

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. Słowami 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

obserwacyjne i bez porównania wyraźniejsze obrazy w teleskopach. Jowisz pokona kolejny gwiazdozbiór w swojej wędrówce po niebie i przeniesie się do Strzelca, zajmując mniej więcej tę samą pozycję co Saturn w zeszłym roku. Natomiast sam Saturn przesunie się jakieś 10° na wschód i obie planety prawie cały sezon spędzą przedzielone dystansem od 5 do 8° . Pod koniec roku, 21 grudnia, Jowisz przejdzie zaledwie $6'$ na południe od Saturna.

W ciągu roku zdarzą się cztery zaćmienia Księżyca, niestety wszystkie półcieniowe, i to częściowe. Tylko pierwsze z nich, już w styczniu, da się obserwować z Polski w całości. Dojdzie również do dwóch zaćmień Słońca: 21 czerwca obrączkowe, widoczne z południowej i zachodniej Azji, północno-wschodniej Afryki i południowo-wschodniej Europy. Północna granica zaćmienia częściowego zahaczy o południowo-wschodni koniuszek Polski. Z samego końca rogu Bieszczad, na południowy wschód od linii Wetlina–Czarna Góra tuż po świcie przez teleskopy z odpowiednim filtrem być może uda się dostrzec delikatne wyszczerbienie południowego brzegu jego tarczy o fazie mniejszej od 1%. Drugie zaćmienie, tym razem całkowite, zobaczą mieszkańcy Argentyny i Chile 14 grudnia.

Jak zawsze na początku stycznia, Ziemia przechodzi przez peryhelium swojej orbity, a maksimum swojej aktywności osiągają **meteory z roju Kwadrantydów**. Jest to obfity, lecz krótko promieniujący rój. Maksimum jego aktywności spodziewane jest 4 stycznia po godzinie 9 naszego czasu, a więc już w dzień. Ale w poprzedzającej je nocy można spodziewać się kilkudziesięciu meteorów na godzinę, a Księżyc w okolicach I kwadry nie przeszkodzi w obserwacjach. Na koniec nocy astronomicznej, około godziny 5:45, radiant roju wznosi się na wysokości ponad 60° nad wschodnim widnokregiem, czyli warunki obserwacyjne roju są w tym roku znakomite.

Ozdobą wieczornego styczniowego nieba jest planeta **Wenus**, która w trakcie miesiąca przejdzie od środka gwiazdozbioru Koziorożca do pogranicza gwiazdozbiorów Wodnika i Ryb, powoli wznosząc się coraz wyżej. Na początku miesiąca godzinę po zmierzchu planeta zajmuje pozycję na wysokości mniej więcej 13° nad zachodnim widnokregiem, by pod koniec miesiąca o tej samej porze wznosić się 10° wyżej. W tym czasie średnica tarczy planety zwiększy się tylko z 13 do $15''$, blask z -4 do $-4,1^m$, zaś faza spadnie z 82 do 73%. Pod koniec miesiąca, 28 stycznia, 5° na południe od Wenus przejdzie Księżyc w fazie 13%.

Również pod koniec stycznia do Wenus dołączy planeta **Merkury**, dążąca do maksymalnej elongacji wschodniej 10 lutego. Planeta zacznie pojawiać się w ostatnich dniach stycznia bardzo nisko nad zachodnim widnokregiem, świecąc z jasnością -1^m ponad 25° na prawo i w dół od Wenus, która może służyć za wskazówkę do odnalezienia planety. Na lepsze warunki do dostrzeżenia Merkurego trzeba poczekać do lutego.

Na ciemnym niebie dobrze widoczne są planety **Neptun** i **Uran**. Pierwsza z planet cały miesiąc spędzi na zachód od gwiazdy 4. wielkości λ Aqr, zbliżając się doń na $20'$. Pod koniec miesiąca, 27 stycznia, zaledwie $7'$ od Neptuna przejdzie planeta Wenus, znacznie ułatwiając jego identyfikację, a 10° pod parą planet znajdzie się sierp Księżyca w fazie 7%. Kilka godzin później Wenus przejdzie mniej niż $1'$ od λ Aqr, niestety w Polsce zbliżenie zasłoni widnokrąg. Możliwość jego obserwacji będą mieli mieszkańcy basenu Oceanu Spokojnego. W styczniu Neptun świeci blaskiem $+7,9^m$. Planeta Uran 11 stycznia zmieni kierunek ruchu na prosty, kończąc tym samym okres swojej najlepszej widoczności w tym sezonie obserwacyjnym. Planeta wędruje jakieś 10° na południe od najjaśniejszych gwiazd Barana. Siedem dni wcześniej 5° pod planetą przejdzie Księżyc, już w fazie 64% (I kwadra przypada 3 stycznia przed 6 rano). Jasność Urana wynosi $+5,7^m$, stąd planeta jest łatwo widoczna w lornetach i małych teleskopach.

Tarcza złotego Globu przetnie 7 stycznia gromadę gwiazd Hiday, mijając Aldebarana, najjaśniejszą gwiazdę Byka, równocześnie zwiększając fazę do 90%. Trzy dni później **Księżyc** przejdzie przez pełnię, wędrując niecały 1° od gwiazdy Wasat (δ Gem). Tej nocy Księżyc na cztery godziny wejdzie w półcień Ziemi, co u nas zaowocuje jego półcieniowym zaćmieniem. Zjawisko zacznie się o godzinie 18:07, z maksimum po godzinie 20, osiągając fazę 90%. Niestety efekt raczej nie będzie bardzo widoczny, gdyż w ciągu trwania zaćmienia część księżycowej tarczy pozostanie oświetlona przez całą tarczę Słońca. W trakcie zjawiska warto robić zdjęcia z takim samym czasem naświetlania i czułością, by potem je porównać. To chyba najlepszy sposób na ukazanie efektu takiego zaćmienia.

Pod koniec zeszłego roku maksimum aktywności osiągnęła **miryda R Leo**. W styczniu raczej nie da się jej dostrzec gołym okiem, ale powinna pozostać widoczna przez lornetki i małe teleskopy. R Leo góruje w drugiej połowie nocy i jest widoczna bardzo dobrze, jakieś 5° na zachód od Regulusa. Za to 20 stycznia prognozuje się maksimum innej słynnej mirydy, χ Cygni, znajdującej się w szyi Łabędzia. χ Cyg może znacznie przekroczyć 4^m , stając się łatwo widoczna gołym okiem. Natomiast w minimum blasku jej jasność może spaść poniżej 13. wielkości gwiazdowej i wtedy do jej dostrzeżenia potrzebny jest całkiem spory teleskop. Niestety styczeń jest najmniej korzystnym okresem do jej obserwacji. Wieczorem, na początku nocy astronomicznej, po godzinie 18 gwiazda wznosi się na wysokości 2° i zachodzi po 21, by pojawić się ponownie około 1:30, a po 4 godzinach dobić do wysokości prawie 30° po północno-wschodniej stronie nieba. Jeśli χ Cyg zbliży się do jasności $+3^m$, wyraźnie zmieni się kształt szyi Łabędzia. Gwiazda znajduje się niecałe 7° na północ od słynnej gwiazdy podwójnej Albireo, stanowiącej dziób ptaka w gwiazdozbiorze Łabędzia.

Ariel MAJCHER