

SONDEJANT LA POBLACIÓ D'ESTELS DE NEUTRONS I NÚVOLS DE BOSONS AL COR DE LA NOSTRA GALÀXIA

Segons les observacions astronòmiques, la regió propera al centre de la nostra galàxia, la Via Làctia, és un lloc molt actiu i densament poblat. En particular, els telescopis espacials com [Fermi-LAT](#) han mesurat un excés d'energia en forma de radiació electromagnètica d'alta energia procedent d'aquesta regió concreta del cel. Aquest excés suggereix que la regió que envolta el centre galàctic pot acollir una gran població d'**estels de neutrons**, juntament amb el ben conegut **forat negre** supermassiu Sagitari A* (Sgr A*, vegeu la Fig. 1). Com ocorre habitualment a la ciència, també hi ha altres hipòtesis sobre la causa d'aquest excés electromagnètic. En efecte, una altra possible explicació és la presència de **matèria fosca** que xoca amb si mateixa per produir una sobreabundància de radiació.

Una altra manera d'estudiar la composició d'aquesta regió extrema és mitjançant les ones gravitacionals. En particular, sabem que els estels de neutrons que giren amb certa asimetria de massa sobre el seu eix de rotació emeten un tipus particular d'ones gravitacionals caracteritzades per la seva naturalesa de vida llarga. S'espera que aquests senyals, encara no detectats, siguin almenys 100 vegades més febles que els **esdeveniments d'ones gravitacionals** detectats fins ara. Atesa la seva naturalesa de vida llarga, som capaços d'acumular potència del senyal durant tot el període d'observació analitzat, el que ens permet extreure aquests petits senyals del soroll. Addicionalment, s'espera que la freqüència de les ones gravitacionals de les fonts contínues no varïi massa amb el temps, a diferència del ràpid augment de la freqüència observat a les etapes finals de la coalescència de dos objectes compactes, com són tots els esdeveniments d'ones gravitacionals detectats fins ara (vegeu , per exemple, [aquí](#) i [aquí](#)).

S'espera que un forat negre en rotació envoltat d'un núvol de **bosons** ultralleugers, hipotètic candidat a la matèria fosca, emeti un senyal quasi monocromàtic similar. Aquest núvol es pot formar al voltant d'un forat negre rotatori gràcies a un efecte físic anomenat **superradiància**. Un cop format el núvol de bosons, començarà a dissipar-se, emetent ones gravitacionals a una freqüència proporcional a la massa dels bosons que formen el núvol. Aquesta evaporació es produeix bastant lentament, de manera que els senyals de les ones gravitacionals poden durar en alguns casos més de 100.000 anys abans que el núvol es dissipi completament.

Utilitzant dades de l'últim període d'observació dels interferòmetres LIGO i Virgo, busquem aquests senyals continus procedents dels **parsecs** interiors del centre galàctic. Atès que desconexim les freqüències emeses ni pels estels de neutrons ni pels sistemes de forat negre/núvol de bosons, investiguem una àmplia gamma de freqüències.

En específic, considerem freqüències d'entre 10 i 2000 **Hertz**, a la banda més sensible dels detectors. A més, també considerem la possibilitat que aquesta freqüència pugui variar a llarg termini. Per als estels de neutrons, la freqüència normalment disminueix (**spin-down**) a causa de la pèrdua d'energia mitjançant ones electromagnètiques o gravitacionals, tot i que també és possible un petit augment (és a dir, **spin-up**) com en el cas d'un estel de neutrons en rotació acretant matèria d'un company. Per als sistemes de forat negre/núvol de bosons, només esperem un petit augment de la freqüència com a conseqüència de l'aniquilació del núvol. També considerem que una petita freqüència aleatòria errant en el nostre model de senyal l'enrobusteix per a possibles desviacions de la teoria que descriu l'escenari d'emissió d'ones gravitacionals del núvol de bosons. Els sistemes de forats negres/núvols de bosons compostos per bosons amb masses entre $\sim 10^{-14}$ i 10^{-12} eV/c² (corresponent a $\sim 10^{-48}$ a 10^{-46} kg) emeten ones gravitacionals en aquest rang de freqüències.

FIGURES

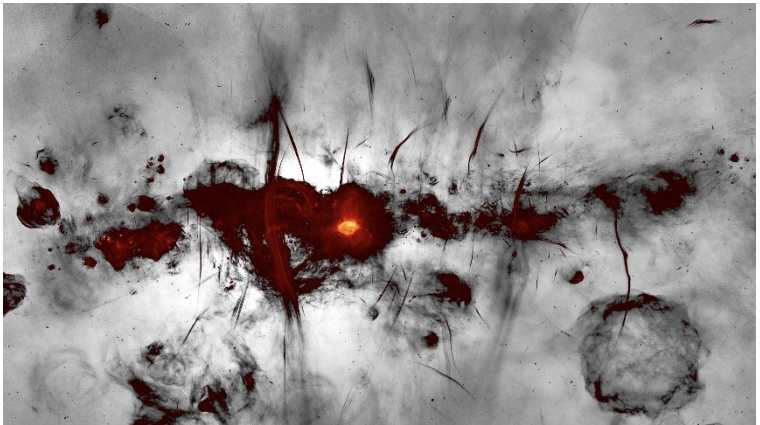


Figura 1: Imatge del telescopi [MeerKAT](#) del centre de la nostra galàxia mostrant les emissions de ràdio de la regió. El punt central més brillant és la localització del forat negre supermassiu Sgr A*. Vegeu [aquí](#) per obtenir informació sobre molts altres objectes d'aquesta imatge. La imatge cobreix una regió de ~ 2 graus horitzontalment, que equival a ~ 140 parsecs a banda i banda de Sgr A* assumint una distància de la Terra de 8000 parsecs. Hem cercat una regió centrada en la posició del cel de Sgr A* amb un radi de 300 parsecs a la freqüència més baixa del nostre rang, reduint la regió a 30 parsecs per a la freqüència més alta que considerem.
Crèdit: I. Heywood, SARAO

No es va detectar cap senyal significatiu durant aquesta cerca, el que significa que som capaços d'excloure la presència d'estels de neutrons que emeten ones gravitacionals amb amplituds superiors a un cert valor de la direcció del centre galàctic. Aquests límits signifiquen que hem estat capaços de limitar l'**el·lipticitat** no axisimètrica dels estels de neutrons en rotació al centre galàctic a ser tan baixa com 10^{-6} - 10^{-7} a la freqüència més alta (vegeu la Fig. 2). Per tant, estem començant a investigar els límits superiors teòrics de la màxima el·lipticitat possible esperada per als estels de neutrons composts per matèria normal. També podem utilitzar aquests límits per sondejar un escenari d'emissió alternatiu d'un estel de neutrons en rotació, aquí no a causa d'una deformació estàtica, sinó produïda per un tipus particular d'oscil·lacions que succeeixen a l'estel, anomenades **modos r**. Aquí podem excloure l'amplitud de saturació màxima teòrica estàndard en mode r de $\sim 10^{-4}$ per a freqüències de gir superiors a ~ 450 Hz.

Com que no hem trobat cap evidència d'ones gravitacionals, també podem excloure diverses combinacions de la massa bosònica/massa del forat negre, assumint un tipus de rotació determinat per al forat negre i edat del núvol de bosons determinada. Podem excloure senyals de sistemes amb un forat negre de massa entre 15 i 100 vegades la massa del Sol i masses bosòniques entre 10^{-13} i 10^{-12} eV/c² (vegeu la Fig. 3).

Glossari

Parsec: una unitat de distància que és igual a aproximadament 3,26 anys llum (31 bilions de quilòmetres o 19 bilions de milles).

Estel de Neutrons: una relíquia d'una estrella d'unes 10-25 vegades la massa del Sol que ha arribat al final de la seva vida. Normalment, un estel de neutrons té una massa d'aproximadament 1,4 vegades la massa del Sol i un radi de 10-15 km, la qual cosa el converteix en un objecte extremadament dens!

Forat Negre: una regió de l'espai-temps amb una gravetat tan intensa que impedeix que qualsevol cosa, inclosa la llum, s'escapi. Els forats negres tenen diferents mides: un [forat negre supermassiu](#) és aquell la massa del qual està entre unes 10^6 i més de 10^7 vegades la massa del Sol.

Matèria fosca: Aquesta forma misteriosa de la matèria representa al voltant del 85% de la massa de l'Univers. No sabem què és la [matèria fosca](#), però moltes teories sobre la matèria fosca predeuen que es tracta d'algun tipus de partícula fonamental que també pot formar objectes macroscòpics.

Esdeveniment d'ones gravitacionals: Les ones gravitacionals són petites fluctuacions de la gravetat ("ones en el teixit de l'espai-temps"): Les ones gravitacionals prou grans com per ser detectables només poden ser causades pel moviment ràpid d'objectes astronòmics massius. Un esdeveniment d'ona gravitacional és un senyal d'ona gravitacional identificat en el flux de dades d'un o més detectors d'ones gravitacionals.

Bosons: Classe de partícules elementals. Els [bosons](#) no obeeixen el [principi d'exclusió de Pauli](#) obeeix pels [fermions](#) (una altra classe de partícules elementals, com els electrons). Aquesta propietat permet que molts bosons ocupin el mateix estat quàntic alhora i formin objectes macroscòpics com els núvols de bosons que considerem.

Superradiància: un procés en què les partícules extreuen energia rotacional d'un objecte massiu que gira. En el cas dels núvols de bosons, un [camp bosònic](#) a les proximitats d'un [forat negre en rotació](#) es pot amplificar mitjançant la [dispersió superradiant](#).

Hz: L'abreviatura de [Hertz](#), una unitat de freqüència igual a un cicle per segon.

eV: L'abreviatura d'[electronvolt](#), una unitat d'energia que s'utilitza habitualment en física atòmica i de partícules. A causa de la relació entre energia i massa establerta per Einstein, $E = mc^2$, les masses de partícules es poden donar en unitats d'energia dividides pel quadrat de la velocitat de la llum, és a dir, eV/c². Per exemple, la massa de l'[electró](#) és de $5,11 \times 10^6$ eV/c² mentre que la massa del [neutrí](#), la partícula massiva més lleugera coneguda actualment, és inferior a 0,120 eV/c². Quan s'utilitza el sistema d'unitats naturals (que estableix $c = 1$), les masses s'expressen en eV.

El·lipticitat: Aproximadament, l'el·lipticitat es pot considerar com la relació entre la mida Δr de la deformació, o "muntanya" a la superfície d'un estel de neutrons, en comparació amb el radi de l'estel, r : $\Delta r/r$.

Modos r: Ones en un fluid en rotació, també conegudes com [ones de Rossby](#) i impulsades per la [força de Coriolis](#). Tenen una freqüència que és comparable a la freqüència de gir de l'estel, de manera que per als estels de neutrons joves, podrien estar a la banda de freqüència de LIGO i Virgo.

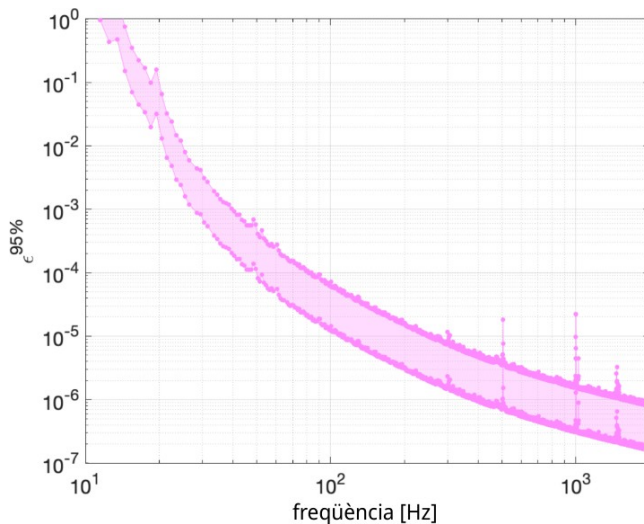


Figura 2: Límits superiors d'el·lipticitat assumint una distància al centre galàctic de 8000 parsecs, en funció de la freqüència en unitats de Hertz. L'àrea ombrejada entre les dues corbes cobreix el rang de valors dels possibles [moments d'inèrcia](#) d'estels de neutrons: un per al valor fiducial d'un estel de neutrons compost per matèria normal (corba superior) i un altre per a estels de neutrons amb components més exòtics (corba inferior).

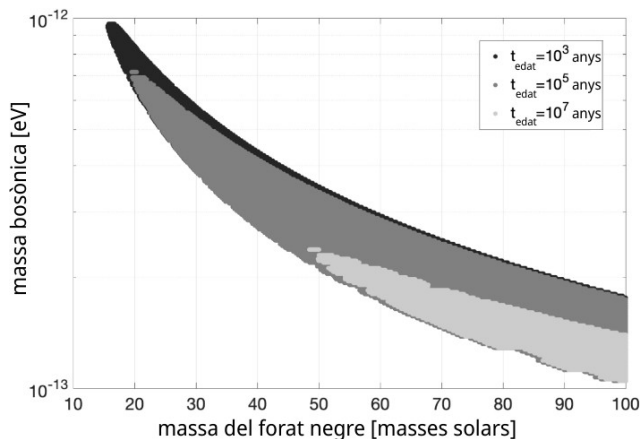


Figure 3: Restriccions al pla massa del forat negre - massa bosònica. Suposem forats negres en rotació a la meitat del màxim teòric amb núvols de bosons situats al centre galàctic (a una distància de 8000 parsecs). S'han considerat núvols amb diferents edats. Com que els núvols més joves emeten ones gravitacionals més fortes, podem delimitar un espai de paràmetres més ampli en aquest cas. Les àrees ombrejades, per a cada edat del núvol de bosons, representen les combinacions de massa del forat negre i massa bosònica que ara sabem que no estan presents al centre galàctic.

INFORMACIÓ ADDICIONAL:

Visita les nostres pàgines web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Llegeix l'article complet, Gratuït i en línia:

<https://dcc.ligo.org/P2100437/public>

<https://arxiv.org/abs/2204.04523>



Traducció al català per

Joan-René Mérou i Rafel Jaume Amengual