Abstract

We investigate the redshift dependence of X-ray cluster scaling relations drawn from three hydrodynamic simulations of the ΛCDM cosmology: a *Radiative* model that incorporates radiative cooling of the gas; a *Preheating* model that additionally heats the gas uniformly at high redshift and a strong *Feedback* model that self-consistently heats cold gas in proportion to its local cooling/accretion rate. While all three models are capable of reproducing the observed local $L_{\rm X}$-$T_{\rm X}$ relation, they predict substantially different results at high redshift (to $z = 1.5$), with the *Radiative* model predicting strongly positive evolution, the *Preheating* model mildly positive evolution and the *Feedback* model mildly negative evolution. These variations are mainly due to the amount of low entropy gas delivered to cluster cores in sub-haloes, whose overall accretion rate decreases with time. Heating diminishes this supply, leading to hotter, extended cores and weaker evolution in the $L_{\rm X}$-$T_{\rm X}$ relation. Based on our results, we can conclude that the latest observations which predict positive evolution of the $L_{\rm X}$-$T_{\rm X}$ relation, point to a scenario where heating must have occured at high redshift, allowing radiative cooling to drive its evolution at lower redshift. Future large-scale observations of scaling relations at high redshift will therefore place interesting constraints on the nature of galaxy formation in clusters as well as on cosmological parameters.

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาวิวัฒนาการความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางรังสีเอกซ์ของกลุ่มกาแลกซี่ซึ่งได้จากการจำลองแบบทางตัวเลขของเอกภพแบบ ΛCDM จำนวน 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง *Radiative* ซึ่งก๊าซสามารถเย็นตัวลงได้ด้วยกระบวนการการแผ่ความร้อน แบบจำลอง *Preheating* ซึ่งทุกอนุภาคก๊าซได้รับความร้อนเหมือนกันที่เรดชิฟท์สูง และแบบจำลอง *Feedback* ซึ่งทำให้ก๊าซที่เย็นตัวลงร้อนขึ้นตามอัตราการดึงรวมสสาร แม้ทั้งสามแบบจำลองนี้สามารถให้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่องสว่างและอุณหภูมิของรังสีเอกซ์ ($L_{\rm X}$-$T_{\rm X}$) ณ เรดชิฟท์ขณะปัจจุบันได้สอดคล้องกับที่สังเกตการณ์ได้จริง แต่สำหรับความสัมพันธ์ดังกล่าวที่เรดชิฟท์สูง (เมื่อพิจารณาถึง $z = 1.5$) พบว่าแต่ละแบบจำลองให้ผลแตกต่างกัน โดย แบบจำลอง *Radiative* มีวิวัฒนาการของความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างชัดเจน แบบจำลอง *Preheating* เป็นวิวัฒนาการเชิงบวกอย่างอ่อน และแบบจำลอง *Feedback* เป็นแบบเชิงลบอย่างอ่อน ความแตกต่างดังกล่าวนี้ มีสาเหตุมาจากการที่ปริมาณของก๊าซที่มีเอนโทรปีต่ำในใจกลางของกลุ่มกาแลกซี่ภายในฮาโลย่อย ซึ่งมีอัตราการดึงรวมสสารที่ลดลงกับเวลา การให้ความร้อนจะมีผลในการลดปริมาณก๊าซเหล่านี้ ทำให้ใจกลางร้อนมากขึ้นส่งผลให้วิวัฒนาการที่อ่อน สามารถสรุปได้ว่าการสังเกตการณ์ที่ให้ผลทางวิวัฒนาการเชิงบวกของความสัมพันธ์ดังกล่าว จะสามารถบ่งชี้ได้ว่าการให้ความร้อนในรูปแบบใดๆจะสามารถเกิดขึ้นได้ที่เรดชิฟท์สูง ทำให้การแผ่ความร้อนเกิดขึ้นได้ที่เรดชิฟท์ต่ำ การสังเกตการณ์ยุคใหม่ที่เรดชิฟท์สูงจะสามารถบ่งบอกถึงธรรมชาติของกระบวนการเกิดและก่อตัวของกาแลกซี่ และรวมทั้งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเอกภพ