



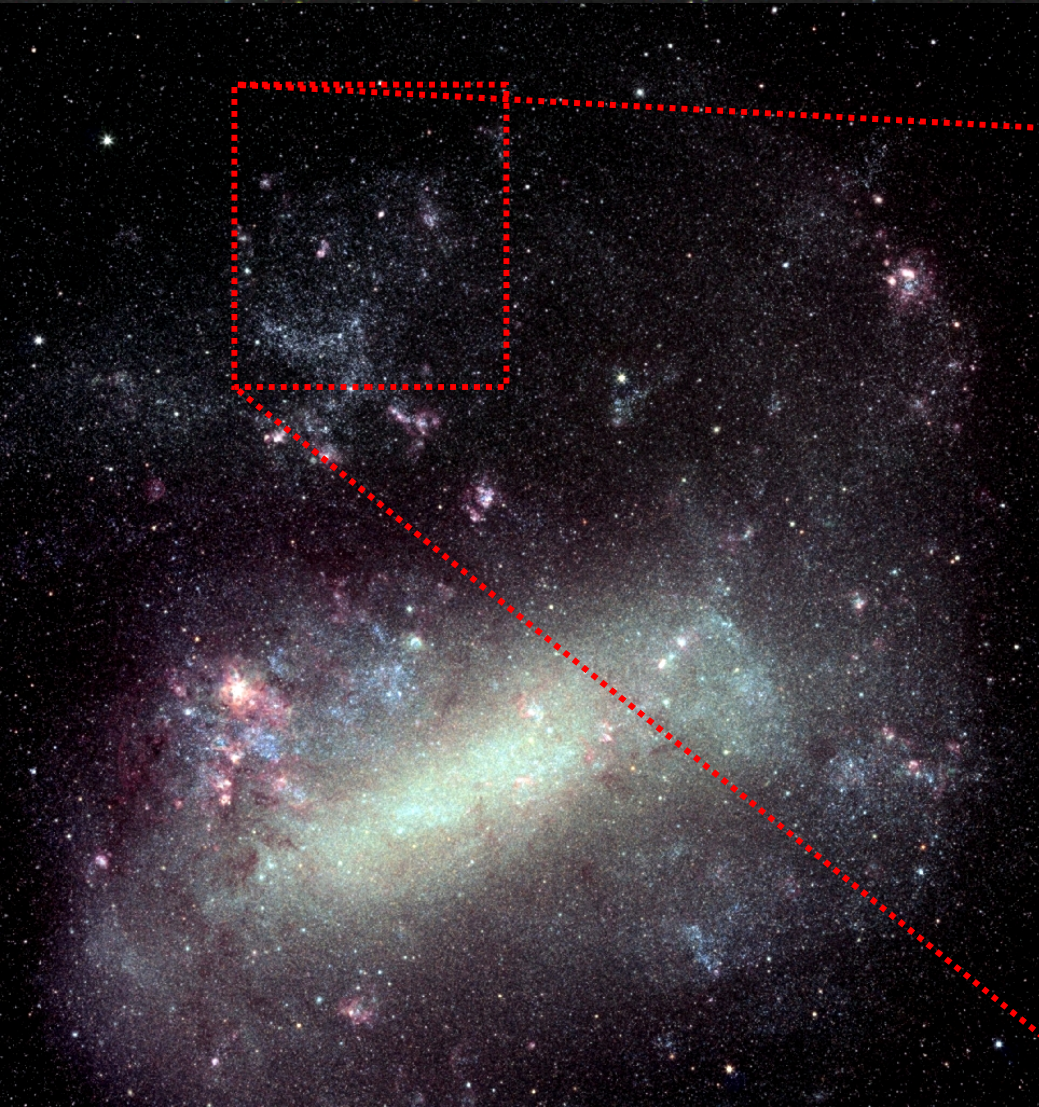
# Large Scale Star Forming Regions in Galaxies

Αστρικά Συμπλέγματα  
Stellar Complexes

Μ. Κοντιζά

# The Large Magellanic Cloud

LH 95 Revisited: A Test-bed for further understanding



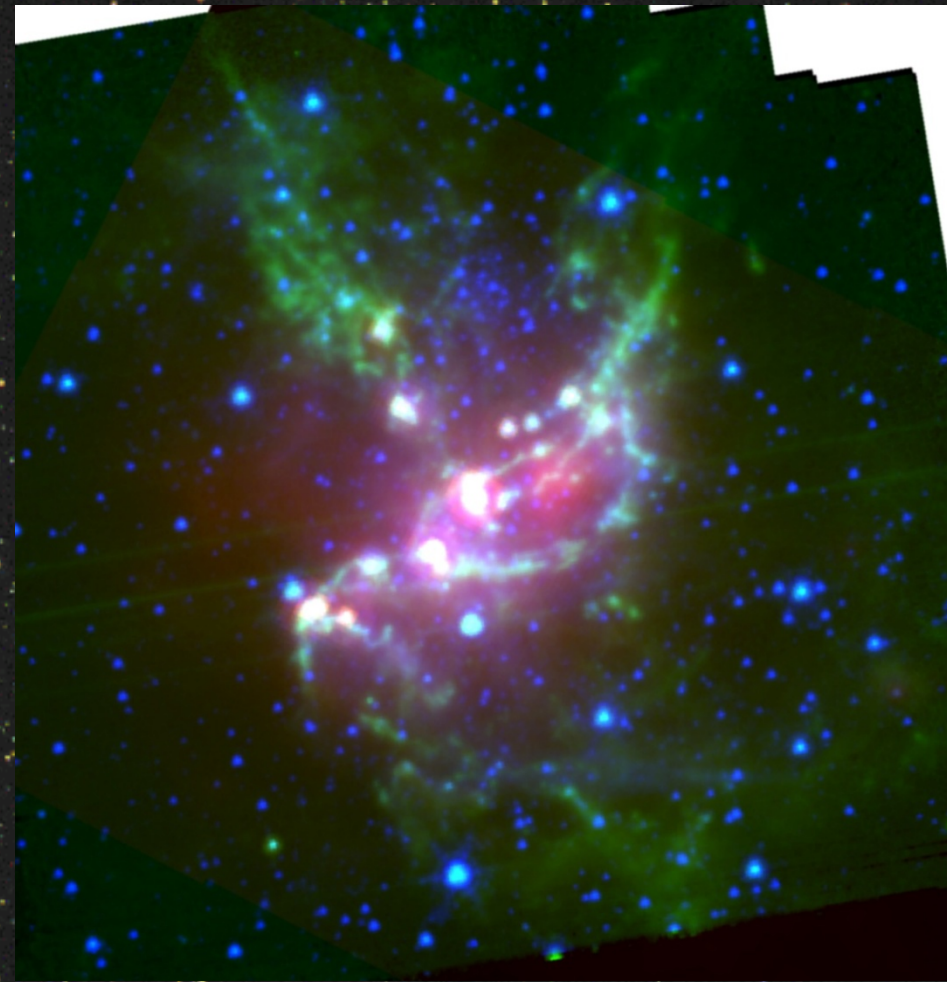
LMC 4



# Stellar Associations in The MCs

NGC 346: The Pre-Main Sequence Population of the SMC

HST/ACS/WFCF555W + F814W



Credit: NASA/ESA HST & A. Nota (STScI)

$5.8 \mu\text{m} + 8 \mu\text{m} + 24 \mu\text{m}$

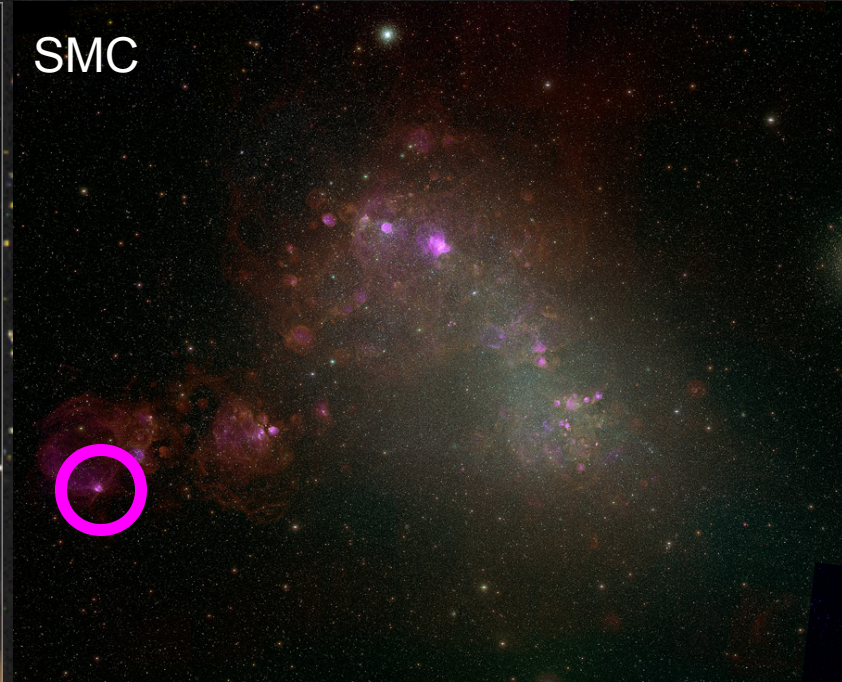
# Stellar Associations in The MCs

NGC 602: Another Sample of Pre-Main Sequence Populations



Image Credit: Hubble Heritage

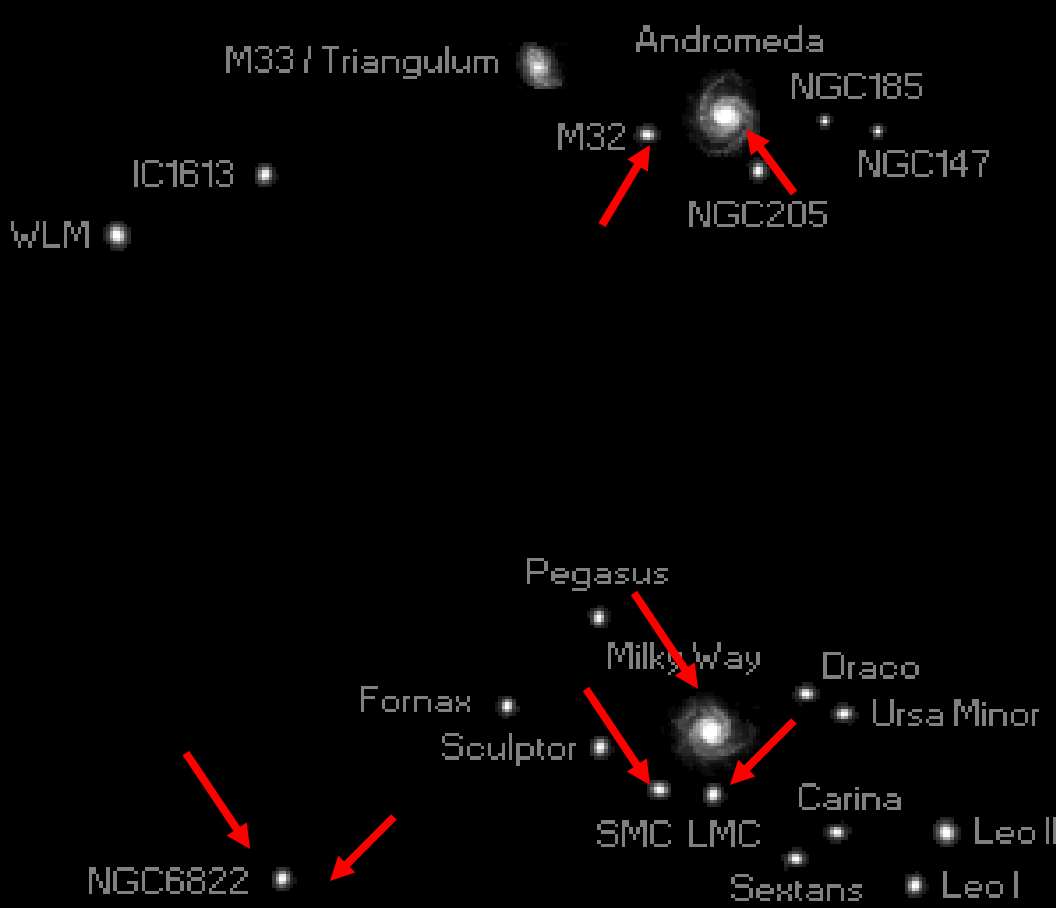
SMC



10 Brightest Stars:

$M_V \approx -5.14$  (O5.5) -  $-3.29$  (B0.5)

1M  
L-Y



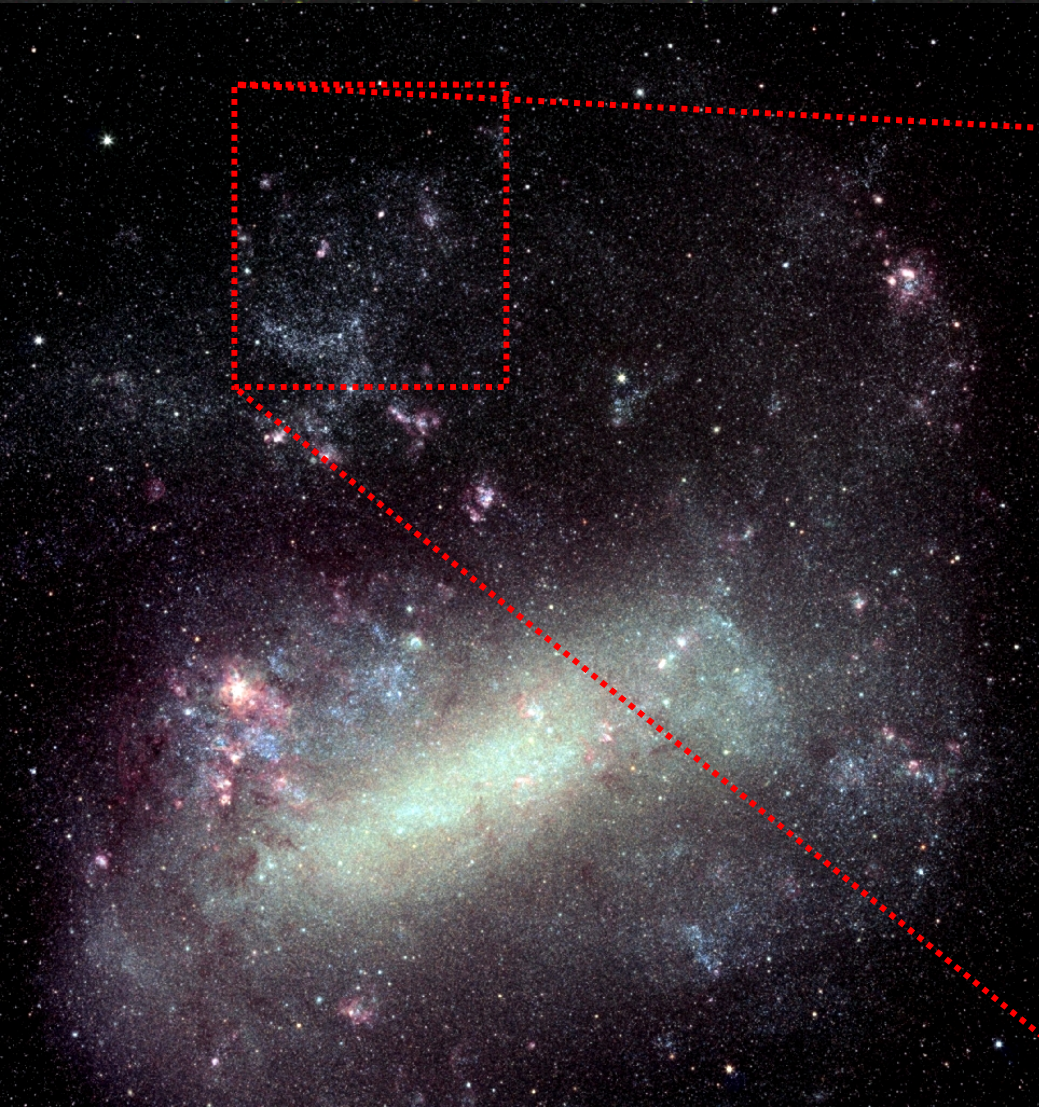
**THE LOCAL GROUP**  
partial map / projection

**NGC 6822**  
**is isolated!**



# The Large Magellanic Cloud

LH 95 Revisited: A Test-bed for further understanding



LMC 4



# The Small Magellanic Cloud (SMC)



- Η δημιουργία αστέρων σε γιγάντια μοριακά νέφη, περιλαμβάνει αστέρες μεγάλης μάζας που ιονίζουν το αέριο που τους περιβάλλει. Η πίεση ακτινοβολίας και οι αστρικοί άνεμοι από αστέρες και ομάδες OB καθώς και τα κύματα κρούσης από μεταγενέστερους υπερκαινοφανείς, οδηγούν στη δημιουργία νέας γενιάς αστέρων, στο παρακείμενο αέριο.
- Συχνά, σε κλίμακες μερικών εκατοντάδων pc, εμφανίζεται μία ακολουθία πρωτοαστέρων, περιοχών HII και γηραιότερων σμηνών. Η κλιμάκωση αυτή είναι το αποτέλεσμα «διαδιδόμενης» δημιουργίας αστέρων (**propagating star formation**).



- Η δημιουργία αστέρων που «πυροδοτείται» από εξωτερικές πιέσεις ονομάζεται μερικές φορές «διεγυριρόμενη» δημιουργία αστέρων (**stimulated star formation**).
- Αντίθετα, μικρότερες, πιο απομονωμένες περιοχές μπορεί να παρουσιάσουν «αυθόρμητη» δημιουργία αστέρων (**spontaneous star formation**), στην οποία το αέριο είναι βαρυτικά ασταθές και μπορεί να καταρρεύσει και χωρίς την ύπαρξη προφανούς εξωτερικής πίεσης.

- ❖ Ο **Ambartsumyan (1949)** εισήγαγε την έννοια «**αστρικές ομάδες**» για να περιγράψει μεγάλες ομάδες θερμών αστέρων που είναι αραιά και επομένως πιθανότατα βαρυτικά ασύνδετα. Οι διαστάσεις τους έχουν εκτιμηθεί μεταξύ 30 και 200 pc.
- ❖ Αργότερα, στα τέλη της δεκαετίας του 50, η επεξεργασία περισσότερων δεδομένων ήρθε να ενισχύσει την άποψη ότι τα θερμά νέα άστρα δεν απαντώνται συνήθως μόνα τους, αλλά σε ομάδες και ότι οι ίδιες οι ομάδες OB σχηματίζουν μεγαλύτερες ομάδες. Αυτό αποδείχτηκε για πρώτη φορά ότι ισχύει στον Γαλαξία μας από τον **Korylon (1958)**.
- ❖ Πρώτος ο **Sarpley** παρατήρησε μεγάλες ομάδες μπλε αστέρων στο LMC και έδωσε έναν κατάλογο από 15 τέτοιες περιοχές με διαστάσεις από 150 έως 400 pc που τις περιέγραψε ως «**μικρά νέφη αστέρων ακανόνιστου σχήματος**» που σχεδόν όλα εμφανίζονται σαν ευδιάκριτες φυσικές δομές. Αργότερα ο ίδιος επιβεβαίωσε την ύπαρξη μεγάλων ομάδων αστέρων OB στο LMC, τα οποία και ονόμασε «**αστερισμούς**».

Ο Baade το 1958 υποστήριζε ότι σε αναλογία με τον όρο ομάδες οι αστερισμοί του Sapley θα έπρεπε να ονομάζονται υπερομάδες και υποστήριζε ότι είναι πολύ σημαντικό να διαπιστώσει κανείς ότι η δημιουργία αστέρων προκύπτει σε δύο κλίμακες,

✓ στις ομάδες, με διαμέτρους 10-100 pc όπως τις ορίζει ο Ambartsumyan και σε

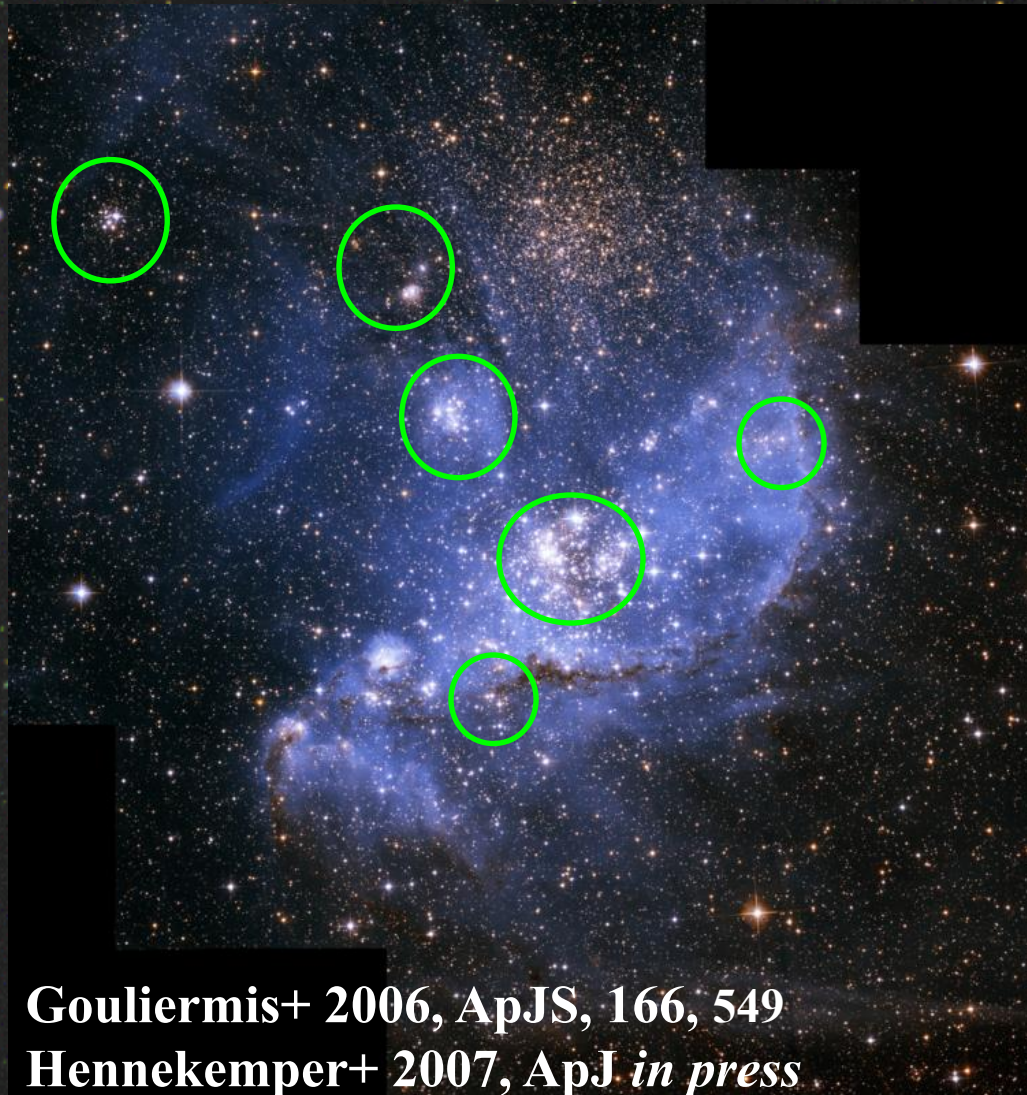
✓ εκτεταμένες περιοχές διαμέτρων 500 έως και 600 pc.

- Στη συνέχεια βρέθηκε ότι στον Γαλαξία μας, αστέρια σημαντικά μεγαλύτερης ηλικίας, οι Κηφείδες, βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε ομάδες (μεγέθους 0.5-1 kpc), οι οποίες συχνά εμπεριέχονται σε ομάδες OB. Οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν γίνει γνωστές ως **αστρικά συμπλέγματα**.
- Επομένως αστρικά συμπλέγματα διακρίνονται ως συγκεντρώσεις υπεργιγάντων και αστρικών σμηνών με **διαστάσεις έως και 1 Kpc και ηλικία έως  $100-200 \times 10^6$  έτη**. Το 90% των αστρικών ομάδων βρίσκονται μέσα στα αστρικά συμπλέγματα όπως έχει επιβεβαιωθεί τουλάχιστον για τον γαλαξία μας και για κάποιους από τους γαλαξίες της τοπικής ομάδας (Efremov, 1989a, 1995).

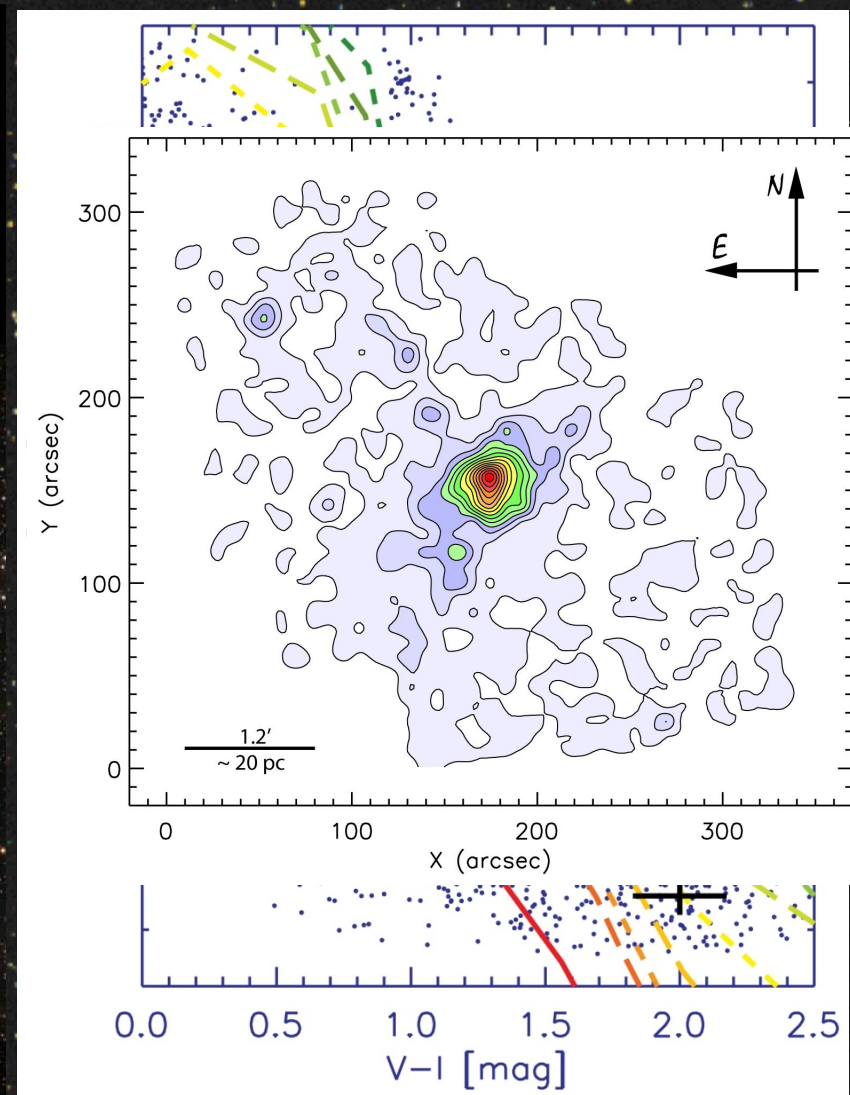
- Η ιεραρχική συγκέντρωση πολλών λαμπρών νεαρών άστρων που πρωτοαναφέρθηκε από τους Efremov (1984) καθώς και τους Feitzinger & Braunsfurth (1984) αντανακλά την πρωταρχική κατανομή των νεφών αερίου ή καλύτερα τη χωρική κατανομή της πυκνότητας του αερίου που θα καταναλωθεί για τη δημιουργία αστέρων.
- Σύμφωνα με τον Efremov αστρικό σύμπλεγμα καλείται κάθε περιοχή συγκέντρωσης **σμηνών, Ομάδων OB, περιοχών HII και μεμονωμένων λαμπρών άστρων**, ηλικίας  $10^6$  έως  $10^8$  yr, με διαστάσεις περίπου **200-1000 pc**.

# Stellar Associations in The MCs

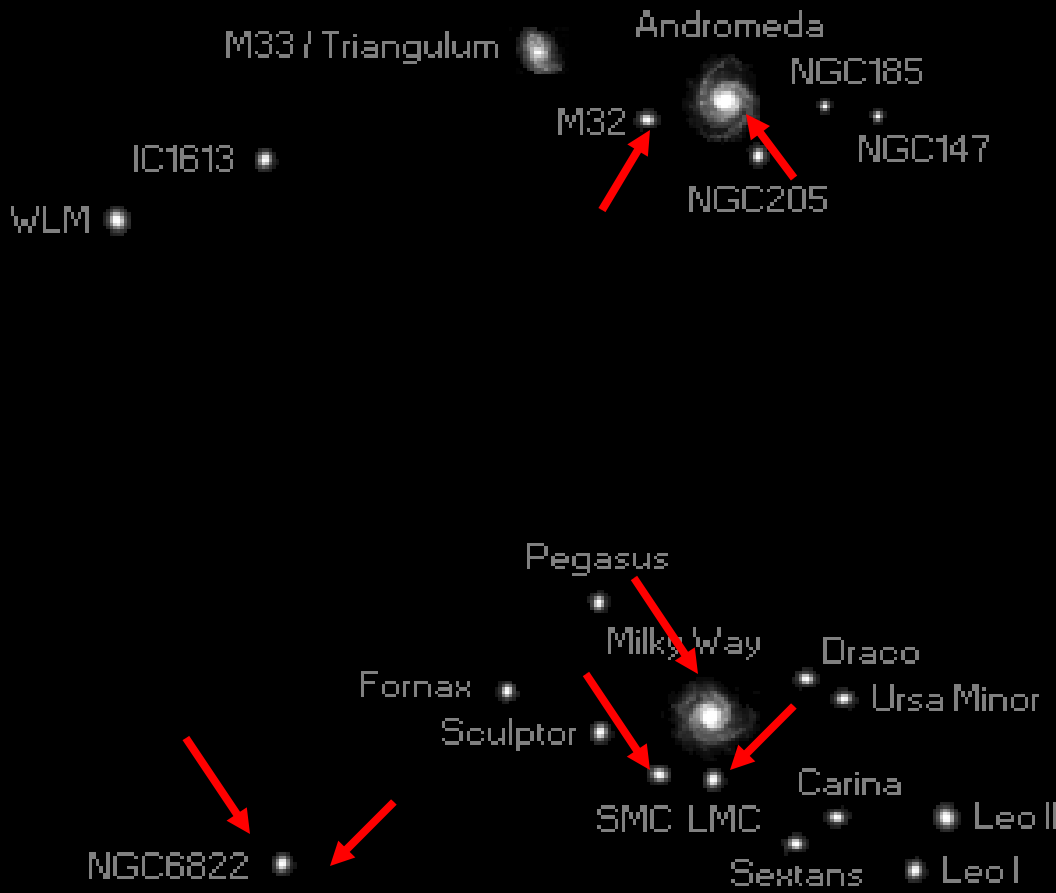
NGC 346: The Pre-Main Sequence Population of the SMC



Gouliermis+ 2006, ApJS, 166, 549  
Hennekemper+ 2007, ApJ *in press*

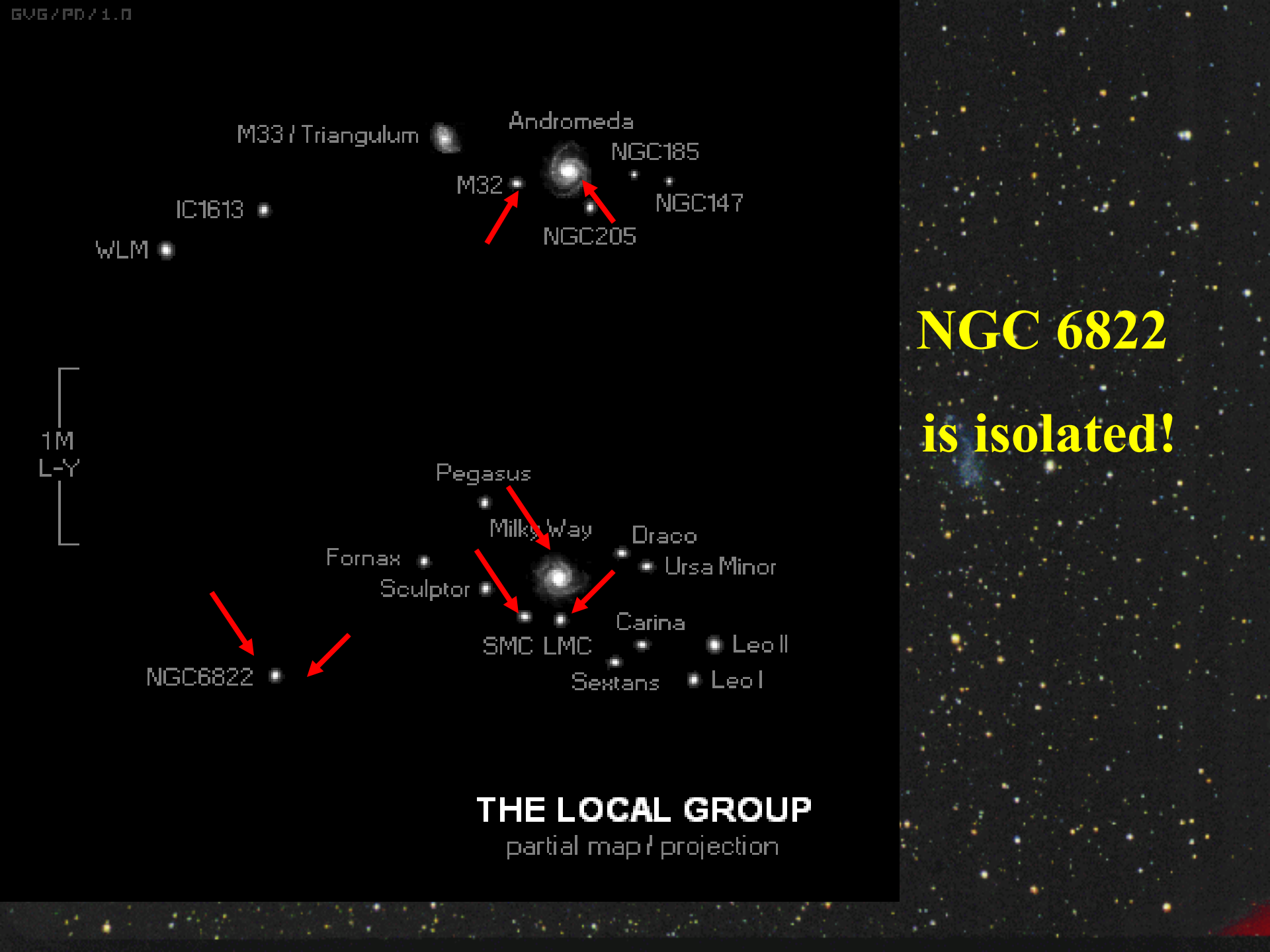


1M  
L-Y



**THE LOCAL GROUP**  
partial map / projection

**NGC 6822**  
**is isolated!**



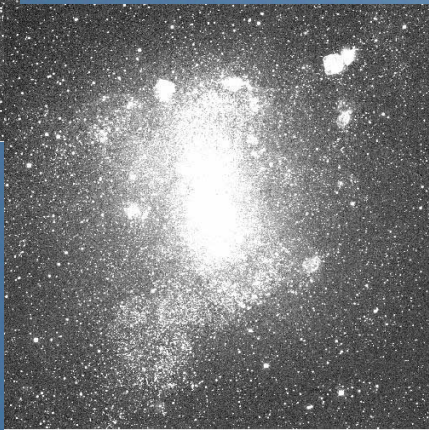
Blanco 4m CTIO 2000  
Massey (Local Group Survey)

ATCA 1999 de Blok

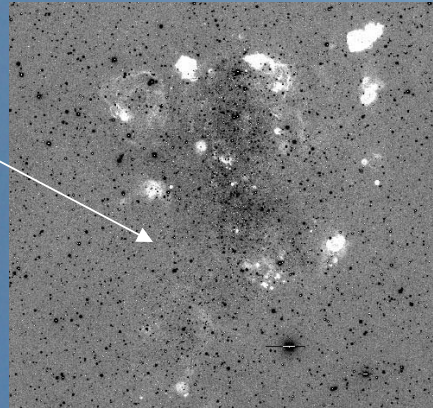
DATA



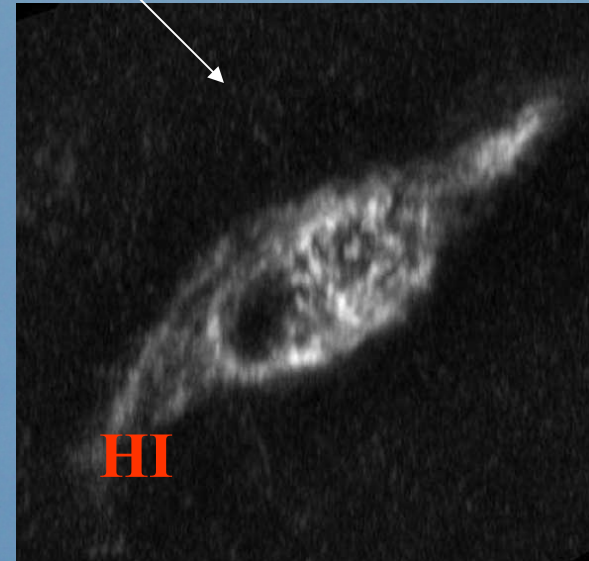
R



U

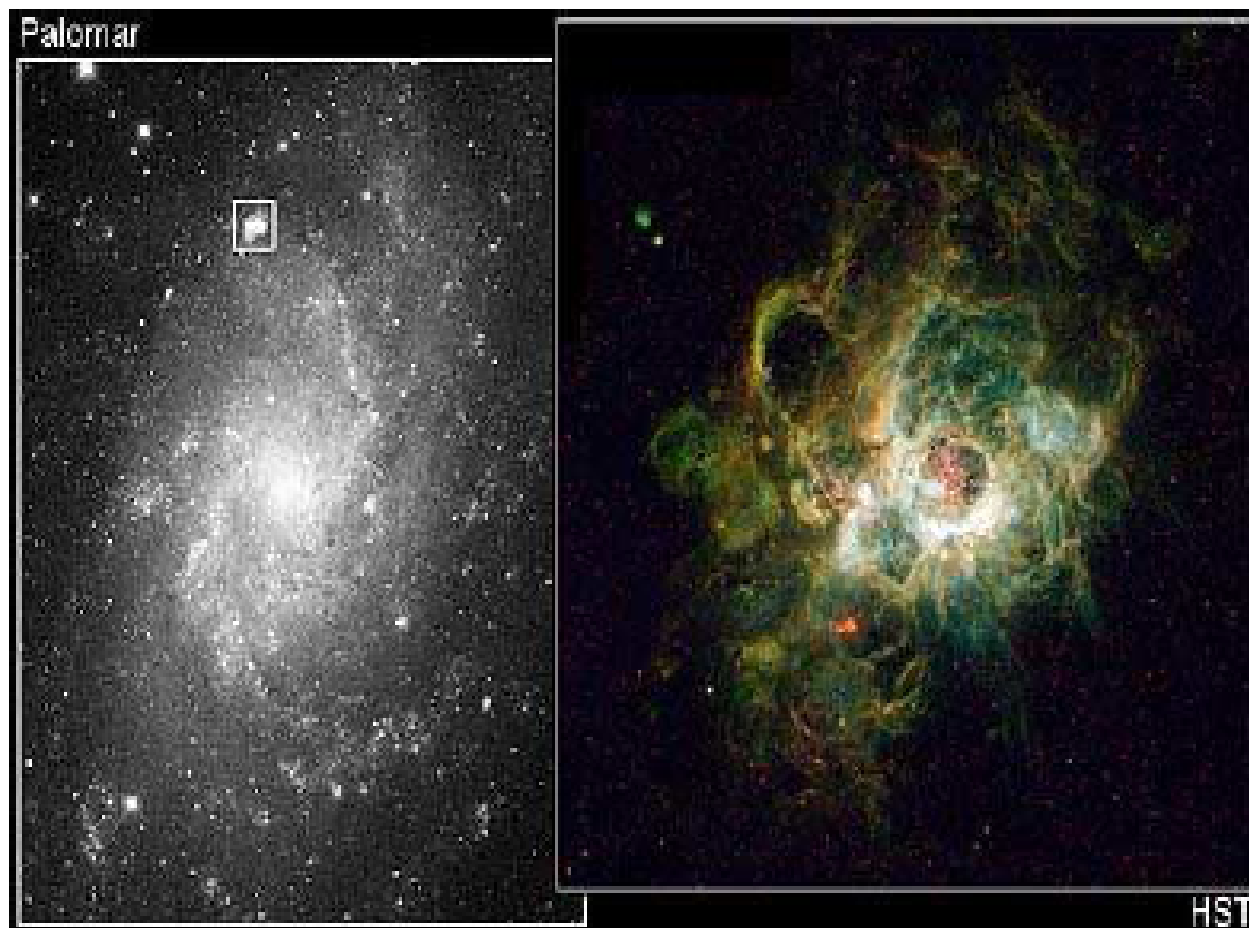


H<sub>α</sub>



HI





**Σχήμα 1.6:** Ο γαλαξίας M33 (αριστερά) και η μεγέθυνση της NGC 604, μιας περιοχής δημιουργίας αστέρων (δεξιά). Η επεξεργασία έγινε από τον H. Yang, στο Πανεπιστήμιο του Illinois, και από τη NASA, με δεδομένα από την WFPC2.

# The Local Group galaxy

## NGC 6822

**Dwarf Irregular Galaxy with a bar-like structure**



Discovery .....Barnard (1884)

Distance ...500 kpc (van den Bergh  
2000)

E(B-V) ... $0.25 \pm 0.05$  (Massey et al.  
2007)

Z .....0.004 (Skillman 1989)

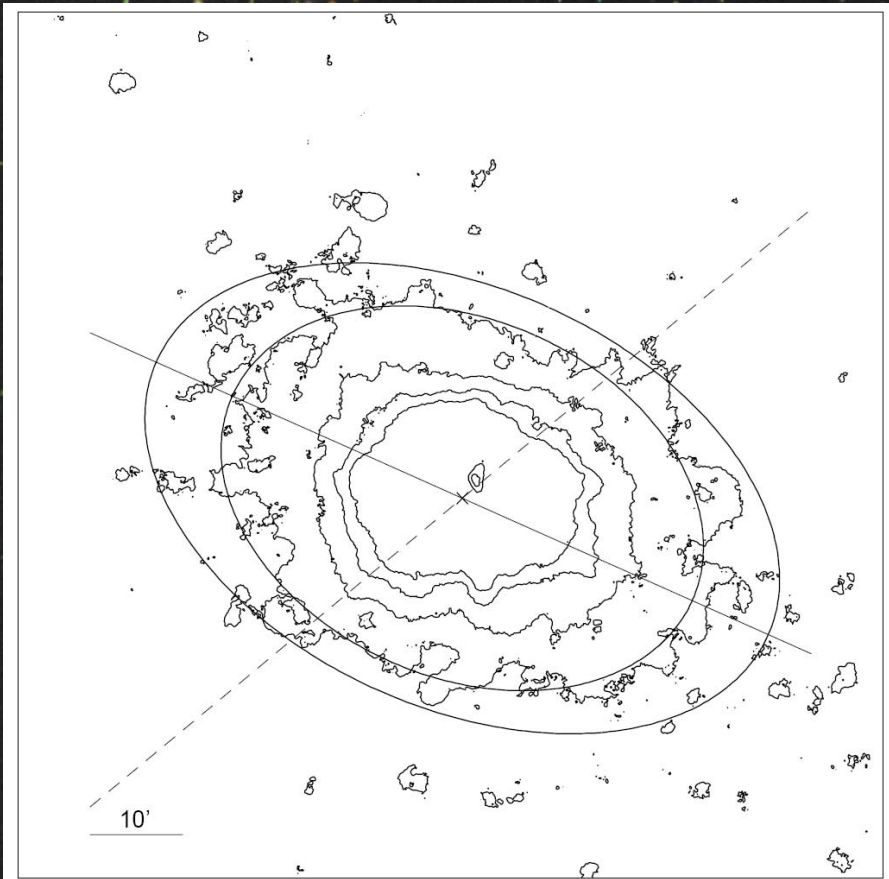
**Star Formation → Increased  
during the last hundred Myr,  
especially in the bar**

(Gallart et al. 1996, Wyder 2001, Hodge  
1980)

## Steps to determine the star forming regions of NCC 6822...

- a. Selection of stellar populations younger than 100 Myr
- b. Star counting in cells of 57 by 57 pc<sup>2</sup> for each population
- c. 3 by 3 pixel<sup>2</sup> mean smoothing
- d. Calculation of the mean ( $m$ ) and sigma ( $\sigma$ ) value
- e. Isopleths with a density higher than  $m + 3\sigma$
- f. Ellipse fitting in structures with size  $> 150$  pc and density range  $> 4\sigma$

- 1. A close encounter or merging could produce a Polar Ring Galaxy**
- 2. This interaction must have happened before at least 500 Myr**
- 3. This interaction is unknown**



Demers et al. 2005

**Gas disk vertically distributed  
to the old stellar disk**

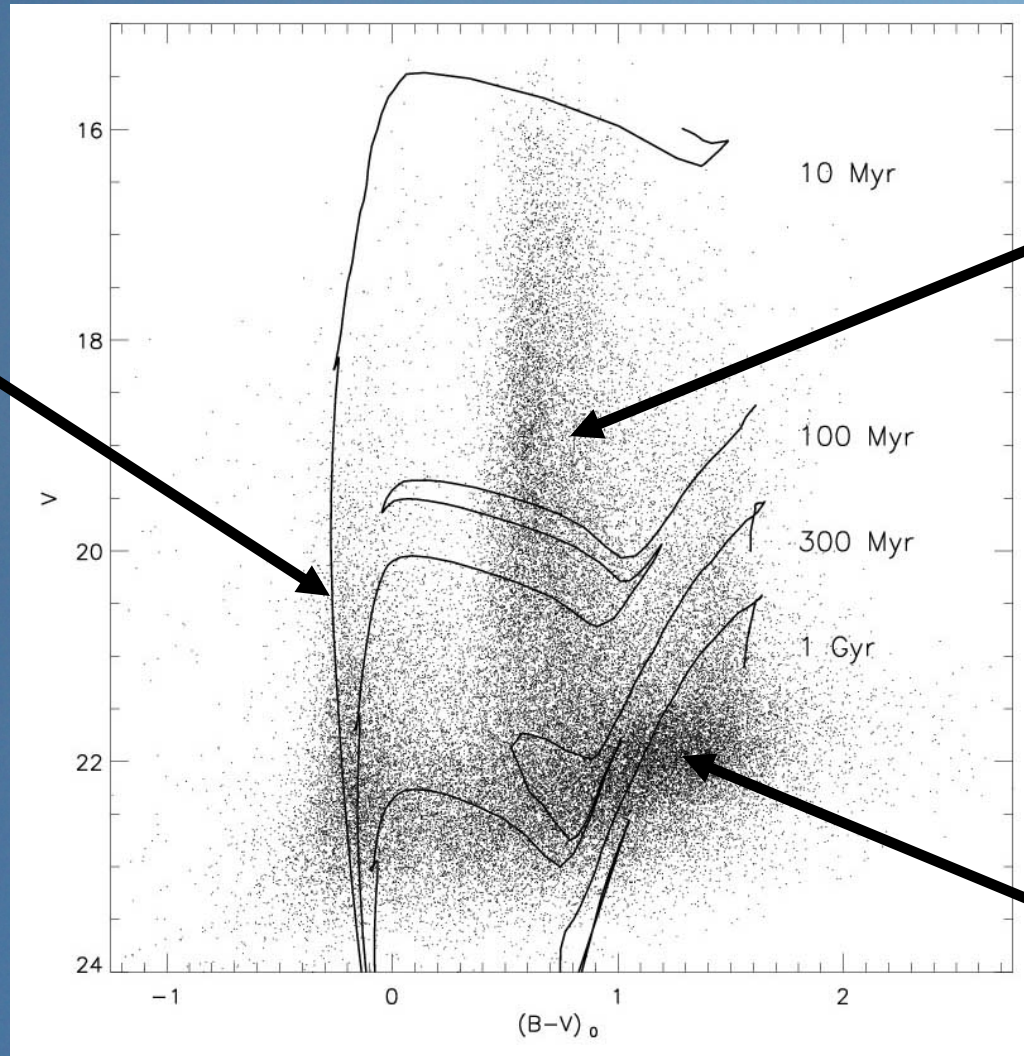
**+**

**Different kinematics**

**=**

**NGC 6822 is a Polar Ring Galaxy**

# Color Magnitude Diagram

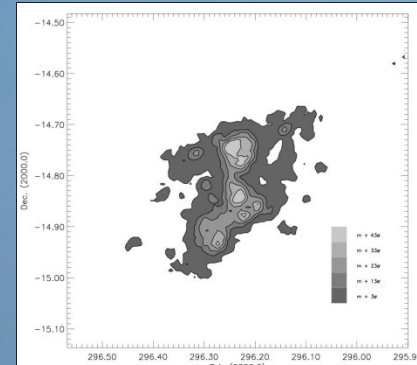
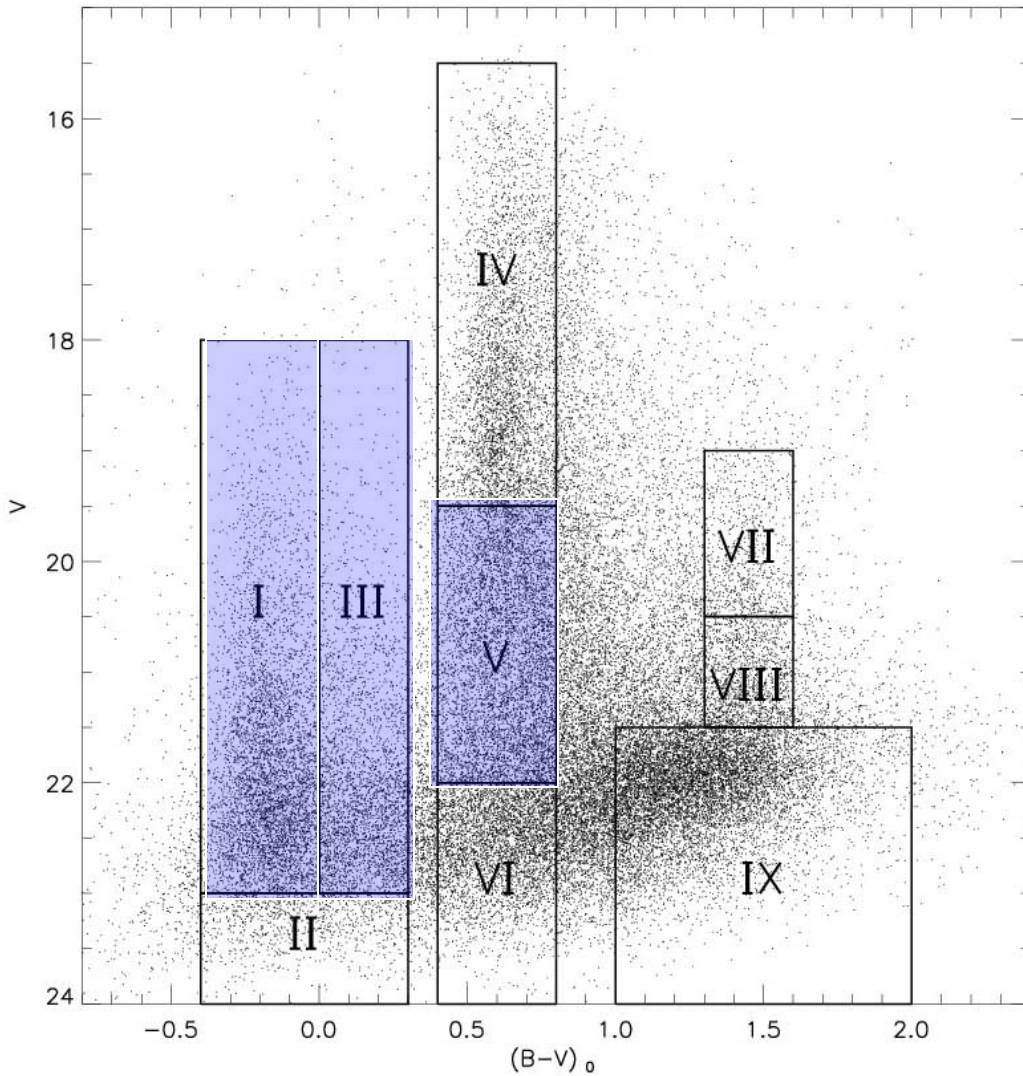


Young MS stars

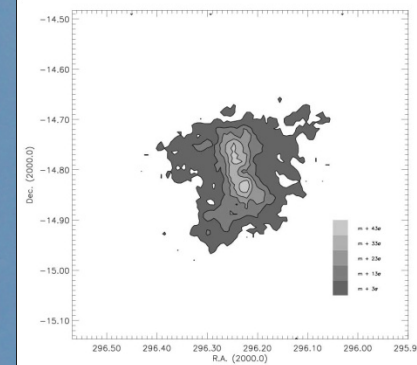
Foreground stars

Old RGB stars

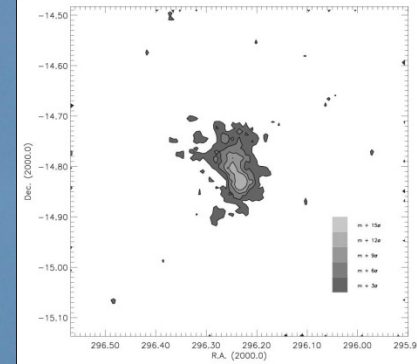
# Spatial distribution of the younger stellar populations



$\leq 300$  Myr

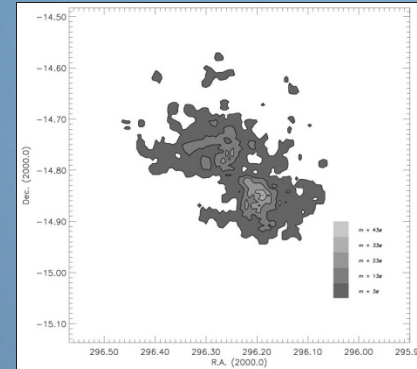
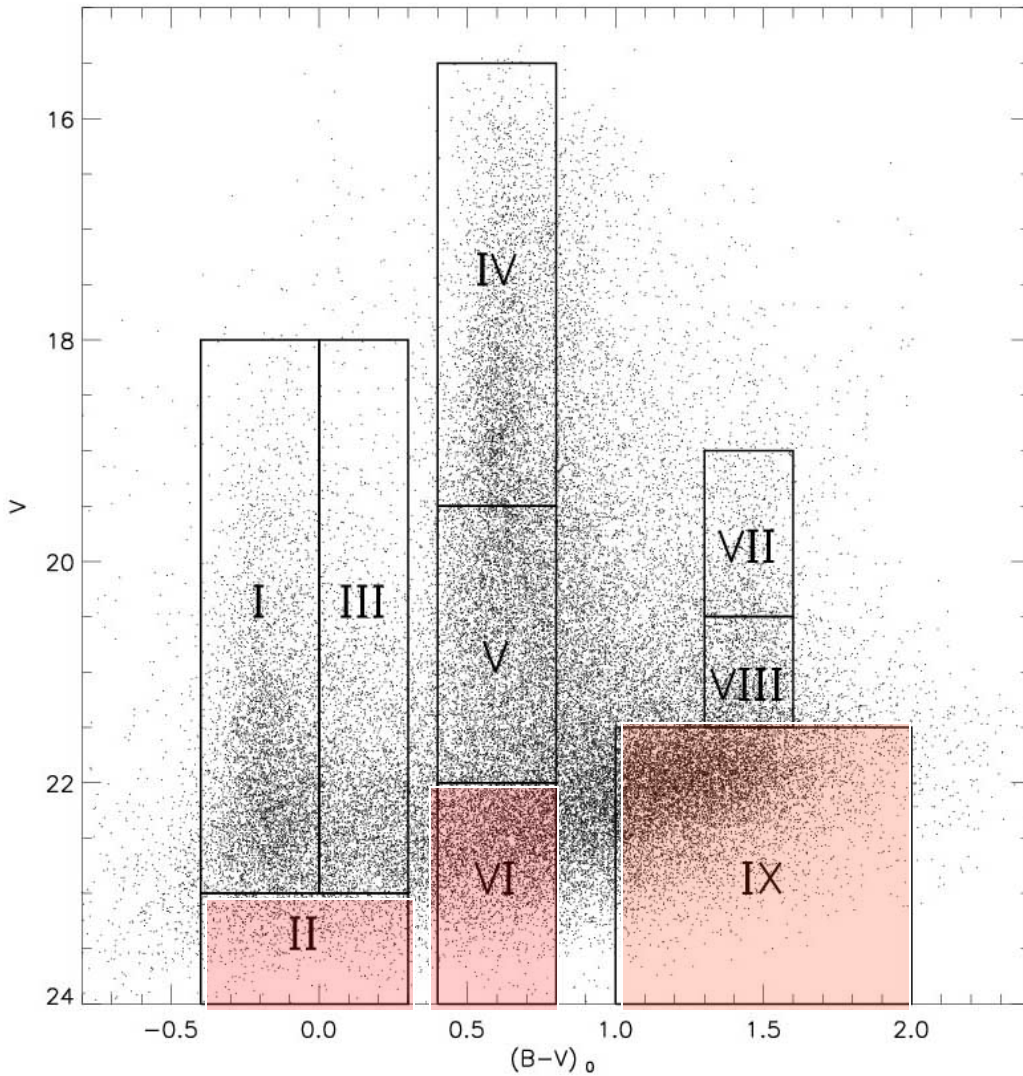


50-400 Myr

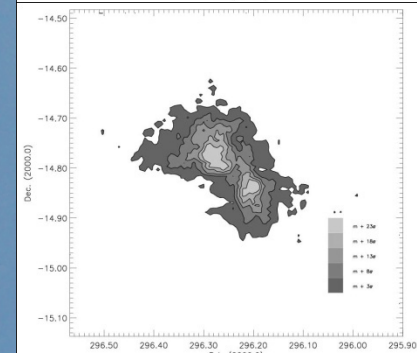


100-300 Myr

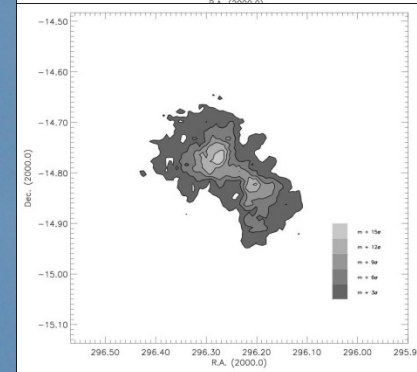
# Spatial distribution of the older stellar populations



$\leq 650$  Myr

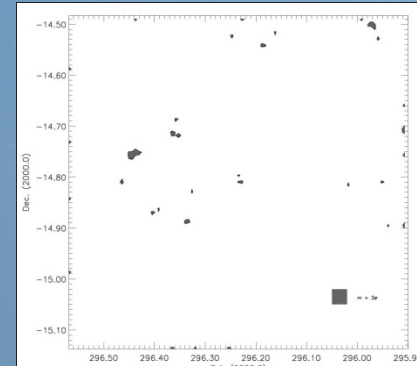
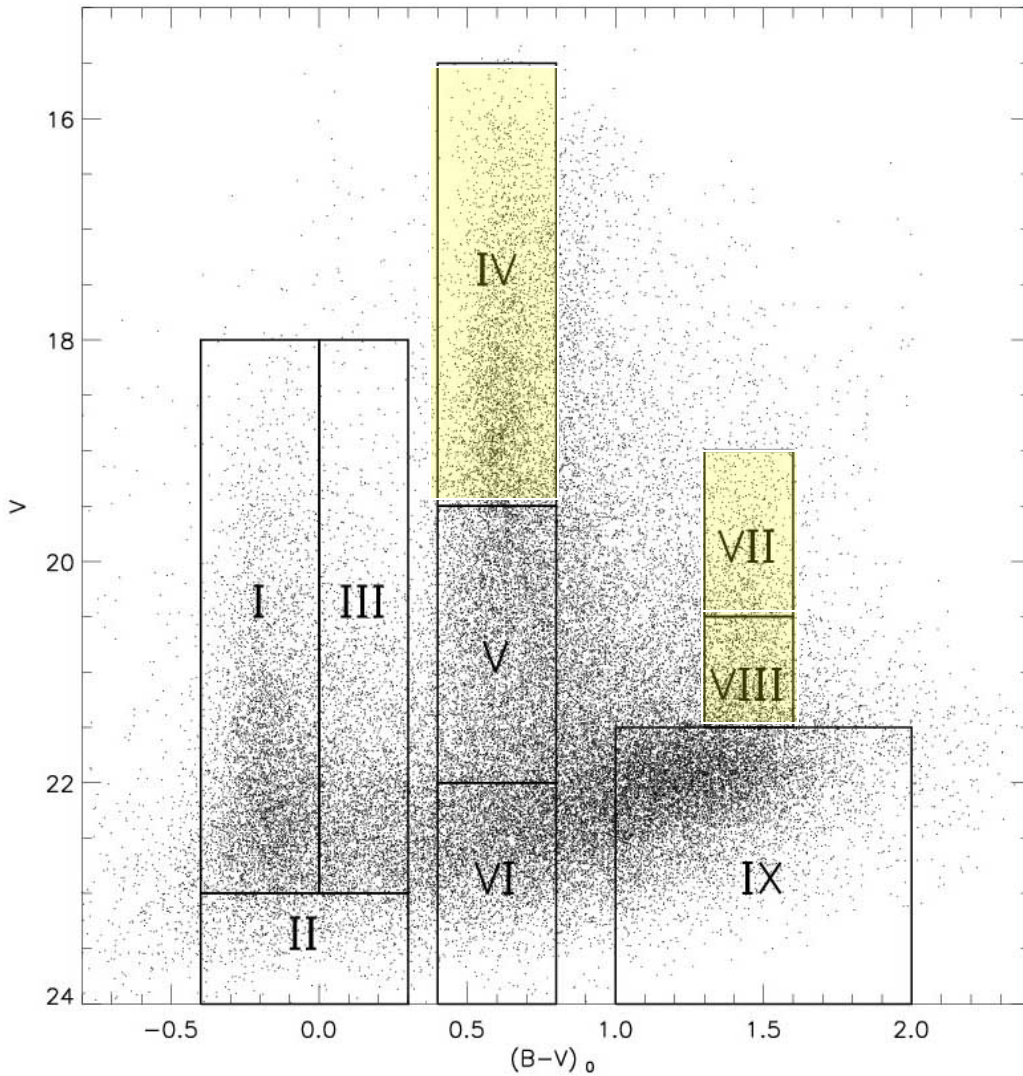


300-500 Myr

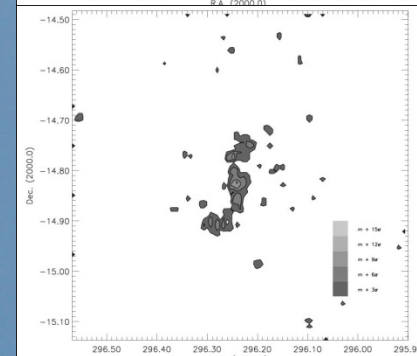


$\geq 800$  Myr

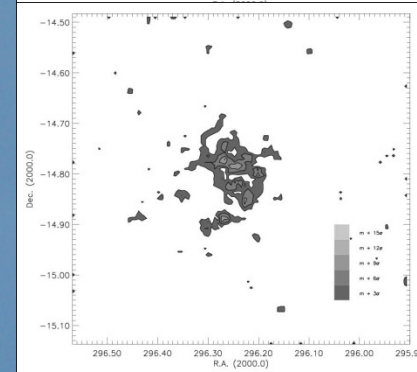
# Spatial distribution of statistical inadequate CMD regions



$\leq 100$  Myr



150-650 Myr

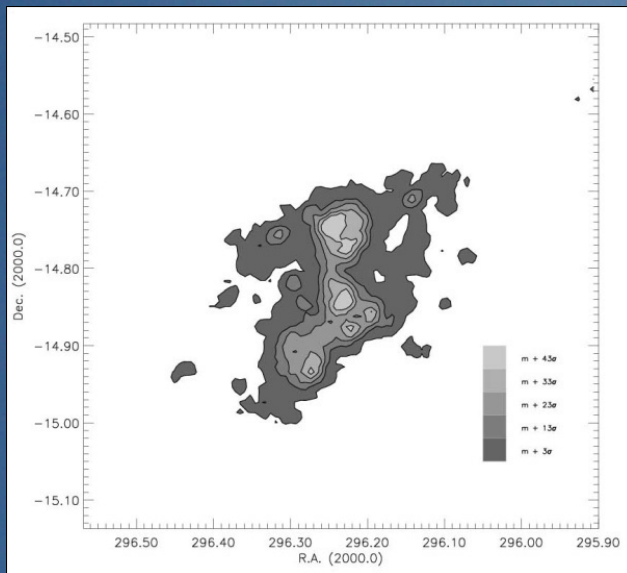


650 - 3150 Myr

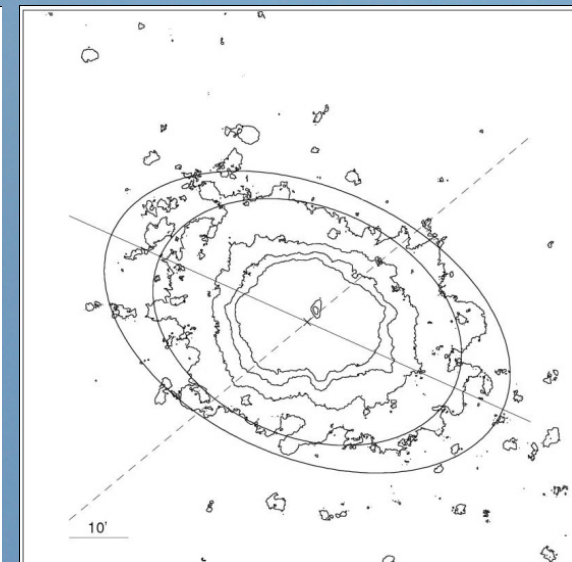
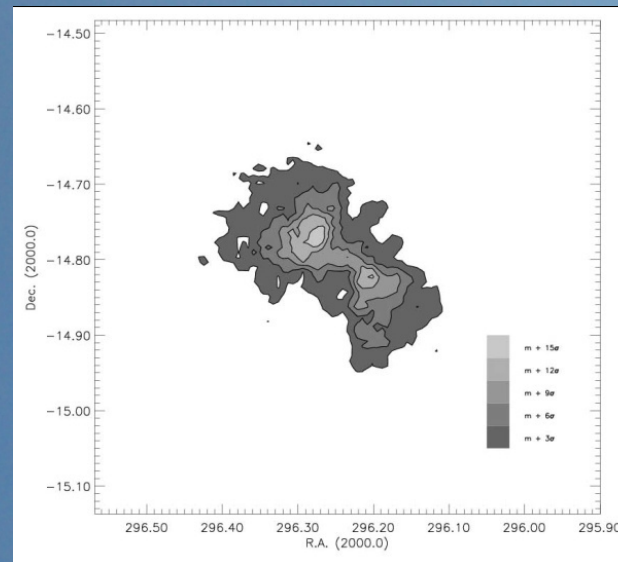


Large scale structures of NGC 6822 can be reduced into two different reference structures

Bar-like structure  
of young stars



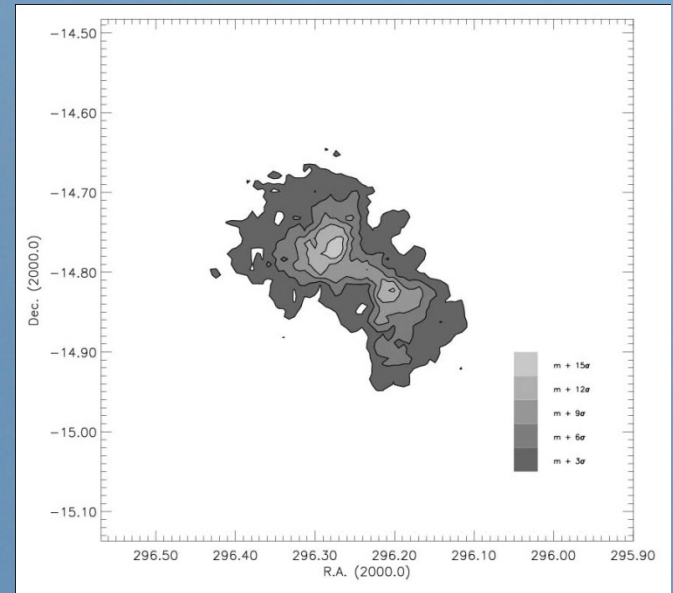
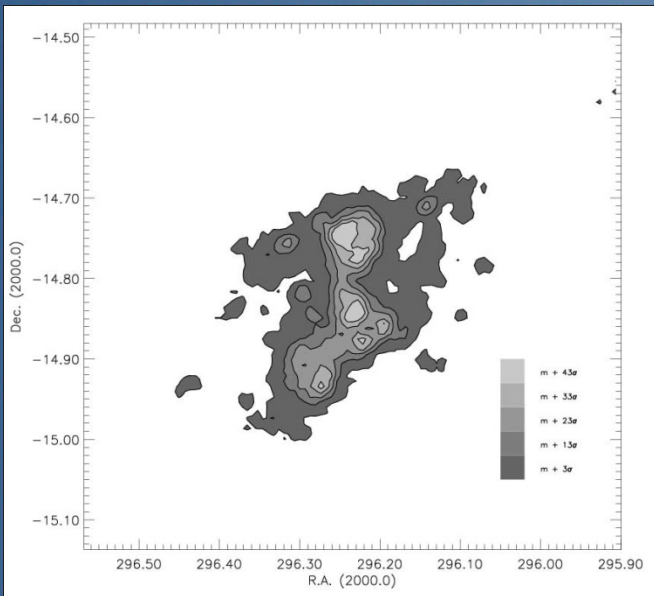
Ellipsoidal structure  
of old stars



Transition before at least  $350 \pm 50$  Myr

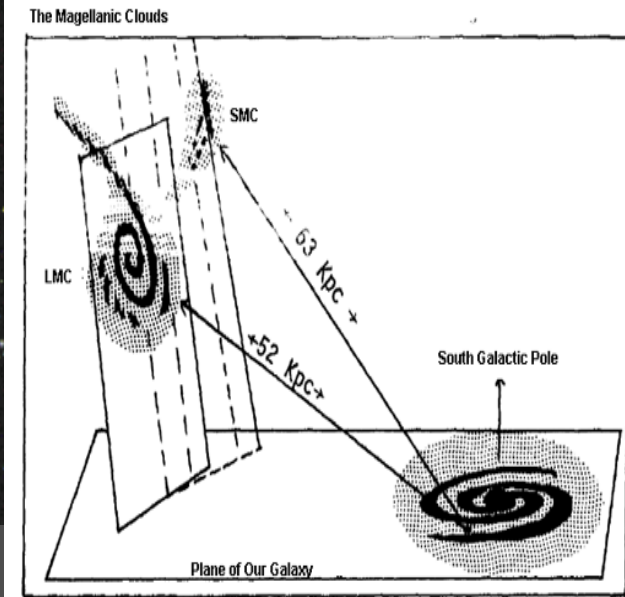
# Results

A smooth transition is probably unlikely

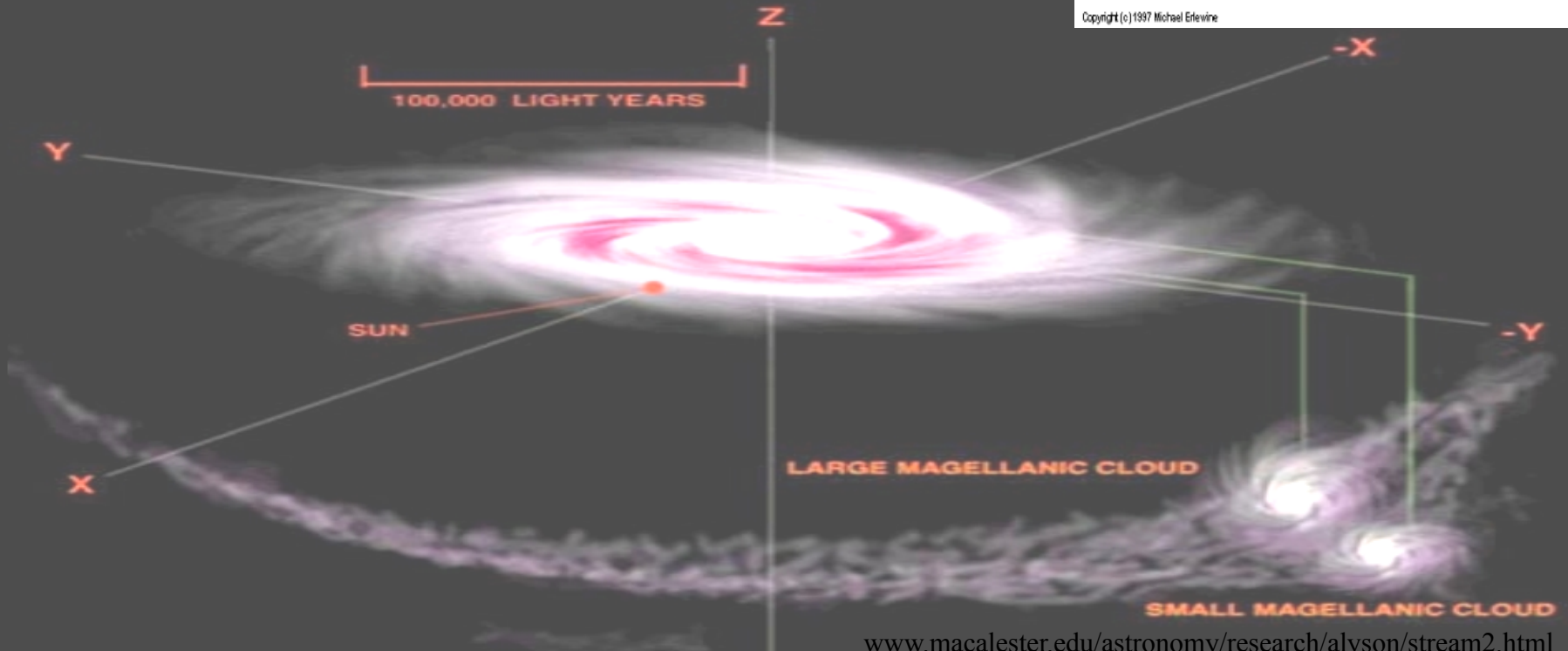


Strong Interaction?

# The Milky Way and the Magellanic Clouds



Copyright (c) 1997 Michael Erelwine

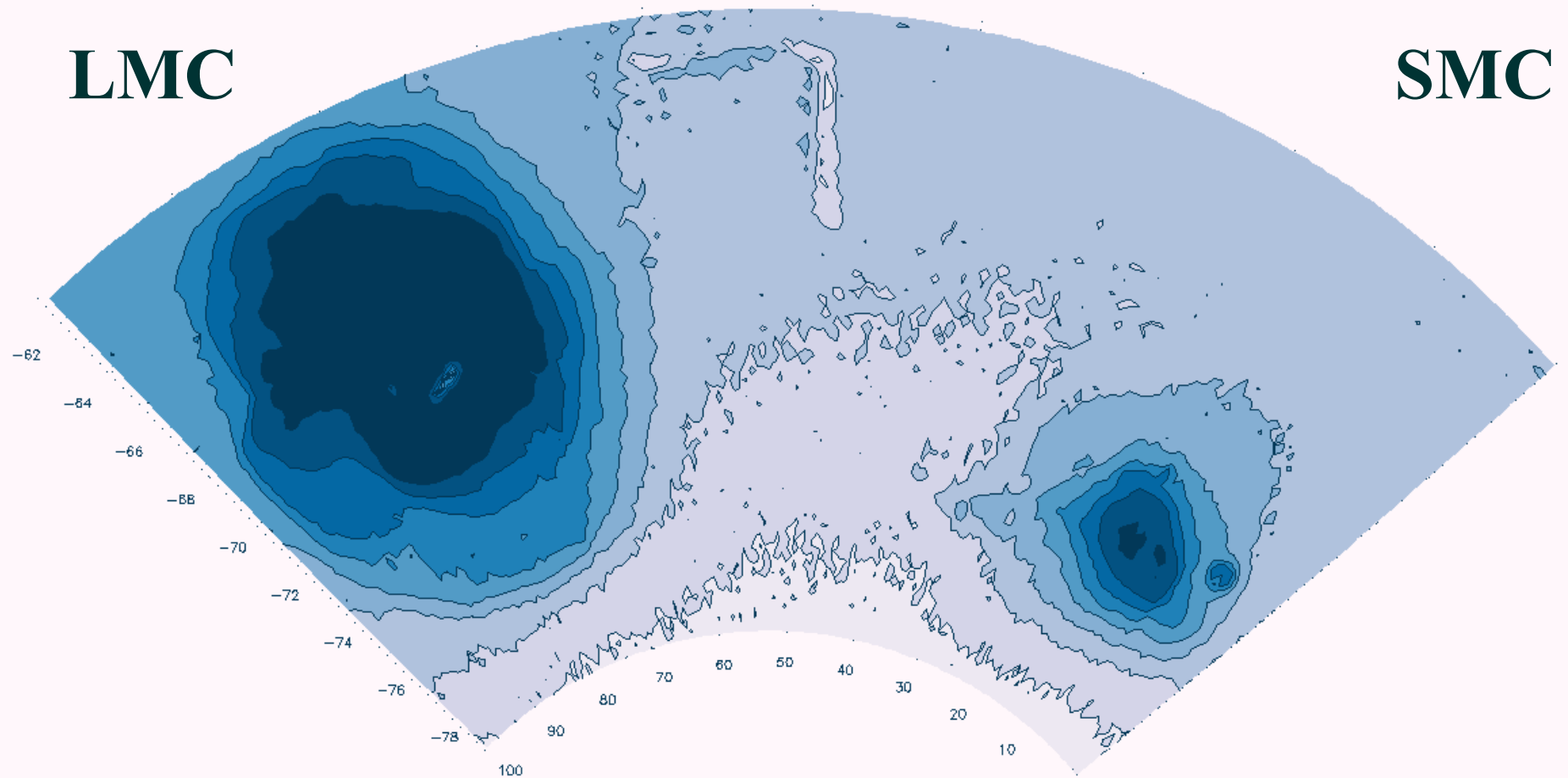


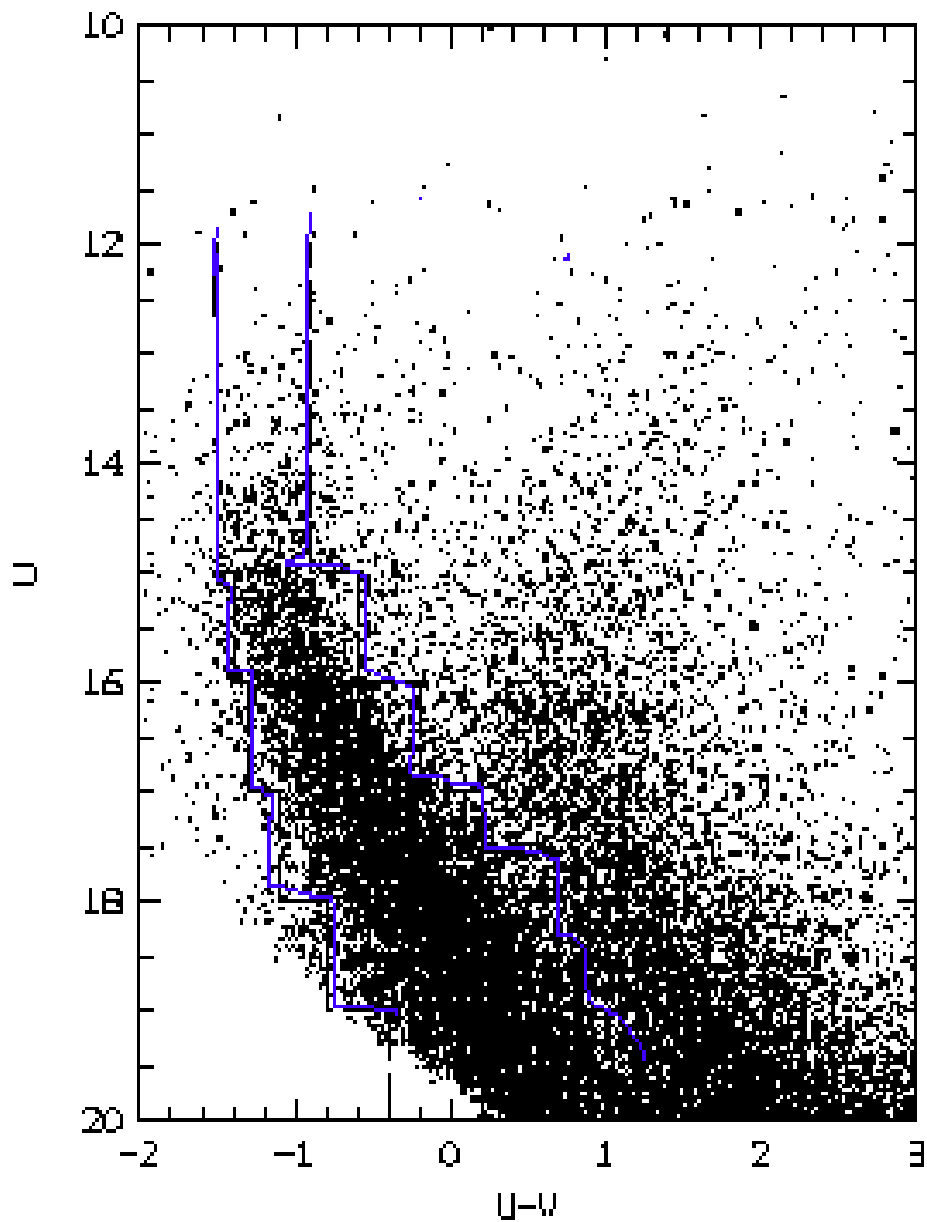
# Why the MCs?

1. In principal, same method of detection of star forming regions.
2. Superior resolution.
3. Complete spatial coverage.
4. Numerous regions (better statistics)
5. The MCs are in any case important in galaxy studies!

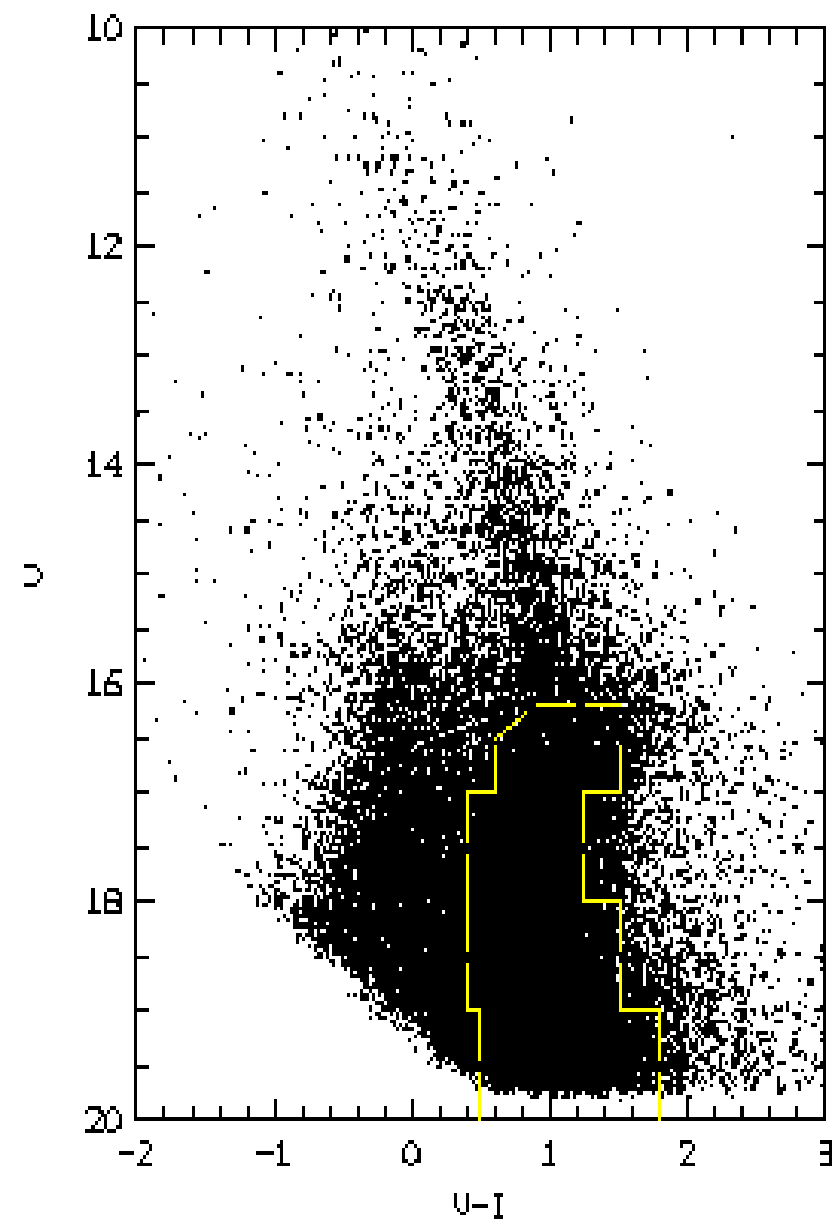
Belcheva, 2010

SuperCOSMOS Science Archive <http://surveys.roe.ac.uk/ssa/>



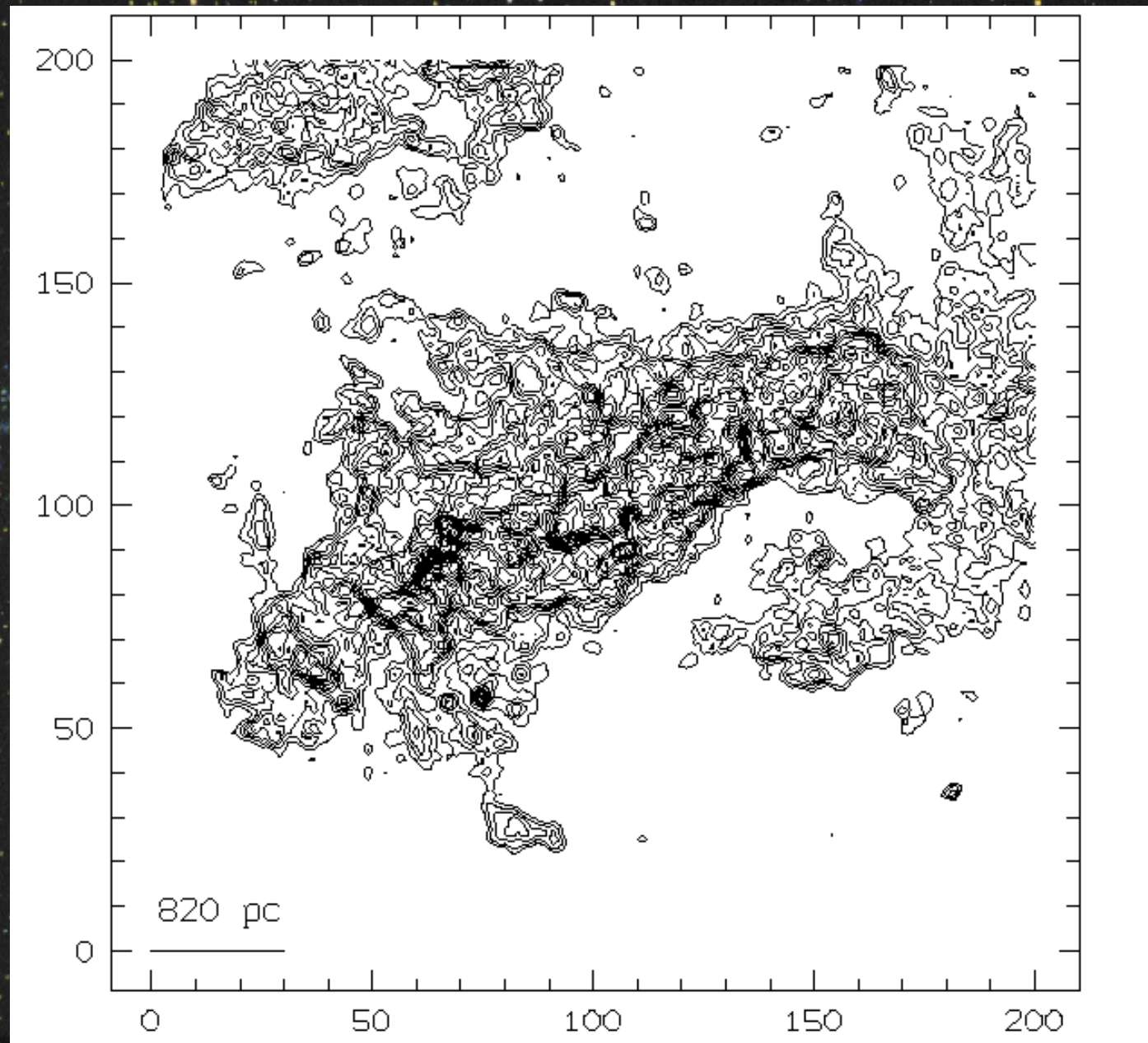


**Main Sequence Stars**

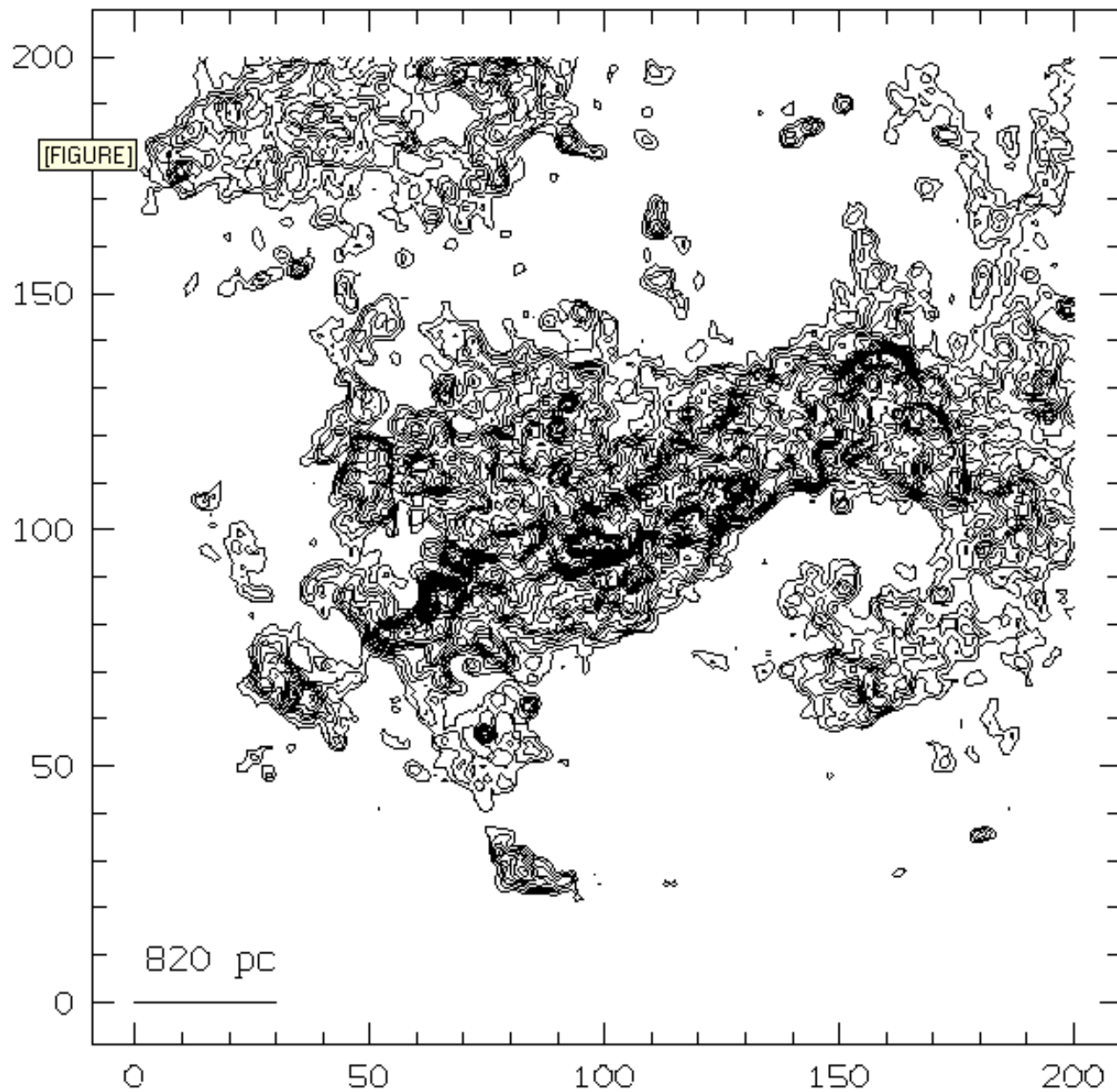


**Red Giants**

$17 < U < 17.7$  age  $0.8 - 1.8 \times 10^8$

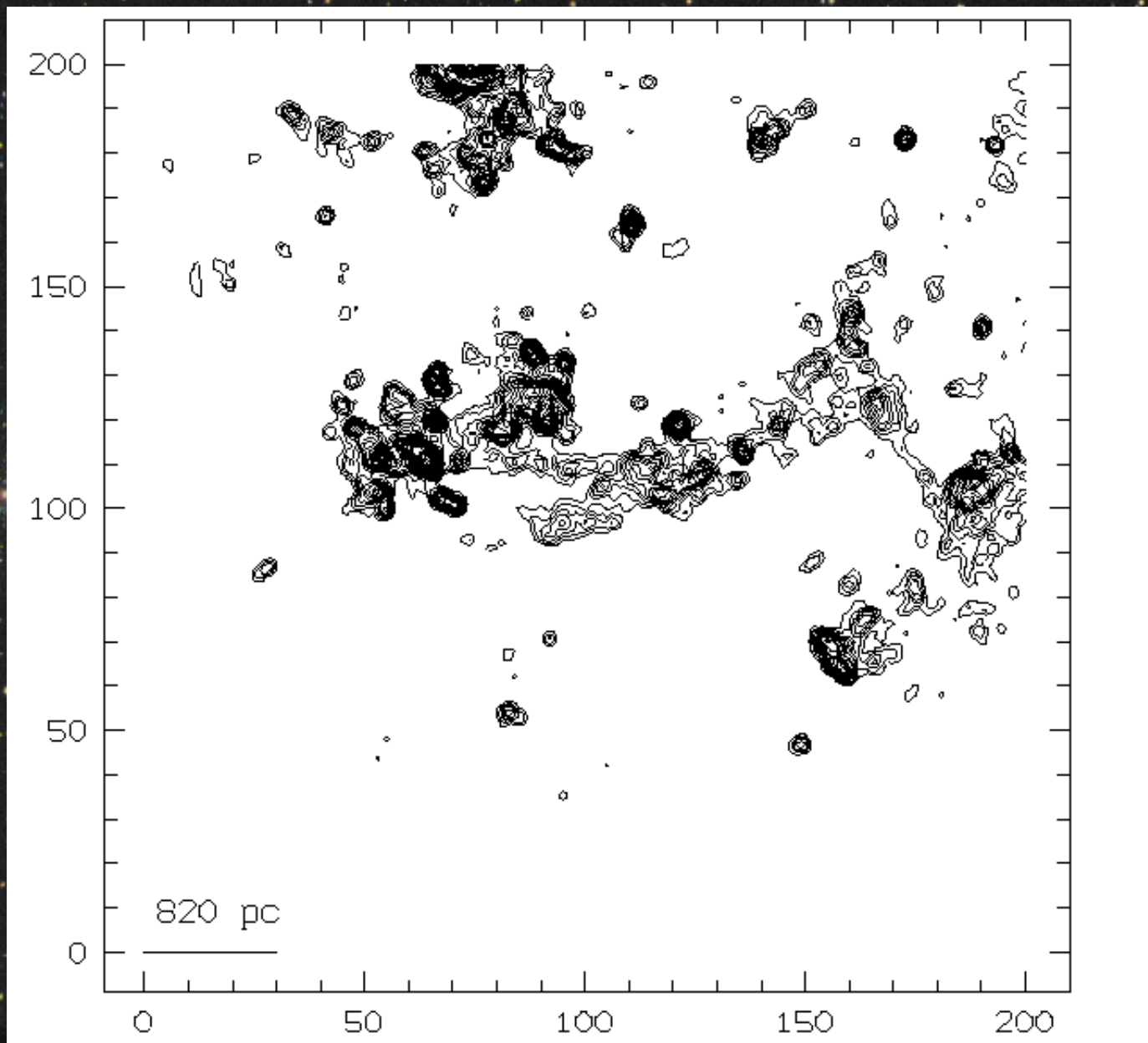


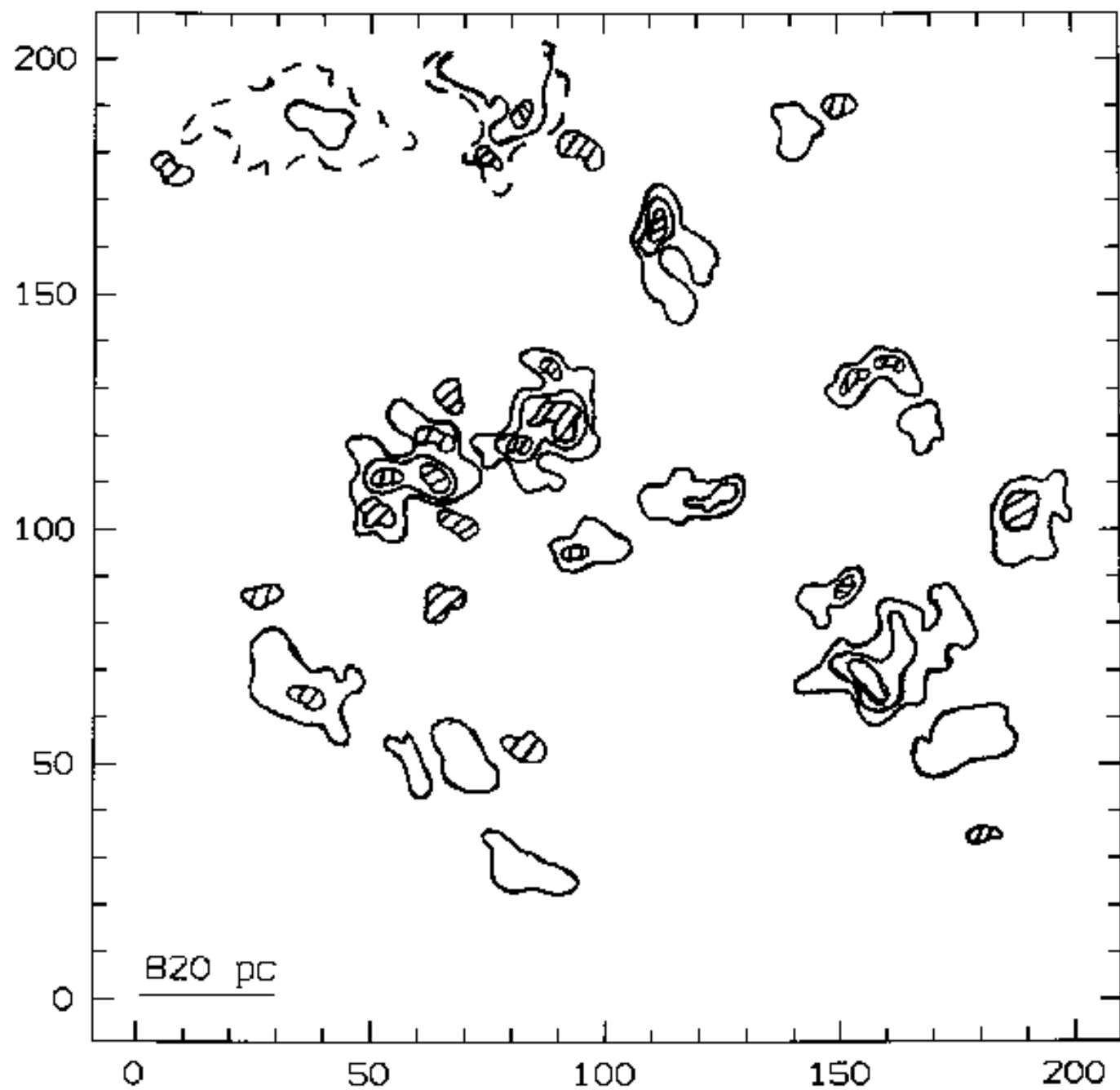
16.4 < U < 17.0 age 3-8x10<sup>7</sup>

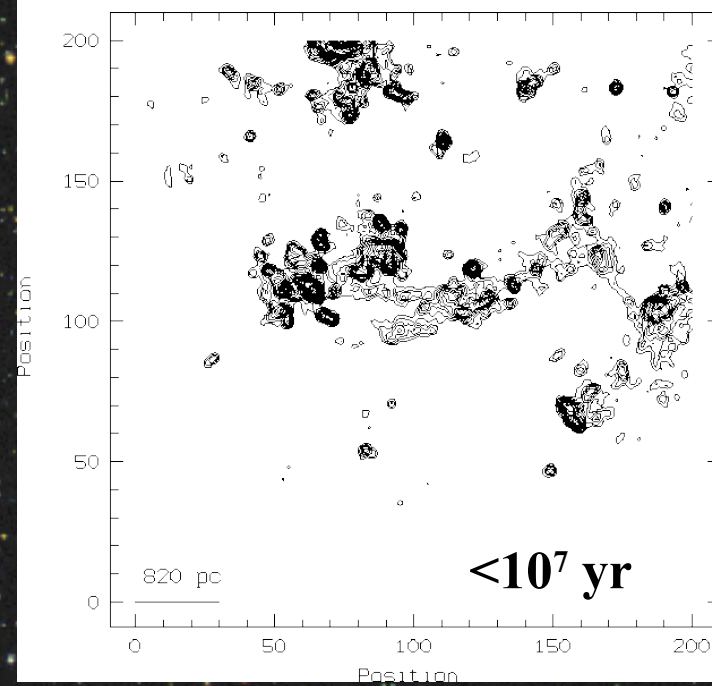
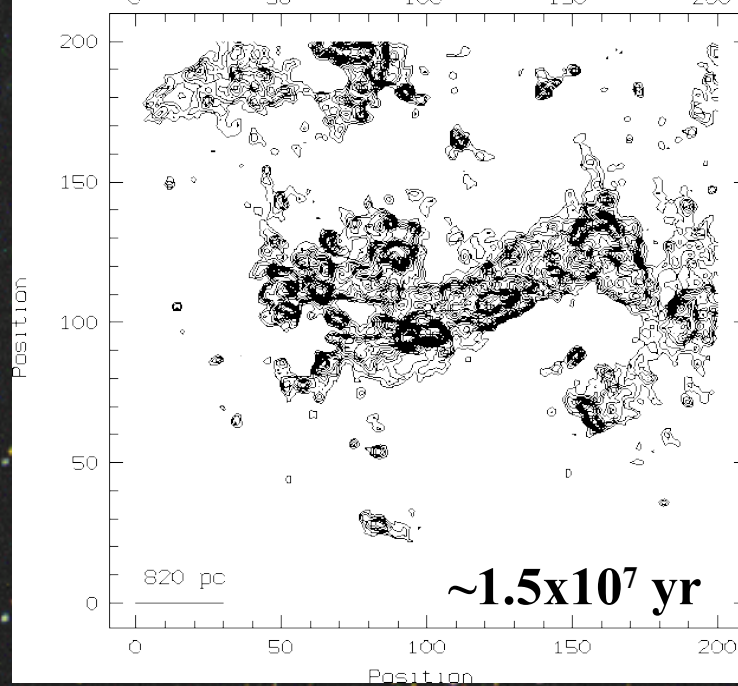
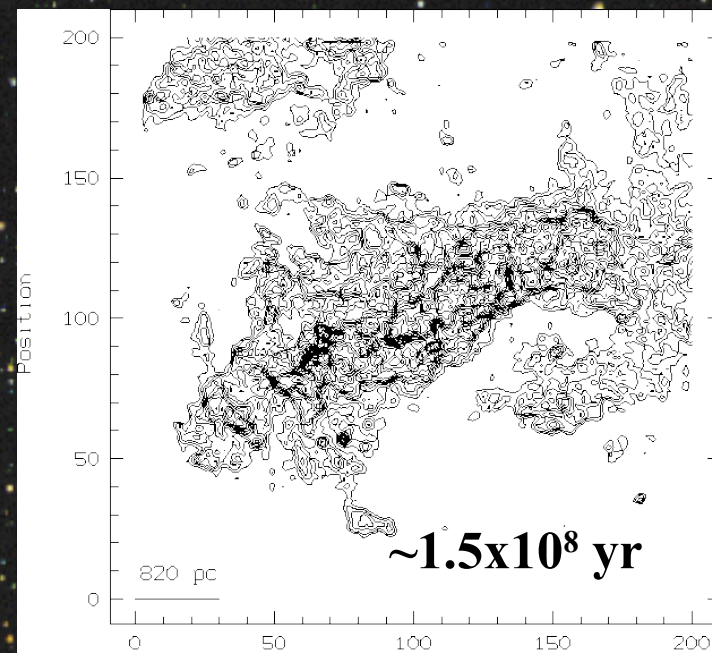
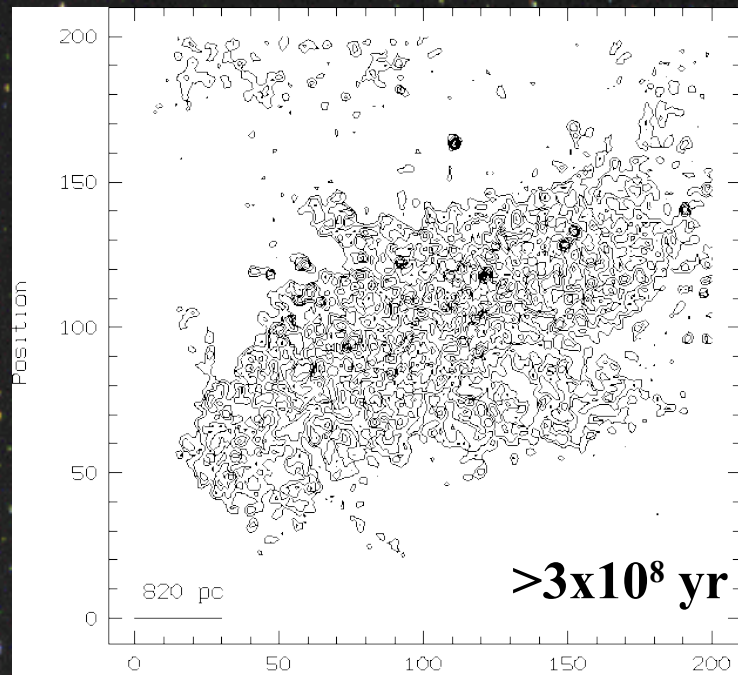


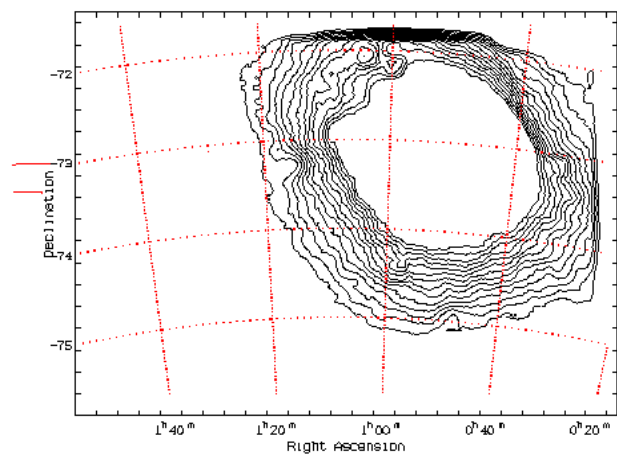


U<15.2 age  $1.2 \times 10^7$

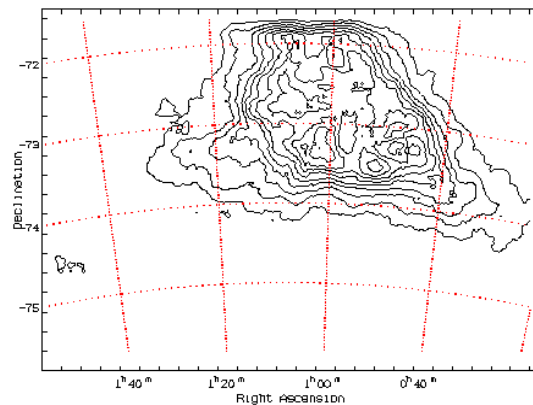




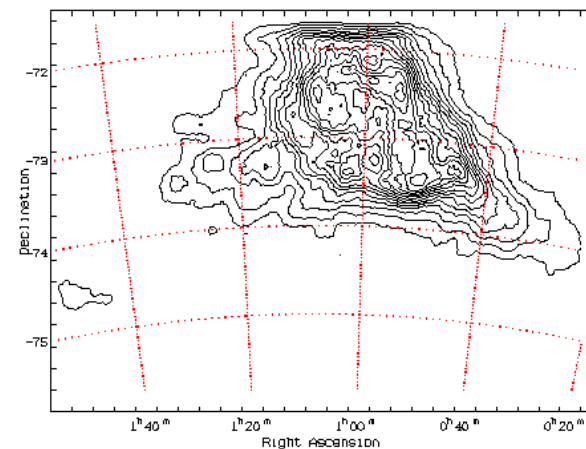




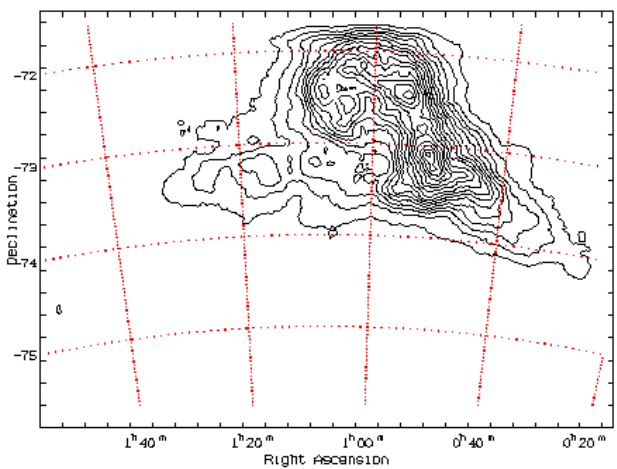
**>2Gyr**



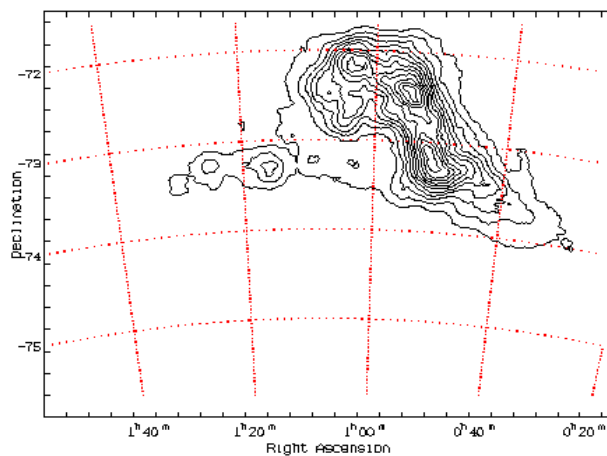
**$3.4 - 4.0 \times 10^8$   
yr**



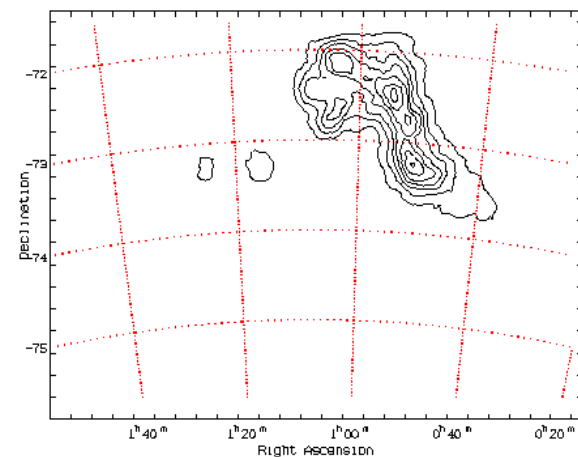
**$3.4 - 1.7 \times 10^8$  yr**



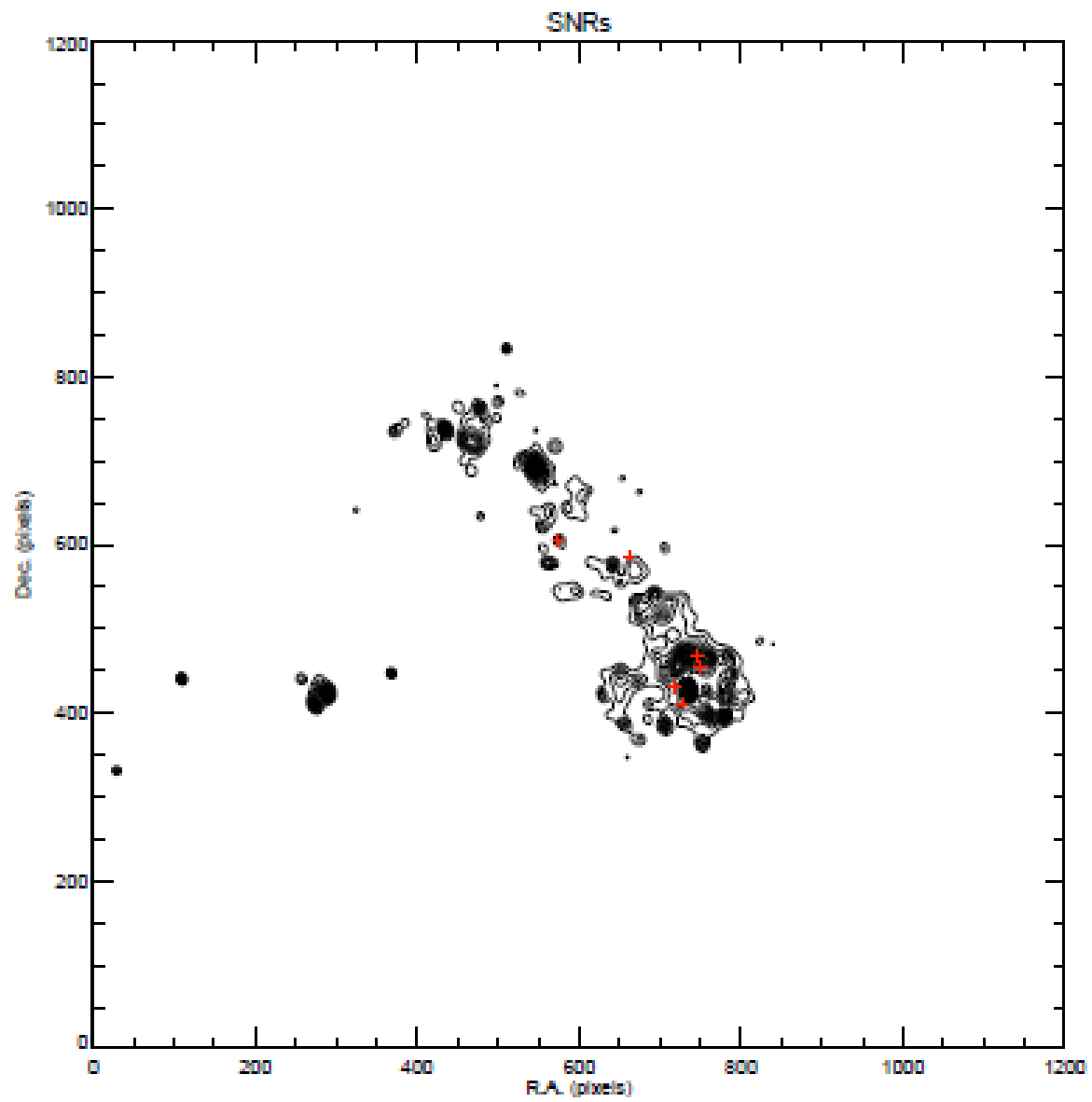
**$1.7 \times 10^8 - 3 \times 10^7$  yr**



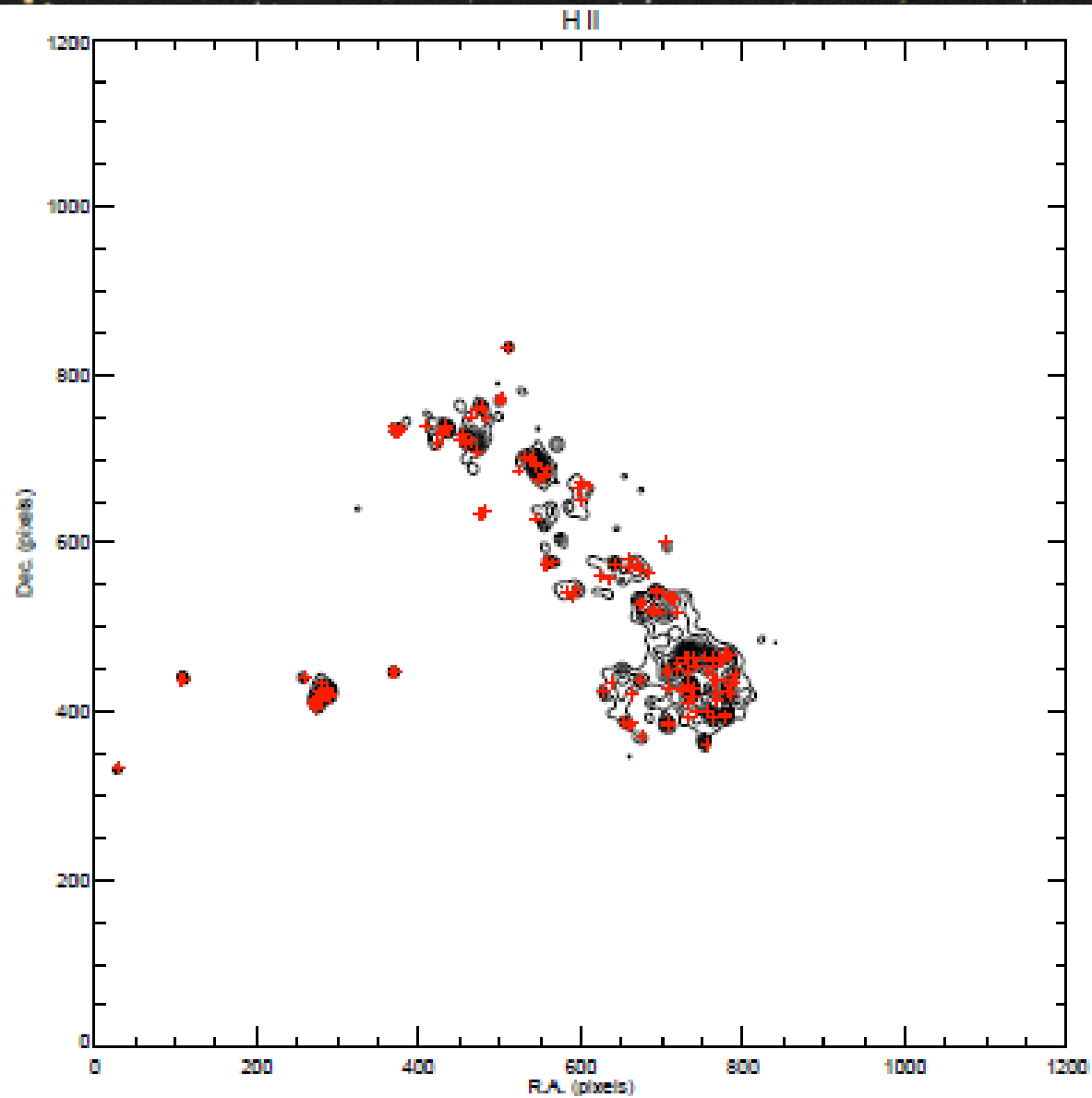
**$3.0 - 1.2 \times 10^7$  yr**



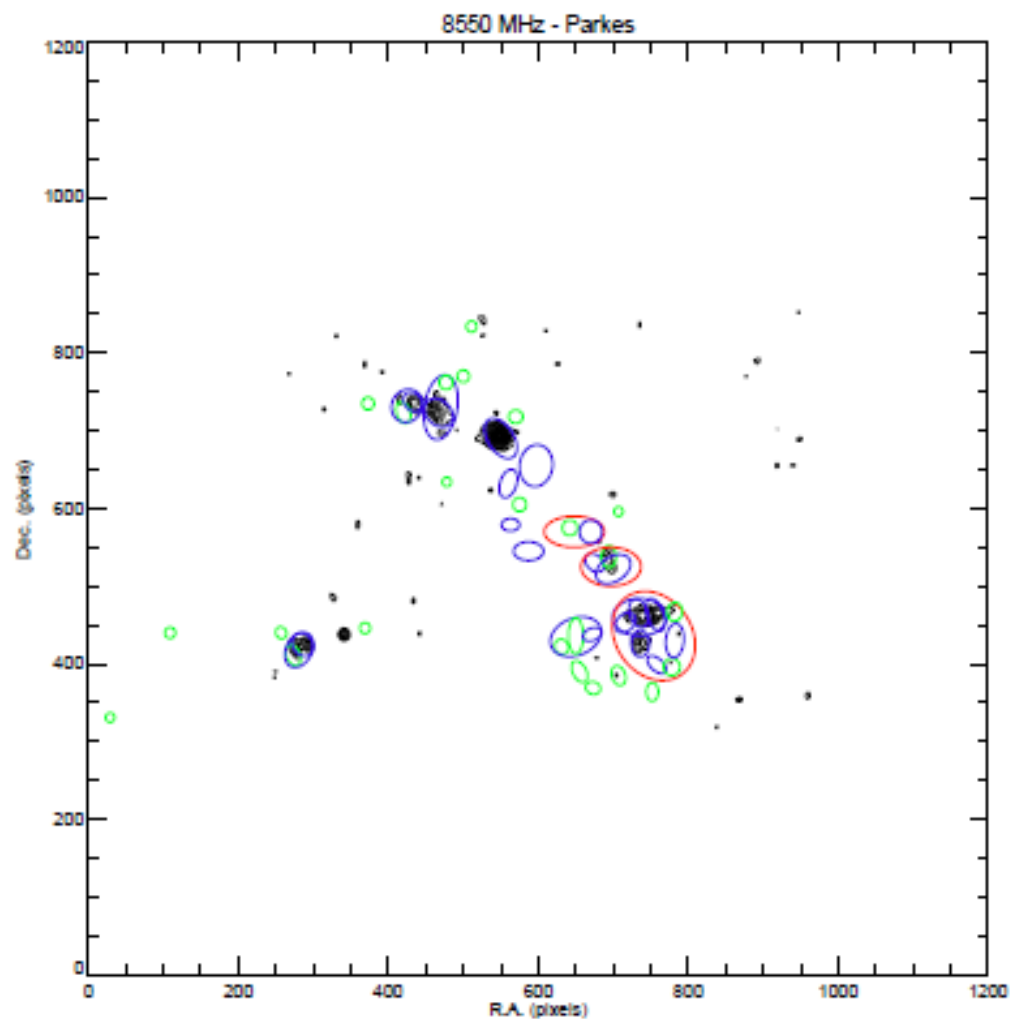
**$< 8 \times 10^6$  yr**



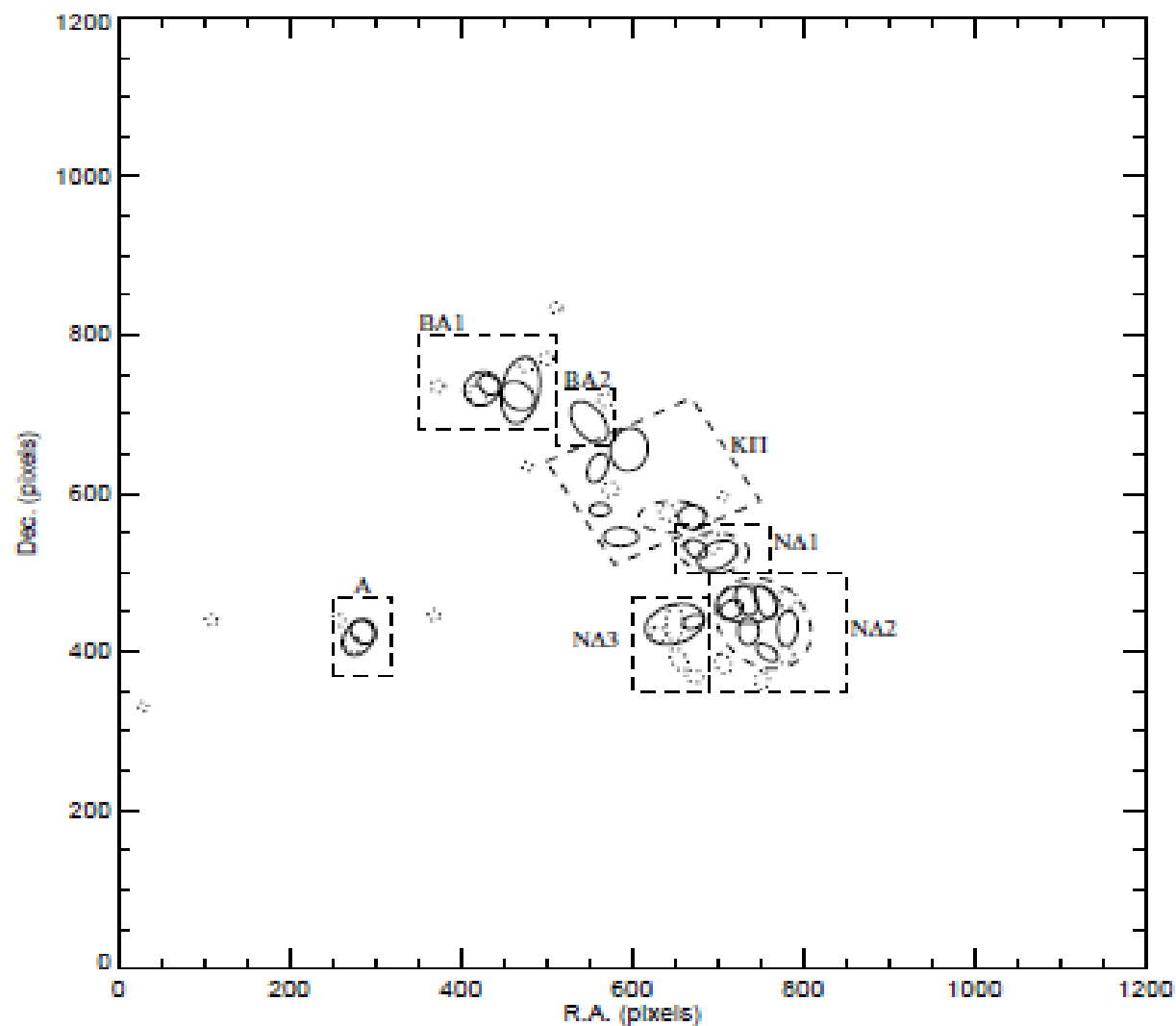
Σχήμα 4.37: Συσχέτιση των αστρικών συμπλεγμάτων του SMC με SNRs.



**Σχήμα 4.38:** Συσχέτιση των αστρικών συμπλεγμάτων του SMC με περιοχές HII.



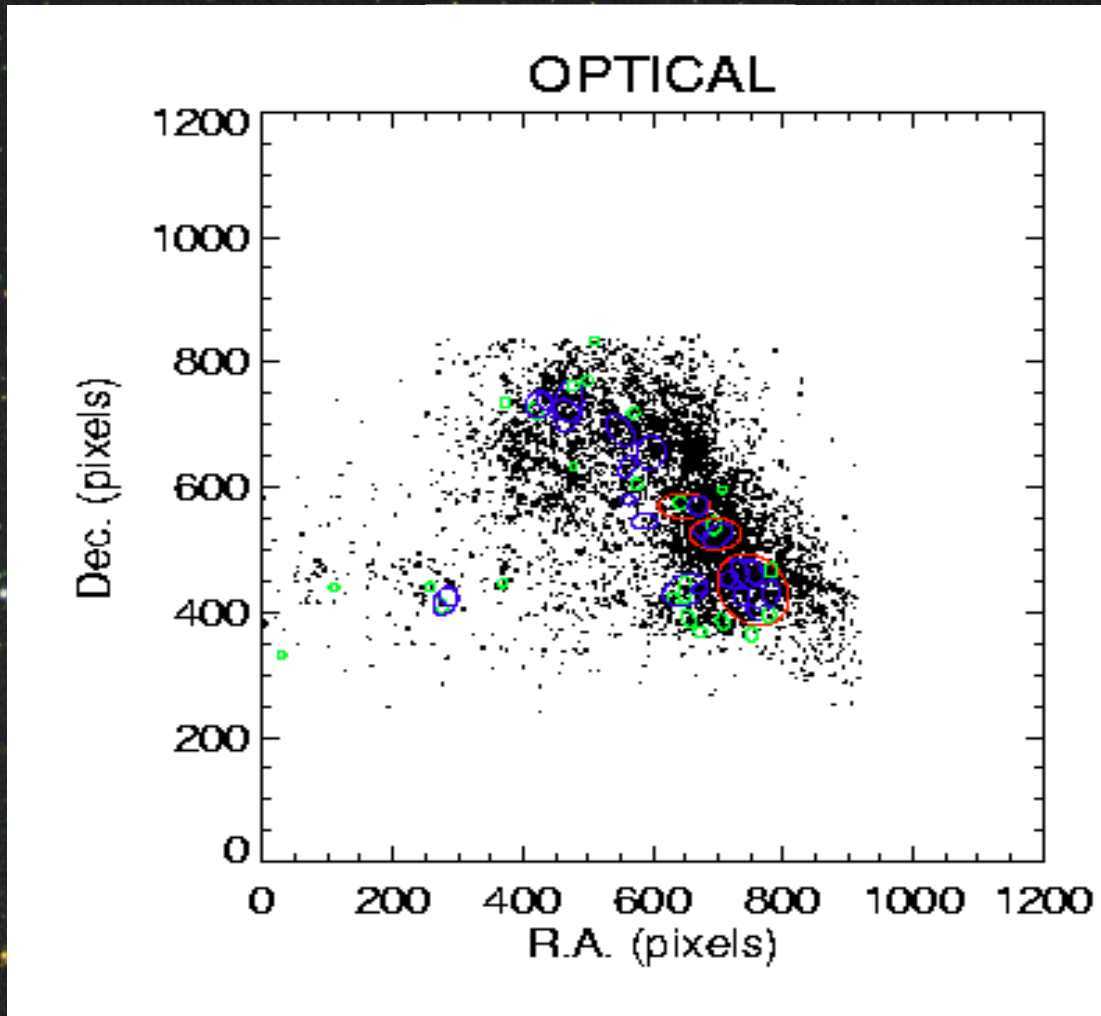
**Σχήμα 4.39:** Συσχέτιση των περιοχών που μελετάμε με τον χάρτη της εκπομπής στα 8.6 GHz (ασπρόμαυρο). Τα υποσυμπλέγματα φαίνονται με πράσινο, τα συμπλέγματα με μπλε και τα υπερσυμπλέγματα με κόκκινο χρώμα.



**Σχήμα 4.41:** Χάρτης των περιοχών που εντοπίζουμε στο SMC. Με διάστικτη γραμμή φαίνονται τα αστρικά υποσυμπλέγματα, με συνεχή τα συμπλέγματα και με διακεκομμένη τα υπερσυμπλέγματα.



# Η εικόνα στο οπτικό

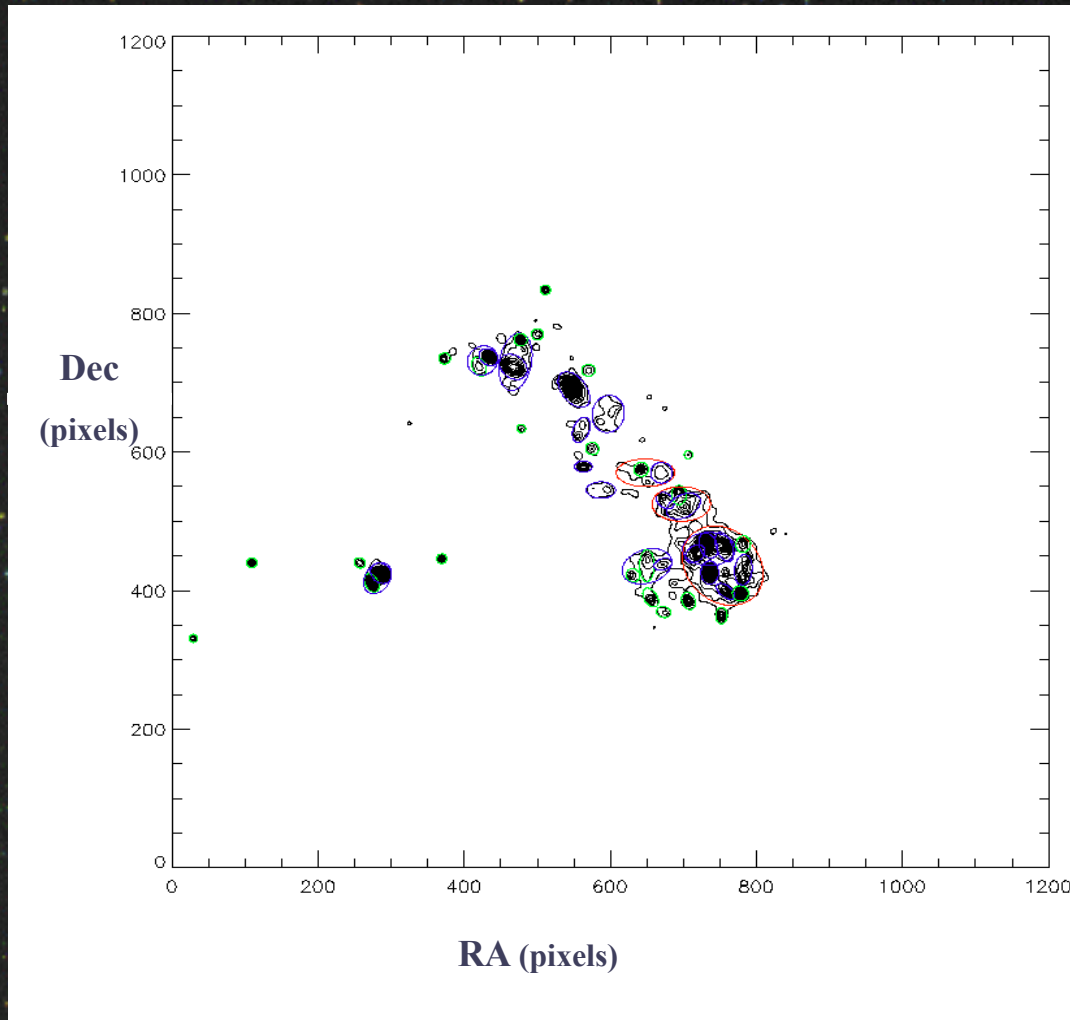


- Aggregates
- Complexes
- Super-complexes

Data from 1.2m UK  
Schmidt Telescope

Map of the brighter stars of the SMC  
(13.50 to 13.83 mag : 23369 stars)

# Star forming regions in the SMC

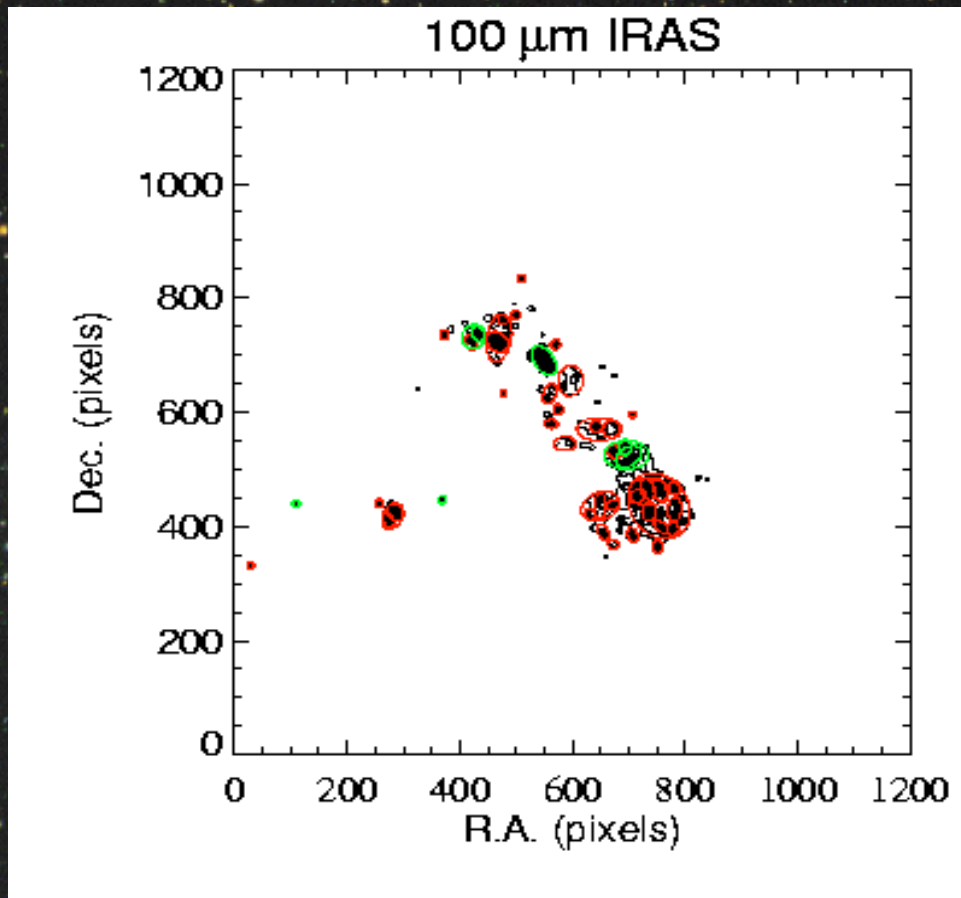


- Aggregates  
Up to 300 pc
- Complexes  
300-1000 pc
- Super-complexes  
over 1000 pc

IRAS data at 100  $\mu\text{m}$ ,  
with reconstructed by  
Bontekoe et al. 1999

The SMC IRAS map at 100 $\mu\text{m}$

# “More active” regions of the SMC

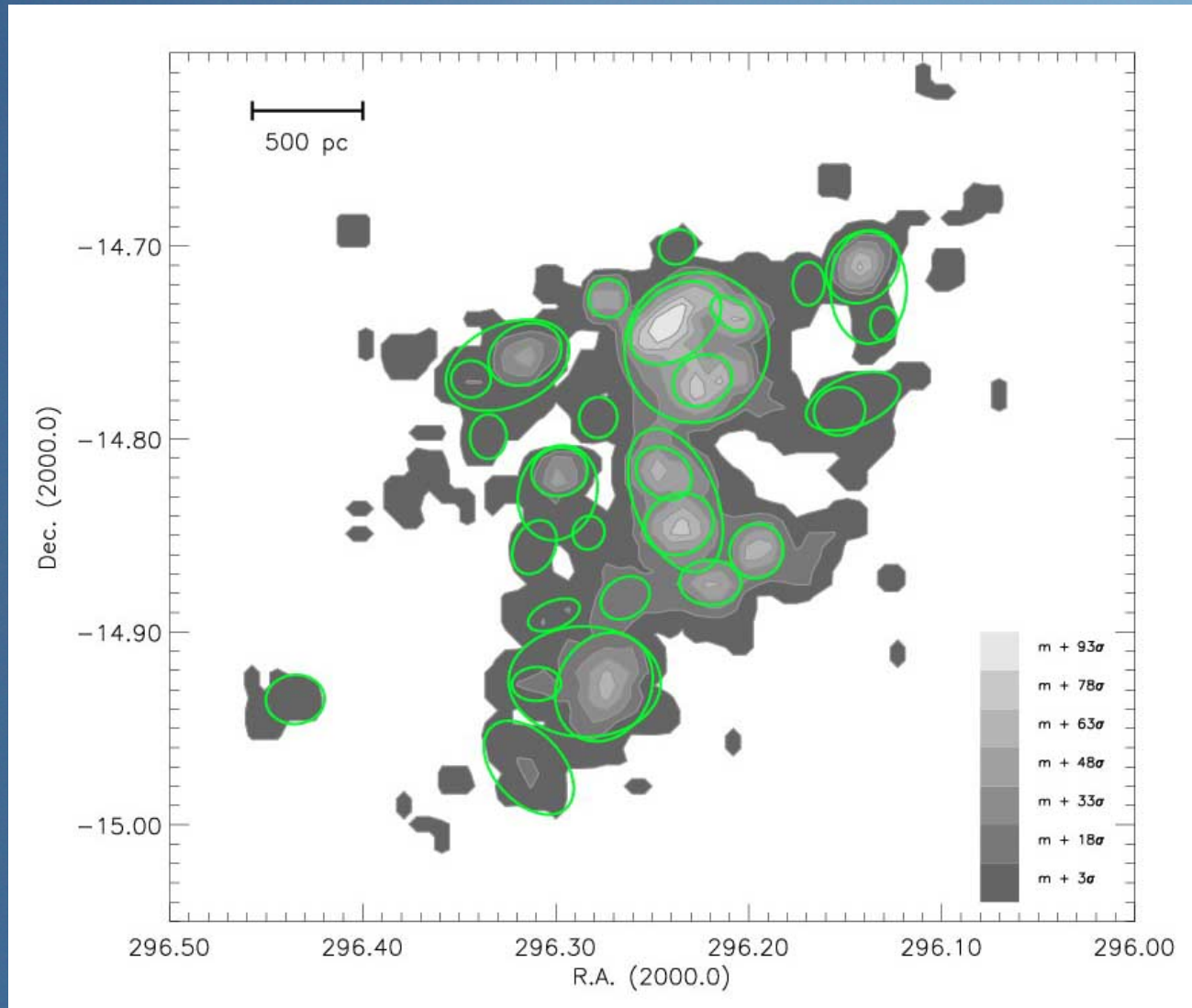


— “More active” star forming regions

— rest of the regions

Data from IRAS at  
100 $\mu\text{m}$

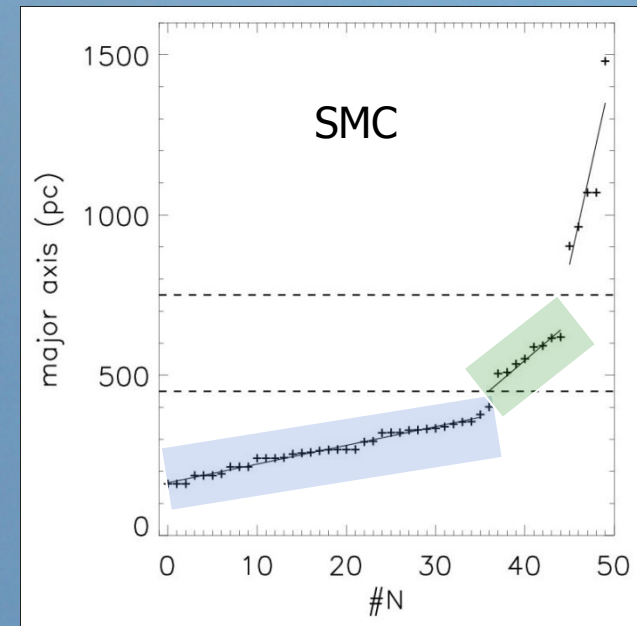
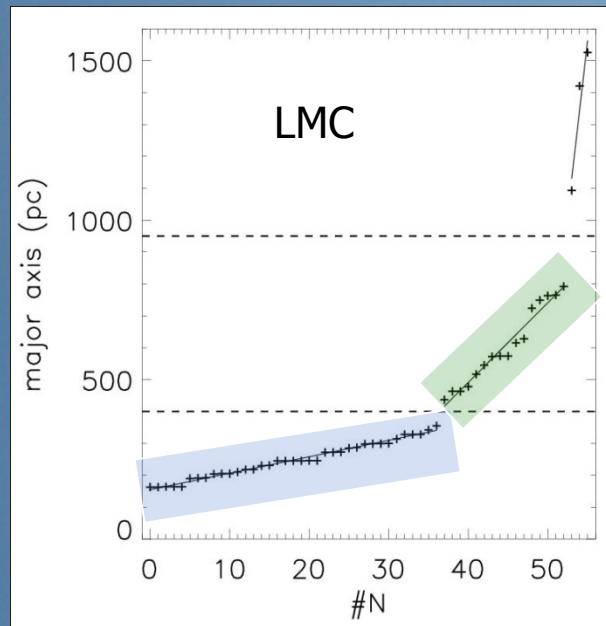
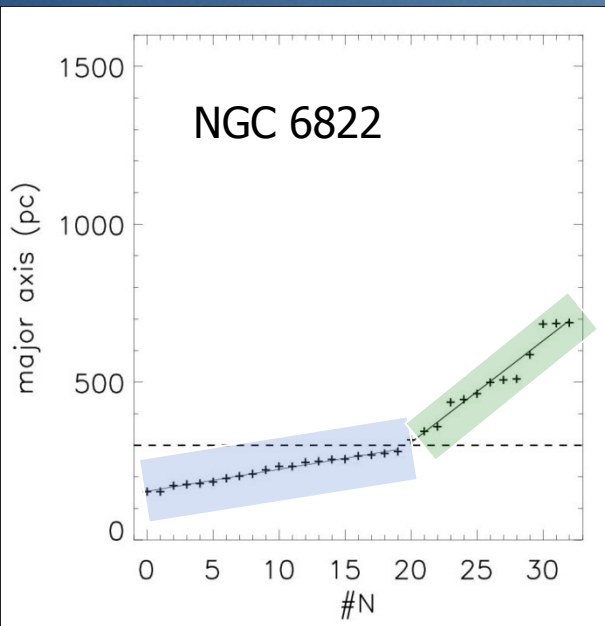
### 33 (mainly) hierarchically distributed star forming regions



# Size distribution of NGC 6822 star forming regions

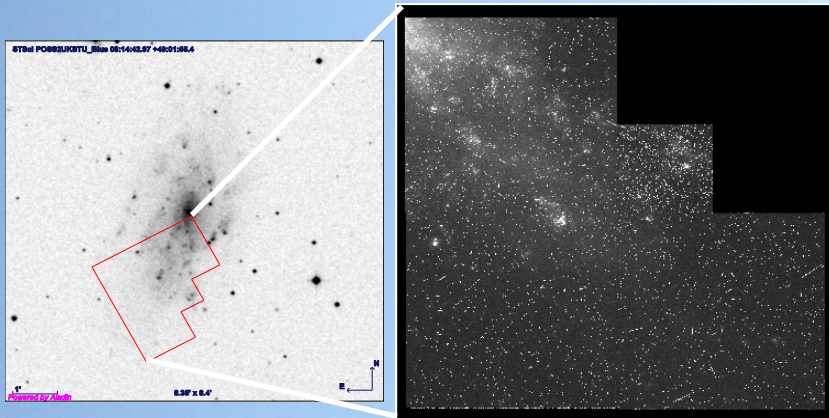
## Comparison with the Magellanic Clouds

### Distinct Size Groupings in NGC 6822, LMC and SMC

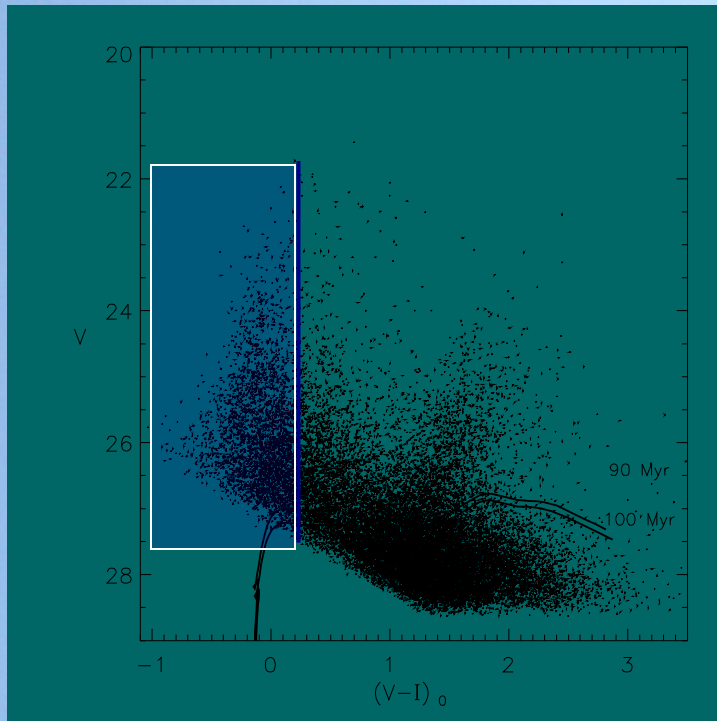


Preferable Sizes?

## NGC 2541 as an example...

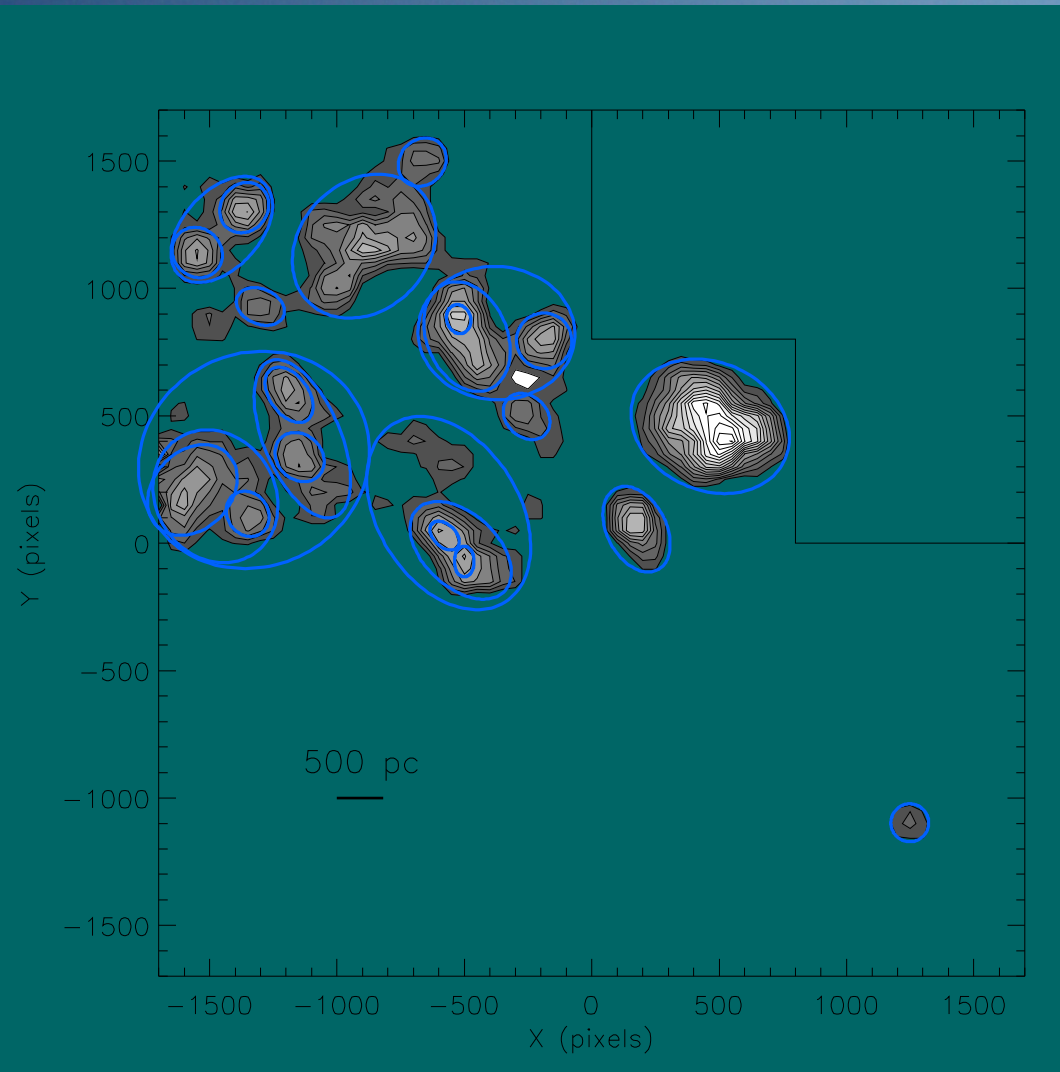


Reduction and photometry of  
deep V (F555W – 28500 s)  
and I (F814W – 12500 s)  
HST WFPC2 images



CMD of NGC 2541, corrected  
for reddening. Young MS stars  
with age  $< 100$  Myr are  
selected.

## NGC 2541 as an example...



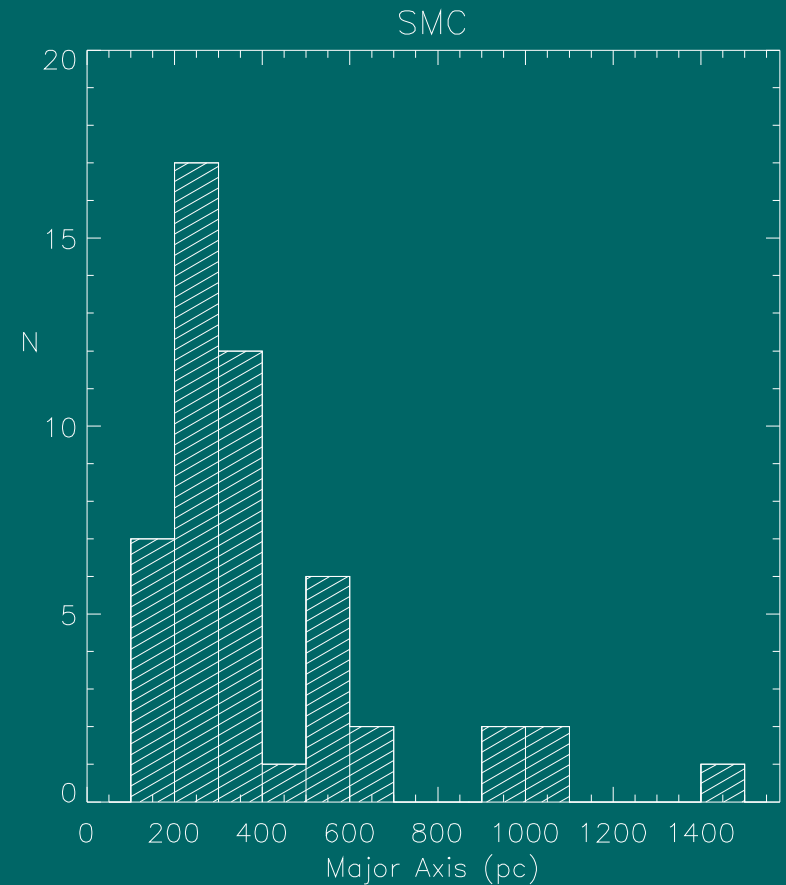
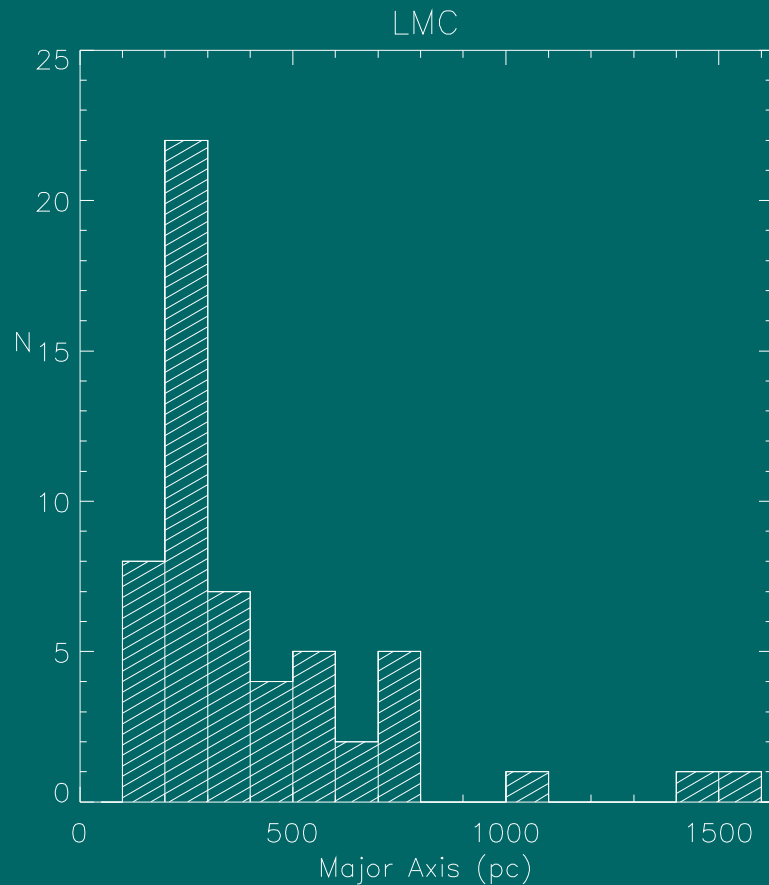
Large scale star forming regions (star complexes) of NGC 2541.

We mapped 125 star forming regions across our sample of galaxies. Half of them (64) are involved in hierarchical clustering.

# Size distribution of star forming regions – The MCs

Maragoudaki et al. 1998  
Livanou et al. 2006 (Optical)

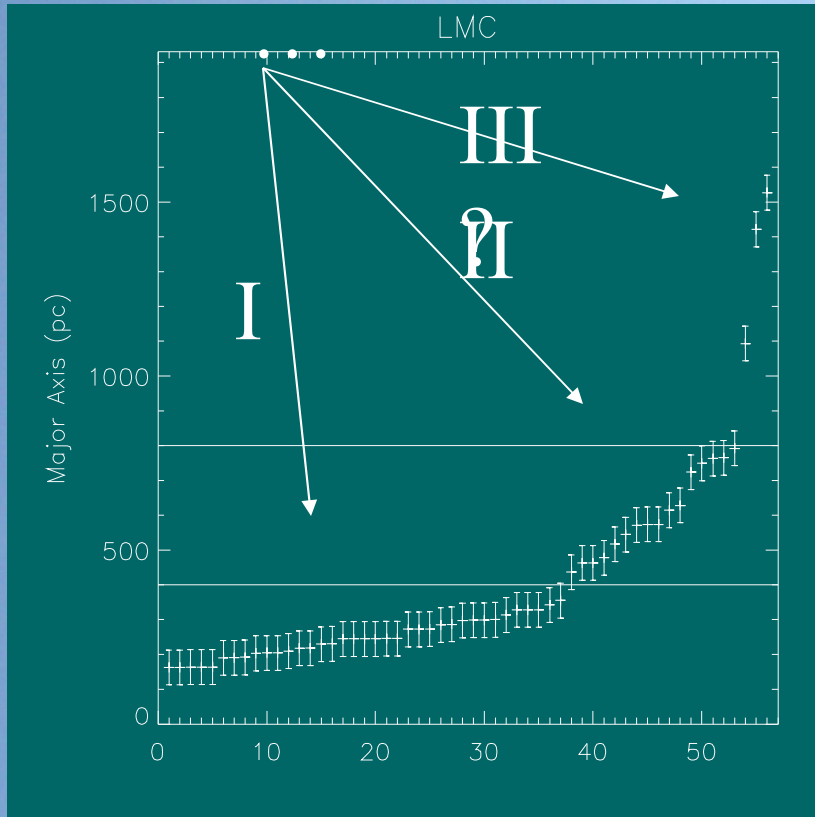
Livanou et al. 2007 (IR)



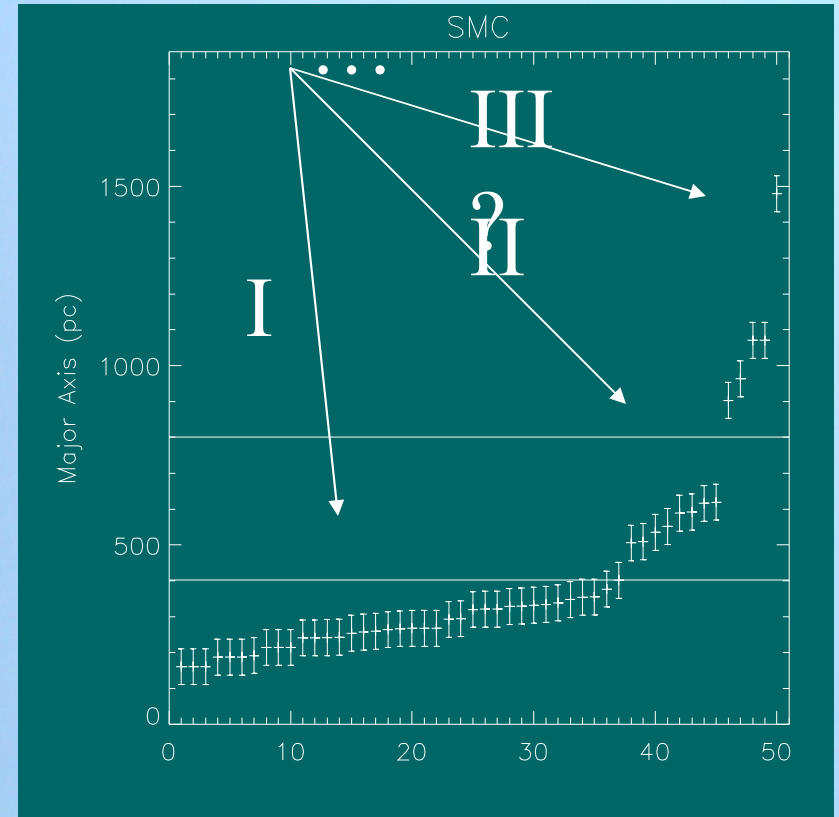


# Size distribution with sizes sorted in ascending order

## Groups



## Groups



Preferable sizes?

# Conclusions

There are indications for...

- (a) Hierarchical star formation, in terms of spatial distribution
- (b) Hierarchical star formation, in terms of preferable sizes

# Question

How the collapse and fragmentation mechanism of the gaseous protoclouds lead to hierarchy in star formation?

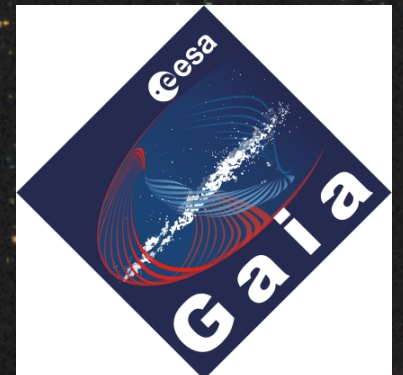
# AND WHAT ABOUT OUR GALAXY?

## Gaia

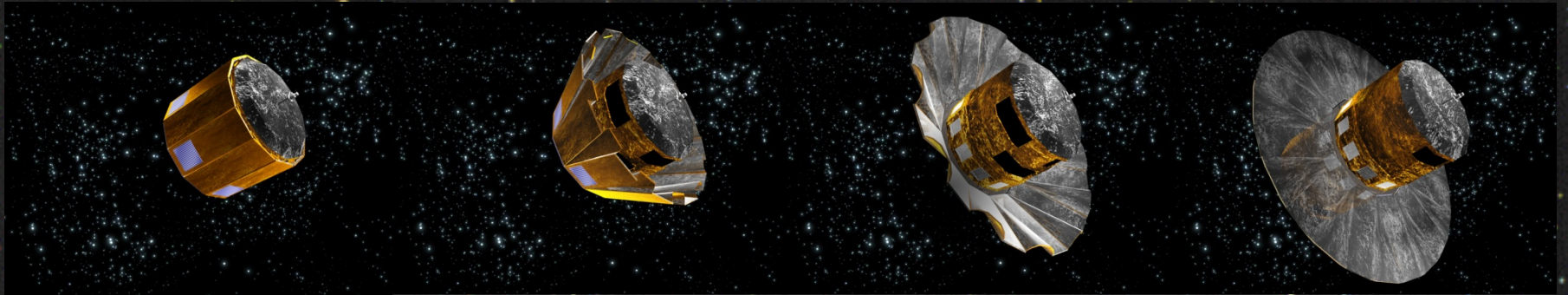
A Stereoscopic Census of our Galaxy

<http://www.rssd.esa.int/Gaia>

June 2009



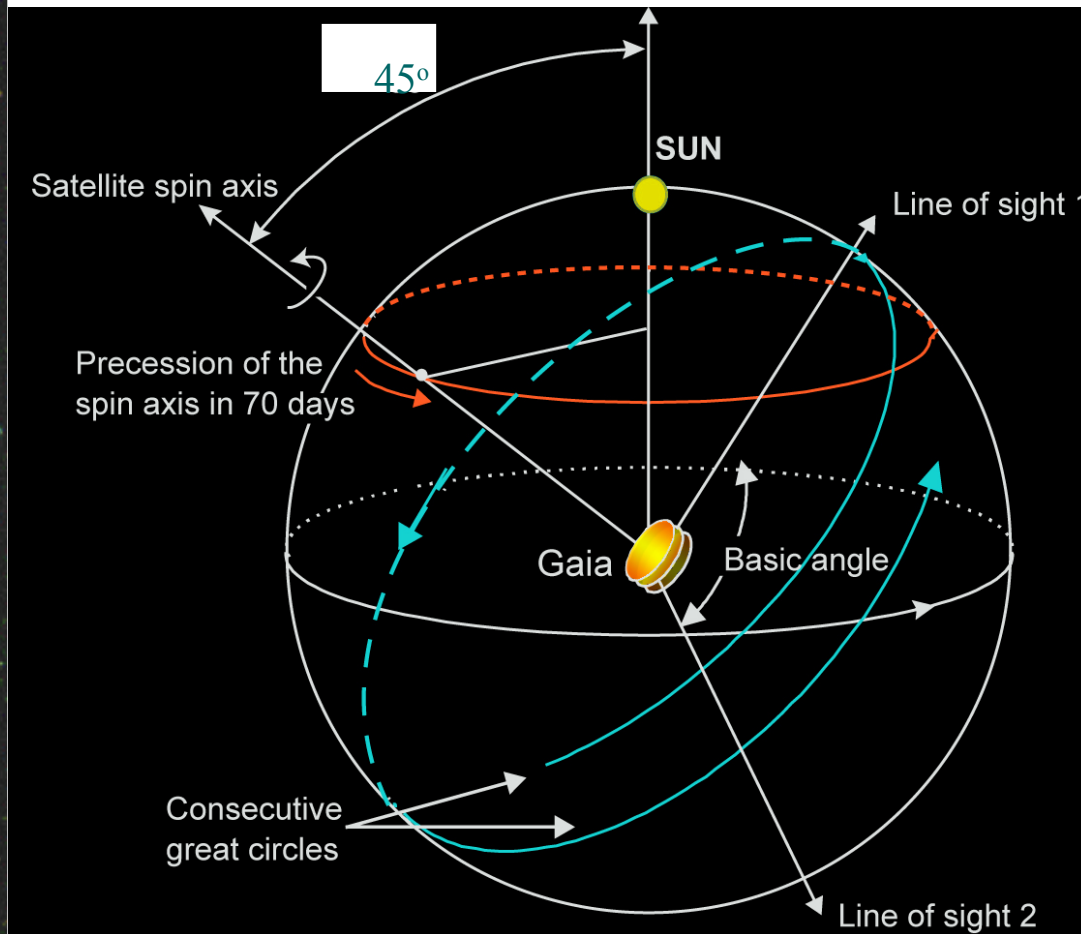
# The Gaia Mission



Gaia satellite will obtain Photometry and Spectrometry for

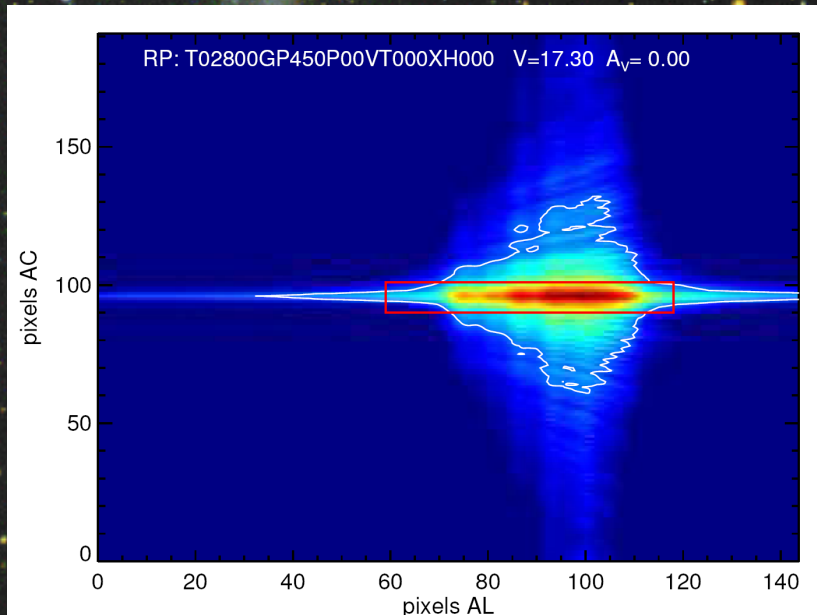
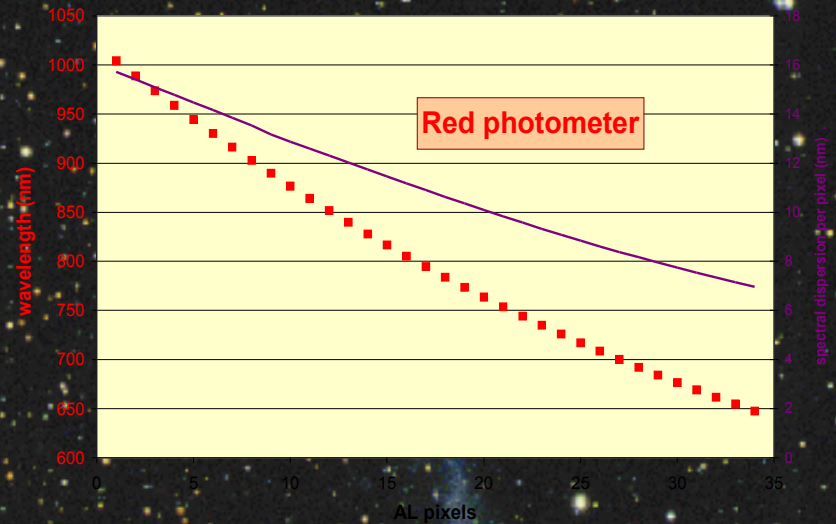
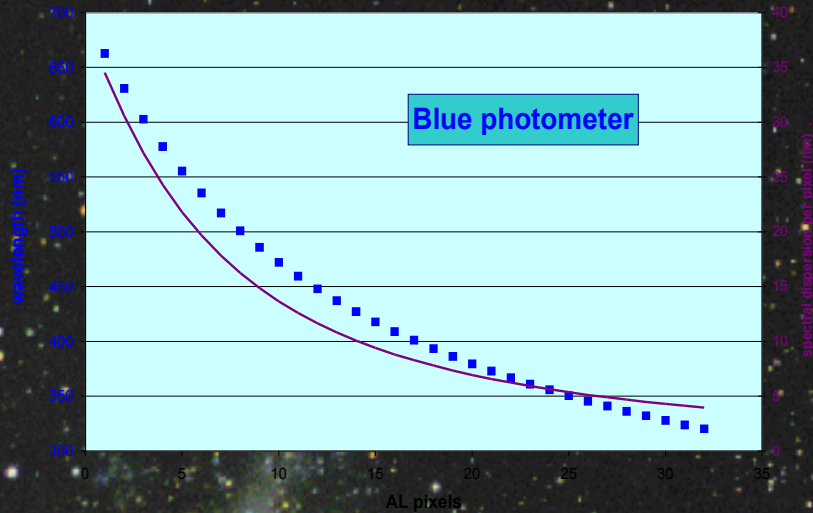
- $10^9$  Milky Way and Local Group Stars
- $10^6$ - $10^7$  Unresolved **Galaxies** (*Athens Group Task*)
- $10^5$  **Quasars**
- $10^5$  **Solar System Bodies**
- $10^4$  **Exoplanets**

# Sky Scanning Principle



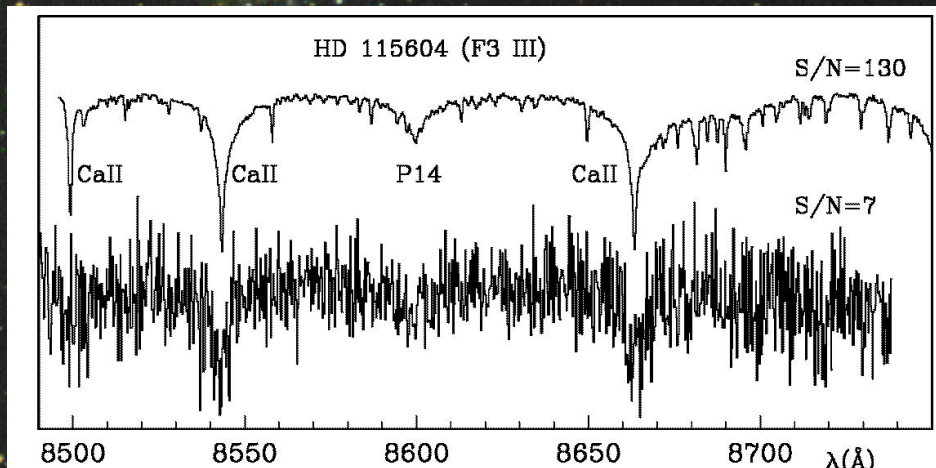
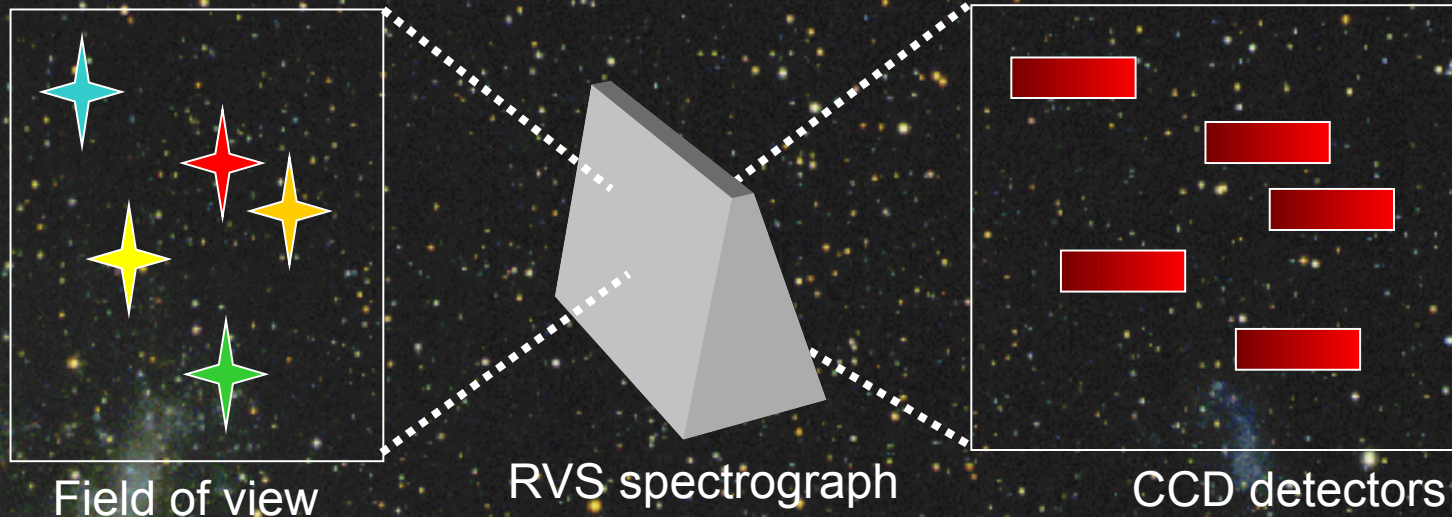
|              |                           |
|--------------|---------------------------|
| Spin axis    | 45° to Sun                |
| Scan rate:   | 60 arcsec s <sup>-1</sup> |
| Spin period: | 6 hours                   |

# Photometry Measurement Concept (2/2)



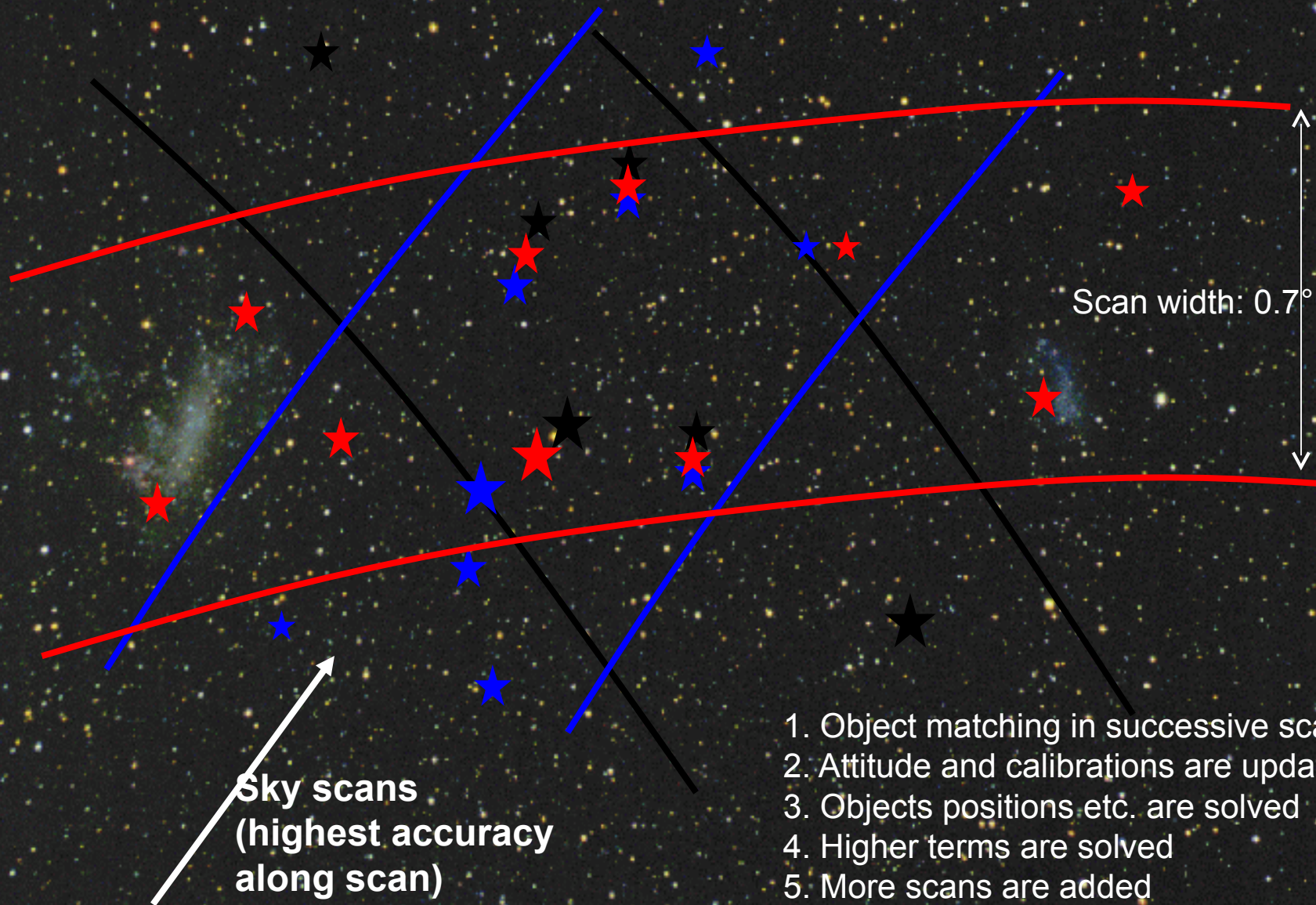
RP spectrum of M dwarf ( $V=17.3$ )  
Red box: data sent to ground  
White contour: sky-background level  
Colour coding: signal intensity

# Radial Velocity Measurement Concept (2/2)



RVS spectra of F3 giant ( $V=16$  mag)  
S/N = 7 (single measurement)  
S/N = 130 (summed over mission)

# Data Reduction Principles





# The Unresolved Galaxy Classifier (UGC)

## OBJECTIVES:

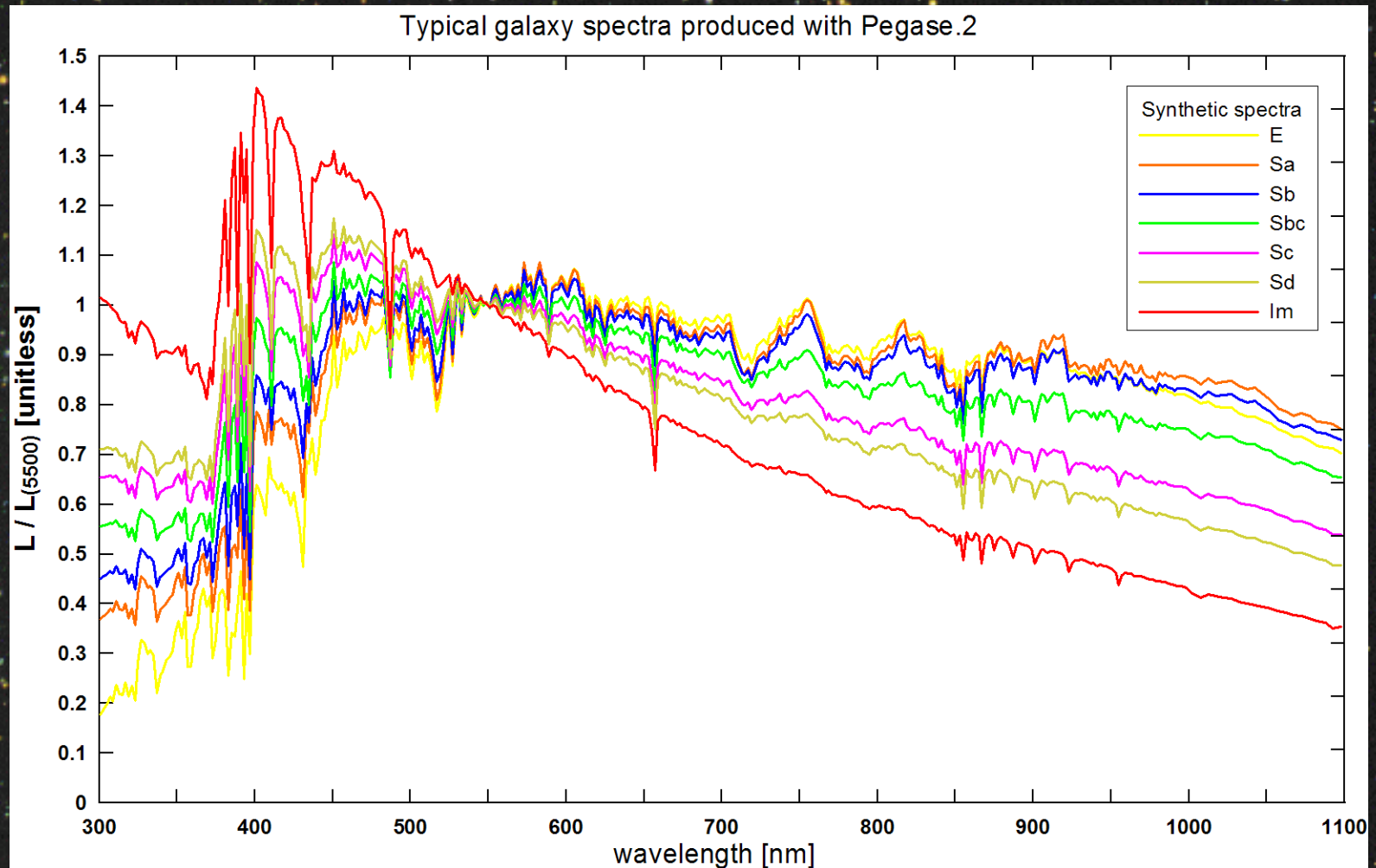
1. Produce synthetic galaxy spectra libraries using a galaxy evolution code.
2. Study and develop an algorithm (UGC) which will provide optimal estimates of astrophysical parameters of unresolved galaxies observed by Gaia.

## The Athens Group

- Mary Kontizas (PI, UOA)
- Evangelos Kontizas (IAA/NOA)
- Ioannis Bellas-Velidis (IAA/NOA)
- Anastasios Dapergolas (IAA/NOA)
- Romylos Korakitis (NTUA)
- Evdokia Livanou (UOA)
- Antonios Karampelas (UOA)
- Maya Belcheva (UOA)
- Paraskevi Tsalmanza (MPIA)
- Grigor Nikolov (UOA & Sofia University)

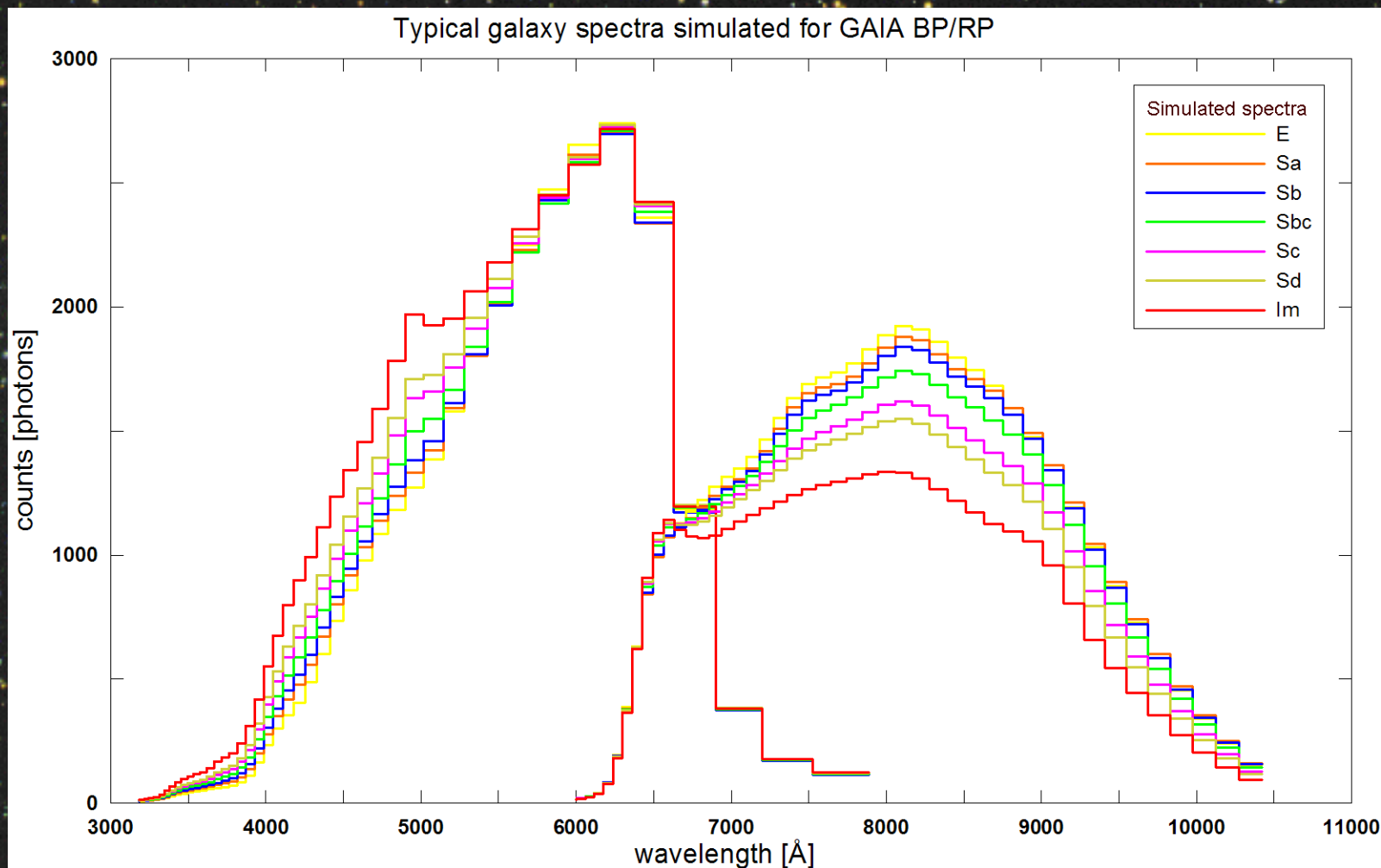
# *GWP-S-832 BP/RP Libraries*

## **BP/RP Libraries: UgcLib2a Pegase2 Synthetic Spectra**



# *GWP-S-832 BP/RP Libraries*

## **BP/RP Libraries: UgcLib2a GaiaGOG Simulated Spectra**



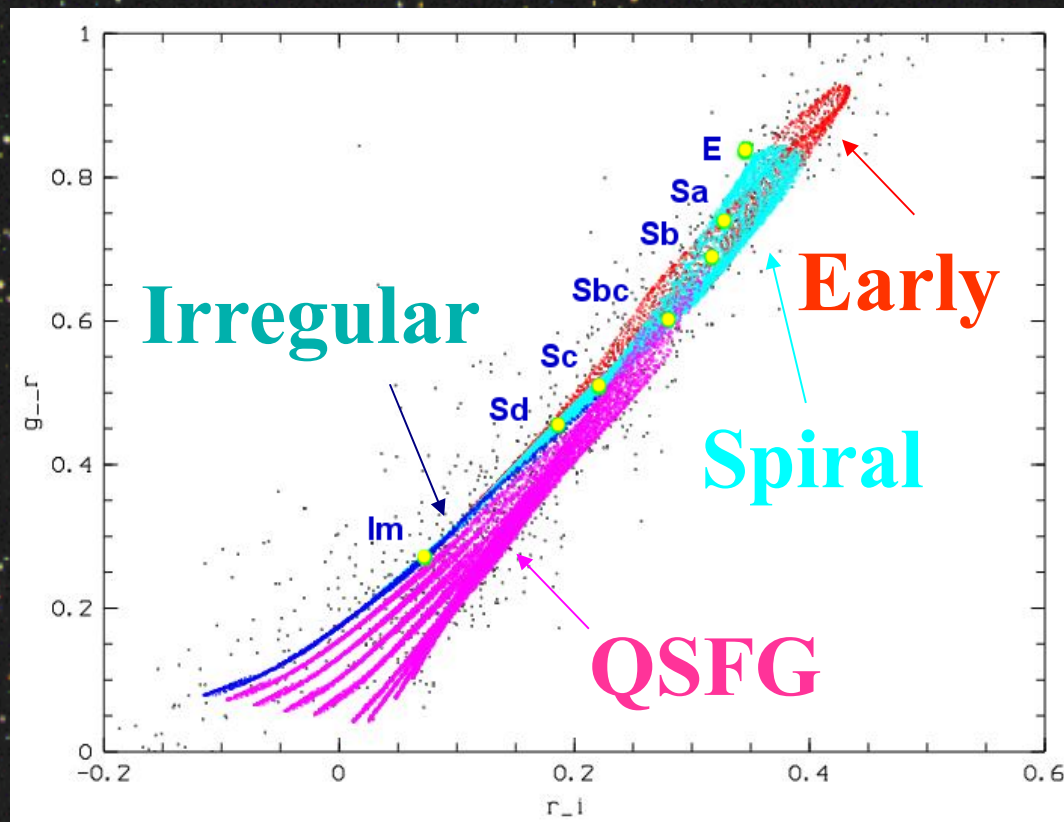
# The library of synthetic galaxy spectra

The library was created with the **Pégase.2** code of spectral evolution of galaxies.

(Tsalmantza, Kontizas et al., 2009; Fioc & Rocca-Volmerange, 1997)

It includes 4 different spectral types:

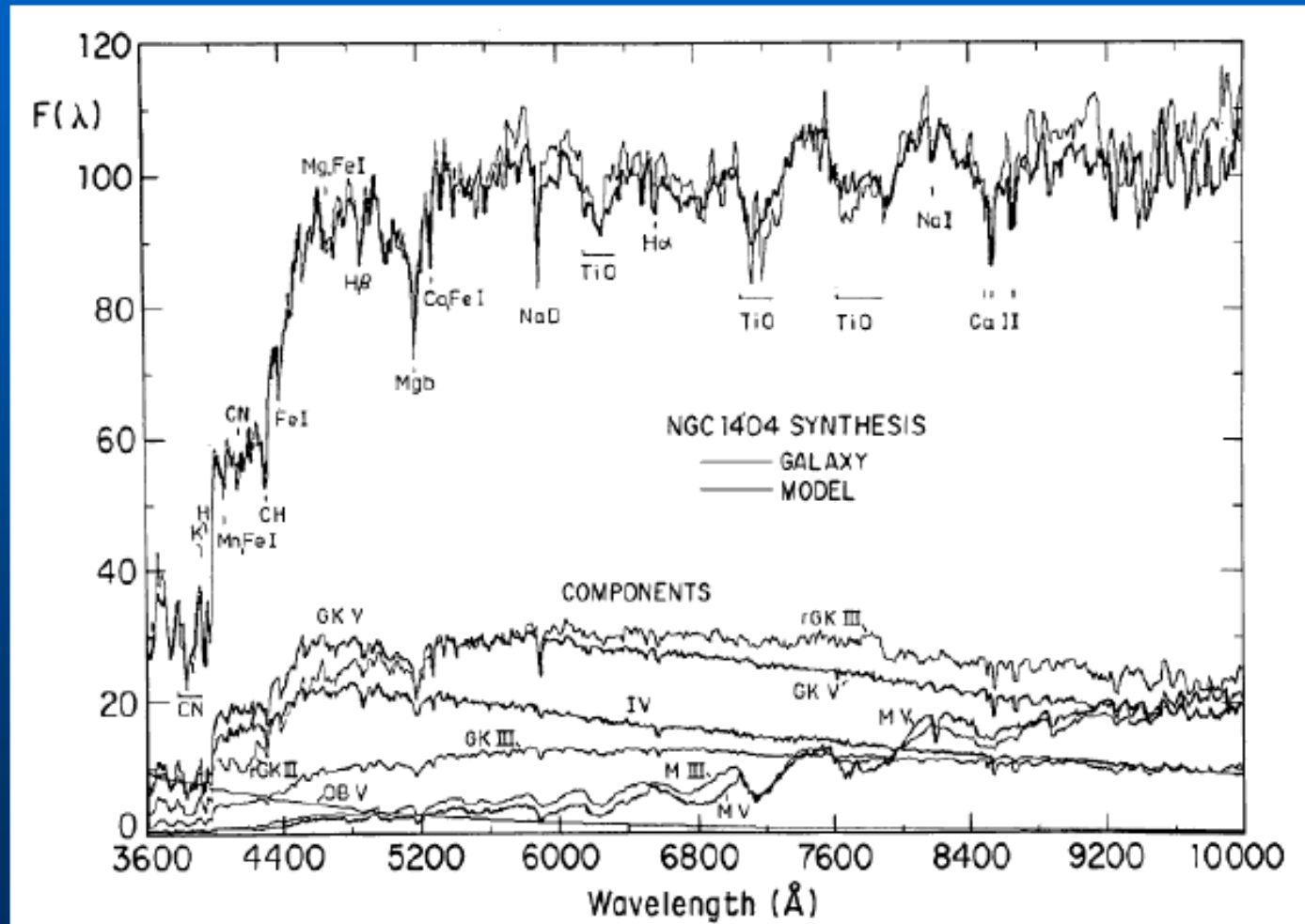
1. **Early** type galaxies
2. **Spiral** galaxies
3. **Irregular** galaxies
4. **Quenched Star Forming Galaxies (QSFG)**



The  $(g-r)$ ,  $(r-i)$  colors of the synthetic galaxy spectra and the DR4 SDSS observed spectra coincide very well.

# Elliptical Galaxies, Spheroids

Primary diagnostic is integrated absorption-line spectrum



O'Connell 1986,  
ASP, 98, 163

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ ΤΗΝ  
ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ