UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
DEPARTAMENTO DE ASTROFÍSICA Y CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

CINEMÁTICA Y POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS COMPACTAS AZULES

Dirigido por:
D. Jaime Zamorano Calvo
Profesor Titular
Universidad Complutense de Madrid

Memoria presentada por
D. Armando Gil de Paz
para aspirar al grado de
Doctor en Ciencias Físicas
Madrid, Abril de 2000

A mi familia, a mis amigos, y a Carmen

La bóveda celeste bajo la cual vagamos, es a la linterna
mágica lo que el sol a la lámpara.
Y el mundo es el telón donde vacilan nuestras imágenes.
"Rubaiyat", Omar Khayyam (?-1125).

Índice General

Agradecimientos

La memoria presentada es fruto del trabajo realizado con gran satisfacción en el Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera a lo largo de algo más de cuatro años. Para que este trabajo saliera adelante ha sido necesaria la ayuda y compresión de gran número de personas, más de las que probablemente soy capaz de recordar.

En primer lugar quisiera agradecer la inmensa ayuda proporcionada por mi director, Dr. Jaime Zamorano Calvo, en las largas horas de trabajo en común, discusiones, sugerencias, comprensión, etcétera. Trabajar bajo su supervisión ha sido desde el primer momento un placer, habiéndome proporcionado durante todos estos años su confianza y dedicación, tanto en su papel de jefe como de amigo.

Por supuesto, me gustaría agradecer la ayuda inestimable del Dr. Jesús Gallego sin cuya ayuda y perseverancia no hubiera sido posible todo este trabajo. Gracias a su consejo llegué a darme cuenta de la forma en la que se debe trabajar en ciencia.

Al Dr. Alfonso Aragón Salamanca por haberme enseñado lo que es el rigor científico y por haberme ayudado tanto para que gran parte del trabajo de esta tesis saliera adelante. Gracias también por haberme acogido en el Instituto de Astronomía de Cambridge durante mis dos meses de estancia en este centro y por haberme invitado a un fructífero mes de trabajo en el observatorio de Tonantzintla (Méjico). A la Dra. Almudena Alonso Herrero, por los valiosos consejos proporcionados para mejorar la calidad de este trabajo. Gracias también por acogerme tan amablemente en su casa durante mi estancia en el Observatorio Steward.

Me gustaría agradecer a todos los miembros del Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera la ayuda y aliento que me han brindado durante estos cuatro años de trabajo de tesis. En particular, agradezco al Prof. Dr. Manuel Rego, como director del Departamento de Astrofísica en el momento de comenzar esta tesis, por haberme admitido y haber puesto a mi disposición todos los medios del departamento. Gracias especialmente a Nicolás Cardiel por la ayuda prestada en diferentes aspectos a lo largo de todos estos años. Gracias también al resto de profesores del departamento por su inestimable ayuda, Dra. María José Fernández Figueroa, Dra. Elisa de Castro, Dr. Manuel Cornide, Dr. Javier Gorgas, Dr. David Montes, al personal laboral, Enrique, Sara, M. Ángeles, Rosa, y a los doctorandos, a los cuales deseo lo mejor, Cesar Enrique García Dabó, Javier Cenarro, Sergio Pascual, Marta Cordero, Santos Pedraz, Pablo Pérez, Almudena Latorre, Patricia Sánchez, Javier López, Mari Cruz Gálvez, Ángel Serrano. Gracias también a Adeline Poncet, Jorge Sanz y Juan Carlos Vallejo por el tiempo que compartimos juntos. Me gustaría agradecer especialmente a Cesar Enrique García Dabó y Javier Cenarro su apoyo, su amistad y su complicidad durante todos estos años.

Me gustaría dar las gracias también a ese gran número de anónimos astrónomos y programadores que facilitan tanto el trabajo de los investigadores, mediante el desarrollo, en muchos casos desinteresado, de herramientas cada vez mas potentes y catálogos astronómicos cada vez mas completos y de fácil acceso. Gracias también al personal de los centros de investigación que visité a lo largo de estos años, al personal del Observatorio de Calar Alto, Roque de los Muchachos, KPNO, Instituto de Astronomía de Cambridge, Instituto de Óptica, Astrofísica y Electrónica de Tonantzintla y Observatorio Steward.

Muchas gracias a todos mis amigos de dentro y fuera del mundo de la Astrofísica, Carmen, Quique, Cenarro, Raúl, Arancha, Luis, Victor, Elena, Nuria, Gary, Almudena, Raquel, Mar, Esther, Paco, Juan Carlos, Silvia Pantoja, Silvia Santalla, Javi, Isaac, Pablo, Sergio, David, Emilio, Nieves, Carolina, Alfonso, Juan Antonio, ...

Gracias a Quique, Javier, Arancha y Luis por los ratos en familia, y a Diana. A Raúl, Almudena, Esther y Gary por las risas, los ratos de ocio y muchas más cosas. A Nuria, Raquel y Mar por su amistad. A Pablo y Sergio por las noches de mal tiempo en Calar Alto. A Javi, Silvia Pantoja y Silvia Santalla, Paco, Juan Carlos, Isaac y Alfonso por todos los buenos ratos compartidos. A Emilio, Nieves y David por haberme tratado siempre tan bien y haberme demostrado su cariño. A Carolina porque siempre confió mucho en mí y a Elena y Victor por ser tan buenos conmigo, gracias a todos.

Y por último, aunque no por menos importante, sino por todo lo contrario, me gustaría agradecer a mi familia y en especial a mis padres, Armando y Purificación, el haberme ayudado en los malos momentos y haber disfrutado conmigo de los buenos. Y a Carmen, por su compresión, su amor, su cariño y su paciencia. A todos vosotros, gracias.

Madrid, Abril de 2000

Prefacio

El importante desarrollo en la instrumentación acaecido durante los últimos años, junto con la puesta en funcionamiento de los telescopios de la clase de 8 y 10 metros y del telescopio espacial Hubble (HST), han evidenciado la existencia de una extensa población de galaxias compactas azules a altos desplazamientos al rojo. Las propiedades de estos objetos, (1) altas tasas de formación estelar actual, (2) relativamente bajo contenido en hidrógeno neutro y (3) la presencia de una población estelar subyacente de forma generalizada así como su evolución con el desplazamiento al rojo, indican que han debido sufrir una historia de formación estelar episódica, con intensos eventos de formación estelar seguidos de largos períodos quiescentes caracterizados por una muy baja actividad de formación de estrellas.

Sin embargo, estos resultados se han basado generalmente en estudios estadísticos realizados sobre un gran número de objetos y en los que no se abordaba en profundidad la historia evolutiva individual de cada uno de ellos. Este *modus operandi* ha dejado sin responder un gran número de cuestiones referentes (1) a los mecanismos responsables de la regulación de la formación estelar y (2) a los efectos de dicha formación estelar sobre la posterior evolución fotométrica, química y dinámica de estas galaxias.

A lo largo de este trabajo de tesis doctoral he abordado el estudio detallado de uno de estos objetos, Mrk 86, empleando imágenes en diferentes banda ópticas e infrarrojas así como observaciones de espectroscopía óptica e interferometría Fabry-Pérot. Nuestro principal objetivo ha sido determinar las propiedades de las diferentes poblaciones estelares a fin de conocer su historia de formación estelar y los mecanismos responsables de la propagación y regulación de dicha formación estelar. Por último, a partir del perfil de masa de este objeto y del campo de velocidad radial medido, hemos determinado la geometría y distribución del gas ionizado y por tanto de las regiones formación estelar más reciente.

Uno de los elementos que en mayor medida puede determinar la fiabilidad de los resultados en el análisis de las poblaciones estelares de una galaxia es el procedimiento empleado para comparar las magnitudes observadas con las predicciones de los modelos de síntesis evolutiva, amén de disponer de unos modelos suficientemente realistas. En este trabajo se desarrolló un procedimiento de análisis novedoso y muy eficaz basado en la combinación de simulaciones de Monte Carlo con un estimador de máxima verosimilitud, análisis de agrupamiento (*clustering*) y análisis de la componente principal (PCA).

En una primera fase se estudiaron las propiedades de un total de 67 galaxias con formación estelar pertenecientes a la exploración de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El análisis de los colores óptico-infrarrojos y anchuras equivalentes de la línea Hα en emisión nos permitió deducir las fuerzas de brote, edades de la formación estelar y masa estelar total de estos objetos así como optimizar el procedimiento de análisis que se emplearía posteriormente en el estudio de la galaxia compacta azul Mrk 86.

En el Capítulo 1 se introducen las principales propiedades de las galaxias compactas azules, describiéndose las observaciones de la galaxia Mrk 86 a lo largo del Capítulo 2. En el Capítulo 3 se describen los modelos de síntesis evolutiva desarrollados y en el Capítulo 4 los resultados de la aplicación del procedimientos de comparación desarrollado a una muestra de galaxias UCM. Los Capítulos 5 y 6 están dedicados, respectivamente, a la presentación de los resultados sobre las poblaciones estelares y cinemática de la galaxia compacta azul Mrk 86. Una interpretación global y discusión sobre estos resultados se da en el Capítulo 7. Finalmente, en el Capítulo 8 se presentan las conclusiones finales y proyectos futuros relacionados con este trabajo de tesis doctoral.

Así mismo se incluyen el Apéndice A, dedicado a la descripción detallada de los métodos estadísticos empleados dentro del procedimiento de comparación entre modelos y observables, y el Apéndice B, que explica las características del programa de fotometría de campos saturados de objetos desarrollado para este trabajo.