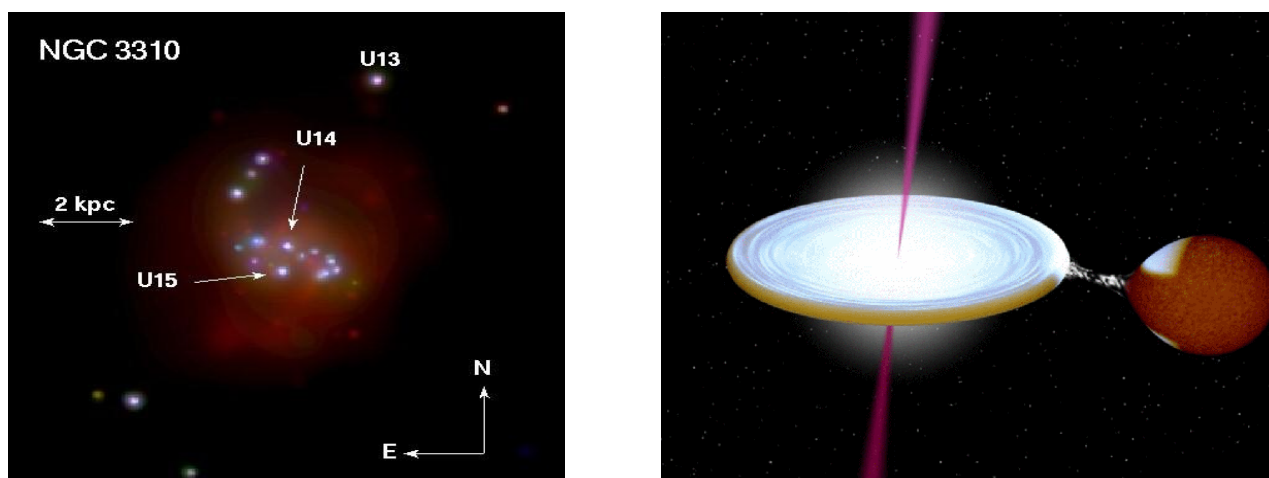


SURSE DE RAZE X ULTRALUMINOASE

Ciprian BERGHEA*

Key Words: accretion, X-rays, binaries, black hole physics, galaxies.



Imaginea nr. 1. Stânga: Imagine în raze X a unei galaxii ce conține numeroase surse inclusiv trei ULXs marcate. Dreapta: model al surselor de raze X binare

Prin anii 80, o dată cu primele telescoape de raze X lansate în spațiu (*Einstein*, *ROSAT*), astronomii au avut o mare surpriză. Se așteptau să detecteze cele mai puternice surse de energie din Univers. În galaxia noastră exemple ar fi rămășițe de supernove, pulsari și surse de Raze X Binare (XRB).

Acestea din urmă sunt compuse dintr-un obiect compact (gaură neagră sau stea neutronică) și o stea "normală". Dacă ele sunt suficient de apropiate, câmpul gravitațional puternic al obiectului compact atrage materia stelară și acesta "mănâncă" încet steaua ce-i ține companie. Fiindcă materia care este atrasă are un moment unghiular care nu este zero, în procesul de cădere spre obiectul compact ea formează un așa numit disc de acrecție (Imaginea nr. 1, dreapta). Aici materia e încălzită prin procese de vâscozitate până la milioane de grade și produce raze X și ultraviolete foarte puternice și mai puțin radiații la lungimi de undă mai mari (în domeniul optic sau infraroșu). De fapt, acrecția pe un obiect compact e cel mai eficient mecanism de energie din univers, și poate depăși de sute de ori eficiența fuziunii nucleare!

În afara Căii Lactee, astronomii se așteptau să vadă în raze X în special Nuclee Galactice Active (AGN). Acestea sânt găuri negre foarte masive aflate în centrul galaxiilor și care sunt active, adică, în mod similar surselor de raze X binare, înghit materie aflată în vecinătatea lor. Astăzi știm că, practic, toate galaxiile au în centru asemenea găuri negre, dar nu toate sunt active, pentru că nu au nimic de înghițit în jurul lor. Cel mai cunoscut exemplu este chiar galaxia noastră.

În centrul ei se ascunde o gaură neagră de câteva milioane de ori mai masivă decât Soarele. Prezența ei se face cunoscută prin efecte indirecte, cum ar fi mișcarea unor stele aflate în vecinătate, și este vizibilă numai în unde radio (Sag. A*). Prin contrast, multe AGNs sunt atât de strălucitoare încât depășesc luminozitatea întregii galaxii care le adăpostește. Un tip extrem de AGN sunt chiar quasarii, care sunt așa de strălucitori încât galaxia din jurul lor nici nu se vede.

Nu mică le-a fost mirarea astronomilor când în primele imagini în raze X ale unor galaxii din apropiere s-au putut vedea câteva surse strălucitoare de raze X care nu erau în mod evident în nucleu dar erau aproape la fel de luminoase ca AGNs. Calculele au arătat că luminozitatea acestor

* Astronom la Observatorul Naval al Statelor Unite - Washington DC.

surse depășea uneori cu mult limita de emisie a surselor binare. Această limită - numită Eddington după astrofizicianul englez care a formulat-o – este dată de echilibrul între presiunea radiației emise de o sursă și forța gravitațională a materiei din apropiere. Când această limită este depășită, materia este expulzată în loc să fie atrasă, acest efect observându-se la stelele masive în așa numitul “vânt” (straturile exterioare ale acestor stele sunt expulzate în spațiu de radiația puternică a stelei). Limita Eddington este în mare parte determinată de masa obiectului, iar în cazul unei găuri negre dintr-o XRB, masa e mai mică decât $20 M_{\odot}$ (M_{\odot} - masa Soarelui). Depășind limita Eddington, în unele cazuri de sute de ori, aceste surse non-nucleare au fost numite surse de raze X Ultra-Luminoase (ULX). Noile telescoape de raze X (*ASCA*, *XMM-Newton*, *Chandra*, *Suzaku*) au continuat să descopere ULXs și să cunoască acum câteva sute, dar încă nu există o explicație generală satisfăcătoare pentru aceste obiecte enigmatice.

Dată fiind luminozitatea extremă a ULXs, prima înclinație a astronomilor a fost că ele ar conține găuri negre cu masă mijlocie (Intermediate-Mass Black Holes, IMBH)¹. Acestea ar avea mase mai mari decât găurile negre stelare dar mai mici decât nucleeele active (AGN). Întrebarea este, atunci, de unde au apărut aceste găuri negre? Oare s-au format în universul timpuriu prin colapsul unor stele cu masa mult mai mare decât în prezent (stele de Populație III)? S-au format în roiuri stelare dense prin ciocniri repetate? Odată formate, cum au reușit să captureze o stea și să devină active? Un lucru este clar – nu există în prezent dovezi definitive că ar exista IMBHs, deși unii astronomi argumentează că găurile negre masive din centrul galaxiilor au “crescut” din asemenea găuri negre cu masă intermediară. Existența IMBHs are așadar implicații foarte importante în multe domenii din astrofizica contemporană, dar ULXs pot avea explicații mai puțin exotice.

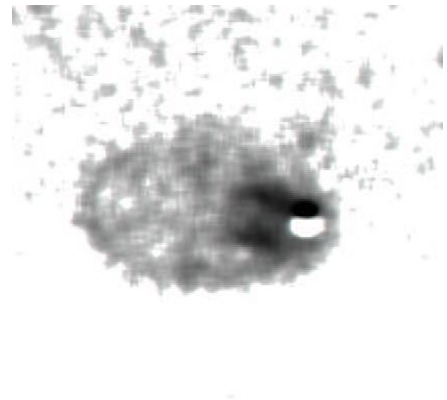
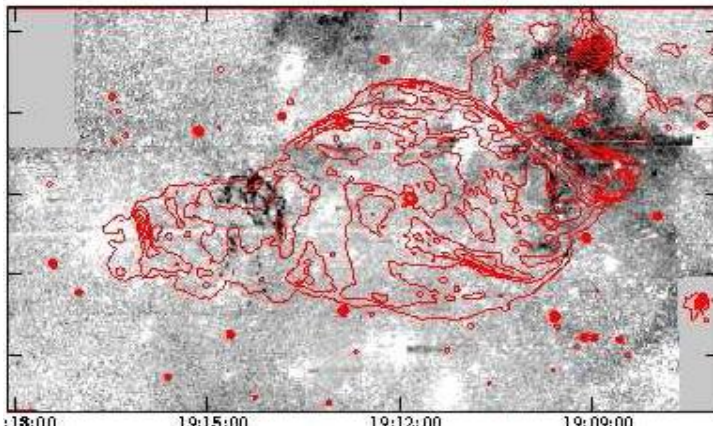
ULXs ar putea fi, de exemplu, microquasari, care sunt XRBs în care radiația e colimată. În acest caz, ULXs apar luminoase fiindcă sunt privite de-a lungul axei discului de acreție dacă luminozitatea lor totală nu depășește limita Eddington. Sau ULXs ar putea fi XRBs super-Eddington, în care în anumite situații speciale limita Eddington este depășită când rata de acreție e foarte mare. Acest lucru se poate în timp ce amândouă stelele au o masă mare și sunt suficient de aproape de gaura neagră. Se cunosc cel puțin două astfel de sisteme în galaxia noastră care depășesc limita Eddington pe perioade scurte.

Aceste două scenarii pot fi combinate, deci am avea un microquasar în acreție super-Eddington, care prin efectele combinate de colimare și acreție ridicată ar putea explica chiar și cele mai strălucitoare ULXs. O fericită coincidență e că avem un asemenea obiect chiar în galaxia noastră. Microquasarul SS433 este cunoscut ca un sistem în care acreția e de câteva sute de ori peste limita Eddington. Din păcate, din poziția noastră în galaxie îl vedem dintr-o parte și nu e strălucitor în raze X, deci nu-l putem numi ULX. SS433 are o istorie foarte interesantă. A fost numit așa în catalogul de stele cu linii spectrale "ciudate", compilat în 1977 de Nicholas Sanduleak și Bruce Stephenson. Sanduleak a fost un astronom american născut din părinți români care au emigrat în SUA în perioada interbelică.

Numeroase observații ulterioare în diverse lungimi de undă au arătat că SS433 este înconjurat de o rămășiță de supernovă (W50) care probabil a produs gaura neagră din acest sistem. În plus, SS433 produce un jet puternic care are o perioadă de precesie de 164 de zile și mătură gazul din rămășița de supernovă, deformând astfel rămășița de supernovă într-o formă de cocon, așa cum se vede în imaginea nr. 2 (stânga).

Este foarte interesant că rămășițe similare au fost observate în jurul câtorva ULXs, ca de exemplu X-2 din galaxia NGC 1313 (imaginea nr. 2, dreapta). Aceste rămășițe de supernovă pot acționa ca un calorimetru pentru a măsura radiația emisă de ULX.

¹ Colbert, E. J. M., & Mushotzky, R. F., 1999, *The Nature of Accreting Black Holes in Nearby Galaxy Nuclei*, The Astrophysical Journal, 519, 89.



Imaginea nr 2. Stânga: rămășița de supernovă W50 în jurul microquasarului SS433. Dreapta: o nebuloasă similară se poate vedea în jurul unui ULX din galaxia NGC 1313

Gazul din ele este ionizat de radiația puternică și folosind linii spectrale de energie înaltă (cele de energie joasă pot fi produse și de radiații mai puțin puternice provenite de la stele fierbinți) se poate estima radiația emisă de ULX, independent de măsurătorile în raze X (care pot fi colimate)².

Numeroase observații de spectroscopie în raze X au sugerat la început că ULXs ar conține IMBHs. În ultimii ani, însă, balanța s-a înclinat în favoarea ipotezei super-Eddington, marea majoritate a ULXs putându-se explica ca obiecte compacte cu masă stelară. Numai două ULXs prezintă evidență semnificativă că ar conține IMBHs (ESO243-9 X-1 și M82 X-1).

Pe de altă parte, observațiile în domeniile optic, infraroșu și radio continuă să ofere noi date în sprijinul ipotezei super-Eddington. Deoarece ULXs radiază mult mai puțin în aceste benzi de energie, aceste observații sunt dificile și nu se pot face decât cu cele mai performante telescoape (*Hubble*, *Spitzer*). Totuși, în puține cazuri, s-au observat variații periodice, și în cel puțin un caz acestea au dovedit că obiectul compact nu este un IMBH (P13 din galaxia NGC 7793). Poate cea mai importantă descoperire în domeniul ULXs din ultimii ani a fost publicată recent în prestigioasa revistă *Nature*³. Folosind noul telescop de raze X NuStar, cercetătorii au descoperit că ULX-ul X-2 din galaxia M82 conține de fapt un pulsar cu perioada de 1.3 s. Luați prin surprindere de această descoperire, numeroși teoreticieni încearcă acum să explice cum e posibil ca o stea neutronică să producă o acreție și o luminozitate așa de mare. Se pare că secretul e câmpul magnetic foarte puternic, dar multe întrebări rămân deschise. Câte dintre ULXs ar putea de fapt să conțină asemenea pulsari? Există într-adevăr IMBHs? Sunt ULXs o clasă eterogenă de obiecte?

Bibliografie

- Bachetti, M., Harrison, F. A., Walton, D. J., et al., 2014, *An ultraluminous X-ray source powered by an accreting neutron star*, *Nature*, 514, 202.
- Berghea, C. T., Dudik, R. P., Weaver, K. A., & Kallman, T. R., 2010, *The First Detection of [O IV] from an Ultraluminous X-Ray Source with Spitzer. I. Observational Results for Holmberg II ULX*, *The Astrophysical Journal*, 708, 354.

² Pakull, M. & Mirioni, L., 2002, *Optical Counterparts of Ultraluminous X-Ray Sources*, in *New Visions of the X-ray Universe in the XMM-Newton and Chandra Era* (Noordwijk: ESTEC), (arxiv:astro-ph/0202488); Berghea, C. T., Dudik, R. P., Weaver, K. A., & Kallman, T. R., 2010, *The First Detection of [O IV] from an Ultraluminous X-Ray Source with Spitzer. I. Observational Results for Holmberg II ULX*, *The Astrophysical Journal*, 708, 354; Berghea, C. T., & Dudik, R. P., 2012, *Spitzer Observations of MF 16 Nebula and the Associated Ultraluminous X-Ray Source*, *The Astrophysical Journal*, 751, 104.

³ Bachetti, M., Harrison, F. A., Walton, D. J., et al., 2014, *An ultraluminous X-ray source powered by an accreting neutron star*, *Nature*, 514, 202.

- Berghea, C. T., & Dudik, R. P., 2012, *Spitzer Observations of MF 16 Nebula and the Associated Ultraluminous X-Ray Source*, *The Astrophysical Journal*, 751, 104.
- Colbert, E. J. M., & Mushotzky, R. F., 1999, *The Nature of Accreting Black Holes in Nearby Galaxy Nuclei*, *The Astrophysical Journal*, 519, 89.
- Pakull, M. & Mirioni, L., 2002, *Optical Counterparts of Ultraluminous X-Ray Sources*, in *New Visions of the X-ray Universe in the XMM-Newton and Chandra Era* (Noordwijk: ESTEC), (arxiv:astro-ph/0202488).

ULTRALUMINOUS X-RAY SOURCES

Ultraluminous X-ray Sources (ULXs) continue to raise intriguing questions about their nature and the source of the powerful X-ray emission. Three decades of observations of hundreds of ULXs with the best X-ray, optical, infrared and radio telescopes provided a wealth of information. It is now generally agreed that the source of the powerful radiation is accretion on a compact object, but what is his nature? The suggestion that ULXs could harbor intermediate-mass black holes has raised hopes of finding the “missing link” between stellar-mass and supermassive black holes at the center of galaxies. However the evidence is so far lacking in most cases and the super-Eddington and microquasar hypotheses are now more widely accepted. Quite unexpectedly, a well-known ULX was recently shown to contain a pulsar, adding more questions to the puzzle. The future will show if ULXs contain intermediate-mass black holes, stellar-mass black hole or neutron stars, or maybe all of these...