

Na čem pracujeme: Detekovatelnost gravitačních vln obíhajících černých děr

26.12.2023 - | Astronomický ústav AV ČR

Události, jež jsou zdrojem v současnosti prokázaných detekcí gravitačních vln, jsou výhradně spojeny s kataklyzmickou epizodou, kdy dojde ke splynutí kompaktních objektů. Nejčastěji jde o hmotné černé díry. Dvojice těchto objektů v závěrečné fázi kolem sebe při oběhu spiráluje. Nesymetrický pohyb je zdrojem gravitačních vln, které mají tím větším amplitudy, čím blíže k sobě černé díry během tohoto pohybu jsou. V okamžiku jejich splynutí událost vyvrcholí vytvořením jednoho kompaktního objektu, který už zdrojem gravitačních vln není.

Z tohoto hlediska byly detekované události vždy diskrétními zdroji, tedy do pozemských detektorů dorazily vždy jen gravitační vlny z jedné události. Spojení kompaktních dvojhvězd však není podle Einsteinovy teorie relativity jediným zdrojem gravitačních vln. Ty by se měly objevit vždy, když je přítomna výrazná nesymetrie látky. Amplitudy takových gravitačních vln jsou však řádově menší než při spojování černých děr, a proto jsou mimo detekční možnosti současných přístrojů.

To se však má v brzké době změnit. V plánu je hned několik přístrojů, mezi nimi i kosmické experimenty, které by měly být schopny detekovat i podstatně slabší zdroje. Těmi myslitelnými mohou být například těsná přiblížení kompaktních objektů, při nichž nedojde k jejich přímé srážce ani spojení.

Tak například takové kulové hvězdokupy. Přinejmenším desetitisíce starých hvězd v gravitačně vázané struktuře, kde běžně dochází k těsným tzv. hyperbolickým průletům. Současně se očekává, že v kulových hvězdokupách musí být vzhledem k jejich věku přítomno nemalé množství černých děr hvězdných hmotností, které sice přímo nepozorujeme, ale i ony by měly těmito průlety procházet. Tým odborníků z Oddělení galaxií a planetárních systémů ASU pod vedením Morteza Kerachiana se právě takovou situací zabýval. Cílem představované studie bylo odhadnout možnosti detekce gravitačních vln vyvolaných hyperbolickými průlety černých děr v hustých kupách přístroji následujících generací. Vzhledem k tomu, že k těmto událostem by ve vesmíru mohlo docházet relativně často, gravitační vlny od jednotlivých průletů by se v detektoru již překrývaly v čase a vytvářely tak jakési stochastické pozadí.

Takovou úlohu je možné řešit přísně numericky s využitím výkonných počítačů. Autoři představované práce ovšem získali odpovídající analytický model, tedy odvodili rovnice, které řešený problém zjednodušeně popisují. Výhodou analytického řešení je, že je pak možné velmi efektivně prošetřit výsledky pro celou řadu volných parametrů. A těch je v problému hned několik. Mezi ty nejdůležitější patří především limity na hmotnosti černých děr prolétajících kolem sebe, uvažované typické rychlosti hvězd v hvězdokupě a nakonec i jejich vzdálenost od pozorovatele.

Autoři se v této práci soustředili především na dva specifické případy. Na hyperbolické průlety, ke kterým dochází zejména v jádře kupy a pak na případy v širší oblasti jádra. Výsledky ukazují, že oba případy by měly generovat gravitační vlny, které jsou v rámci detekčních limitů chystaných přístrojů, např. Einsteinova dalekohledu nebo pozemní observatoře Cosmic Explorer. Detekovatelnost těchto událostí ale silně závisí především na charakteristické rychlosti hvězd v kupě a také na celkové hmotnosti systému.

Studie ukazuje, že pozorovací okno gravitačních vln se současným stavem rozhodně neuzavírá. Se

zvyšující se citlivostí se dá očekávat, že i četnost registrovaných událostí významně poroste a že nakonec budeme ve stavu, kdy se jednotlivé detekce budou překrývat a budou vytvářet pozadový signál. Tedy kdy se astronomie gravitačních vln dostane do podobného stavu jako je dnes astronomie založená na vlnách elektromagnetických.

M. Kerachian, S. Mukherjee, G. Lukes-Gerakopoulos a kol., *Detectability of gravitational wave stochastic background from weakly hyperbolic encounters*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2311.16634

<https://www.asu.cas.cz/articles/2214/19/na-cem-pracujeme-detekovatelnost-gravitacnich-vln-obihajici-ch-cernych-der>