

Espectroscopía de rayos X de cúmulos de galaxias en colisión

Autora: Igone Urdampilleta Aldama

Tesis doctoral dirigida por:

Jelle S. Kaastra y Jelle de Plaa

Centro: SRON (Netherlands Institute for Space Research) y Leiden University

Fecha de lectura: 13 de noviembre de 2019

Esta tesis se centra en el análisis espectral de cúmulos de galaxias en colisión y la actualización de un código (SPEX) para analizar futuras observaciones espectroscópicas de rayos X de alta resolución esperadas en las misiones XRISM y Athena. Este trabajo está dedicado a una mejor comprensión de dos aspectos concretos de estos cúmulos en colisión: uno, la correlación entre la componente térmica (rayos X) y la no térmica (radio), y dos, la historia de su enriquecimiento en metales. El primer tema puede revelar la asociación física de las componentes de rayos X y radio. El segundo puede arrojar luz sobre la historia dinámica de las colisiones y su papel en el enriquecimiento en metales de los cúmulos.

En primer lugar, mostramos el estudio en rayos X del cúmulo de galaxias en colisión Abell 3376 observado con *Suzaku*. Estudiamos la distribución espacial de la componente térmica del medio intracumular (ICM) incluyendo la periferia del cúmulo. Para este propósito obtenemos la distribución de la temperatura en cuatro direcciones radiales (norte, sur, este y oeste). Comparamos estas distribuciones con el perfil universal para cúmulos relajados y encontramos una desviación para todas las direcciones excepto para el sur, sugiriendo la posible presencia de ondas de choque en esas direcciones. Sin embargo, solo encontramos evidencias de dos ondas de choque al oeste y este. Una está asociada al "radio relic" del oeste con un número de Mach (M), $M_w \sim 2.8$, y la otra al "notch" del este con un $M_E \sim 1.5$. Detectamos además un frente frío ("cold front") al este del pico de emisión de rayos X. El M_E es consistente con las observaciones de radio previas, mientras que el "radio relic" del oeste presenta un M_w ligeramente inferior, probablemente debido a los efectos de envejecimiento. Finalmente, estimamos el escenario de la colisión, el cual sugiere una colisión cerca del plano del cielo con una edad dinámica de ~ 0.6 Gyr después de cruzar el núcleo del subcúmulo principal.

En segundo lugar, investigamos las propiedades termodinámicas del plasma en el cúmulo de galaxias en colisión Abell 3365 usando observaciones de *XMM-Newton*. Para este propósito, primero buscamos discontinuidades en el brillo superficial y temperatura en las regiones periféricas y centrales del ICM. Segundo, obtenemos las distribuciones de temperatura, abundancia (Fe) y pseudoentropía a lo largo del eje de colisión en la región central. Encontramos dos ondas de choque prominentes ($M > 3$) asociadas al "radio relic" del este y al candidato de "radio relic" del oeste, además de un frente frío al oeste del pico de emisión de rayos X. La eficiencia de aceleración de la onda de choque en el "radio relic" del este es consistente con el mecanismo DSA ("Diffusive Shock Acceleration"), sugiriendo que es un escenario favorable para ondas de choque con $M > 3$. La distribución de abundancia presenta dos picos de valor $\sim 0.6 Z_\odot$. Uno se corresponde con la localización del subcúmulo principal y el otro está desplazado del pico de emisión hacia el frente frío, probablemente debido al

efecto de la colisión y a la dinámica interna del paso del frente de ondas. Además encontramos un mínimo de entropía que sugiere que el núcleo o "cool core" del cúmulo progenitor ha sobrevivido parcial o totalmente a la colisión.

En tercer lugar, presentamos el análisis espectral en rayos X de seis cúmulos de galaxias en colisión (CIZA J2242.8+5301, 1RXS J0603.3+4214, Abell 3376, Abell 3667, Abell 665 y Abell 2256) observados con *XMM-Newton*. Obtenemos las distribuciones de temperatura, abundancia (Fe) y pseudoentropía a lo largo del eje de colisión hasta $r_{500'}$. De estas distribuciones derivamos el perfil promedio de Fe que presenta un pico moderado central, menor que los cúmulos relajados, seguido de una disminución hasta un valor uniforme de $\sim 0.2-0.3 Z_\odot$ para radios lejanos. Además, las distribuciones de pseudoentropía sugieren que en algunos casos el núcleo de baja entropía relativa puede sobrevivir a grandes colisiones. También estudiamos la correlación entre la abundancia y la pseudoentropía. Encontramos que existe una leve correlación para las regiones centrales, probablemente debido a que la actividad de la colisión esparce los metales. Sin embargo, no hay evidencias de ninguna correlación a radios lejanos, en la periferia de los cúmulos. Este resultado junto con la uniformidad de la abundancia parece aportar una evidencia adicional en favor del escenario de enriquecimiento temprano.

Por último, hemos actualizado el balance de ionización del software conocido como SPEX, utilizado en el análisis espectral de rayos X y desarrollado en SRON. Para ello hemos incluido 45 nuevas bases de datos con las secciones cruzadas de ionización para iones desde H a Zn, teniendo en cuenta los nuevos cálculos teóricos y nuevas medidas de laboratorio. Las secciones cruzadas del resto de iones que no tengan una base de datos han sido interpoladas o extrapoladas. En este estudio somos capaces de obtener por primera vez no solo la sección total, sino la sección de cada celda interna. Estas secciones cruzadas incluyen dos procesos radiativos diferentes: la Ionización Directa (DI) y la Excitación-Autoionización (EA). Modelamos y ajustamos estos procesos de DI y EA con las ecuaciones extendidas de Younger y Mewe, respectivamente, para obtener los coeficientes de ajuste. Derivamos los coeficientes del cociente de ionización aplicando la integral a la distribución de velocidades Maxwelliana de estas ecuaciones. Finalmente, hemos incorporado los coeficientes de DI, EA y el cociente de ionización a SPEX v3.0.

Tesis disponible en:

https://personal.sron.nl/~igoneu/PhD_thesis_IUrdampilleta_Xray_spectroscopy_merging_clusters.pdf



Imagen compuesta (óptico, rayos X en naranja y radio en azul) del cúmulo de galaxias Abell 3376. Créditos: NASA/CXC/SAO/A. Vikhlinin y ROSAT (rayos X); DSS (óptico); NSF/NRAO/VLA/IUCAAJ. Bagchi (radio).