

## Prosto z nieba: Pomiary ekspansji Wszechświata

Dwadzieścia lat temu naukowcy zdali sobie sprawę, że Wszechświat nie tylko się rozszerza (to było wiadomo od pierwszej połowy XX wieku, z obserwacji Vesto Sliphera i Edwina Hubble'a), ale że proces ten przyspiesza. Za obserwacje udowodniające ekspansję Wszechświata Saul Perlmutter, Brian Schmidt i Adam Riess dostali w 2011 roku Nagrodę Nobla.

Ekspansja i rozmiar Wszechświata można powiązać poprzez stałą Hubble'a  $H_0$ : prędkość oddalania się galaktyki  $v$  jest proporcjonalna do odległości do galaktyki  $d$ ,  $v = H_0 d$ . Aby oszacować tempo rozszerzania się, potrzeba dokładnych pomiarów odległości, z czym – jak wiadomo – w astronomii jest zawsze trudno. Przedstawiona wyżej metoda wymaga dokładnie skalibrowanych „świec standardowych”, czyli obiektów/procesów astronomicznych o znanej jasności. Duże odległości wymagają jasnych świec standardowych, np. supernowych typu Ia (związanych z białymi karłami przekraczającymi krytyczną masę Chandrasekhara). Dokładna kalibracja oznacza natomiast zbudowanie wiarygodnej „drabiny odległości”, która używa wielu typów obiektów i metod pomiaru na „zazębiających się” odległościach, od niewielkich skal wewnątrz Galaktyki (używając metody paralaksy) poprzez gwiazdy pulsujące (np. cefeidy) aż do dużych skal, odpowiadających odległościom między galaktykami i gromadami galaktyk.



Druga metoda wykorzystuje cechy mikrofalowego promieniowania tła, wyemitowanego, gdy materia stała się po raz pierwszy w historii przeźroczysta dla fotonów. Poprzez dopasowanie modelu kosmologicznego do tych obserwacji można oszacować jeden z jego parametrów, stałą Hubble'a.

Do 2017 roku mieliśmy do dyspozycji te dwie metody pomiaru stałej  $H_0$  – niestety, obie metody dają statystycznie rozbieżne wyniki. Patową sytuację zmieniła nieco detekcja fal grawitacyjnych, wyemitowanych podczas ostatnich chwil układu podwójnego gwiazd neutronowych przez obserwatora LIGO i Virgo sygnału GW170817. Amplituda fal grawitacyjnych jest bezpośrednio związana z odległością do źródła – w przeciwieństwie do „świec standardowych”, „syreny standardowe” układów podwójnych nie wymagają drabiny odległości i kalibracji. Dobra lokalizacja źródła na niebie (wyłącznie za pomocą informacji z detektorów fal grawitacyjnych!) umożliwiła namierzenie źródła emisji elektromagnetycznej – początkowego błysku  $\gamma$  i późniejszej emisji kilonowej – w pobliskiej galaktyce NGC 4993, co z kolei dało pomiar jej przesunięcia ku czerwieni, czyli prędkości ucieczki galaktyki. W ten sposób uzyskaliśmy trzecią, niezależną metodę badania ekspansji Wszechświata.

Obserwatoria grawitacyjne LIGO i Virgo zaczynają właśnie trzecią kampanię obserwacyjną, O3, która potrwa rok. Przewidujemy, że przy obecnej czułości detektory będą wykrywać średnio jedno zjawisko „zapadnięcia się” układu podwójnego czarnych dziur na tydzień i średnio jedno zderzenie się układu podwójnego gwiazd neutronowych na miesiąc. Nie wszystkie te obserwacje będą połączone z emisją elektromagnetyczną, ale w przypadku części z nich na pewno da się zidentyfikować galaktyki, w których się znajdują, czyli uzyskać obserwacje podobne do GW170817 – i rozwiązać problem prawdziwej wartości stałej Hubble'a.

*Michał BEJGER*

## Niebo w marcu

Trzeci miesiąc roku zacznie się dobrą widocznością Merkurego na niebie wieczornym. Pierwsza planeta od Słońca pod koniec lutego oddaliła się od niego na ponad  $18^\circ$  i dąży do koniunkcji dolnej, przez którą przejdzie w połowie marca. Początkowo Merkury, godzinę po zmierzchu, zajmie pozycję na wysokości około  $6^\circ$  nad zachodnią częścią widnokregu. Planeta pozostanie widoczna przez pierwszy tydzień marca, stopniowo słabnąc od  $+0,1$  do  $+1,8^m$ . W tym samym czasie tarcza planety zwiększy średnicę z 8 do  $9''$ , zmniejszając przy tym fazę z 36 do 12%.

Na pożegnanie zanikający Merkury spotka się z Księżycem w fazie bardzo cienkiego sierpa. Srebrny Glob 6 marca po południu naszego czasu przejdzie przez nów i już następnego dnia, dzięki korzystnemu nachyleniu ekliptyki do wieczornego widnokregu, można próbować go dostrzec zaraz po zmierzchu nisko nad zachodnim nieboskłonem. Jednak jest to zadanie dla doświadczonych obserwatorów, gdyż pół godziny po zachodzie Słońca Księżyc znajdzie się na wysokości zaledwie  $1,5^\circ$  nad horyzontem, pokazując sierp w fazie 1%. Na pewno przy próbach jego odszukania

przyda się lornetka albo teleskop. Tego dnia jasność Merkurego osłabnie do  $+1,8^m$  i w tym momencie raczej nie da się go dostrzec. Dobę później Księżyc będzie dużo łatwiejszy do odnalezienia. Godzinę po zmierzchu pokaże się na wysokości  $7^\circ$ , w fazie 4%. Wtedy planeta Merkury znajdzie się  $14^\circ$  na zachód od Księżyca, świecąc z jasnością  $+2,3^m$  na wysokości  $1,5^\circ$ .

Przed minięciem Merkurego na początku miesiąca, jeszcze przed nowiem, Księżyc spotka się z dwiema planetami Układu Słonecznego: Saturnem i Wenus. W odróżnieniu od nachylenia wieczornego, na niebie porannym na przełomie zimy i wiosny ekliptyka nachylona jest niekorzystnie, stąd wszystkie przebywające blisko niej obiekty wznoszą się niezbyt wysoko ponad linię horyzontu, położone zaś blisko ekliptyki i jednocześnie blisko Słońca obiekty wschodzą tuż przed nim. Pierwszego dnia miesiąca Srebrny Glob wszędzie 2,5 godziny przed Słońcem, a na godzinę przed świtem zdąży się wzniesć na wysokość  $10^\circ$ , pokazując tarczę oświetloną w 24%. Niewiele ponad  $3^\circ$  na wschód od niego znajdzie się wianuszek gwiazd z północno-wschodniej części Strzelca, kolejne  $2^\circ$  dalej w tym samym kierunku – planeta Saturn, zaś jeszcze kolejne  $11^\circ$  dalej – planeta Wenus. Dobę później Księżyc w fazie zmniejszonej do 17% pokaże się między Saturnem a Wenus, natomiast 3 marca 10-procentowy sierp Księżyca na godzinę przed świtem dopiero zacznie wschodzić, docierając na odległość  $4^\circ$  na wschód od Wenus. Całej trójce z dystansu  $25^\circ$  towarzysztwa dotrzyma planeta Jowisz.

Saturn z Jowiszem powoli oddalają się od Słońca, dążąc do swoich opozycji w czerwcu i lipcu, zatem ich warunki obserwacyjne w marcu powoli się poprawiają. W trakcie miesiąca jasność Jowisza urośnie od  $-2$  do  $-2,2^m$ , a tarcza planety zwiększy średnicę z  $36$  do  $40''$ . Saturn w tym roku zakreśli zygzak niedaleko opisywanego już łuku gwiazd, wśród których są m.in.  $\pi$ ,  $\sigma$ ,  $\xi 1$  i  $\xi 2$  Sagittarii. Do końca marca planeta oddali się od niego na  $3^\circ$ , jej jasność utrzyma się na poziomie  $+0,6^m$ , tarcza zaś urośnie do  $16''$ . W przeciwieństwie do dwóch poprzednich planet warunki obserwacyjne Wenus w marcu znacznie się pogorszą, choć planeta nadal zachowa dużą odległość od Słońca (pod koniec miesiąca  $35^\circ$ ). Jednak tutaj najbardziej ujawni się niekorzystne nachylenie ekliptyki do widnokregu i planeta już w trzeciej dekadzie miesiąca na godzinę przed świtem nie zdąży jeszcze pojawić się na nieboskłonie. Można ją zatem obserwować tylko w pierwszej połowie marca, nisko nad południowo-wschodnim horyzontem, gdzie pokaże tarczę o jasności około  $-4,1^m$ , średnicy  $15''$  i fazie 70-kilka procent.

Księżyc po spotkaniu z Merkurym bardzo szybko poprawi swoją widoczność, wznosząc się każdej kolejnej nocy wyraźnie wyżej i przebywając nad horyzontem długo po zmierzchu, mimo wciąż niezbyt dużej fazy. Zarówno na początku miesiąca, jak i po nowiu ładnie widoczne będzie tzw. światło popielate Księżyca, czyli jego nocna część, oświetlona światłem odbitym od Ziemi. Warto tutaj pamiętać o tym, że faza Księżyca widoczna

z Ziemi i faza Ziemi widoczna z Księżyca uzupełniają się do pełni. Czyli jak dla Ziemi Księżyc jest blisko nowiu, to dla potencjalnych selenonautów w tym samym momencie Ziemia jest bliska pełni. Nasza planeta jest prawie 4-krotnie większa od swego satelity, a także odbija w przestrzeń kosmiczną dużo więcej padającego na nią światła. Stąd Ziemia na niebie księżycowym jest znacznie jaśniejsza od Księżyca na naszym niebie. Nie powinno zatem dziwić, że nocna strona Srebrnego Globu w fazie wąskiego sierpa jest bardzo jasna i łatwo widoczna gołym okiem.

W dniach 9–11 marca naturalny satelita Ziemi odwiedzi planety Uran i Mars. Pierwszego z wymienionych dni Księżyc w fazie 9% pokaże się  $9^\circ$  pod Uranem, 10 marca, w fazie 15%,  $7^\circ$  na lewo od Urana i jednocześnie  $13^\circ$  pod Marsem, 11 marca zaś oświetlenie księżycowej tarczy zwiększy się do 23%, a Mars znajdzie się w odległości  $6^\circ$ , na godzinie 2 względem niej. Obie planety zaczną miesiąc w gwiazdozbiorze Barana. Uran zagości w Baranie przez następne kilka lat, natomiast Czerwona Planeta w trzeciej dekadzie marca przejdzie do sąsiedniego Byka i 29 marca minie Plejady w odległości  $3,5$  stopnia. Do tego czasu dystans między planetami wzrośnie do prawie  $30^\circ$ . Planeta Uran zbliży się do kwietniowej koniunktacji ze Słońcem, więc będzie dobrze widoczna na ciemnym niebie tylko na początku marca, gdy około godz. 19:30 znajdzie się na wysokości  $20^\circ$  nad zachodnim widnokresem, świecąc z jasnością  $+5,9^m$ . Potem stopniowo zejdzie niżej, by pod koniec miesiąca zachodzić na początku nocy astronomicznej. Mars podda się wolniej, i na koniec miesiąca o tej samej porze znajdzie się na wysokości prawie  $25^\circ$ . Lecz do tego czasu jego blask osłabnie do  $+1,4^m$ , czyli sporo poniżej jasności nieodległego Aldebarana o podobnej barwie, zaś tarcza planety skurczy się do średnicy poniżej  $5''$ .

13 marca Księżyc w fazie 43% pokaże się  $5^\circ$  od najjaśniejszej gwiazdy Byka, po czym dobę później przejdzie przez I kwadrę na pograniczu gwiazdozbiorów Byka, Oriona i Bliźniąt. 19 marca Srebrny Glob oświetlony w 94% minie Regulusa, najjaśniejszą gwiazdę Lwa, w odległości  $2^\circ$ , a 21 marca o godz. 1 przejdzie przez pełnię w gwiazdozbiorze Panny. 3 godziny wcześniej Słońce przekroczy równik niebieski w drodze na północ i tym samym na północnej półkuli Ziemi zacznie się astronomiczna wiosna. 22 marca Srebrny Glob wszędzie  $7^\circ$  na lewo od Spiki, najjaśniejszej gwiazdy Panny, natomiast 27 marca, dobę przez ostatnią kwadrę, minie w odległości dwóch swoich średnic planetę Jowisz. Oświetloną do połowy tarczę Księżyc zaprezentuje na tle zachodniej części gwiazdozbioru Strzelca, prawie dokładnie w miejscu, gdzie swoją pętlę rok temu kreślił Saturn. Planetę z pierścieniami Księżyc minie następnego ranka, przechodząc w podobnej odległości, jak przy Jowiszu, lecz od strony południowej.

Jeśli wszystko zostało po staremu, w nocy z 30 na 31 marca nastąpi zmiana czasu z zimowego na letni. Należy wtedy pamiętać o przesunięciu zegarów o godzinę do przodu.

*Ariel MAJCHER*