

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



GALAXY EVOLUTION IN CLUSTERS: A STUDY
OF ABELL 2670 IN THE HI AND IN THE OPTICAL

Tesis presentada al

POSGRADO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

como requisito para la obtención del grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

por

DAVID PÉREZ-MILLÁN

asesorado por

DR. HÉCTOR BRAVO-ALFARO

Guanajuato, México - Enero, 2019

David Pérez-Millán

GALAXY EVOLUTION IN CLUSTERS: A STUDY OF ABELL 2670 IN THE H_I AND IN THE OPTICAL

Master of Science (Astrophysics)

ADVISOR:

Dr. Héctor Bravo-Alfaro

Guanajuato, México. Enero, 2019

To my parents, my sister, and my girlfriend.

Family must come first, everything else can wait.

Abstract

The present work is devoted to improve our understanding of galaxy evolution in massive clusters in the nearby universe, between $z = 1.0$ and present time. With this aim, we target the rich and non-relaxed cluster Abell 2670 ($z = 0.0762$). We obtained some physical properties of the brightest ($B < 19.0$) member galaxies based on NRAO-VLA H I data (C-configuration), as well as optical multi-band imaging obtained with MegaCam on the 3.6 m CFHT. We detected 38 galaxies in H I across the whole cluster, 13 (34%) being gas deficient. After building a complete catalog of the spiral galaxies brighter than $B = 19.0$ (drawn from LEDA, NED, SuperCOSMOS, and visual inspection of our optical images), we were able to find 30 spirals not detected in H I . For the optical images, we used *SExtractor* and a script based on IRAF in order to obtain an asymmetry index of individual galaxies based on our z-band image. Such asymmetries are produced by tidal interactions, while H I perturbations (both distortions in the spatial distribution of the H I emission and displacements between the optical and H I emission) help to trace the *ram-pressure stripping* (RPS). Therefore, we are able to report about the role these mechanisms are playing in the evolution of individual galaxies throughout the cluster. Putting all this information together, including X-ray data from the literature, we conclude that the dynamical state of Abell 2670 is very complex, most likely the product of an ongoing merger of at least two systems.

Key words: galaxies: clusters: individual: Abell 2670 - galaxies: interactions - galaxies: clusters: intracluster medium - galaxies: evolution.

Resumen

El presente trabajo está dedicado a mejorar nuestro entendimiento de la evolución de galaxias en cúmulos masivos del universo cercano, entre $z = 1.0$ y el presente. Con este objetivo, abordamos al cúmulo rico y no relajado Abell 2670 ($z = 0.0762$). Obtuvimos algunas propiedades físicas de las galaxias más brillantes ($B < 19.0$) del cúmulo, basados en datos de HI tomados con el NRAO-VLA (configuración C), así como de imágenes multi-banda obtenidas con el instrumento MegaCam del CFHT de 3.6 m. Detectamos 38 objetos en HI pertenecientes al cúmulo, 13 (34%) siendo deficientes en gas. Después de construir un catálogo completo de las galaxias espirales más brillantes que $B = 19.0$ (a partir de LEDA, NED, SuperCOSMOS e inspección visual de nuestras imágenes ópticas), pudimos encontrar 30 espirales no detectadas en HI. Para las imágenes ópticas, usamos *SExtractor* y un script basado en IRAF para obtener un índice de asimetría de galaxias individuales basados en nuestra imagen de la banda z. Tales asimetrías son producidas por interacciones de marea, mientras que perturbaciones del HI (tanto distorsiones en la distribución espacial del HI como desplazamientos entre el óptico y la emisión del HI) ayudan a trazar el *ram-pressure stripping* (RPS). Por lo tanto, podemos dar información del papel que están jugando estos mecanismos en la evolución de galaxias individuales a través del cúmulo. Juntando estos resultados e incluyendo datos en rayos-X de la literatura, concluimos que el estado dinámico de Abell 2670 es muy complejo, muy probablemente el producto de un merger en proceso de por lo menos dos sistemas.

Palabras clave: galaxias: cúmulos: individual: Abell 2670 - galaxias: interacciones - galaxias: cúmulos: medio intracumular - galaxias: evolución.

Contents

1	THEORETICAL FRAMEWORK	1
1.1	Introduction	1
1.2	Morphological classification of galaxies	3
1.3	Galaxy associations	10
1.4	Mechanisms of transformation in late-type galaxies	15
2	OBSERVATIONS AND DATA REDUCTION	19
2.1	Optical images of A2670 from the CFHT	19
2.2	Physics of the 21 cm hydrogen emission line	23
2.3	The NRAO-VLA and HI data cubes	25
2.4	Analysis of HI data	30
2.5	Catalog of bright spirals in A2670	36
3	RESULTS	39
3.1	HI detected galaxies in A2670	39
3.2	Deriving the physical HI parameters	43
3.3	Distribution of HI-poor spirals in A2670	50
3.4	Optical asymmetries and tidal interactions in A2670	51
4	DISCUSSION	57
4.1	The HI throughout A2670	58
4.2	Asymmetry analysis of the old stellar distribution	67
4.3	Quantifying the RPS: a global view of Abell 2670	75
4.4	Hints on the global properties of A2670	78
5	SUMMARY AND CONCLUSIONS	83
5.1	Conclusions	85
5.2	Future work	86
A	HI CHANNEL MAPS OF HI-DETECTED GALAXIES	89
B	HI MAPS AND VELOCITY FIELDS OF SPATIALLY RESOLVED DETECTIONS	123
C	A CATALOG OF MEMBER GALAXIES IN A2670	131
	BIBLIOGRAPHY	141