

Durant tota la història de la humanitat i fins a la primera meitat del segle XX s'havia estudiat l'univers únicament mitjançant la radiació visible que emeten els astres, la qual pot ser captada amb els nostres ulls o amb els telescopis òptics. El 1932, però, l'enginyer nord-americà Karl Jansky va detectar, amb una antena construïda per ell mateix, ones de ràdio provinents de l'espai exterior. Aquest fet, que en un principi podria semblar sorprenent, no ho és si pensem que la llum visible és només un dels tipus de radiació electromagnètica en què es manifesten els fenòmens naturals. Els diferents processos físics que ocorren en els astres poden alliberar energia en forma d'ones electromagnètiques que van des de les freqüències ràdio fins als raigs gamma, passant per l'infraroig, el visible, l'ultra-

Observació del cel amb radiotelescopis

El cas del microquàsar Cygnus X-3

Josep Martí, Josep Maria Paredes i Marta Peracaula

“Cygnus X-3 ejecta dolls o jets de plasma en direccions oposades al 50% de la velocitat de la llum. En la darrera època d'observació, els dolls de plasma s'estenen sobre una mesura comparable a 100 vegades la del Sistema Solar, la qual cosa és un factor 10 més gran del que s'esperava. Això permetrà comprendre millor alguns dels fenòmens més energètics de l'univers”

violat, i els raigs X. Segons el tipus de procés físic que domini en un astre, aquest emetrà preferentment un tipus de radiació o un altre. Cap de les radiacions que acabem de mencionar, amb l'excepció de la llum visible i les ones ràdio, no pot travessar l'atmosfera terrestre, i s'han d'observar mitjançant detectors en òrbita. Probablement per necessitats de l'evolució, els nostres ulls són sensibles a la banda del visible de l'espectre d'ones electromagnètiques. Si, per exemple, només fossin sensibles als raigs X, l'atmosfera no ens permetria gaudir de l'espectacle que ens ofereix una nit estel·lada lluny de qualsevol ciutat, i si ho fossin a la banda ràdio aleshores veuríem un cel molt diferent al que percebem.

El descobriment de Jansky va marcar l'inici de la radioastronomia com a ciència que estudia el cel mitjançant antenes o receptors d'ones ràdio, altrament dits radiotelescopis, i va ampliar considerablement la gamma de fenòmens astronòmics que poden ser analitzats. Un exemple clar de la contribució immediata de la radioastronomia va ser la determinació de l'estructura espiral de la nostra galàxia mitjançant l'observació de l'emissió a 1.420 MHz de l'hidrogen neutre, que omple l'espai interestel·lar.

Observant el cel amb radiotelescopis. Perquè els radiotelescopis tinguin prou sensibilitat per detectar senyals astronòmics han de tenir unes dimensions considerablement grans. Actualment, la majoria de les antenes utilitzades per fer recerca radioastronòmica a Europa tenen plats de desenes de metres de diàmetre i, en concret, l'antena del Max-Planck-Institut für Radioastronomie, prop de Bonn, en té cent.

Per altra banda, com més gran sigui un radiotelescopi, amb més detall o resolució es podran cartografiar els objectes astronòmics. Per augmentar aquesta resolució sense necessitat d'haver de construir antenes de mesures tècnicament impossibles, ha sorgit un mètode, anomenat interferometria ràdio, que consisteix a combinar els senyals rebuts per diverses antenes d'una mateixa regió del cel. La resolució acon-

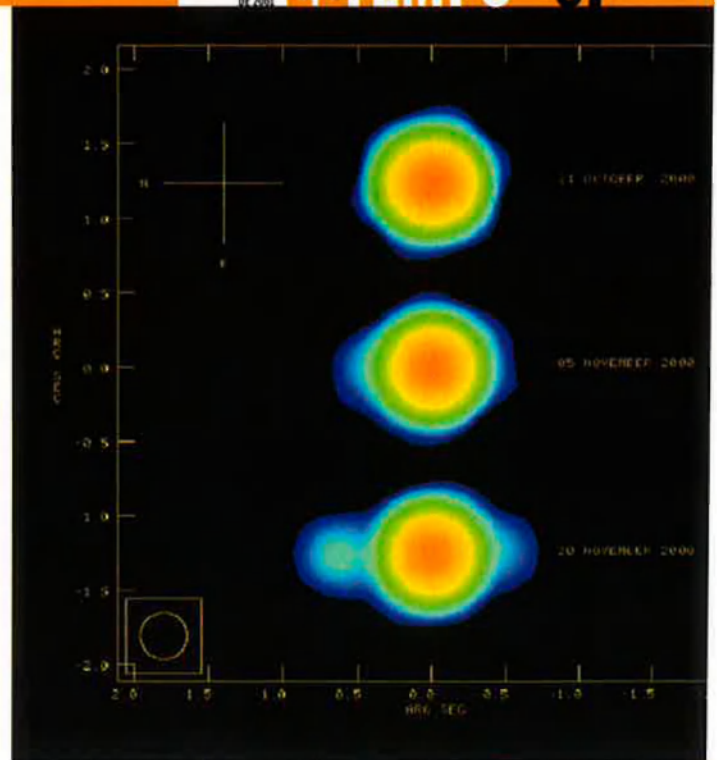
seguida amb aquesta tècnica augmenta amb la separació de les antenes involucrades. S'han construït instruments formats per grups d'antenes separades per desenes de quilòmetres i connectades entre elles. A un instrument així se l'anomena radiointerferòmetre i, potser, l'exemple més emblemàtic és el VLA (acrònim de l'anglès Very Large Array), que pertany al NRAO (National Radio Astronomy Observatory) i està situat a Nou Mèxic (Estats Units). Consta de 27 antenes mòbils de 25 metres de diàmetre cadascuna (veieu la figura adjunta) i pot arribar a reproduir la resolució que tindria una antena de 36 km de diàmetre. La radio interferometria també s'aplica amb antenes separades per centenars i milers de quilòmetres, assolint-se resolucions equivalents a la que necessitaríem per veure una persona estirada sobre la superfície de la Lluna des de la Terra. En aquest cas, la tècnica s'anomena VLBI (Very Long Baseline Interferometry) i normalment implica la utilització simultània de grans instruments situats en diversos països i continents. Els esforços econòmics, tecnològics i de coordinació que representa el funcionament d'aquests instruments tan sofisticats fan que la concessió de temps d'observació sigui oberta a tothom però es faci després d'una estricta avaluació, per part de comitès internacionals d'experts, dels projectes a desenvolupar. Això ha permès que nosaltres puguem accedir a aquesta instrumentació i, per tant, utilitzar instruments de primera línia en la recerca astronòmica.

Des de fa més d'una dècada, el nostre equip treballa en l'estudi dels objectes anomenats microquàsars i estels binaris de raigs X emissors en ràdio, observant-los amb assiduitat amb radiointerferòmetres i amb VLBI, analitzant els resultats, interpretant i modelitzant les dades obtingudes i buscant-ne de nous. A continuació us explicarem què són aquests objectes i el resultat més recent que hem obtingut amb un d'ells, el qual ha estat publicat en portada a la prestigiosa revista especialitzada *Astronomy & Astrophysics*.

Els quàsars i els microquàsars. Durant la segona meitat del segle XX van ser detectats uns astres que emetien quantitats d'energia equivalents a l'emesa per milers de milions d'estels, i que es trobaven a distàncies properes als límits de l'univers conegut. Varen ser denominats "quàsars" (acrònim en anglès de Quasi Stellar Radio Source) a causa de la seva semblança, només aparent pel seu aspecte puntual, amb un estel. Actualment s'admet que un quàsar és un sistema format per una galàxia que té en el seu centre un forat negre supermassiu. El forat negre captura o acreta material (gas, pols i estels) de la pròpia galàxia. La matèria es dirigeix cap al forat negre en una espiral descendent o disc d'acreció, i aquest, en escalfar-se per viscositat, emet radiació. Perpendicularment al disc, per pressió i mecanismes de natura magnetohidrodinàmica, s'ejecten dolls de matèria en direccions oposades i a velocitats relativistes, és a dir, properes a la velocitat de la llum ($c=300.000$ km/s).

Per tant, els quàsars són objectes que estan fora de la nostra galàxia (extragalàctics) i a grans distàncies de nosaltres. Cadascun és en si una galàxia que conté milers de milions d'estels com el sol (masses solars) i que té la peculiaritat que al centre de la galàxia hi ha un forat negre supermassiu que actua d'accelerador de dolls de partícules cap al medi intergalàctic.

En l'última dècada els astrònoms hem assistit al reconeixement d'un tipus d'objectes, no classificats fins fa poc, que per les seves característiques físiques i morfològiques se'ls ha denominat microquàsars. Es tracta d'objectes de la nostra pròpia galàxia que presenten mecanismes físics d'acceleració de partícules i d'emissió de radiació molt semblants als llunyans quàsars. Un microquàsar és un sistema estel·lar binari, format per un estel normal orbitant entorn d'un forat negre o d'un estel de neutrons (objecte compacte en qualsevol cas) d'unes poques masses solars. Aquest objecte compacte acreta matèria de l'estel normal lligada a ell gravitatòriament. Com en el cas extra-



CYGNUS X-3

MARTI, PAREDES & PERACAU LA

Seqüència d'imatges de Cygnus X-3 obtingudes amb el VLA per l'equip on es veu el desenvolupament de dolls emissors d'ones ràdio.

La separació vertical entre cada parell d'imatges és proporcional al temps transcorregut entre les successives èpoques d'observació (uns 15 dies). Els colors indiquen la brillantor de l'emissió. Així, la zona central (nucli) que apareix ataronjada és més brillant, i els lòbuls a dreta i esquerra (dolls) que són més febles apareixen en colors blavosos. La asimetria aparent entre els dos lòbuls s'explica per la teoria de la relativitat especial i permet deduir propietats del sistema que els autors detallen en els càlculs del treball de la revista *Astronomy & Astrophysics*. La mesura del sistema en la tercera època d'observació equival a cent vegades la del Sistema Solar.

galàctic dels quàsars, i pels mateixos mecanismes, es forma un disc d'acreció que radia i uns dolls de matèria expulsada del sistema a velocitats relativistes. Aquests dolls poden ser detectats i cartografiats amb mètodes radiointerferomètrics. La radiació del disc d'acreció és principalment en forma de raigs X, i per això els microquàsars són un subgrup del sistema anomenats estels binaris de raigs X. En un microquàsar els processos d'acreció i ejecció de matèria esdevenen molt més ràpidament que en un quàsar.

Aquest fet està relacionat amb la gran diferència de massa que hi ha entre el forat negre central d'un quàsar i l'objecte compacte d'un microquàsar. Així, un fenomen que en un microquàsar succeeix en pocs minuts o hores, en un quàsar el seu anàleg succeeix en segles o mil·lennis. Aquest és el motiu principal pel qual l'estudi dels microquàsars ha despertat tant d'interès: són un laboratori perfecte per comprovar els efectes previstos per la teoria de la relativitat especial i la física al voltant d'un forat negre en escales de temps molt més ajustades a la vida humana que en els quàsars. El juny de 2000 es va fer públic el descobriment per part del nostre equip d'un nou microquàsar anomenat LS5039. El mètode deductiu que vàrem seguir en la recerca, així com el fet que fos el primer microquàsar trobat amb emissió gamma d'alta energia, va fer que el treball fos publicat a la revista d'alt impacte *Science*. Seguint aquesta línia de recerca, recentment hem obtingut resultats molt nous de l'històric microquàsar Cygnus X-3.

El microquàsar Cygnus X-3. Cygnus X-3 és la tercera font de la constel·lació del Cigne que va ser descoberta com a emissora de raigs X i va poder ser ràpidament classificada com a estel binari de raigs X. Pocs anys després, el 1972, va sorprendre els astrònoms amb un increment sobtat de brillantor en la seva emissió ràdio, que en pocs dies, es va multiplicar per un factor mil, per tornar a normalitzar-se en pocs dies més. Aquests fenòmens eruptius s'han anat repetint des d'aleshores a un ritme d'un o dos per any, però no tenen un període determinat, la qual cosa complica extremadament la planificació de la seva observació. Se sospitava que les erupcions de Cygnus X-3 estaven associades a l'ejecció de núvols o dolls de matèria a velocitats properes a la de la llum o relativistes, però aquest extrem no havia estat confirmat inequívocament mitjançant una observació directa.

El 1999, el nostre equip va enviar una proposta d'observació a l'interferòmetre ràdio VLA, que ja hem descrit, argumentant la importància d'observar Cygnus X-3 en les setmanes posteriors a una de les seves impredecibles erupcions, fins i tot si això implicava interrompre el funcionament normal del VLA. El comitè d'experts del NRAO va aprovar la sol·licitud, malgrat aquestes exigències, donat l'interès científic que, previsiblement, tindrien els resultats en cas d'èxit.

Després de més d'un any d'espera, per fi, el setembre del passat any 2000, Cygnus X-3 va experimentar una de les seves grans erupcions. El nostre equip va alertar d'immediat els responsables de l'interferòmetre i les observacions es van iniciar diligentment. D'aquesta manera vàrem obtenir l'ansiada seqüència d'imatges en tres èpoques diferents, amb un interval de dues setmanes entre imatge i imatge (veieu la figura adjunta). En efecte s'hi veu com Cygnus X-3 ejecta dolls o jets de plasma en direccions oposades al 50% de la velocitat de la llum. La asimetria entre els dolls oposats és deguda a efectes relativistes que discutim en detall a l'article de la revista especialitzada *Astronomy & Astrophysics*, de la qual la imatge n'ha estat la portada el passat mes d'agost. En la darrera època d'observació, els dolls de plasma s'estenen sobre una mesura comparable a 100 vegades la del Sistema Solar, la qual cosa és un factor 10 més gran del que s'esperava trobar. Aquesta mena de resultats permetrà sens dubte comprendre millor alguns dels fenòmens més energètics de l'univers a la vegada que no deixen de bocabadar els científics.



Imatge aèria del radiointerferòmetre VLA. Cadascun dels plats de les antenes fa 25 metres de diàmetre.

Josep Martí
(Universidad de Jaén),
Josep Maria Paredes
i **Marta Peracaula**
(Universitat de Barcelona)