



Universiteit
Leiden
The Netherlands

When galaxy clusters collide : the impact of merger shocks on cluster gas and galaxy evolution

Stroe, A.

Citation

Stroe, A. (2015, September 2). *When galaxy clusters collide : the impact of merger shocks on cluster gas and galaxy evolution*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/34937>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/34937>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/34937> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Stroe, Andra

Title: When galaxy clusters collide : the impact of merger shocks on cluster gas and galaxy evolution

Issue Date: 2015-09-02

Rezumat

Clusterelor de galaxii sunt aflate la vârful lanțului ierarhic de formare a structurilor din Univers. Clusterelor sunt astfel cele mai masive structuri din Univers (cu mase de $10^{14-15} M_{\odot}$) și conțin sute de galaxii într-un mic volum cosmic. Clusterelor pot fi asemănate unor metropole, unde galaxiile sunt înghesuite în comparație cu spațiul pustiu din jurul lor. Marea majoritate a materiei din clusterelor este distribuită printre galaxii, în forma materiei întunecate și a unei plume extrem de fierbinți (cu temperaturi de 10^{7-8} K). Mediul din clusterelor are un efect profund asupra evoluției galaxiilor. Galaxiile spiralate, care formează în mod activ noi stele, se regăsesc de obicei în spațiul ‘viran’ dintre clusterelor galactice. Când o galaxie cade către miezul unui clusterelor, interacțiunea dintre galaxie și mediul fierbinte inter-galactic duce la îndepărtarea gazului care alimentează formarea de noi stele. Fără acest combustibil, galaxiile suferă o transformare morfologică din galaxii spiralate în galaxii pasive, roșii și eliptice.

Clusterelor evoluează prin coliziuni cu alte clusterelor mai mici, acestea fiind evenimentele cele mai energetice de la ‘Big Bang’ încoace. De-a lungul a miliarde de ani, clusterelor își dezvoltă structura și masa, la fel ca orașele în dezvoltare care înghit satele din împrejurul lor. Parte din energia eliberată în timpul coliziunilor dintre clusterelor este disipată în mediul dintre galaxii prin unde de șoc gigantice care traversează clusterul și accelerează până la viteze relativistice electronii aflați în calea lor. Din acest punct de vedere, șocurile din clusterelor sunt cele mai mari acceleratoare de particule din Univers, fiind cu 19 ordine de mărime mai întinse decât acceleratorul de particule al Organizației Europene Pentru Cercetare Nucleară din Geneva. Electronii accelerați girează în jurul liniilor de câmp magnetic și produc energie sincrotronă împrăștiată pe arii întinse. Radiația sincrotronă poate fi detectată cu telescoape radio. Undele de șoc din clusterelor duc astfel la formarea unor surse radio enorme, de ordinul megaparsecilor, cu caracter difuz, numite relicve radio.

Șocurile influențează evoluția clusterelor în context cosmologic. Studiul clusterelor cu emisie radio difuză poate dezvălui felul în care funcționează procesul de accelerare a particulelor în contexte astronomice și în condiții ce nu pot fi reproduse pe Pământ: dimensiuni foarte mari, șocuri supersonice, câmpuri magnetice slabe și densități foarte scăzute.

În ultimul deceniu s-au făcut progrese semnificative în domeniul clusterelor aflate în coliziune. Totuși din cauza lipsei instrumentelor astronomice potrivite, multe studii se bazează încă pe cercetarea relicvelor individuale, aflate în Universul local, folosind observații la una sau două frecvențe radio. În prezent, avem o imagine incompletă a clusterelor în coliziune: natura și evoluția galaxiilor spiralate din aceste clusterelor rămâne încă neexplorată. Întrebări încă fără răspuns în acest domeniu includ:

Natura și fizica emisiei radio difuze din clusterelor: Cum sunt electronii accelerați pentru a forma relicve radio? Cum interacționează electronii cu câmpul magnetic spre a-și pierde energia?

Evoluția galaxiilor din clusterelor în coliziune cu unde de șoc: Influențează coliziunea și șocurile evoluția galaxiilor din clusterelor?

Această dizertație

Cercetările prezentate în această teză de doctorat combină date complementare radio, optice, spectroscopie și modelare, cu scopul de a studia coliziunea clusterelor și relicvele radio asociate. Această teză este focalizată pe două clusterse masive, fiecare dintre ele aflate în perioadă de coliziune, poreclite ‘Sausage’ (‘cârnatul’) și ‘Toothbrush’ (‘periuța de dinți’), care găzduiesc relicve duble spectaculoase, cu o morfologie deosebit de regulată. Clusteresele par să aibă o istorie simplă, rezultând din coliziunea în planul cerului a doua sub-clusterse de aceeași masă. Am obținut astfel o imagine completă a acestor două clusterse. Am studiat interacțiunea dintre undele de șoc și electronii din gazul inter-galactic pentru a produce emisie difuză radio. Deasemenea, am cercetat influența coliziunilor dintre clusterse asupra formării de noi stele în galaxiile membre. În ultima parte a tezei, am pus proprietățile acestor două clusterse în context mai larg, comparându-le cu rezultate obținute printr-o cartografiere a galaxiilor spiralate aflate atât în medii cosmice dense cât și în volume goale.

Capitolul 2 discută influența coliziunilor asupra galaxiilor radio și asupra accelerării de particule în contextul emisiei difuze radio. Analiza este bazată pe date radio asupra clusterului ‘Sausage’, obținute cu telescoapele radio Giant Metrewave și Westerbork la frecvențe între 150 – 2300 MHz. Prin tehnici de mapare a indexului spectral, curburii spectrale și a graficelor de culoare-versus-culoare, confirmăm că relicvele gemene din clusterul ‘Sausage’ au fost cel mai probabil accelerate de șocuri simetrice, declanșate la coliziunea între două sub-clusterse. Analiza noastră arată că după ce electronii sunt accelerați de către unda de șoc, unghiul dintre electroni și câmpul magnetic este isotropizat în mod continuu.

Capitolul 3 adresează problema nepotrivirii dintre numerele de șoc Mach obținute din date radio și raze X. Am făcut prima mapare spectrală a unei relicve radio pentru a investiga efectul rezoluției imaginilor radio asupra măsurării numărului Mach în relicva ‘Sausage’. Arătăm că datele radio confirmă rezultatele numărului Mach obținute din date X-ray. Găsim o creștere sistematică a vârstei spectrale de la marginea de nord a relicvei ‘Sausage’ către zona post-șoc. Șocul se deplasează către nord cu o viteză de aproximativ 2500 km s^{-1} . Această analiză reprezintă un test direct că electronii pierd energie prin emisie sincrotronă și împrăștieri Compton inverse. Arătăm de asemenea că efecte, precum reaccelerarea prin turbulență și amestecarea emisiei în linia de vedere, trebuie luate în considerare în modelele de formare a relicvelor.

Capitolele 4 and 5 prezintă detecțiile de emisie difuză de la cele mai înalte frecvențe de până acum, la 16 și 30 GHz, posibile cu ajutorul telescopelor Arcminute Microkelvin Imager și Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy. Astfel de măsurători sunt cruciale pentru a cuantifica interacțiunea electronilor cu câmpul magnetic și pentru a diferenția între diferitele modele pentru originea electronilor sincrotron. Spectrul integrat al relicvelor ‘Sausage’ și ‘Toothbrush’ devine mai abrupt la frecvențe înalte, ceea ce este în tensiune cu modelul acceptat în acest moment pentru formarea relicvelor radio. Analiza noastră indică necesitatea dezvoltării unor modele mai complicate, care iau în considerare populații de electroni pre-acelerați, de exemplu de activitate nucleară din centrul galaxiilor radio.

Capitolele 6, 7 și 8 prezintă cartografierea liniei de emisie $H\alpha$ în clusteresele ‘Sausage’ și ‘Toothbrush’, aducând prima dovadă directă că șocul afectează formarea de noi stele în galaxiile din clusterse. Găsim numeroase galaxii care au emisii $H\alpha$, aflate în apropierea relicvelor

radio din clusterul ‘Sausage’. Aceste galaxii sunt extrem de masive, bogate în metale și produc stele noi. Nu găsim astfel de exemple în clusterul ‘Toothbrush’. Interpretăm aceste rezultate în contextul diferitelor istorii ale celor două cluster: clusterul ‘Toothbrush’ s-a format cu ~ 1 miliard de ani mai devreme decât ‘Sausage’. Propunem că trecerea șocului induce formarea temporară de noi stele, accelerând evoluția galaxiilor din spirale bogate în gaz către eliptice.

În **Capitolul 9**, folosim date obținute cu telescopul Westerbork în clusterul ‘Sausage’ pentru a investiga efectul coliziunii clusterelor și al șocurilor asupra rezervoarelor de gaz care alimentează formarea de noi stele în galaxii. În mod contradictoriu față de cercetari anterioare care arată că galaxiile au din ce în ce mai puțin hidrogen neutru de la marginea către centrul clusterelor, noi observăm că în clusterul ‘Sausage’ galaxiile spiralate au la fel de mult hidrogen neutru ca și galaxiile asemănătoare aflate în spațiul liber dintre cluster. Detectăm emisie radio viguroasă produsă de supernove, ceea ce indică că aceste galaxii formează stele de cel puțin 100 milioane de ani.

În **Capitolul 10**, facem cea mai largă cartografiere a galaxiilor care formează stele, aflate la o deplasare spre roșu de $z \sim 0.2$. Construim funcții de luminozitate $H\alpha$ care depășesc variația cosmică și detectează cele mai luminoase și rare galaxii. Galaxiile luminoase, care formează stele la o rată foarte ridicată sunt mai grupate decât cele care formează mai puține stele. Deși există multă variație cosmică de-a lungul mapării noastre, observăm că sunt foarte rare zonele cu densitate foarte mare de galaxii, precum cele din clusterul ‘Sausage’.

