

Prosto z nieba: Jak trudno jest zagiąć czasoprzestrzeń?

Od ponad 100 lat, czyli od momentu opublikowania szczególnej, a później ogólnej teorii względności (odpowiednio, w 1905 i 1915 roku), czas i przestrzeń splecione są w opisie fizycznym w jeden byt zwany *czasoprzestrzenią*. Realne istnienie czasoprzestrzeni udowadnia się w eksperymentach i obserwacjach badających naturę grawitacji, m.in. bezpośrednich obserwacjach astrofizycznych fal grawitacyjnych, dokonywanych regularnie (obecnie średnio raz na tydzień!) przez detektory Advanced LIGO i Advanced Virgo. Słowa Johna Wheelera – który jest odpowiedzialny także za epitet „czarna dziura” – w opisie ogólnej teorii względności „czasoprzestrzeń dyktuje masie, jak się poruszać, a masa dyktuje czasoprzestrzeni, jak się zakrzywić”. Tę współzależność ilustruje równanie Einsteina:

$$\underbrace{R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu}}_{\text{geometria}} = \underbrace{\frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}}_{\text{masa-energia}}.$$

Ogólna teoria względności pozwala nam też oszacować, jak wiele energii „wtłaczanej” jest w czasoprzestrzeń w formie fal grawitacyjnych podczas ewolucji pary gwiazd neutronowych lub czarnych dziur, kosztem energii orbitalnej ich układu podwójnego: wynik to około 5% całkowitej początkowej masy-energii układu, co w przypadku masywnych gwiazdowych czarnych dziur typu GW150914 daje niebagatelne kilka M_{\odot} .

Odształcona przez masywne obiekty czasoprzestrzeń drga i przewodzi (transmituje) zmieniającą się w czasie deformację swojej własnej krzywizny. Deformacja (fala grawitacyjna) rozprzestrzenia się z prędkością światła, jak pokazała obserwacja zlania się gwiazd neutronowych GW170817 wykonana prawie jednocześnie przez detektory fal grawitacyjnych LIGO i Virgo oraz detektor promieniowania gamma (elektromagnetycznego) Fermi.

Jak porównać odształcanie czasoprzestrzeni z odształceniem zwykłych ziemskich materiałów? Z bezpośrednich detekcji wiemy, że zauważalne efekty (amplituda $h = \Delta L/L \simeq 10^{-21}$, co odpowiada zmianie długości ramion ΔL interferometrów LIGO i Virgo o mniej niż 10^{-18} m) wywołują zderzające się czarne dziury lub gwiazdy neutronowe odległe o wiele setek lub nawet tysięcy megaparseków (najbliższy zarejestrowany przypadek to wspomniany wcześniej GW170817 w galaktyce NGC 4993 odległej od Drogi Mlecznej zaledwie o 40 Mpc). Moduł Younga E sprężystego materiału poddanego sile F jest definiowany jako

$$E = \frac{F}{A} \frac{L}{\Delta L},$$

gdzie A to pole przekroju prostopadłego do przyłożonej siły; E ma wymiar ciśnienia (mierzonego w układzie SI w paskalach [$\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$]), czyli [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$].

Grawitacyjny analog modułu Younga sporządzimy przy użyciu analizy wymiarowej, biorąc dostępne w teorii stałe – stałą grawitacji $G = 6,67408(31) \cdot 10^{-11} [\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}]$ oraz prędkość światła $c \equiv 299\,792\,458 [\text{m s}^{-1}]$. Analiza wymiarowa daje

$$E \propto \frac{c^2}{G} f^2 = 4,5 \cdot 10^{27} f^2 \text{ Pa},$$

z wielkością f o wymiarze [s^{-1}], która dobrze pasuje do częstotliwości fal grawitacyjnych. Detektory typu LIGO i Virgo są czułe w szerokim zakresie częstotliwości, od około 10 Hz do paru tysięcy Hz, z maksimum czułości w okolicy 100 Hz, dla których moduł Younga $E \approx 4,5 \cdot 10^{22}$ GPa. Dla porównania, moduł Younga gumy to 0,1 GPa, nylonu od 2 do 4 GPa, drewna 10 GPa, brązu, mosiądzu, miedzi lub tytanu około 100 GPa, stali 200 GPa, a diamentu ponad 1000 GPa. Czasoprzestrzeń jest zatem 10^{19} razy sztywniejsza (mniej podatna na odształcenie) od diamentu!

Inspirowane odpowiedzią Rainera Weissa po wykładzie Hamilton Lecture Kipa Thorne’a pt. „Exploring the Universe with Gravitational Waves: From the Big Bang to Black Holes and Colliding Stars”.

Michał BEJGER

Niebo w styczniu

Rok 2020 to ostatni rok drugiej dekady XXI wieku. Można go nazwać **rokiem planet Układu Słonecznego**. Na Merkurego zawsze można liczyć na przełomie zimy i wiosny (wieczorem) oraz na przełomie lata i jesieni (rano). Niestety w tym roku półkula północna ma pecha i podczas okresów dobrej widoczności Merkury oddala się od Słońca na jakieś 19° . Na półkuli południowej jest to nawet 9° więcej w związku z czym planeta wznosi się wyżej i można ją obserwować dłużej niż na półkuli północnej. Planeta Wenus, w przeciwieństwie do roku 2019, gdy była nieobserwowalna przez ponad 9 miesięcy, już od grudnia zeszłego roku jest widoczna na niebie wieczornym, z maksymalną elongacją pod koniec marca.

Wenus przejdzie przez Plejady 4 kwietnia i podąży ku spotkaniu ze Słońcem na początku czerwca. Potem przeniesie się na niebo poranne, by już od lipca się na nim rozgościć. Wenus pozostanie widoczna przed świtem do końca roku. Dzielne zakrycie Wenus przez Księżyc będzie widoczne z obszaru Polski 19 czerwca, natomiast 3 października planeta ta zbliży się na zaledwie $5'$ do Regulusa, najjaśniejszej gwiazdy Lwa. Planeta Mars pod koniec października znajdzie się w opozycji względem Słońca i choć nie osiągnie takiej wielkości i jasności jak w roku 2018, to jej parametry zmniejszą się tylko odrobinę. Za to wysokość jej górowania zwiększy się o ponad 30° , co oznacza znacznie lepsze warunki