

## Prosto z nieba: Czują zwiadowca

Detekcja i analiza fal grawitacyjnych jest stosunkowo nowym sposobem obserwacji Wszechświata. Dotychczasowe fale, wykrywane już praktycznie regularnie przez interferometry LIGO (znajdujące się w Hanford w stanie Waszyngton oraz Livingston w stanie Luizjana) oraz Virgo (Cascina obok Pizy we Włoszech) powstały w ostatnich chwilach życia układów podwójnych czarnych dziur o masie gwiazdowej (masy rzędu  $10 M_{\odot}$ ), lub gwiazd neutronowych (masy około  $1,5 M_{\odot}$ ). Rozmiar detektorów LIGO i Virgo (ramiona długości kilku kilometrów), a przede wszystkim ich lokalizacja – na powierzchni Ziemi – ogranicza czułość do przedziału częstotliwości od około 10 Hz do 8 kHz, a co za tym idzie, ogranicza typy astrofizycznych źródeł sygnału. Wszechświat w przedziale niższych częstotliwości jest równie fascynujący: zawiera, jak przewidujemy, układy podwójne supermasywnych czarnych dziur (podobnych do tej, która znajduje się w centrum naszej Galaktyki), a także mnóstwo układów podwójnych zwykłych gwiazd, np. białych karłów. Niewykluczone są też egzotyczne źródła fal, takie jak struny kosmiczne, czyli hipotetyczne jednowymiarowe defekty topologiczne, które mogły powstać w bardzo wczesnym Wszechświecie.

Niskie częstotliwości LIGO i Virgo ogranicza szum sejsmiczny, to znaczy drgania powierzchni Ziemi. Czułość w przedziale średnich częstotliwości (rzędu 100 Hz) jest zdominowana drganiami cieplnymi luster (mas testowych), od których odbija się światło interferometrów, natomiast wyższe częstotliwości limituje „szum śrutowy”, czyli korpuskularna natura światła.

Najlepszym rozwiązaniem jest przeniesienie detektora w przestrzeń kosmiczną. W stanie nieważkości masy testowe spadają swobodnie (poruszają się po geodezyjnych), więc ich względna odległość jest zaburzana jedynie przez przechodzące fale grawitacyjne, a nie skomplikowany wpływ środowiska, jak w przypadku luster interferometrów LIGO i Virgo. Marzeniem i wyzwaniem dla pokoleń astrofizyków jest zbudowanie takiego interferometru. Aktualnie realizowanym projektem jest Laser Interferometer Space Antenna (LISA), który będzie składać się z formacji trzech satelitów, tworzących trójkątny interferometr o boku 2,5 mln km. LISA zostanie umieszczona na

ziemskiej orbicie wokół Słońca, w odległości kątowej około  $20^{\circ}$  za Ziemią. Wnętrze każdego ze statków kosmicznych będzie zajmować system laserowy, służący do przechwytywania i emisji – w odpowiedniej fazie – sygnału z dwu innych statków, a przede wszystkim dwie masy testowe w idealnym stanie nieważkości.

Masy testowe detektora LISA to sześciany o boku 46 mm wykonane ze stopu złota i platyny, i ważące po 2 kg każdy. Satelity będą poruszać się w taki sposób, by nie zaburzać ich swobodnego spadku.

Decyzja o finansowaniu LISA nie została by zapewne podjęta, gdyby nie rozpoznawca, „zwiadowca” misja LISA Pathfinder, będąca testem kluczowych technologii niezbędnych do realizacji głównego projektu. LISA Pathfinder to miniaturowy interferometr (a w zasadzie jedno ramię o boku długości jedynie 40 cm), mierzący odległość pomiędzy dwoma testowymi złoto-platynowymi sześcianami z dokładnością do 0,01 nm. Sonda została umieszczona w punkcie Lagrange’a L1 układu Ziemia-Słońce i przebywała w tym miejscu przez prawie 16 miesięcy. W tym czasie przeprowadzono wiele testów: bezpieczne uwalnianie mas testowych w warunkach nieważkości, manewrowanie sondą w taki sposób, by zapewnić swobodny spadek mas (system sterujący, zwany „elektrosprejem” wykorzystuje odrzut rozprędzanych w polu elektrycznym cząstek koloidu), zdolność wykonywania interferometrii laserowej w zadanym przedziale częstotliwości (co do tej pory nie było przetestowane na Ziemi), a także trwałość różnych podsystemów sondy: czujników, laserów, optyki i elektroniki.

Końcowe wyniki LISA Pathfinder są bardzo optymistyczne: osiągnięta czułość LISA w przedziale fal o okresach oscylacji od około 10 s do nieco ponad pół dnia, jest o ponad 2 razy lepsza, niż początkowo planowano. LISA została niedawno zaakceptowana jako kolejna, po rentgenowskim satelicie Athena, „duża” misja Europejskiej Agencji Kosmicznej. Dzięki bardzo dobrym wynikom LISA Pathfinder początek misji LISA nastąpi najprawdopodobniej zgodnie z planem, to znaczy w 2034 roku.

*Michał BEJGER*

## Niebo w lipcu

Lipiec to pełnia lata. Często jest to najgorętszy, ale i najbardziej mokry miesiąc w całym roku. Zachmurzenie ma zazwyczaj charakter konwekcyjny, czyli w godzinach popołudniowych formują się chmury burzowe, które zanikają w pierwszej połowie nocy. Dlatego, mimo że noce są krótkie, są one pogodne. Niestety, ciepła noc oznacza, że powietrze silnie faluje, zakłócając obraz w teleskopach – im większe powiększenie, tym widok bardziej zdegradowany.

6 lipca Ziemia przejdzie przez aphelium, czyli najbardziej oddalony od Słońca punkt swojej orbity.

Tego dnia Ziemia jest o mniej więcej 5 mln km dalej od Słońca niż w styczniu, wskutek czego tarcza Słońca jest wtedy najmniejsza (lecz zmiana nie jest tak duża, jak w przypadku Księżycy – jedyne  $2'$ ), a Ziemia porusza się najwolniej w ciągu roku. Dzięki temu lato jest u nas kilka dni dłuższe niż zima. Ma to również znaczenie dla przebiegu zaćmień Słońca, które łatwiej wtedy zakryć Księżycowi w całości, dzięki czemu zaćmienia trwają dłużej.

23 lipca Słońce przekroczy równoleżnik  $20^{\circ}$  deklinacji w drodze na południe i od tego momentu dnia

zacznie szybko ubywać. W lipcu zmiana jeszcze nie jest aż tak duża, niewiele ponad godzinę, ale w następnych miesiącach proces ten nabierze szybszego tempa. Wraz z końcem miesiąca kończy się również sezon na obserwację łuku okołohoryzontalnego (więcej o tym zjawisku na angielskiej stronie: [www.atoptics.co.uk/halo/cha2.htm](http://www.atoptics.co.uk/halo/cha2.htm)). Nawet na południowych granicach Polski Słońce w południe jest już zbyt nisko, aby mogło dojść do tego zjawiska. To samo dotyczy sezonu na obłoki srebrzyste. Od początku sierpnia nawet nad morzem Słońce chowa się bardziej niż 18° pod widnokrąg i północna część nieboskłonu również pogrąża się w ciemnościach.

W lipcu najciekawsze zjawiska astronomiczne mają związek z Księżycem. Srebrny Glob zacznie miesiąc w fazie 93% od minięcia jasnego Marsa, 6 lipca przejdzie przez ostatnią kwadrę, a 13 lipca – przez nów, okraszając go częściowym zaćmieniem Słońca. Niestety, zjawiska nie da się dostrzec z Polski. Dwa tygodnie później Księżyc w pełni wejdzie w cień Ziemi i dojdzie do jego całkowitego zaćmienia.

Pełnia wypada 27 lipca o 22:20 naszego czasu, a nieco ponad 15,5 godziny wcześniej Srebrny Glob przejdzie przez apogeum, czyli najdalszy od Ziemi punkt swojej orbity. To oznacza, że księżycowa tarcza osiągnie minimalne rozmiary i poruszać się będzie najwolniej, a dodatkowo przejdzie ona blisko środka cienia Ziemi. To wszystko zaowocuje bardzo długim zaćmieniem, z fazą całkowitą trwającą ponad 100 minut! Jest to najdłuższe zaćmienie Księżyca w tym wieku. W Polsce Księżyc wejdzie już zanurzony w półcień, albo w cień Ziemi, ale w całym kraju da się obserwować bardzo długą fazę całkowitą, która zacznie się po 21:30 i skończy o 23:13 naszego czasu.

Dodatkową atrakcją zaćmienia jest fakt, że tego samego dnia wypada opozycja Marsa, która jest tzw. wielką opozycją. Podczas niej Mars zbliży się do Ziemi na około 57,6 mln km, osiągając jasność  $-2,8^m$ , czyli więcej od Jowisza i średnicę ponad  $24''$  (kolejne, jeszcze większe zbliżenie obu planet nastąpi ponownie dopiero w 2035 r.). Tego dnia Księżyc znajdzie się 6° na północ od Marsa, a planeta wejdzie 45 minut po nim. W lipcu Mars porusza się ruchem wstecznym na pograniczu gwiazdozbiorów Koziorożca, Mikroskopu i Strzelca, górując na niecałych 15°. Znacznie lepiej Czerwona Planeta zaprezentuje się za ponad 2 lata, podczas kolejnej opozycji w październiku 2020 r. Wtedy Mars będzie o  $0,2^m$  słabszy, jego średnica – o  $2''$  mniejsza, ale za to wysokość podczas górowania dojdzie do prawie 45°, oferując znacznie lepszy widok.

W lipcu mocno pogorszy się nachylenie ekliptyki do wieczornego widnokręgu, jednocześnie poprawi się jej nachylenie do widnokręgu porannego. Oznacza to, że będące blisko swoich maksymalnych elongacji wschodnich obie planety wewnętrzne, czyli Merkury i Wenus, w Polsce są praktycznie niewidoczne. Pierwsza planeta od Słońca 12 lipca osiągnie maksymalną elongację i to przekraczającą 26°, jednak tego dnia

zejdzie z nieboskłonu niecałą godzinę po Słońcu, a w trzeciej dekadzie lipca nawet mniej niż pół godziny po nim, mimo wciąż dużej elongacji. Planeta Wenus swoją maksymalną elongację osiągnie w połowie sierpnia, ale przez cały lipiec jest dalej niż 40° od Słońca. Jednak wysokość planety nad horyzontem godzinę po zmierzchu zmniejszy się z 10° na początku miesiąca do 3° pod jego koniec. W kolejnych miesiącach będzie jeszcze gorzej. Zatem Wenus można obserwować w pierwszej części miesiąca, jak przemierza gwiazdozbiór Lwa, świecąc blaskiem  $-4,1^m$ . W tym czasie jej tarcza urośnie do  $17''$ , a faza spadnie do 65%. 9 lipca Wenus przejdzie 1° na północ od Regulusa, najjaśniejszej gwiazdy Lwa, zaś 15 i 16 lipca minie ją Księżyc w fazie 11 i 19%. Warto jednak pamiętać o planetach wewnętrznych podczas wakacyjnych wyjazdów gdzieś na południe od Polski. Już na szerokości 40°N obie są widoczne bez kłopotu.

Wieczorem po południowo-zachodniej stronie nieba, nisko nad horyzontem, można obserwować Jowisza. W trakcie miesiąca warunki obserwacyjne planety także wyraźnie się pogarszają. O zmierzchu jest ona już po górowaniu i zachodzi niewiele po północy. 11 lipca Jowisz zmieni kierunek swojego ruchu z wstecznego na prosty, tym samym kończąc najlepszy okres widoczności w tym sezonie obserwacyjnym. Do końca lipca planeta osłabnie do  $-2,1^m$ , zmniejszając jednocześnie średnicę kątową do  $38''$ . Do tego dnia Jowisz zbliży się do gwiazdy Zuben Elgenubi na odległość 1,5 stopnia. Księżyc spotka się z Jowiszem w dniach 20 i 21 lipca. Najpierw w fazie 61% zbliży się na mniej niż 5°, do późniejszej fazy zwiększy się do 70%, odległość – do 10°.

Planeta z pierścieniami oraz planetoida (4) Westa są teraz tuż po opozycji i przesuwały się na zachód, około 11° od siebie, zwiększając dystans do gwiazdy Kaus Australis do 4,5 stopnia. Około 3° na zachód od Saturna, czyli w jednym polu widzenia lornetki, znajdują się para słynnych mgławic M20 i M8. Do końca miesiąca jasność Saturna spadnie do  $+0,2^m$ , ale jego tarcza utrzyma średnicę  $18''$ . Westa wędruje na pograniczu gwiazdozbiorów Strzelca i Wężownika, zbliżając się do zakrętu na niebie. 11 lipca planetoida przetnie linię, łączącą gwiazdę 5. wielkości 58 Oph i jaśniejszą o  $0,5^m$   $\xi$  Oph, kierując się ku gwieździe 3. wielkości  $\theta$  Oph, do której zbliży się na 2,5 stopnia. W lipcu jasność Westy spadnie z  $+5,8$  do  $+6,3$  magnitudo. Księżyc spotka się z Saturnem i Westą w dniach 23, 24 i 25 lipca na kilka dni przed pełnią, zbliżając się do obu ciał na około 4°.

Z ciekawych spotkań Księżyca z gwiazdami warto odnotować zakrycie gwiazdy 4. wielkości  $\xi 2$  Ceti, do którego dojdzie 8 lipca tuż przed świtem. Przez Polskę przejdzie północna granica zakrycia, z brzegówką na linii Police – Gryfice – Kołobrzeg. Gwiazda zniknie za jasnym brzegiem Księżyca w fazie 32% około godz. 4 na południe od tej linii, pojawiając się ponownie przy brzegu ciemnym kilkanaście – kilkadziesiąt minut później. Im bliżej Pomorza, tym zakrycie potrwa krócej.

*Ariel MAJCHER*