

Gravitační vlny byly konečně polapeny

Petr Kulháněk

Gravitační vlny jsou jemné záhyby v předivu časoprostoru, které mohou být generovány mnoha způsoby. K nejznámějším patří oběh dvou hvězd (nejsilnější signál dávají obíhající kompaktní objekty, jako jsou bílí trpaslíci, neutronové hvězdy či černé díry). Gravitační vlny by ale mělo generovat jakékoli výrazně nesymetrické rotující těleso. Může jít také o nesymetrickou explozi supernovy, splynutí dvou kompaktních objektů nebo z období počátku vesmíru. Existenci gravitačních vln předpověděl na základě své obecné relativity Albert Einstein před 100 lety. Nakonec byly polapeny americkým detektorem LIGO. Objev byl oznámen na slavnostní tiskové konferenci ve Washingtonu dne 11. února 2016.

LIGO

Detektor LIGO je typický interferometrický detektor. Světlo generované laserem je rozděleno do dvou paprsků, které putují navzájem kolmými vakuovanými rameny k zavěšeným zrcadlům, od nichž se odrazí a v detektoru vytvoří interferenční obrazec. Z něho se dá vyčíst, zda se zrcadla zhoupla na gravitační vlně. Laser má výkon 200 W, ramena jsou dlouhá 4 kilometry, koncová zrcadla mají průměr 34 centimetrů a každé z nich hmotnost 40 kilogramů. Detektory jsou postaveny dva, jeden v Hanfordu (stát Washington, spravuje CalTech), druhý v Livingstonu (stát Louisiana, spravuje MIT). Jejich vzájemná vzdálenost je 3 500 km, což dobře umožňuje hledat koincidence signálu. Hlavním finančním mecenášem projektu je nadace NSF. Obdobné zařízení je v Itálii (Virgo), nicméně v době zachycení signálu nebylo v provozu.

Citlivost detektorů LIGO a Virgo je stále natolik malá, že není možná přímá detekce gravitačních vln generovaných blízkými dvojhvězdami. Přímá detekce gravitačních vln těmito detektory znamenala čekání na náhodu: asymetrickou explozi supernovy v naší Galaxii, splynutí neutronových hvězd nebo jiný katastrofický jev. Dne 14. září 2015 zachytily oba detektory LIGO podezřelý signál, jehož důkladná analýza trvala několik měsíců. Signál byl porovnáván s numerickými simulacemi různých zdrojů gravitačních vln. Nakonec bylo zjištěno, že se čekání na náhodu vrchovatě vyplatilo. Byl totiž polapen signál ze splynutí dvou černých děr. Každá z nich měla před splynutím hmotnost přibližně 30 Sluncí. Hmotnost nově vzniklé černé díry není pouhým součtem hmotností původních černých děr. Je nižší, protože se na gravitační vlny přeměnila látka o hmotnosti rovné přibližně trojnásobku hmotnosti Slunce. Signál přišel ze vzdálenosti 1,3 miliardy světelných roků, tj. zhruba z oblasti vzdálené desetinu rozměrů pozorovatelného vesmíru. Směrová charakteristika není příliš přesná, existuje jen odhad oblasti, ve které k této mimořádné události došlo. Jde o jižní oblohu v oblasti Magellanových oblaků (ta jsou ale samozřejmě mnohem blíže).

Doba celého impulsu trvala sotva sekundu (tak rychlá je závěrečná fáze splynutí černých děr). Maximum koresponduje s okamžikem splynutí obou objektů. Po splynutí signál zcela vymizí. Signály nepřišly k oběma detektorům LIGO ve stejný okamžik, gravitační vlna se šíří rychlostí světla, proto čelo vlny dorazilo ke každému z detektorů v jiný okamžik. Ve chvíli sloučení obou objektů se frekvence generované gravitační vlny zvýší až na 500 Hz. Tomu odpovídá vlnová délka 600 kilometrů. Balík gravitačních vln byl zachycen detektorem se vzdáleností zrcadel necelých 6 kilometrů. Ideální by samozřejmě byla vzdálenost odpovídající vlnové délce, takový detektor je ale na zemském povrchu technicky nerealizovatelný.

Závěr

První přímá detekce gravitačních vln je jakýmsi fyzikálním svátkem, je to dlouho očekávaný okamžik, který doslova otevírá další okno do vesmíru. Už víme, že je možné procesy ve vesmíru pozorovat pomocí gravitačních vln. Možná jednou přijde i okamžik, kdy zachytíme reliktní gravitační vlny, posly z období úplného počátku vesmíru, a dozvíme se, jak vznikl vesmír. Letošní objev ale není pouhou detekcí gravitačních vln. Je prvním pozorováním splnutí černých děr a ukazuje, že naše představy o černých dírách jsou správné. Tyto objekty kolem sebe mohou obíhat. Při každém oběhu ztrácejí energii díky vyzařování gravitačních vln a nakonec splynou v jedno jediné těleso. Fyzika získává nástroj k výzkumu extrémních jevů a dostává se do zcela nové etapy poznávání vesmíru. Je symbolické, že se tak stalo právě sto let po předpovědi existence gravitačních vln.



Gravitační vlny jsou jemné záhyby časoprostoru šířící se rychlostí světla. Zdroj: Pierre Binétruy, APC, Paris.