

# ASTRONOMIA GRAVITATÒRIA: UNA FINESTRA A L'UNIVERS

José M<sup>a</sup> Ibáñez\*

LES ONES GRAVITATÒRIES SÓN GENERADES PELS ESDEVENIMENTS MÉS CATASTRÒFICS I ENERGÈTICS DE L'UNIVERS. ELS OBSERVATORIS D'ONES GRAVITATÒRIES, TANT TERRESTRES (EN CONSTRUCCIÓ MOLT AVANÇADA) COM EN L'ESPAI (EN FASE D'ESTUDI) PRETENEN ANALITZAR LA INFORMACIÓ CONTINÜADA EN LA RADIACIÓ GRAVITATÒRIA EMESA PER FENÒMENS TAN ESPECTACULARS COM LA COL·LISIÓ DE DOS FORATS NEGRES, DE DOS ESTELS DE NEUTRONS, LES EXPLOSIONS SUPERNOVA, O TAMBÉ SOBRE LES PRIMERES ETAPES EN LA FORMACIÓ DE L'UNIVERS.

Fa 500 anys, el jove Nicolau Copèrnic reflexionava, dins de la cosmogonia aristotèlica, sobre el lloc que ocupa la humanitat a l'univers. Ja estava immers en aquest procés creatiu quan va visitar Roma el 1500, amb motiu de les celebracions de l'Any Sant Jubilar. Probablement va conèixer personalment el papa Alexandre VI (Roderic de Borja, exbisbe de València), qui va crear l'Estudi General (23 de gener de 1501) mitjançant dues butlles pontifícies, ratificades un any després pel rei Ferran el Catòlic i que, d'aquesta manera, donen origen a l'actual Universitat de València.

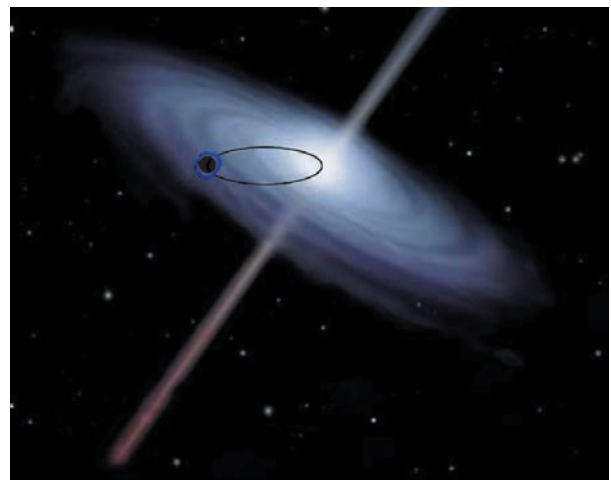
Les conclusions de Copèrnic, que destronaven la Terra del seu paper de centre de l'univers, van enfonsar la visió aristotèlica del cosmos i es coneixen, actualment, com la revolució copernicana. El seu impacte –tant des del punt de vista científic com social– és comparable al de la teoria newtoniana de la gravitació (finals del segle XVII) i al de la teoria de la gravitació d'Einstein (la relativitat general, principis del segle XX).

La gravitació és una força universal extraordinàriament dèbil si la comparem amb altres tipus d'interaccions. És per això que la gravitació només domina a escales astronòmiques, governa tant el moviment dels objectes celestis com la formació i evolució dels estels, les galàxies i el mateix univers. L'astronomia és, doncs, el laboratori natural de la física gravitatòria.

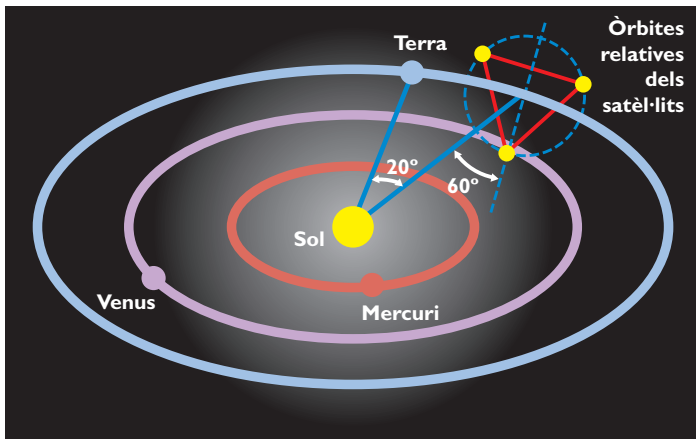
El 1974, R. Hulse i J. Taylor (llorejats amb el premi Nobel de Física en 1993) van descobrir el púlsar binari PSR1913+16. Es tracta d'un sistema format per dos estels de neutrons pròxims que giren al voltant del seu centre de masses de manera que completen una volta en a penes 8 hores. Se sap, després de més de vint anys d'observacions, que aquest període orbital disminueix amb el temps, de manera que ambdós estels acabaran col·lidint. Només la teoria de la gravitació d'Einstein

prediu l'esmentada variació temporal del període orbital de PSR1913+16. El camp gravitatori del dit sistema varia amb el temps. A diferència de la teoria newtoniana, en la qual els canvis en el camp gravitatori es propaguen instantàniament a la resta de l'univers, en la teoria d'Einstein aquests canvis es propaguen a velocitat finita (la de la llum) per mitjà d'ones gravitatòries.

A diferència de les ones electromagnètiques, tan familiars per a nosaltres, ciutadans que vivim submergits en un espai radioelèctric, les ones gravitatòries són pertorbacions de l'espai-temps (les quatre dimensions que defineixen l'existència humana: lloc on es desenvolupa la nostra activitat i durada temporal) originades pel moviment de grans masses (de l'ordre de la massa del nostre Sol, o majors) a grans velocitats. Es tracta d'un fenomen físic pel qual es comunica la informació sobre l'existència de camps gravitatoris variables originats en cataclismes celestis com ara la col·lisió de dos estels de neutrons.



Forat negre massiu en una galàxia activa.



Configuració dels tres satèl·lits de la missió LISA.

En un model simplificat, considerem un laboratori imaginari en què hi ha un sistema de partícules les distàncies del qual són ben conegudes. Al pas d'una ona gravitatòria aquestes distàncies variaran, però ho faran en una quantitat extraordinàriament petita.

Els detectors d'ones gravitatòries de segona generació, els basats en la interferometria làser, han de ser capaços de detectar canvis relatius en la distància entre dos punts –al pas d'una ona gravitatòria– inferiors a  $10^{-21}$ . Aquesta quantitat és equivalent a pretendre detectar una variació d'un centímetre en la distància entre dues partícules (del nostre detector imaginari) que estigueren separades una distància de  $10^{16}$  quilòmetres, que és cent milions de vegades la distància entre el Sol i la Terra, o si es prefereix, la distància que recorreria la llum en mil anys.

L'Agència Espacial Europea i la NASA han acordat unir esforços per a portar endavant la missió LISA (Laser Interferometer Space Antenna). Si se superen tots els problemes tècnics, LISA seria posada en òrbita l'any 2011. Això suposaria posar en l'espai un complex sistema format per tres satèl·lits que ocuparien els vèrtexs d'una configuració triangular de cinc milions de quilòmetres per banda, el baricentre dels quals estaria en l'eclíptica (trajectòria de la Terra al voltant del Sol) retardada en  $20^\circ$  respecte de la Terra. LISA permetrà reduir el límit de detecció mencionat anteriorment en més de dos ordres de magnitud, és a dir, podrà mesurar variacions relatives de distàncies tan petites com  $10^{-23}$  i ope-

rar a freqüències per sota de l'hertz.

L'eventual detecció d'ones gravitatòries tindrà un impacte decisiu en el coneixement científic sobre les pròpies fonts, tant d'origen astrofísic com cosmològic, i sobre els corresponents mecanismes generadors. Es podran fer passos fonamentals en: 1) Cosmologia. Existeix –a nivell teòric– una radiació gravitatòria de fons generada en els primers instants de l'univers primitiu. La radiació gravitatòria procedent de la col·lisió d'estels de neutrons o de forats negres –en sistemes binaris– aporta informació sobre la distància de la font, la qual cosa permetrà determinar amb precisió la constant de Hubble i el paràmetre de deceleració. 2) Astrofísica. He esmentat les col·lisions de binàries compactes (estels de neutrons i forats negres) el senyal de les quals en forma de radiació gravitatòria aportarà informació sobre aquests successos extraordinàriament energètics. En el cas de la col·lisió d'estels de neutrons, el senyal adequadament correlacionat amb altres raigs electromagnètics (en particular, raigs  $\gamma$ ) suposarà un pas important en el coneixement sobre la teoria d'evolució d'estels bi-

naris compactes i sobre la física subjacent. En particular, serà possible conèixer els paràmetres que defineixen el sistema i per tant, en el cas d'una binària d'estels de neutrons, es podrà conèixer: a) la distància de la font, un dels problemes clau en astronomia. b) La massa dels estels de neutrons, de manera que s'ampliarà el coneixement sobre les propietats de la matèria nuclear, la qual cosa, al seu torn, constitueix un dels problemes clau en física nuclear.

Des de finals de l'any 2000, un grup de científics de deu centres europeus (entre ells la Universitat de València) han treballat

**«DES DE FINALS DE L'ANY 2000, UN GRUP DE CIENTÍFICS DE DEU CENTRES EUROPEUS (ENTRE ELLS LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA) HAN TREBALLAT EN L'ESTUDI DE FONTS ASTROFÍSQUES DE RADIACIÓ GRAVITATÒRIA, FINANÇATS AMB FONNS EUROPEUS»**

en l'estudi de fonts astrofísiques de radiació gravitatòria, finançats amb fons europeus, dins del que, en el V Programa Marc, es denomina una xarxa europea. Amb el suport de les institucions responsables de la política científica en el nostre país i, òbviament, amb el dels joves investigadors que s'unesquen a aquesta aventura científica, podem estar presents, de manera activa, tant en els alboros com en el posterior desenvolupament de la nova finestra d'observació de l'univers que s'obrirà en els pròxims anys, la de l'astronomia de les ones gravitatòries. ☺

\* Departament d'Astronomia i Astrofísica, Universitat de València