



Galaksi Kümesi Çarpışmalarında Karanlık

Madde-Gaz Ayrışması

Zeynep Erol

Danışman: Doç. Dr. TALAR YONTAN ÇİZMECİ



Galaksi kümesi çarpışmaları sırasında küme içi sıcak gaz (ICM), galaksiler ve karanlık madde farklı dinamik davranışlar gösterir. ICM hidrodinamik etkileşimler nedeniyle yavaşlarken, galaksiler ve karanlık madde büyük ölçüde çarpışmasız hareket eder.

Bu çalışmada, bu farklı davranışın oluşturduğu karanlık madde-gaz ayrışmasının fiziksel mekanizması ve gözlemsel sonuçları incelenmektedir.

KARANLIK MADDE-GAZ AYRIŞMASI NASIL OLUŞUR?

Küme birleşmesi sırasında iki alt küme çekirdeğinin birbirine en yakın konumdan geçtiği çekirdek geçişi (core passage) evresinde, iki kümenin ICM gazları doğrudan hidrodinamik olarak etkileşir. Gaz sıkışır, ısınır ve hidrodinamik sürüklenme nedeniyle yavaşlar. Buna karşılık galaksiler ve karanlık madde büyük ölçüde çarpışmasız davranarak hareketlerini sürdürür.

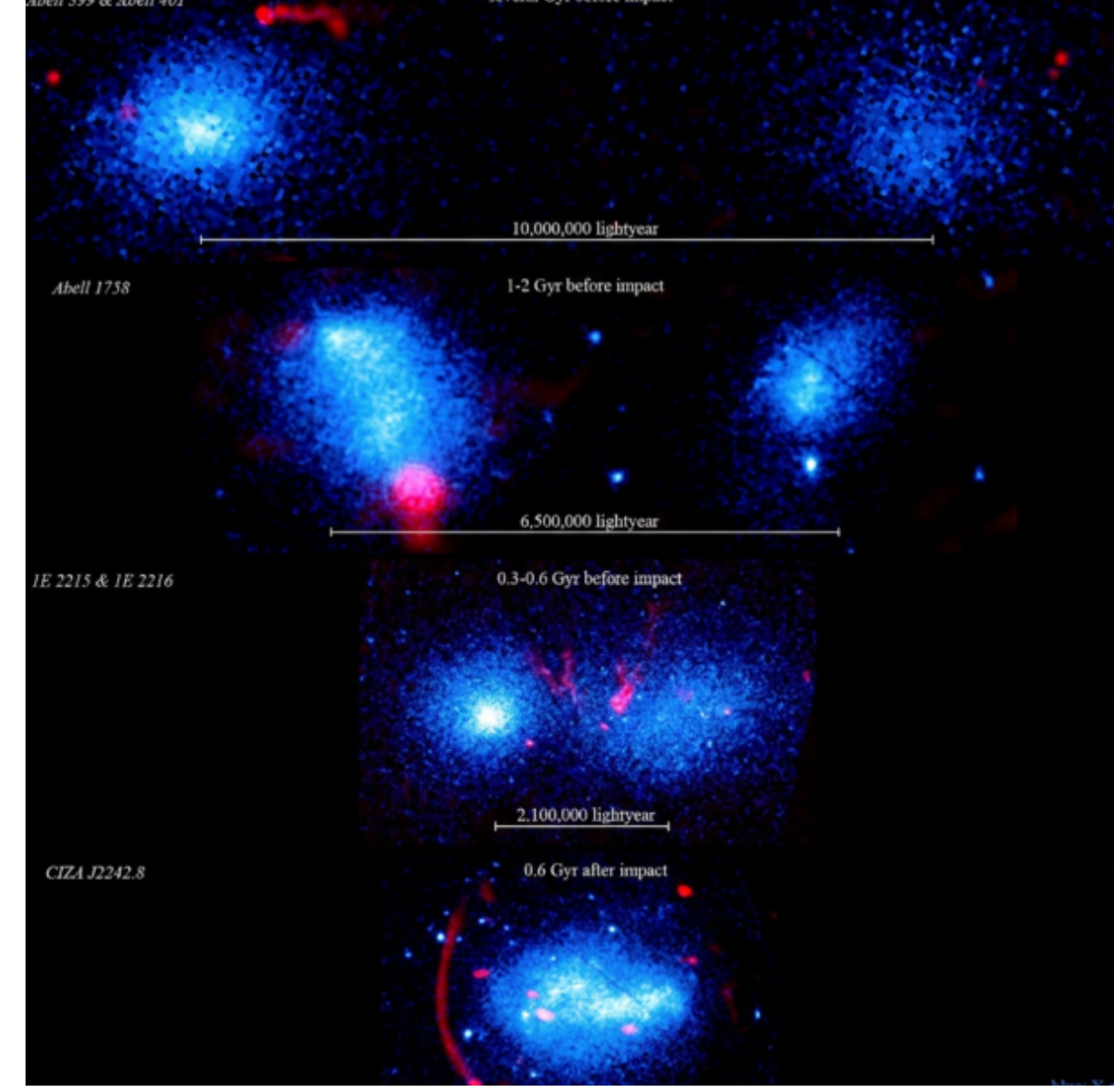
Bu farklı dinamik davranış sonucunda sıcak gaz ile karanlık maddenin baskın olduğu toplam kütle dağılımı arasında uzaysal bir ofset (offset) meydana gelir.

ICM gazı

- Çarpışmalı
- Sıkışma ve şok ısınması
- Yavaşlama
- Geride kalır

Karanlık madde

- Yaklaşık çarpışmasız
- Elektromanyetik etkileşim yok
- Hareketini büyük ölçüde sürdürür
- Gazdan ayrışır



ŞOK DALGALARI VE MACH SAYISI

Süpersonik küme çarpışmaları ICM içerisinde şok dalgaları oluşturabilir. Şok cephesinden geçen gaz sıkışır ve sıcaklığı artar.

Şokun gücü Mach sayısı ile ifade edilir:

v , şokun şok-öncesi ICM'ye göre hızı; c_s ise şok-öncesi gazdaki ses hızıdır

$M > 1$ Akış süpersoniktir; uygun koşullarda şok cephesi oluşabilir.

Şok öncesi ve sonrası sıcaklık değişimi Rankine-Hugoniot bağıntıları kullanılarak Mach sayısı ile ilişkilendirilebilir:

$$M = \frac{v}{c_s}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{(5M^2 - 1)(M^2 + 3)}{16M^2}$$

Burada T_1 şok öncesi, T_2 ise şok sonrası gaz sıcaklığıdır. X-ışını gözlemlerinde ölçülen sıcaklık sıçramaları bu nedenle şokların ve Mach sayısının belirlenmesinde kullanılabilir.

AYRIŞMAYI NASIL GÖZLEMLİYORUZ?

Karanlık madde doğrudan elektromanyetik ışıyım yaymadığı için dağılımı doğrudan görüntülenemez. Bunun yerine farklı gözlem yöntemleri birlikte kullanılır:

X-ışını gözlemleri

- Milyonlarca derece sıcaklıktaki ICM gazını gösterir.

Optik gözlemler

- Küme galaksilerinin uzaysal dağılımını gösterir.

Kütleçekimsel merceklenme

- Kümenin toplam kütle dağılımının haritalanmasını sağlar.

Dolayısıyla X-ışını yüzey parlaklığı ile merceklenmeden elde edilen kütle haritasının maksimumlarının farklı konumlarda bulunması, X-ışını parlaklık tepesi ≠ Merceklenme kütle tepesi
Gaz ile toplam kütle dağılımı arasındaki uzaysal ayrışmayı ortaya koyar.

1E 0657-56 (Bullet Cluster), karanlık madde-gaz ayrışmasının en bilinen gözlemsel örneklerinden biridir.

X-ışını → sıcak ICM gazı

● Kütleçekimsel merceklenme → toplam kütle dağılımı

● Optik → galaksiler

Öneri: Kütleçekimsel merceklenmeden elde edilen toplam kütle tepeler noktalarının X-ışını yayan gazdan ayrılarak galaksi dağılımına daha yakın konumlanması, kümenin baskın kütle bileşeninin sıcak baryonik gaz olmadığını gösterir. Bu nedenle Bullet Cluster, karanlık maddenin baryonik maddeden ayrı bir kütle bileşeni olduğuna ilişkin güçlü gözlemsel kanıtlardan biridir.



SONUÇ

Galaksi kümesi çarpışmalarında ICM gazı hidrodinamik etkileşimler nedeniyle sıkışır, ısınır ve yavaşlarken; galaksiler ve karanlık madde büyük ölçüde çarpışmasız hareket eder. Bu farklı dinamik davranış, gaz ve toplam kütle dağılımları arasında gözlenebilir bir uzaysal ayrışma meydana getirir. X-ışını + optik + kütleçekimsel merceklenme gözlemlerinin birlikte kullanılması, bu üç bileşenin dağılımlarının karşılaştırılmasını sağlar.

Bullet Cluster gibi sistemlerde gözlenen gaz-kütle ayrışması, karanlık maddenin baryonik maddeden ayrı bir kütle bileşeni olduğuna güçlü gözlemsel kanıt sağlarken, karanlık maddenin olası öz-etkileşimlerinin sınırlandırılmasına da olanak verir.

KARANLIK MADDENİN ÖZ-ETKİLEŞİMİ

Eğer karanlık madde parçacıkları birbirleriyle güçlü biçimde etkileşseydi, küme çarpışması sırasında karanlık madde bileşeninin de belirgin biçimde yavaşlaması ve galaksilerden ayrılması beklenirdi.

Galaksi dağılımı ile merceklenmeden elde edilen toplam kütle dağılımı arasındaki konumsal ayrımın küçük olması nedeniyle karanlık maddenin öz-etkileşim tesir kesitinin sınırlandırılmasında kullanılabilir. Bu büyüklük genellikle birim kütle başına tesir kesiti olarak ifade edilir:

$$\frac{\sigma_{DM}}{m_{DM}}$$

RAM-PRESSURE STRIPPING

Küme ölçeğindeki gaz-karanlık madde ayrışmasından farklı olarak, ram basıncıyla soyulma tek tek galaksilerin yıldızlararası gazını etkiler. Küme içerisindeki bir galaksi ICM boyunca yüksek hızla hareket ettiğinde, galaksinin yıldızlararası gazı ram pressure etkisine maruz kalır. Burada ρ_{ICM} küme içi gaz yoğunluğu, v ise galaksinin ICM'ye göre hızıdır. Ram pressure yeterince güçlü olduğunda galaksinin gazı uzaklaştırılabilir (ram-pressure stripping). Böylece galaksinin yıldız oluşumu için kullanabileceği soğuk gaz miktarı azalabilir.

$$P_{ram} = \rho_{ICM} v^2$$