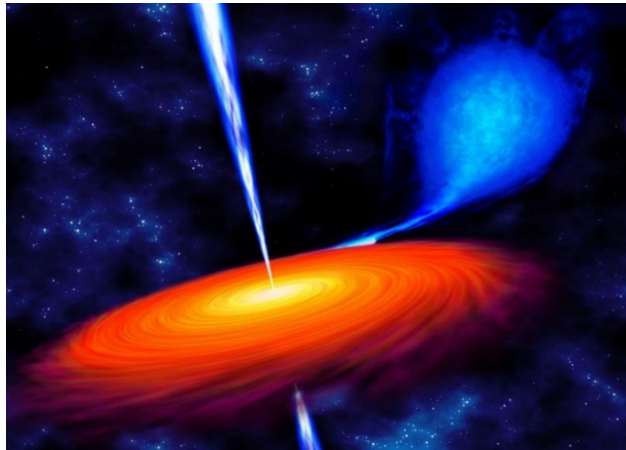


# CERCANT SENYALS ERRANTS D'ONES GRAVITACIONALS CONTÍNUES PROCEDENTS DE SCORPIUS X-1 A O3

## Què estam cercant?

Fins avui dia, les ones gravitacionals registrades pels detectors de la col·laboració LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) han estat produïdes per una col·lisió d'objectes astronòmics molt pesats, com ara **estels de neutrons** o forats negres. No obstant això, aquestes no són les úniques ones gravitacionals que es poden observar. Un cas més esquiú són les ones contínues; és a dir, aquelles que són emeses *continuament* per alguna font. Potencialment, aquest tipus d'ones contínues pot obrir un nou camí en la comprensió de l'univers. El problema és que aquests senyals continus són extremadament dèbils, per la qual cosa la seva possible detecció implica combinar dades durant períodes de temps llargs.

Una font prometedora per a aquestes ones gravitacionals contínues són els estels de neutrons, objectes extremadament densos que giren molt ràpidament, generant camps gravitatoris extrems. Tot i que existeixen diversos mecanismes pels quals un estel de neutrons pot generar ones gravitacionals contínues, un cas senzill seria considerar una asimetria o protuberància a l'escorça d'aquesta. A mesura que l'estel de neutrons gira, aquesta asimetria crearia ones gravitacionals contínues, de manera similar a la forma en què una hèlix genera ones a l'aigua.



**Figura 1.** Impressió artística del sistema binari d'objectes de baixa massa que emet raigs X Scorpius X-1. (Cortesia de Ralg Schoofs).

## Per què és Scorpius X-1 una font ideal d'ones gravitacionals?

Scorpius X-1 és un **sistema binari d'objectes de baixa massa que emet raigs X**, és a dir, un sistema compost per un estel de neutrons en òrbita amb un estel de baixa massa que generalment es denomina companya. Una propietat característica d'aquest tipus de sistemes és el flux de gas de l'estel companya cap a l'estel de neutrons, en un procés anomenat **acreció**. Aquest fenomen genera raigs X, de tal manera que a major accreió, més raigs X es produeixen.

Com que l'acreció pot generar una asimetria a l'estel de neutrons, fonts que generen molts raigs X són bones candidates per intentar detectar ones gravitacionals contínues. Llevat del Sol, Scorpius X-1 és la font més brillant de raigs X al nostre cel, la qual la converteix en una candidata ideal per cercar aquest tipus de senyals. Aquest és el motiu per dur a terme les cerques d'ones gravitacionals contínues procedents de Scorpius X-1 als períodes d'observació O1 (vegeu aquests resums: [O1 hidden Markov model analysis](#), [O1 CrossCorr analysis](#)), i O2 (vegeu aquest resum: [O2 hidden Markov model analysis](#)).

En canvi, cercar ones gravitacionals contínues generades per Scorpius X-1 té els seus problemes. En primer lloc, aquestes ones són emeses en harmònics (múltiples) de la freqüència de rotació de l'estel de neutrons, i en el cas particular de Scorpius X-1, no existeixen mesures d'aquesta freqüència. Això implica que la nostra cerca ha de cobrir un rang més ampli de freqüències per intentar trobar el senyal. En segon lloc, la naturalesa caòtica del procés d'acreció implica que la freqüència de rotació de l'estel de neutrons pot canviar de manera impredecible en el temps. A aquest darrer fenomen se'l coneix com freqüència de *rotació errant*.

## Com vàrem cercar ones gravitacionals contínues?

Hi ha diversos mètodes per cercar ones gravitacionals procedents de Scorpius X-1, com per exemple, fent servir una cerca CrossCor o Radiometer. Així i tot, per poder incloure la banda ampla de les freqüències, a més de la freqüència rotacional errant, empram una tècnica anomenada **model ocult de Markov**, el qual ens permet cercar eficientment senyals amb freqüències que varien lleugerament durant el període d'observació. Aquesta tècnica es basa a analitzar segments de deu dies d'observació i després reconstruir el camí més probable que hagi seguit la freqüència connectant tots aquests segments.

## VISITA LES NOSTRES PÀGINES WEB:

[www.ligo.org](http://www.ligo.org); [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu);  
[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)



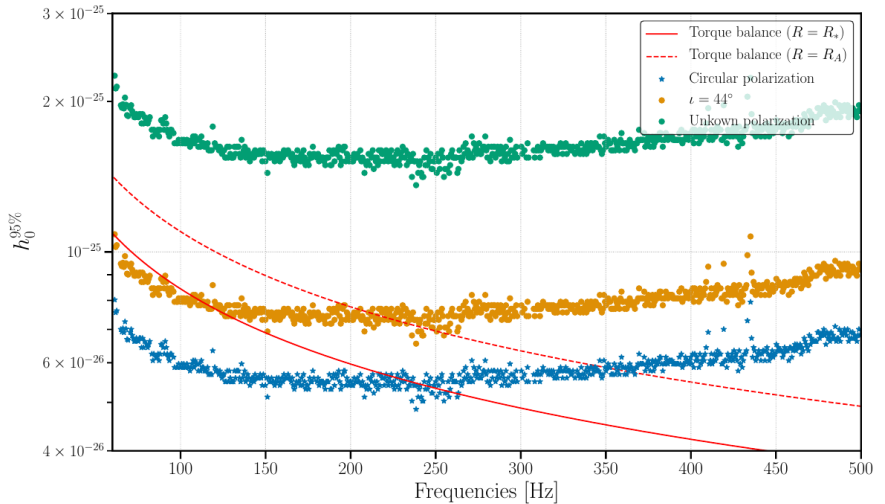
Per analitzar correctament cada segment, s'utilitza una estadística coneguda en anglès com a **J-statistic**. Aquesta eina fa servir informació sobre el sistema binari, com ara l'orientació del pla orbital, la posició de l'estel de neutrons en el sistema binari i el període orbital, i després converteix les dades dels detectors en la probabilitat que hi hagi un senyal present en una freqüència determinada. Això crea un problema addicional per a aquest tipus de cerca, perquè les mesures dels paràmetres del sistema binari tenen incerteses. Per millorar la sensibilitat, empram una malla de possibles valors per aquests paràmetres, similar a una xarxa de pescar, per intentar capturar el senyal. Avui dia, aquesta és la cerca més exhaustiva duita a terme fent servir el mètode ocult de Markov, per la qual es varen necessitar aproximadament sis mesos fent ús d'una **supercomputadora**!

## Resultats i perspectives de futur

No es va trobar evidència suficient d'ones gravitacionals contínues emprant les dades del tercer període d'observació (O3). Tot i que es varen considerar diversos candidats per a aquest senyal, l'explicació més raonable per descartar aquests són les fluctuacions al renou de fons dels interferòmetres que simulen senyals reals.

A partir d'aquesta anàlisi, vàrem poder imposar **fites superiors** al senyal, és a dir, estimar l'amplitud que hauria de tenir el senyal per haver estat detectat en aquesta cerca. Aquesta és la primera vegada que es fa servir el mètode ocult de Markov per cercar senyals que, en un rang de freqüències considerat, es troben per sota de l'amplitud màxima estimada teòricament. Les estimacions es mostren a la **Figura 2** amb les línies vermelles. Els punts de colors són les fites superiors.

Amb aquest nivell de sensibilitat, ens endinsam en terrenys inexplorats. Segurament, el següent període d'observació (O4), que involucra detectors millors i un període d'observació més llarg, durà resultats fascinants per a les pròximes cerques d'ones gravitacionals contínues de Scorpius X-1!



**Figura 2.** Fites superiors estimades a aquesta recerca per l'amplitud del senyal (eix vertical) com a funció de la freqüència cercada (eix horitzontal). Els punts verds representen les fites superiors sense tenir en compte la hipòtesi sobre l'angle d'inclinació de l'òrbita; els punts taronges representen les cotes superiors assumint un angle d'inclinació de 44 graus; els punts blaus representen el cas de polarització circular (és a dir, un angle d'inclinació nul). Les línies vermelles (puntejades i contínues) representen l'amplitud de deformació de les ones gravitacionals contínues assumint condicions ideals.

## GLOSSARI

**Estel de neutrons:** Romanent del col·lapse del nucli d'un estel al final de la seva evolució, normalment de 1.4 masses solars, però de pocs kilòmetres de diàmetre, cosa que fa que siguin objectes extremadament densos!

**Sistema binari d'objectes de baixa massa que emet raigs X:** Sistemes binaris composts d'un donant que acreta matèria a la seva companya, generalment un objecte compacte com una nana blanca, un estel de neutrons o un forat negre.

**Angle d'inclinació:** Angle entre el pla orbital de l'objecte i qualque pla de referència.

**Model ocult de Markov:** Tècnica per cercar senyals les freqüències de les quals varien aleatòriament.

**J-statistic:** Eina matemàtica que empra informació del sistema binari per convertir les dades de l'interferòmetre a la probabilitat que un senyal de certa freqüència estigui present en les dades.

**Supercomputadora:** Col·lecció de computadores interconnectades que permeten executar codis i programes molt costosos computacionalment de forma paral·lela, reduint el temps d'espera de manera considerable.

**Fita superior:** Valor màxim que pot tenir l'amplitud de deformació de l'ona gravitacional contínua per ser detectada amb un interval de confiança del 95%. En altres paraules, en cas d'existir un senyal d'aquesta magnitud a les dades, l'hauríem trobat 95 vegades en 100 intents.

## MÉS INFORMACIÓ

Visita les nostres pàgines web:

[www.ligo.org](http://www.ligo.org)

[www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)

Llegiu una preimpresió gratuïta de l'article científic complet [aquí](#)

Traducció al català per Diego García Bennàsar i Joan-René Mérou Mestre (a partir de la [versió original en anglès](#)).