

La nova finestra a l'univers

La recent i històrica detecció d'ones gravitacionals, predites a la teoria general de la relativitat, enceta una nova era en l'estudi de l'univers. S'acaba d'engegar una missió espacial que té una important participació catalana i que pretén provar la tecnologia necessària per construir un detector espacial d'ones gravitacionals.

Reportatge d'Àstrid Bierge

Durant milers d'anys l'ésser humà ha alçat la mirada al cel per intentar esbrinar els misteris de l'univers. Fins ara, tot el que hem conegut del cosmos ha estat gràcies a la informació que ens porten des de l'espai les ones de l'espectre electromagnètic. De la mateixa manera

que podem distingir els instruments musicals d'una cançó que sentim, les diferents freqüències que poden tenir les ones electromagnètiques ens porten informació sobre la naturalesa dels seus llocs de procedència, ja siguin les minúscules estrelles de neutrons o les immenses constel·lacions de galàxies. Viatgen

per l'espai i el temps fins arribar als nostres sensors biològics o tecnològics, que les desxifren per crear una imatge. Aquestes ones informen els astrònoms i astrofísics sobre la ubicació dels objectes i successos que les van generar, de què estan fets, com es mouen, quina temperatura tenen o com i quan exploten.

Al costat, reproducció de *LISA Pathfinder*, una nau pensada per provar la tecnologia necessària per construir un observatori espacial d'ones gravitacionals. A sota, les fortes interaccions gravitacionals generen ones en el teixit espai-temps prou potents perquè puguem detectar-les.

Durant molts segles només vam saber desxifrar –primer amb els ulls i després amb els telescopis– la informació transportada per les ones de la llum visible per a l'ull humà. Al llarg del segle XX, però, vam desenvolupar sensors tecnològics que ens van obrir l'angle de visió a tot l'espectre electromagnètic. A mesura que apreníem a detectar i analitzar la informació que transporten les diferents ones de l'espectre, aconseguíem un nou dibuix de l'univers que mostrava detalls que abans no coneixíem. Per exemple, les microones ens van ensenyar que l'univers havia començat amb el Big Bang i els rajos X ens van donar informació sobre els forats negres.

Les ones electromagnètiques són i seguiran sent una cabalosa font d'informació sobre l'univers. A partir d'ara, però, no seran l'única. Amb l'anunci fet el febrer passat confirmant la detecció d'ones gravitacionals, hem trobat un nou canal d'informació que obre una nova era en l'astronomia. A mesura que s'afini la detecció i l'anàlisi d'aquestes ones, podrem “veure” noves realitats on la llum ens deixa a les fosques. A més, la informació que en podrem obtenir no només serà nova sinó també més nítida. A diferència de les ones de llum, les gravitacionals no es distorsionen ni s'alteren quan interaccionen amb la matèria a mesura que avancen per l'espai, i per tant poden carregar informació “pura” sobre els objectes i els esdeveniments que les van originar.

Einstein ja ho va dir

La teoria general de la relativitat, publicada per Albert Einstein l'any 1915, va reformular la visió newtoniana de la gravetat. La teoria unifica l'espai i el temps en el teixit espai-temps. La gravetat ja no apareix com una força d'atracció entre objectes, com va postular Newton, sinó que és simplement un efecte causat per la geometria del teixit espai-temps, que es corba amb la massa dels objectes (igual que el cos d'un nen corba un llit elàstic). Dit d'una altra manera, si la Ter-

ra orbita al voltant del Sol no és perquè el Sol hi exerceixi una força d'atracció, sinó perquè la Terra segueix la trajectòria més simple a través del teixit espai-temps, corbat per la massa del Sol.

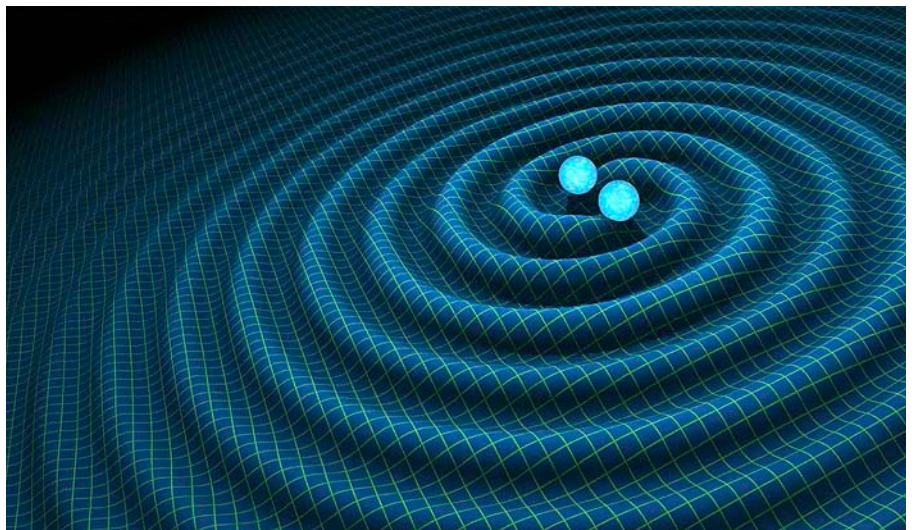
Doncs bé, poc després de publicar la teoria general de la relativitat, Einstein es va adonar que els models matemàtics de la teoria preveien l'existència d'ones gravitacionals. Si el teixit espai-temps és prou flexible per ser corbat –va reflexionar– també hauria de poder vibrar, ondular. De la mateixa manera que una pedra llançada a una bassa genera ones d'aigua, tot cos en moviment, va dir Einstein, ha de provocar distorsions, ones, en el teixit espai-temps. Mentre que les ones electromagnètiques i de so viatgen a través de l'espai i les d'aigua ho fan a través de l'aigua, les ones gravitacionals es propaguen a través del teixit espai-temps.

Púlsars

L'existència de les ones gravitacionals previstes matemàticament per Einstein va ser demostrada empíricament –i indirectament– a principi dels anys 70 gràcies a un púlsar. Els púlsars són un tipus d'estrelles de neutrons que emeten radiació periòdica, és a dir, un feix llum

que des de la Terra veiem com a discontinu. Com si fos un far, cada cop que rota i entra en el nostre angle de visió en veiem la llum. La periodicitat d'aquests batecs de llum és extremadament estable, com els tics d'un rellotge. De fet, els púlsars són sovint anomenats els rellotges còsmics i han estat molt útils en astronomia des del seu descobriment, a final dels anys 60.

L'any 1974 Joseph Taylor i Russell Hulse, emposos per la fallera del moment, estaven buscant nous púlsars. Un dels que van trobar era tan especial que el seu descobriment, vint anys més tard, els va acabar donant un Nobel. Quan el van observar van detectar que les pampallugues de llum que en rebien, normalment tan estables, es comportaven de manera estranya. Havien descobert el primer púlsar en un sistema binari. És a dir, el seu púlsar estava orbitant una altra estrella de neutrons. Els models matemàtics d'Einstein predeien que un sistema tan energètic com aquest havia d'emetre una forta radiació gravitacional que provocaria que les seves òrbites s'encongessin i que el seu període orbital s'escurcés. Es van anar mesurant els canvis en les òrbites al llarg dels anys i els resultats que s'anaven obtenint →



→ eren clavats als que preveien els models matemàtics de la relativitat general. Així, quedava demostrat que les ones gravitacionals existeixen i quedava validat un dels pilars de la teoria d'Einstein. I sí, això val un Premi Nobel de Física.

Detecció directa

Una cosa és comprovar de manera indirecta que un fenomen existeix i l'altra és crear els instruments necessaris per poder detectar-lo de manera directa. És així com se'n pot treure informació. Einstein va assegurar que mai no seríem capaços de detectar les ones gravitacionals que preveia la seva teoria. Aquí és on es va equivocar. Amb raons de pes, però el fet és que va subestimar la capacitat dels seus descendents científics.

Segons les fórmules del geni, quan una ona gravitacional es propaga a través del teixit espai-temps, el teixit s'estira i s'arronja amb el pas de l'ona i, de retruc, també s'estira i s'arronja la matèria que està continguda dins del teixit. Per visualitzar-ho, pensin en una onada. Quan som al mar i ens travessa, el nostre cos primer puja i després baixa. En el cas de les ones gravitacionals, literalment allarguen i escurcen la matèria al seu pas. Qualsevol massa en acceleració genera aquestes ones i l'efecte de l'estira i arronja, però perquè nosaltres puguem tenir una mínima oportunitat de detectar-ho calen grans esdeveniments còsmics que generin grans interaccions gravitacionals, com un sistema binari d'estrelles de neutrons, la fusió de dos forats negres o una supernova, que és l'explosió d'una estrella gran. Tot i així, les distorsions creades per una ona gravitacional provinent d'aquests cataclismes segueixen sent microscòpiques, per això Einstein va pensar que mai no podríem detectar-les.

El 2002 es va posar en marxa LIGO, un observatori pensat per detectar els efectes irrisoris de les ones gravitacionals. De fet, es van construir dos detectors, un a l'estat de Louisiana i l'altre a Washington. Funcionen de la mateixa manera, si se'n van fer dos només va ser per poder assegurar els resultats. És a dir, en cas de detectar una ona gravitacional, els científics volien estar segurs que el senyal era real, no el resultat de les condicions de l'entorn d'un dels dos detectors.

Cada detector té la forma d'una L però amb els dos braços de la mateixa mida, concretament de quatre quilòmetres. Del vèrtex de la L en surten dos rajos de llum làser, un per cada un dels braços. Quan cada raig arriba al final del seu braç, rebota en un mirall i torna al vèrtex, on les dues onades de llum arriben exactament alhora i es fusionen formant un patró d'interferència concret, sempre el mateix. I així una vegada i una altra. Si resulta que per allà hi passa una ona gravitacional, estirarà un dels braços i arronsarà l'altre. Recordem que l'efecte és microscòpic. Cada braç del detector variarà poquíssim de mida: l'amplada del nucli d'un àtom. Tot i així, ara els rajos de llum no trigaran exactament el mateix en arribar al vèrtex perquè la distància ja no serà la mateixa i, per tant, quan es fusionin, el patró d'interferència serà diferent. Aquesta diferència és mesurable.

El model de primera generació de LIGO va estar operatiu fins al 2010 i no va trobar res. Els instruments no eren prou sensibles. No és gens fàcil trobar ones gravitacionals prou "potents" –entre cometes perquè sempre són extremadament febles– ja que els grans cataclismes que les generen no passen constantment. Per exemple, a la Via Làctia, de mitjana, hi ha una supernova cada cinquanta anys. El setembre del 2015 es va posar en marxa un model de segona generació més sensible i capaç de detectar ones gravitacionals que vinguin de successos molt més llunyans i, per tant, se'n va augmentar molt la probabilitat de detecció. De fet, només uns dies després d'activar-se va haver-hi la primera detecció de la història, un esdeveniment que va ser anunciat amb eufòria al febrer. Concretament, es van detectar les ones activades per una col·lisió que va ocórrer fa mil tres-cents milions d'anys entre dos forats negres que eren entre vint-i-nou i trenta-sis cops més grans que el Sol.

Proves espacials

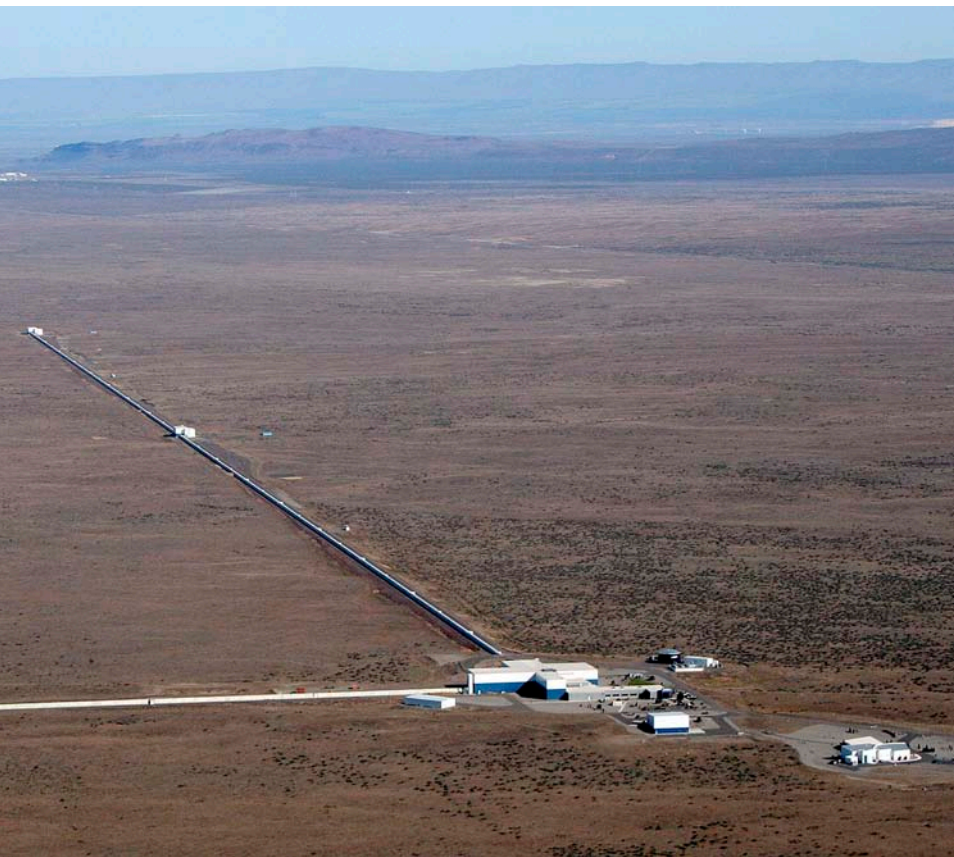
De la mateixa manera que un telescopi a l'espai capta més bones imatges que si és a la Terra, un detector d'ones gravitacionals també seria més efectiu a l'espai. Entre altres coses, perquè seria més sensible a les ones gravitacionals de freqüència més baixa, que a la Terra queden tapades pels moviments sísmics. Perquè sí, també hi ha un espectre gravi-



tacional que inclou ones amb diferents freqüències, i per això en podem extreure informació.

L'Agència Espacial Europea vol construir un detector espacial que es dirà eLISA i serà llançat, si tot va bé, cap a l'any 2034. A principi del mes de març es va llançar a l'espai *LISA Pathfinder*, una nau que durant sis mesos estarà provant les tecnologies necessàries per construir l'observatori eLISA. Concretament, *LISA Pathfinder* està dissenyat per aconseguir que dos cubs de 46 mm assoleixin un estat de caiguda lliure que seria el més pur aconseguit fins avui. Un objecte en caiguda lliure és aquell que només rep la influència de la gravetat. Fins i tot a l'espai existeixen forces capaces d'alterar els cubs, com la radiació i el vent solar, i cal aconseguir aïllar-los de tota influència no gravitacional. Un cop aconseguides aquestes condicions, només l'efecte d'una ona gravitacional seria capaç de variar la distància entre els dos cubs, que s'està mesurant contínuament.

Durant els propers mesos, els científics experimentaran amb els cubs aplicant-los diverses forces per estudiar-ne la reacció. Per exemple, elevaran



LIGO, l'observatori que ha aconseguit detectar ones gravitacionals per primer cop a la història.

distància massa curta per poder captar les febles ones en el teixit espai-temps. La variació de la distància causada per les ones gravitacionals és tan petita que els cubs hauran d'estar separats per aproximadament un milió de quilòmetres i la tecnologia haurà de ser capaç de detectar canvis d'una bilionèsima part d'un metre.

Aquesta serà la missió de l'observatori espacial eLISA. Les diferents freqüències de les ones gravitacionals que detecti poden donar informació força precisa sobre els paràmetres físics dels forats negres i d'altres objectes espacials: la massa, la ubicació, la rotació, el moment angular, etc. A més, Sopena ens explica que en l'univers primitiu va haver-hi processos altament energètics que podrien haver generat un fons d'ones gravitacionals. Si es detectés aquest fons podríem obtenir informació sobre l'inici de l'univers. Les deteccions d'eLISA també permetran comparar les observacions dels forats negres amb el model teòric que estableix la relativitat general per a aquests objectes, i poden trobar d'aquesta manera possibles errors de la teoria d'Einstein. "Fins ara no se n'ha trobat mai cap", destaca Sopena. Qui sap si, paradoxalment, les ones gravitacionals acabaran servint per reformular la immensa teoria que les va predir. ●

la temperatura del cilindre al buit on es troben, escalfant les poques mol·lècules de gas que hi quedin –el buit mai pot ser total– per mesurar l'efecte en els cubs. També se'ls aplicaran forces elèctriques i magnètiques per saber quanta força cal per influir en l'estat de caiguda lliure dels cubs.

El grup d'Astronomia Gravitacional-LISA de l'Institut de Ciències de l'Espai, amb seu a la Universitat Autònoma de Barcelona, té un paper molt destacat

en la missió LISA Pathfinder. El coordinador del grup, Carlos F. Sopena, ens explica que durant els últims deu anys han estat dissenyant l'ordinador que hi ha a bord i que controla els experiments, processant les dades que generen per enviar-les a la Terra. A més, han produït els sensors tèrmics, elèctrics i magnètics necessaris pels experiments.

LISA Pathfinder, però, no és capaç de detectar ones gravitacionals. Els cubs només estan separats per 38 cm, una

Avancem junts



Port de Barcelona

Port de Barcelona, el primer *hub* logístic del sud d'Europa.