέπουμε μια πολύ στενή συσχέτιση.
- Οι σχέσεις φωτεινότητας-χρώματος και μάζας-μεταλλικότητας περιέχονται επίσης στο θεμελιώδες επίπεδο.

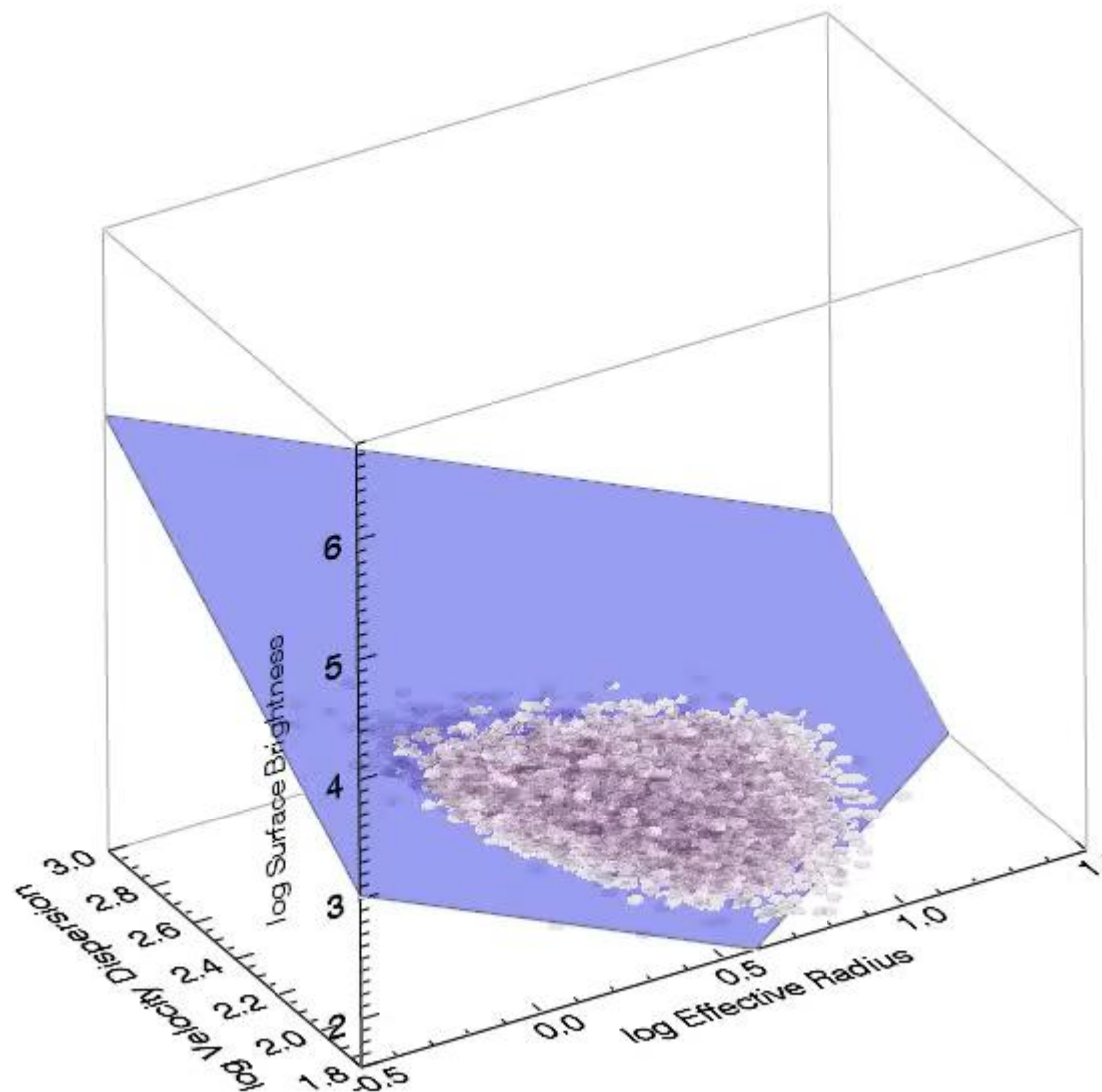


Velocity dispersion versus effective radius



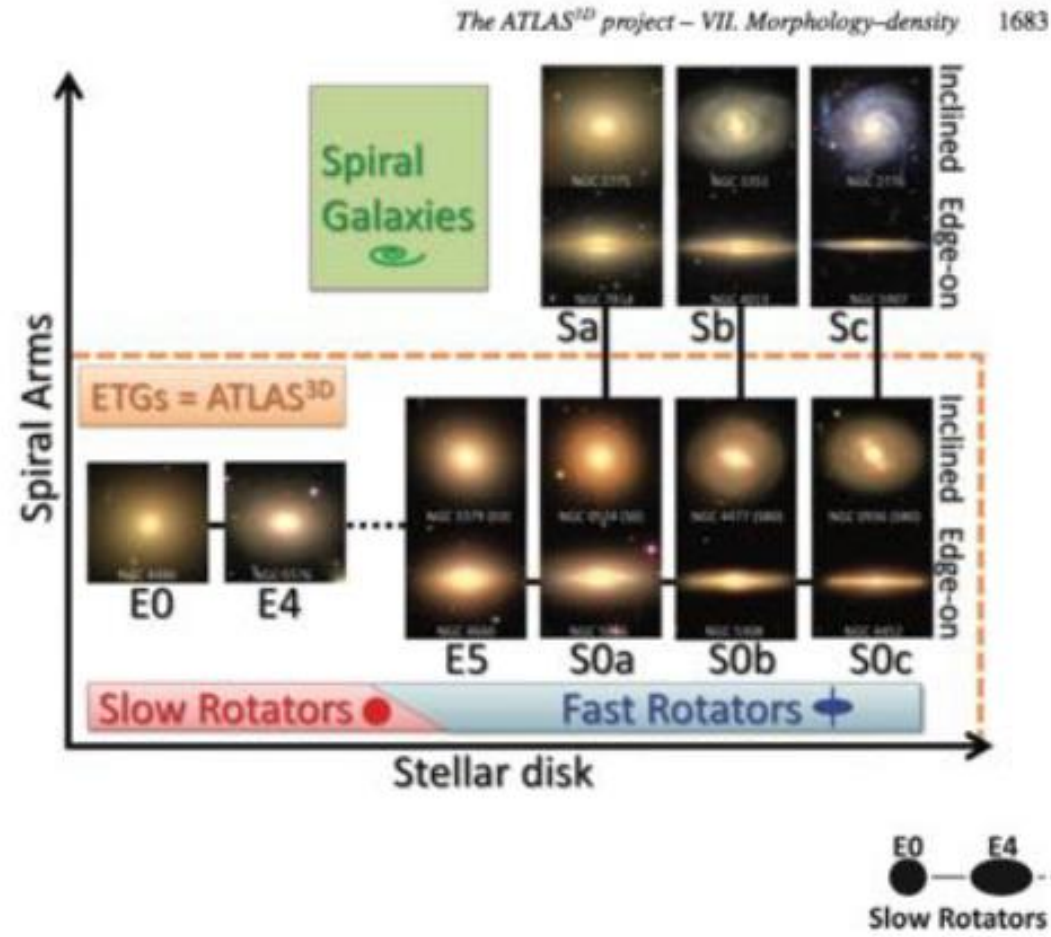
Βασικό επίπεδο-Fundamental plane

- Το «Θεμελιώδες επίπεδο» στον τρισδιάστατο χώρο των παραμέτρων που καθορίζεται από τη:
 - φωτεινότητα της επιφάνειας
 - διασπορά ταχύτητας
 - το μέγεθος
- Χρήσεις του βασικού επιπέδου:
 - Πχ Εάν γνωρίζουμε τη διασπορά ταχύτητας και την επιφανειακή φωτεινότητα (και τα δύο είναι μέτρα ανεξάρτητα από την απόσταση), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το FP για να υπολογίσουμε το φυσικό μέγεθος του γαλαξία.

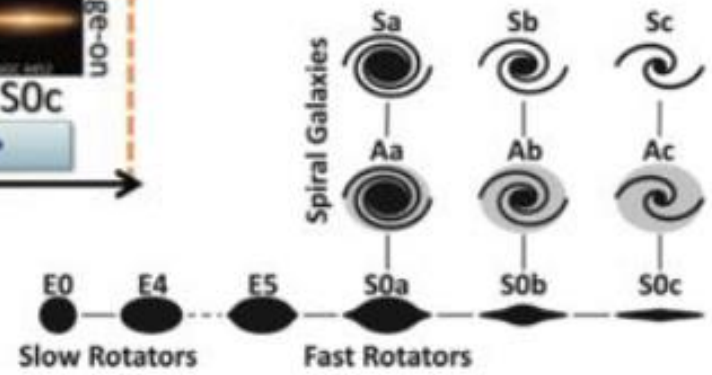


Ταχύτητες περιστροφής

- Οι σπειροειδείς γαλαξίες έχουν κινητική ενέργεια που περιέχεται στην περιστροφική κίνηση
- Οι ελλειπτικοί έχουν την περισσότερη κινητική ενέργεια σε τυχαία κίνηση.
- Εξαιτίας αυτού του γεγονότος η δομή των Ελλειπτικών γαλαξιών υποστηρίζεται από την πίεση των αστέρων τους (pressure support) όπως τα μόρια μέσα σε ένα αέριο.



Cappellari et al. 2011
MNRAS, 416, 1680



Ταχύτητες Περιστροφής

- Μετρείται η ταχύτητα των πληθυσμών των αστεριών.
 - περιστροφή (V): η καθαρή περιστροφική ταχύτητα μιας ομάδας αστεριών
 - Ταχύτητα διασποράς (σ -sigma): η χαρακτηριστική τυχαία ταχύτητα των αστεριών
 - Στο δίσκο του γαλαξία μας, $V = 220 \text{ km / s}$, $\sigma = 30 \text{ km / s}$, έτσι $V/\sigma \sim 7$.
- Αυτό που τους διαφοροποιεί από τους σπειροειδείς είναι ο λόγος V/σ
 - Οι ελλειπτικοί γαλαξίες έχουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες διασποράς, 100s km / s και η V/σ κυμαίνεται (περίπου) από 0 έως 1.
- Οι ελλειπτικοί χαμηλής φωτεινότητας $M_B > -20.5$ έχουν υψηλότερο $(V / \sigma) \approx 0.9$ δηλαδή περιστροφικές ταχύτητες που είναι περίπου ίσες με τις ταχύτητες διασποράς και η δομή τους υποστηρίζεται σε μεγάλο βαθμό με περιστροφή (αυτό περιλαμβάνει τα cE's).
- Οι ελλειπτικοί με μεγαλύτερη φωτεινότητα $M_B < -20.5$ όπως οι E και οι gE έχουν τυπικές τιμές $(V / \sigma) \approx 0.4$ δηλαδή μέσες περιστροφικές ταχύτητες που είναι πολύ μικρότερες από τις ταχύτητες διασποράς τους και τα σχήματα αυτών των γαλαξιών δεν οφείλονται σε περιστροφή αλλά υποστηρίζονται από την πίεση δηλαδή κυρίως από τις τυχαίες αστρικές κινήσεις.
- Επιπλέον, οι διάσπαρτοι, ελαφροί νάνοι E έχουν κυρίως διασπορές ανισότροπης ταχύτητας και υποστηρίζονται επίσης υπό πίεση.
- Στην πλειοψηφία των ελλειπτικών γαλαξιών η ελλειπτικότητα δεν οφείλεται σε κάποιο μηχανισμό περιστροφής αφού η πλειοψηφία των ελλειπτικών γαλαξιών δεν περιστρέφονται τόσο που να δικαιολογεί αυτό τον μηχανισμό.
- Οι ελλειπτικοί γαλαξίες οφείλουν το σχήμα τους στις ανισοτροπικές ταχύτητες διασποράς των αστέρων τους. Τέτοιες ανισοτροπικές ταχύτητες μπορούν να υποστηρίξουν συστήματα με τριαξονική ισορροπία όπως έχει αποδειχθεί από τον Schwarzschild με μοντελοποίηση.

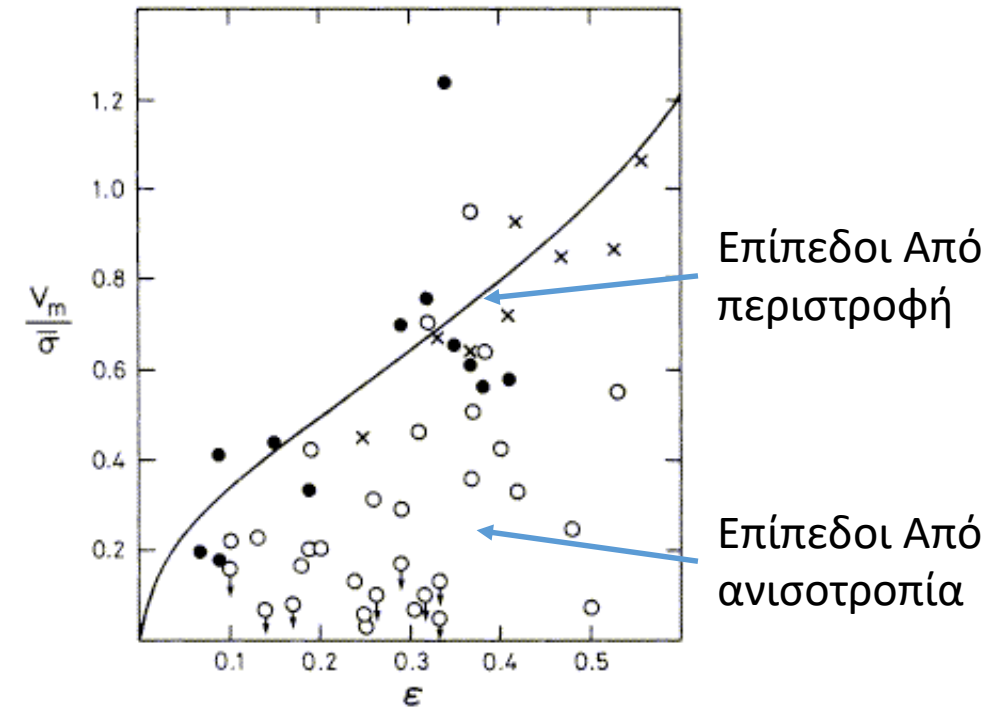
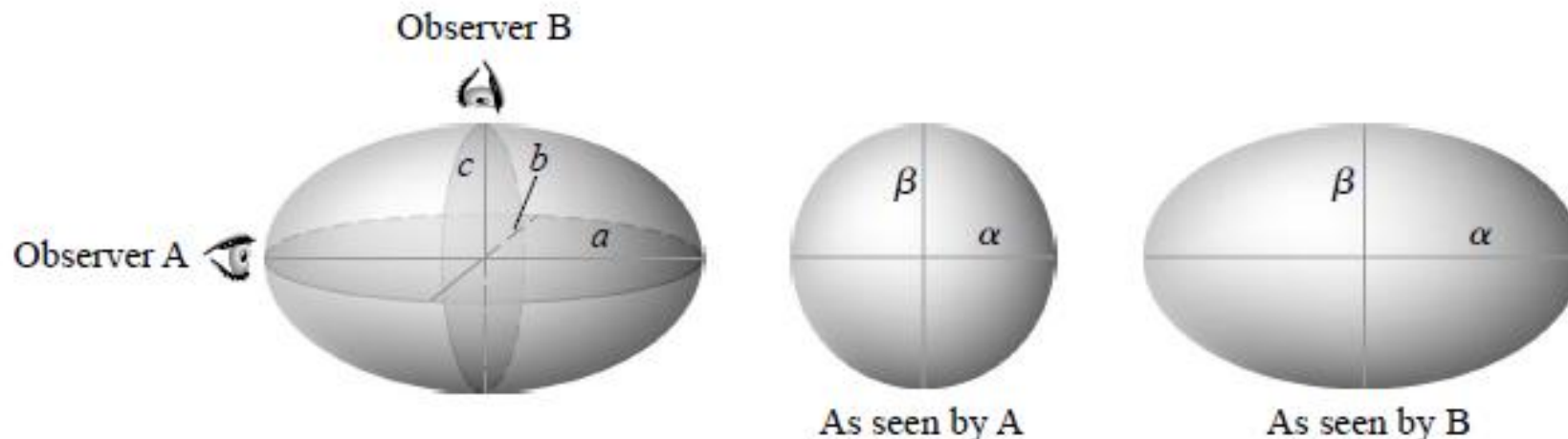


FIG. 3.—The quantity V_m/σ against ellipticity. Ellipticals with $M_B^{1/4} > -20.5$ are shown as filled circles; ellipticals with $M_B^{1/4} < -20.5$, as open circles; and the bulges of disk galaxies, as crosses. The solid line shows the $(V/\sigma, \epsilon)$ -relation for oblate galaxies with isotropic velocity dispersions (Binney 1978).

V / σ σχεδιασμένο κατά της ελλειπτικότητας (epsilon). Η γραμμή δείχνει το αναμενόμενο όριο για γαλαξίες που υποστηρίζονται με περιστροφή. (από τους Davies et. al 1983)

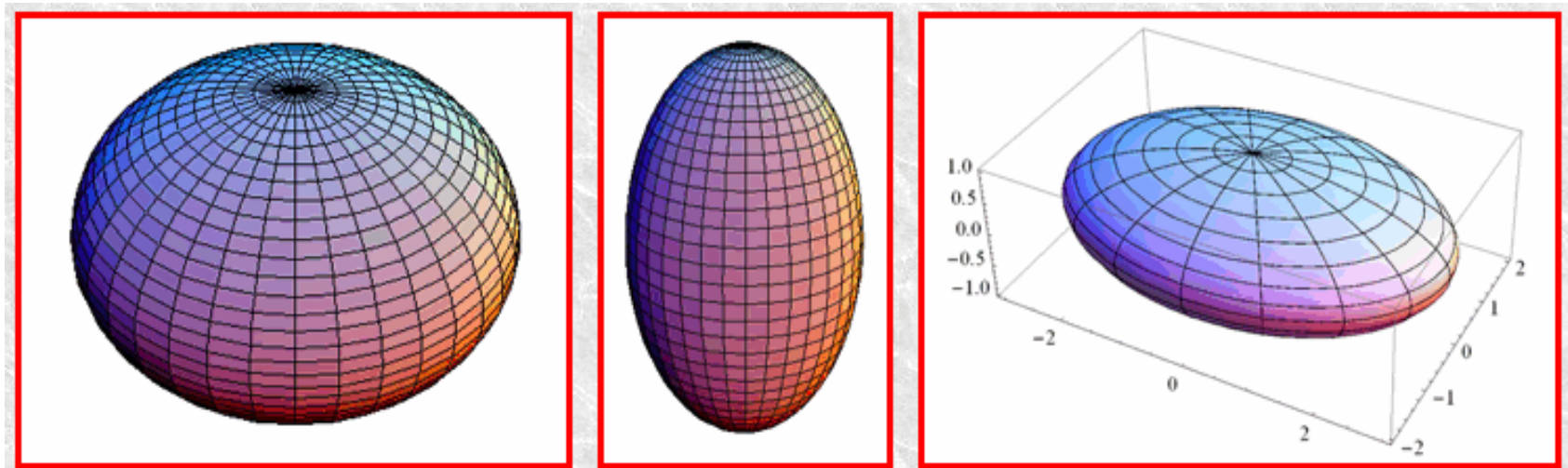
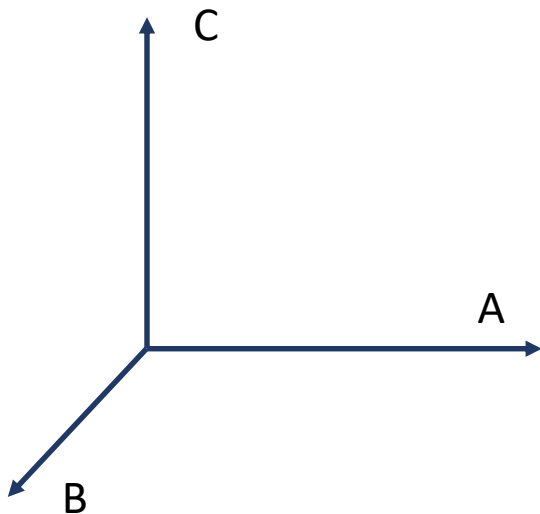
Δομή Ελλειπτικών

- Τριαξονικό ελειψοειδές όπου σημειώνονται οι τρεις άξονες του ελιψοειδούς με τα γράμματα a, b, c .
- Τα πιο πειστικά στοιχεία για την παρουσία του τριαξονικού ελειψοειδούς (τουλάχιστον σε ορισμένες περιπτώσεις) προκύπτουν από την παρατήρηση μιας σημαντικής ιδιότητας ισοφωτεινή συστροφή
- Η ελλειπτικότητα δεν είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό των ελλειπτικών γαλαξιών αλλά εξαρτάται από την θέση του παρατηρητή.



Δομή Ελλειπτικών

- Η τρισδιάστατη δομή των ελλειπτικών γαλαξιών μπορεί να είναι:
 - **Πεπλατυσμένη** $a = b > c$ (Ιπτάμενος δίσκος σχήμα αριστερά)
 - **Ωοειδής** : $a = b < c$ (όπως ένα πούρο σχήμα στο κέντρο)
 - **Τριαξονική** : $a > b > c$ (όπως ένα κουτί με στρογγυλεμένες γωνίες σχήμα δεξιά)
- Σύγχρονες μελέτες έχουν δείξει ότι η δομή των ελλειπτικών γαλαξιών είναι ελαφρώς τριαξονική σφαιροειδής με τυπική σχέση αξόνων
 - $A : B : C \sim 1 : 0,95 : 0.65$
- Η δομή τους είναι αρκετά κοντά στην πεπλατυσμένη αλλά όχι εντελώς



Disky και Boxy

- Οι ισοφωτεινές επιφάνειες δεν είναι τέλειες ελλείψεις.
- Μπορεί να είναι Disky ή Boxy
- Τα Disky / Boxy σχήματα συσχετίζονται με διάφορες ιδιότητες:
- Οι Boxy γαλαξίες
 - Είναι πιο πιθανό να εμφανίσουν ισοφωτεινή συστροφή και επομένως είναι τριαξονικά σφαιροειδή.
 - Τείνουν να είναι πιο φωτεινοί
 - Έχουν ισχυρότερη εκπομπή ραδιοφωνικών και ακτίνων X
 - Έχουν αργές περιστροφές και πιο ανισοτροπικές ταχύτητες
 - Πιθανόν είναι αποτέλεσμα συγχώνευσης
- Οι Disky γαλαξίες
 - Είναι μεσαίου μεγέθους ελλειπτικοί.
 - Έχουν πιο γρήγορη περιστροφή
 - Λιγότερο φωτεινοί σε ραδιόφωνικό και ακτίνες X
 - Πιθανόν σχηματίστηκαν από μονολιθική κατάρρευση.

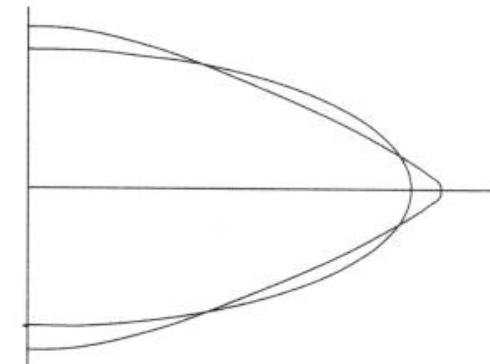
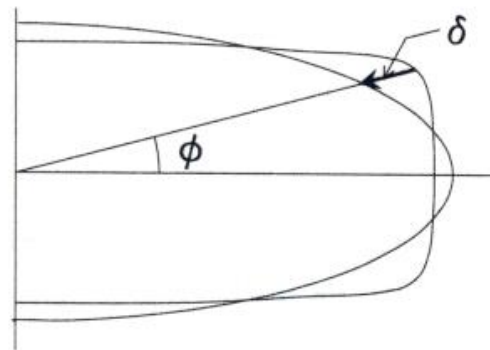


FIGURE 3. — Distribution of the ellipticity classes for all observed elliptical galaxies.

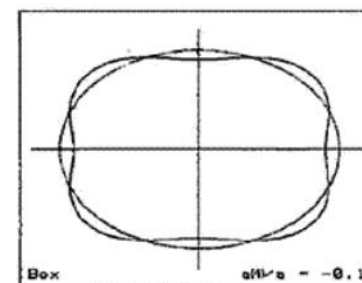
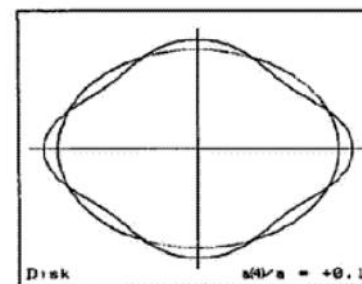


FIGURE 5. — Schematic drawing illustrating isophotes with $a(4)/a = +0.1$ and $a(4)/a = -0.1$.

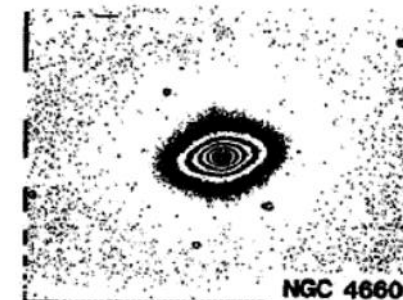


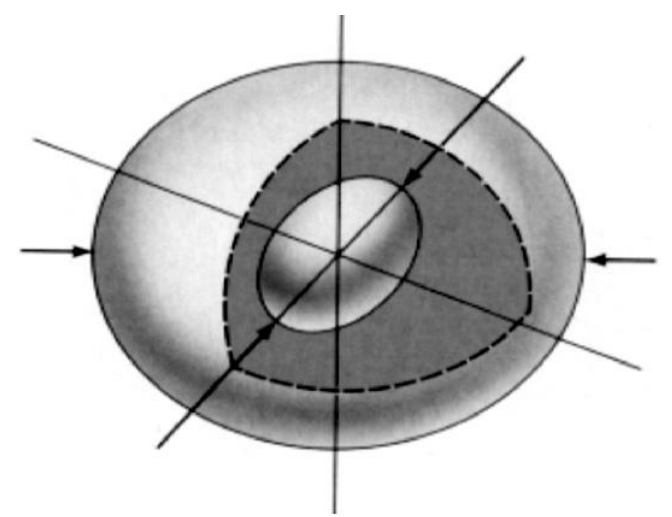
FIGURE 6. — R-image of NGC 4660, an elliptical galaxy with a disk-component in the isophotes ($a(4)/a \sim +0.03$).



FIGURE 7. — R-image of NGC 5322, an elliptical galaxy with box-shaped isophotes ($a(4)/a \sim -0.01$).

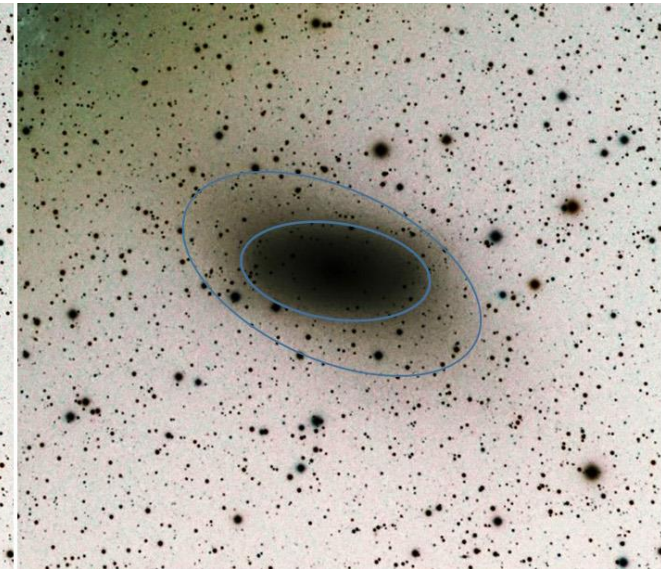
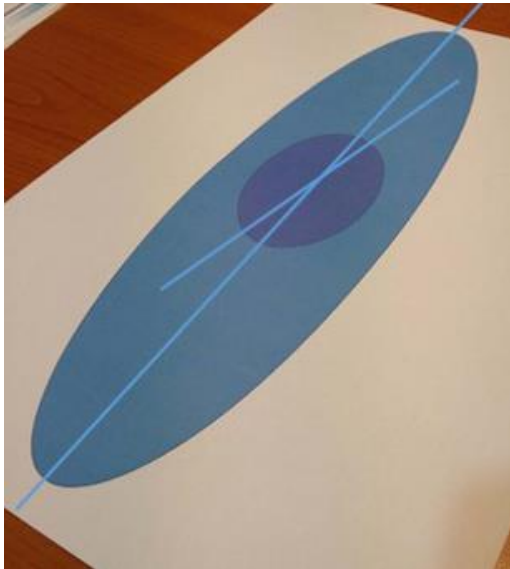
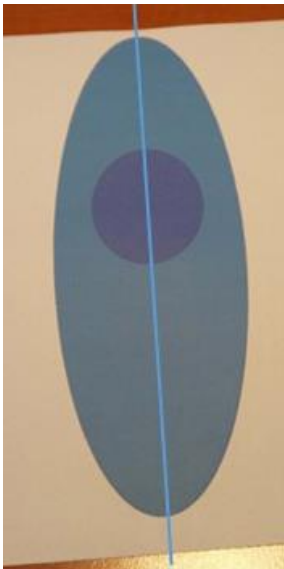
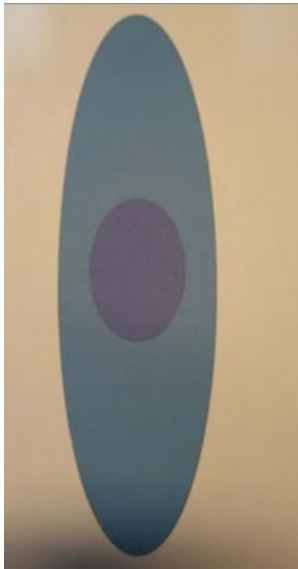
Ισοφωτεινή συστροφή

- Ένα άλλο χαρακτηριστικό μερικών ελλειπτικών γαλαξιών είναι ότι η ελλειπτικότητα των ισοφωτεινών επιφανειών αλλάζει με την ακτινική απόσταση από το κέντρο τους και μερικές φορές μάλιστα πολύ ισχυρά.
- Αυτό το φαινόμενο που είναι γνωστό με τον όρο Ισοφωτεινή συστροφή (isophotal twists) έχει παρατηρηθεί στους ελλειπτικούς γαλαξίες και είναι ένα εσωτερικό χαρακτηριστικό που υποστηρίζει την τριαξονική δομή των ελλειπτικών γαλαξιών.
- Το φαινόμενο δεν είναι ορατό όταν παρατηρούμε τον γαλαξία κατά μήκος ενός από τους κύριους άξονες του ελλειψοειδούς.
- Χαρακτηριστικό παράδειγμα Ο M110 Σφαιροειδής νανογαλαξίας δορυφόρος του Γαλαξία της Ανδρομέδας.



Ισοφωτεινή συστροφή

- Εάν οι ελλειπτικοί είναι τριαξονικά σφαιροειδή τότε το φαινόμενο της διαφορετικής ελλειπτικότητας και το φαινόμενο της ισοφωτεινής συστροφής θα μπορούσε να προκαλείται με την αλλαγή της ελλειπτικότητας ανάλογα με την ακτινική απόσταση από το κέντρο τους.
- Όμως το τι μπορεί να προκαλεί ένα τέτοιο φαινόμενο είναι ακόμη υπό διερεύνηση, μια απάντηση θα μπορούσε να ήταν η περιστροφή του γαλαξία, που όμως θα πρέπει να απορριφθεί γιατί όπως έχουμε πει το σχήμα τους, τουλάχιστον στους πιο φωτεινούς, οφείλεται στην ανισοτροπία των ταχυτήτων των αστέρων τους.
- Παρόλα αυτά σε αμυδρούς ελλειπτικούς που είναι πιο κοντά στο πεπλατυσμένο ισοτροπικό μοντέλο μια τέτοια υπόθεση θα μπορούσε να είναι κοντά στην πραγματικότητα.
- Για να καταλάβουμε καλύτερα το φαινόμενο της ισοφωτεινής συστροφής θα πρέπει να φανταστούμε, πώς θα προβάλλεται ένα ελλειψοειδές το οποίο περιέχει ισοφωτεινές επιφάνειες που η ελλειπτικότητά τους αλλάζει με την ακτινική απόσταση, όταν το κοιτάζουμε υπό γωνία, δηλαδή όχι παράλληλα με κάποιο από τους κύριους άξονες.
- Ο Γαλαξία M110 έχει γίνει επεξεργασία αντίστροφης εικόνας, για να τονιστεί το φαινόμενο. Με προσεκτική παρατήρηση μπορούμε να δούμε τις ισοφωτεινές επιφάνειες με έντονο σκούρο και λιγότερο σκούρο χρώμα των οποίων οι άξονές τους είναι υπό γωνία σύμφωνα με όσα εξηγήσαμε παραπάνω και σύμφωνα με το φαινόμενο της ισοφωτεινής συστροφής και του τριαξονικού σφαιροειδούς.



Σχηματισμός ελλειπτικών γαλαξιών

- Μονολιθική κατάρρευση γιγαντιαίου πρωτογαλαξιακού νέφους.
 - Τα αστέρια του γαλαξία σχηματίστηκαν όλα περίπου στον ίδιο χρόνο καθώς ο γαλαξίας σχημάτιζε το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του από το πρωταρχικό νέφος.
 - Ο ρυθμός αστρογένεσης κατά την περίοδο της κατάρρευσης ήταν εξαιρετικά μεγάλος και ο γαλαξίας μετέτρεψε ταυτόχρονα σχεδόν όλο το αέριο σε αστέρες
 - Εξηγεί την σχέση μεγέθους-χρώματος και το θεμελιώδες επίπεδο όπως και την εξέλιξη αυτών των σχέσεων ως συνάρτηση του redshift
- Μοντέλα Συγχώνευσης
 - Ιεραρχικό μοντέλο συγχώνευσης
 - Από παρατηρησιακές ενδείξεις, πιστεύεται ότι ομάδες γαλαξιών μπορούν να βρεθούν στην διαδικασία συγχώνευσης για τον σχηματισμό υπερμεγεθών Ελλειπτικών Γαλαξιών. Σε αυτή την εκδοχή οι γαλαξίες θα σχηματίσουν τα περισσότερα από τα αστέρια τους από νωρίς σαν μικροί γαλαξίες, αλλά συσσωρεύουν το μεγαλύτερο μέρος της μάζας τους αργότερα μέσω συγχωνεύσεων.
 - Μεγάλος αριθμός γαλαξιών με παλιά αστέρια όπου εμφανίζονται σημάδια ότι συγχωνεύθηκαν πρόσφατα με άλλους γαλαξίες που προστέθηκαν στη μάζα τους όπως σημάδια πρόσφατης δραστηριότητας σχηματισμού αστερών.
 - Το δυναμικό τριβής, παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των cD γαλαξιών στα κέντρα των γαλαξιακών σμήνων. Η διαδικασία συγχώνευσης αρχίζει, όταν η κίνηση ενός μεγάλου γαλαξία σε ένα σύμπλεγμα προσελκύει μικρότερους γαλαξίες και τη σκοτεινή ύλη πίσω από την κανονική ύλη σαν «απόνερα».
 - Ασκείται μια σταθερή δύναμη που επιβραδύνει τον γαλαξία ο οποίος χάνει κινητική ενέργεια και κινείται σπειροειδώς προς το κέντρο του σμήνους όπου τελικά θα συγχωνευτεί ενώ τα κέντρα των γαλαξιών θα εμφανίζονται ως πολλαπλοί πυρήνες του γαλαξία cD.
 - Συγχώνευσης σπειροειδών γαλαξιών.
 - Αρκετοί ελλειπτικοί πιθανόν να έχουν σχηματιστεί από συγκρούσεις σπειροειδών γαλαξιών.
 - Η ενέργεια που εμπλέκεται στην σύγκρουση καταστρέφει την δισκοειδή δομή και στους δύο γαλαξίες και προκαλεί στο συγχωνευμένο σύστημα να φτάσει στην χαρακτηριστική κατανομή ενός ελλειπτικού γαλαξία ($r^{1/2}$, 25) .
 - Σε τέτοιες συγκρούσεις υπερσχύει η λεγόμενη δυναμική τριβή ή όπως επίσης καλείται και βαρυτική αντίσταση η οποία καταλήγει για τα συγκρουόμενα σώματα να χάσουν την ορμή τους και την κινητική τους ενέργεια εξαιτίας των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων που υφίστανται από την ύλη των συγκρουόμενων σωμάτων.
- Οι γιγαντιαίοι ελλειπτικοί γαλαξίες θεωρούνται γενικά ως αποτέλεσμα των συγχωνεύσεων των γαλαξιών. Οι συνηθισμένοι ελλειπτικοί γαλαξίες μπορούν επίσης να σχηματιστούν με αυτό τον τρόπο ή μπορεί να έχουν σχηματιστεί από την βαρυτική κατάρρευση ενός διαστρικού αερίου.
- Οι ελλειπτικοί νανογαλαξίες πιθανόν σχηματίζονται από το υλικό που έχει απομείνει από την σύγκρουση με ένα μεγαλύτερο γαλαξία ή από τις παλιρροϊκές ουρές των αλληλεπιδρώντων γαλαξιών.

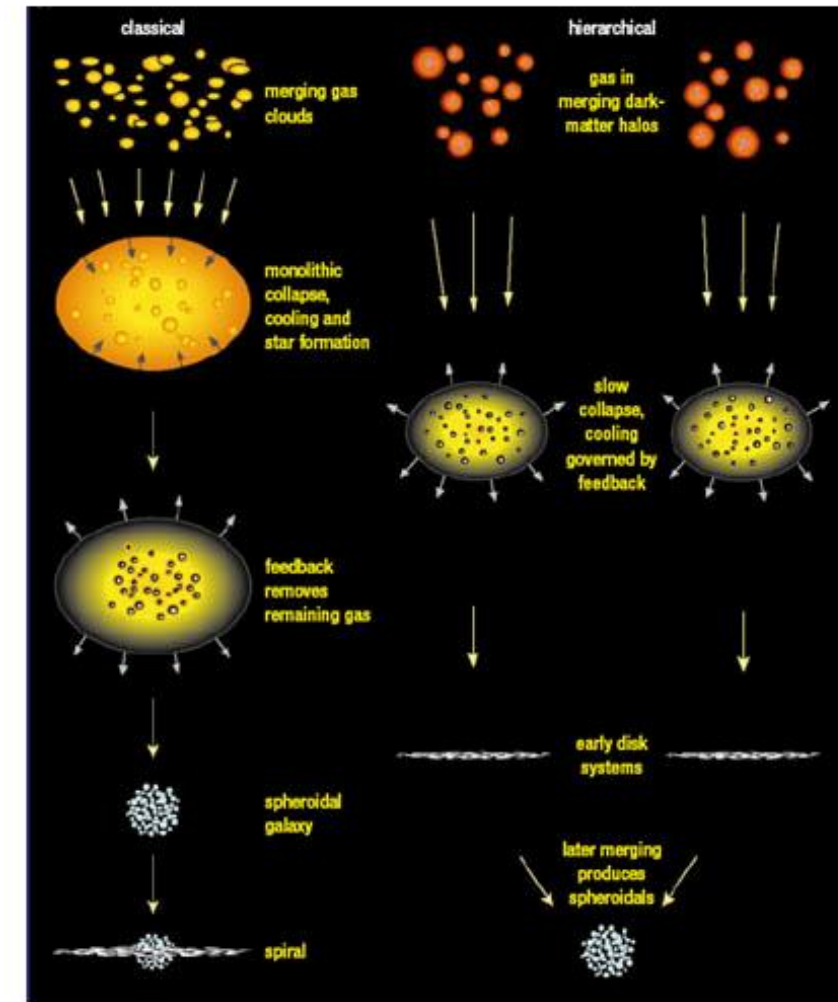
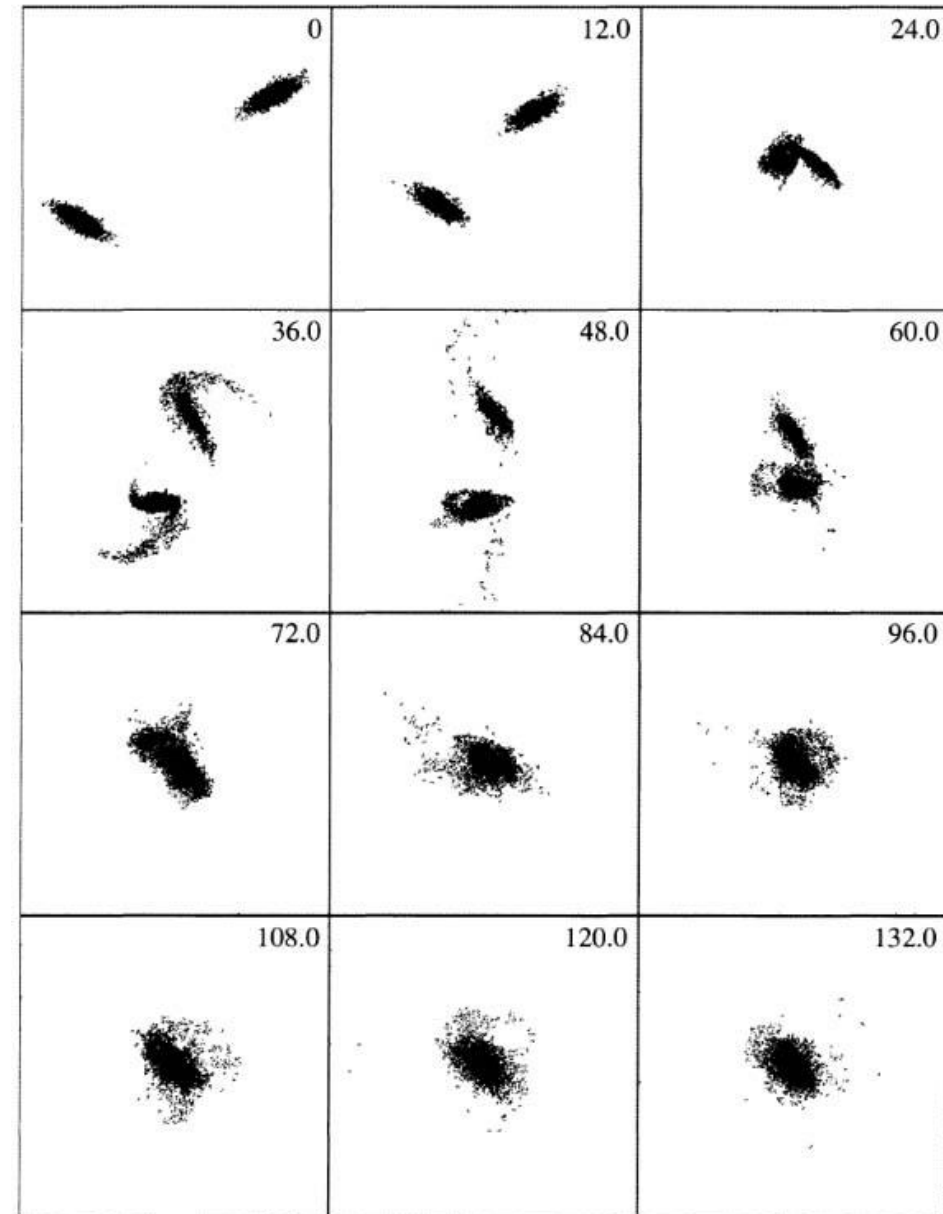


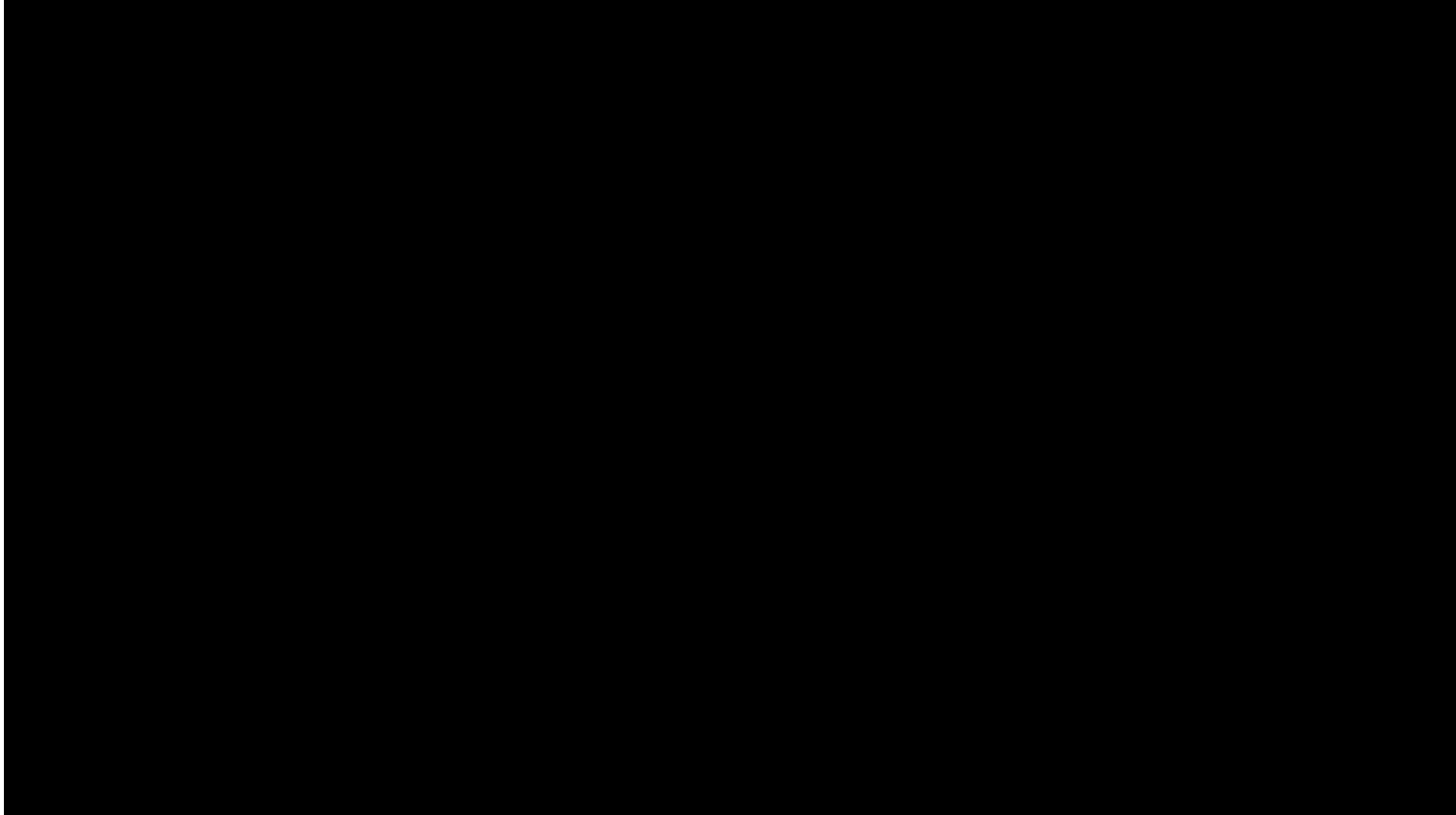
Figure 1: The two competing models of galaxy formation and evolution that could produce the galaxies we observe today. The classical 'top-down' or monolithic model is shown on the left. This involves the collapse of a large cloud over time. The hierarchical or 'bottom-up' model is shown on the right and involves successive mergers of small bodies.^{4, 11}

Σχηματισμός ελλειπτικών γαλαξιών

- Προσομείωση N-Σωμάτων, συγχώνευσης δύο σπειροειδών γαλαξιών . Κάθε σπειροειδής περιέχει 16000 σωμάτια ενώ το κεντρικό εξόγκωμα περιέχει 4096 σωμάτια. Το αποτέλεσμα είναι ένας ελλειπτικός γαλαξίας με $r^{1/4}$ προφίλ.
- Η οργανωμένη περιστροφική κινητική ενέργεια των σπειροειδών γαλαξιών, μετά την συγχώνευση μετατρέπεται σε τυχαία κίνηση, και ο τελικός γαλαξίας που προκύπτει προσομοιάζει σε ελειψοειδές τριών αξόνων που πιστεύεται ότι πλησιάζει πιο κοντά στην δομή των ελλειπτικών γαλαξιών.



Προσομοίωση N-σωμάτων σε συγχώνευση σπειροειδών Γαλαξιών

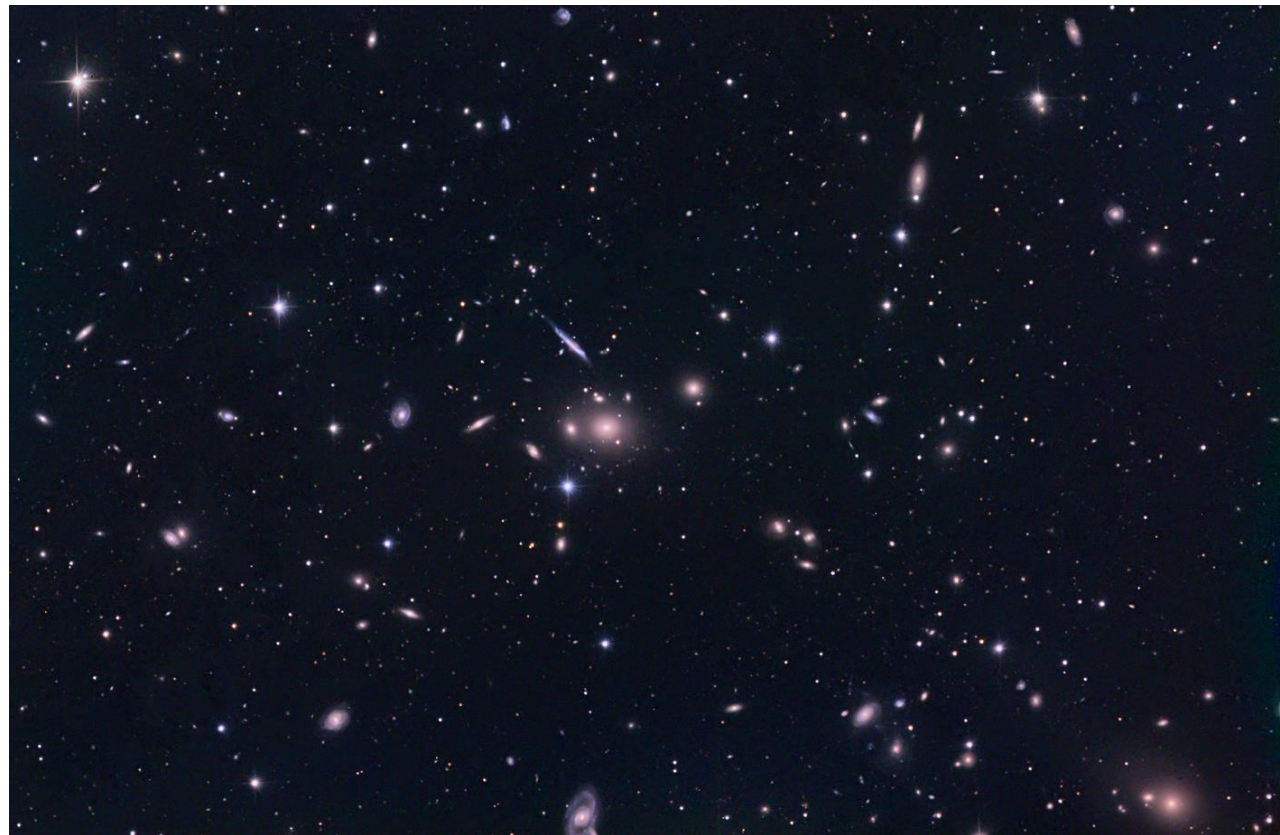


Σχηματισμός

- Στα σμήνη των γαλαξιών υπάρχει το κλειδί για την κατανόηση του σχηματισμού των ελλειπτικών γαλαξιών.
- Ενώ ελλειπτικοί γαλαξίες είναι περίπου το 10% του συνόλου των μοναχικών γαλαξιών, εντούτοις είναι πολύ περισσότερο άφθονοι σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα γαλαξιών όπως σε πλούσια συμπλέγματα γαλαξιών.
- Αυτό το γεγονός είναι ένα παράδοξο και ένα επιχείρημα εναντίον της υπόθεσης της συγχώνευσης.
 - Σε αυτές τις περιοχές, η μεγάλη σχετική ταχύτητα των γαλαξιών και η δυναμική του σμήνους το οποίο είναι σε κατάσταση ισορροπίας έτσι ώστε το σύστημα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης και της δυναμικής ενέργειας έχει σταθεροποιηθεί.
 - Σε τέτοια συστήματα δεν είναι συνηθισμένο να υπάρχουν συγκρούσεις γαλαξιών και γ' αυτό και το παράδοξο, σχετικά με τον μηχανισμό που δόμησε αφθονία ελλειπτικών μέσα σε αυτά τα σμήνη.
- Ίσως η απάντηση να είναι ότι σχηματίστηκαν από συγχωνεύσεις, νωρίς στην ιστορία των σμηνών, πριν την σταθεροποίηση (Virialization) του σμήνους, όπου η διασπορά των ταχυτήτων του σμήνους ήταν αρκετά μικρή, επιτρέποντας την ιεραρχική συγχώνευση και τον σχηματισμό ελλειπτικών γαλαξιών. Βέβαια ο μηχανισμός συγχώνευσης όπως εξηγήσαμε παραπάνω δεν μπορεί να συνεχίζεται για πάντα και σταματάει όταν το σμήνος είναι εξισορροπημένο (Virialized)
 - Με τον όρο Virialized εννοούμε ένα σύστημα βαρυτικά αλληλοεπιδρώντων σωμάτων, που είναι σταθερό, σε ένα τέτοιο σύστημα η δυναμική ενέργεια είναι διπλάσια της αρνητικής Κινητικής $U = -2K$



Σμήνη Γαλαξιών



- Σμήνος του Λέοντα κυριαρχεί ο μεγάλος Ελλειπτικός γαλαξίας NGC 3842.
- Έχει βρεθεί η μαζικότερη μέχρι το 2012 μαύρη τρύπα με μάζα περίπου 9,7 δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες, μια ασύλληπτη ποσότητα ύλης που έχει καταρρεύσει στο κέντρο του γαλαξία.
- Υπάρχουν αρκετοί περισσότεροι σπειροειδείς γαλαξίες από ότι ελλειπτικοί.
- Έχει αρχίσει να σχηματίζεται σχετικά πρόσφατα, σε σχέση με το σμήνος της Κόμης και οι σπειροειδείς γαλαξίες του σμήνους δεν έχουν ακόμη συγχωνευτεί για τον σχηματισμό Ελλειπτικών



- Το σμήνος της Κόμης είναι πολύ πλουσιότερο και μεγαλύτερο από το σμήνος του Λέοντα.
- Περιέχει πάνω από 1000 γαλαξίες η μέση απόσταση των οποίων από την Γη είναι περίπου 321 εκατομμύρια έτη φωτός.
- Το σμήνος, κυριαρχείται από δύο υπεργίγαντες ελλειπτικούς γαλαξίες που φαίνονται κοντά στον κέντρο της εικόνας NGC 4874 και NGC 4889.
- Κυριαρχείται κυρίως από ελλειπτικούς γαλαξίες.

Ευχαριστώ

- **Πηγές :**
- Materials from the Educational Course “Galaxies and Cosmology” Caltech University
- Βιβλία :
- An Introduction to Modern Astrophysics - B. Carrol, D. Ostlie
- Astrophysics – Frank Sue
- Papers:
- <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0509725>
- Πηγές από Πανεπιστημιακά Sites
- <http://burro.case.edu/Academics/Astr222/Galaxies/Elliptical/kinematics.html>
- http://people.virginia.edu/~dmw8f/astr5630/Topic07/Lecture_7.html
- https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March02/Kormendy/Kormendy3_3.html
- http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1987IAUS..127...37J&defaultprint=YES&filetype=.pdf
- http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1978ComAp...8...27B&defaultprint=YES&filetype=.pdf
- Πηγές από Web sites:
- http://amazingspace.org/resource_page/202/galaxies/type
- <http://cosmicrootsandeldritchshores.com/size-luminosity-relationship/>