

Kepler-22b

Kepler-69c

Kepler-452b

Kepler-62f

Kepler-186f

Earth

Po co nam nowe planety, czyli astrofizyka w pigułce

Krzysztof Rochowicz

Coraz trudniej przebić się w mediach informacjom o odkryciach nowych planet. Większe zainteresowanie budzą już w zasadzie tylko odkrycia planet zbliżonych do Ziemi [1]. Licznik określający liczbę znanych pozasłonecznych globów wskazuje już 3411 obiektów (stan z 20 maja 2016 roku) i został niedawno mocno „podkrecony”. Astronomowie pracujący nad projektem misji teleskopu Keplera ogłosili właśnie nową metodę analizy i weryfikacji danych obserwacyjnych.

Misja Keplera od kilku lat przynosi mnóstwo odkryć, gdy odbywają się konferencje podsumowujące kolejne etapy jej działania. W połowie ubiegłego roku liczba planet zidentyfikowanych przy użyciu tego teleskopu przekroczyła tysiąc, a 10 maja 2016 roku, dzięki nowej metodzie weryfikacji, poinformowano o potwierdzeniu istnienia 1284 planet, tym samym z nową siłą podważając liczbę wcześniejszych odkryć.

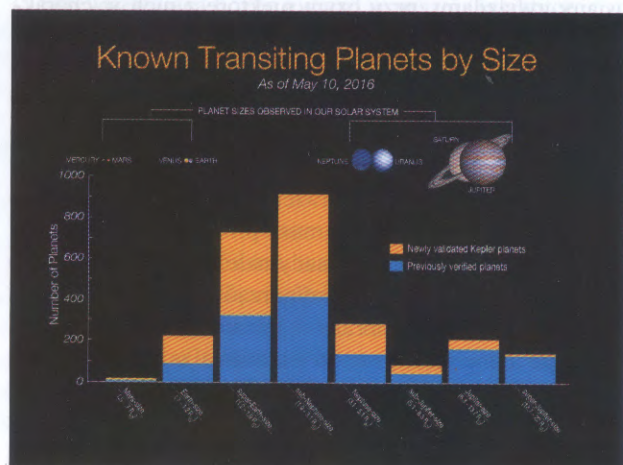
Sonda, zgodnie ze swym przeznaczeniem, obserwowała zmiany jasności ponad 100 tys. tych samych gwiazd przez prawie 4 lata w poszukiwaniu okresowych tranzytów planet. Do obserwacji wybrano region pogranicza gwiazdozbiorów Łabędzia i Lutni. Obecnie, po dość poważnej awarii, teleskop działa jeszcze w drugiej fazie misji, obserwując dodatkowe obszary w pobliżu ekliptyki i co kilka miesięcy zmieniając obszar swego działania.

Ponadto trwają kolejne analizy uzyskanych wcześniej danych, następuje też żmudna i czasochłonna weryfikacja kandydatów na planety, zwykle wymagająca wielokrotnych obserwacji z użyciem największych naziemnych instrumentów.

Tymczasem zaprezentowano właśnie wyniki odmiennego podejścia do danych obserwacyjnych, tym razem jest to pogłębiona analiza statystyczna krzywych blasku gwiazd. Chodzi o możliwość precyzyjnego rozpoznawania, czy za dany charakter zmian odpowiada rzeczywi-

ście obecność tranzytujących planet, czy też powodują je inne czynniki (np. tranzyty brązowych kartów, gwiazd mało masywnych albo też zakrycia składników gwiazd w układach podwójnych). Astronomowie z uniwersytetu w Princeton opracowali pakiet oprogramowania Vespa, poddający analizie dotychczas zebrane dane. Vespa m.in. procentowo określa prawdopodobieństwo, że za dane zmiany blasku może odpowiadać planeta [2]. Tylko obiekty wykazujące prawdopodobieństwo większe niż 99% zostały uznane za nowo odkryte planety. Metoda pozwoliła pozytywnie zweryfikować 984 wcześniej potwierdzone planety oraz wskazała 1284 nowe tego typu obiekty (rys. 1). Spośród przeszło 2000 pozostałych kandydatów wydaje się bardziej prawdopodobne, że kolejnych 1327 obiektów okaże się planetami, natomiast 707 obiektów z większym prawdopodobieństwem „udaje” planety.

Tego typu nowatorska metoda wydaje się też kluczowa dla przyszłych poszukiwań tranzytów i ich dalszych analiz. W 2018 roku NASA planuje bowiem umieszczenie



Rys. 1. Histogram ukazujący zależność liczby odkrytych tranzytujących planet od ich rozmiaru. Dolne części słupków dotyczą danych wcześniejszych, górne – po nowo przeprowadzonej analizie i ogłoszeniu ich odkrycia w maju 2016 roku. Źródło: NASA

na orbicie kolejnej sondy – Transiting Exoplanet Survey Satellite (<http://tess.gsfc.nasa.gov/>), która będzie śledzić blask ponad 200 tys. gwiazd w poszukiwaniu tranzytów planet o rozmiarach Ziemi i super-Ziemi (czyli dwukrotnie większych od naszej planety).

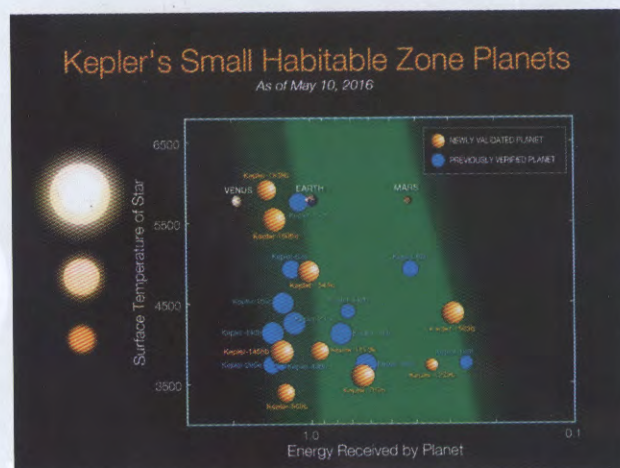
Takich ziemopodobnych planet, dzięki nowo przeprowadzonej analizie, jest teraz 550. Dziewięć z nich należy do elitarnej grupy 21 obiektów leżących w ekosferze swojej macierzystej gwiazdy (rys. 2).

Odkrycia misji Keplera są niezwykle ciekawe same w sobie, ale w kontekście edukacji warto zwrócić uwagę na ich przydatność w wyjaśnianiu i ilustrowaniu podstawowych praw natury. Tę cechę zauważyli twórcy misji, przygotowując jej stronę internetową (<http://kepler.nasa.gov/>), na której można znaleźć mnóstwo zdjęć i interaktywnych symulacji.

Niezwykle przyjazny dla użytkownika interfejs zachęca do samodzielnego zgłębiania różnych tematów, np. *Znaczące odkrycia, Jak Kepler znajduje planety?, Misja, Nauka, Edukacja*. W tym ostatnim dziale znajdziemy wiele pomysłów i inspiracji do pracy z uczniami – naprawdę warto przyrzeć się dokładniej tej ofercie (szczególnie polecamy projekt *Planet Hunters*, www.planethunters.org).

Omówimy tu nieco dokładniej inną pożyteczną i kształcącą zabawę, dostępną w dziale *Multimedia*, czyli *Interactives: Kepler Exoplanet Transit Hunt*. To tylko symulacja, ale niezwykle sugestywna i doskonale pod względem edukacyjnym podzielona na kolejne części. Poniżej zamieszczamy instrukcję krok po kroku; jest dość długa, ale – jako że symulację obsługujemy w języku angielskim – chcielibyśmy uczynić ją prostą i zrozumiałą dla każdego. Może to być zarys konspektu lekcji astrofizyki w liceum: *Wyznaczanie odległości „odkrytej” planety od jej macierzystego słońca – symulacja na podstawie wyników teleskopu Keplera*.

Po kliknięciu otworzy się okno z tekstem powitalnym i zaproszeniem do przeciągnięcia myszką pola widzenia „teleskopu” na mrugającą gwiazdkę. W powiększeniu wyjaśnia się idea tranzytu i stosowanej metody poszukiwań. Po kliknięciu *Next* ujrzymy fragment nieba usiany gwiazdami, przy czym niektóre z nich w charakterystyczny sposób „mrugają” – są zresztą zaznaczone kółeczkiem z dodatkową informacją o typie widmowym (nasze Słońce ma typ G2, gorętsze od niego są typy A i F, chłodniejsze – K i M). Możemy wybrać dowolną gwiazdę – po kliknięciu otworzy się ekran z informacjami o niej, a konkretnie tabelka z zestawieniem typów widmowych oraz odpowiadających im mas, promieni i temperatur powierzchni (wszystkie gwiazdy należą do ciągu głównego, stąd to jednoznaczne przyporządkowanie). Wybrany obiekt wyróżniono kolorami i teraz należy przeciągnąć stosowne dane liczbowe do notatnika w dolnej części (gdzie te same kolorowe oznaczenia ułatwiają procedurę i uniemożliwiają pomyłkę). Po kliknięciu *Next* czas przygotować się na obserwację. Naszym zadaniem będzie rejestrowanie „mrugnięć” gwiazdy zielonym przyciskiem *Record blink* po uruchomieniu symulacji przyciskiem *Start*. Oczywiście będziemy reagować z pewnym opóź-



Rys. 2. Diagram przedstawia zidentyfikowane dzięki misji Kepler planety ziemopodobne w ekosferach gwiazd o różnej temperaturze (na osi pionowej). Dla porównania zaznaczono położenie Wenus, Ziemi i Marsa. Wielkość symboli odpowiada rzeczywistym rozmiarom. Źródło: NASA

nieniem, ale nie to w całej procedurze jest istotne. Po zarejestrowaniu kilku „mrugnięć” (na wyrysowywanej krzywej jasności, biegnącej prawie poziomo, pojawiają się pionowe kreseczki) naszym zadaniem jest określenie okresu pojawiania się „mrugnięć” i ich głębokości (jest ona ustalona automatycznie, zgodnie z rzeczywistymi obserwacjami – my tylko odczytujemy wartość jako procent spadku jasności). Żeby było łatwiej, obie osie (poziomą czasu i pionową jasności) możemy myszką dosunąć w odpowiednie miejsce przy krzywej blasku. Odczytane wartości zapisujemy w notatniku na dole (okres w ramce niebieskiej, spadek jasności – w żółtej) i klikamy *Next*.

Teraz powinniśmy wyznaczyć odległości „odkrytej” planety od jej macierzystego słońca. Raz jeszcze wpisujemy wartość okresu w niebieską ramkę. Jeśli wiedzeni niecierpliwością naciśniemy *Calculate*, program zachęci nas do chwili zastanowienia, przeczytania uwag (to w gruncie rzeczy przypomnienie III prawa Keplera i zasad posługiwania się nim) oraz przeliczenia (*Convert*) dni na części roku, tak aby uzyskać wynik w jednostkach astronomicznych (j.a.). Tym razem – jeśli nie zapomnimy podać masy naszej gwiazdy – otrzymujemy niezwykle cenną wskazówkę, jak w stosunku do naszej Ziemi w Układzie Słonecznym (bo to przecież 1 j.a., czyli 1 AU) jest położona orbita planety. Z reguły otrzymujemy ułamek j.a. (jest to częściowo efekt selekcji, wynikający z krótkiego czasu stosowania metod odkrywania planet, ale też olbrzymie zaskoczenie, że w systemach pozasłonecznych planety mogą krążyć wokół swej macierzystej gwiazdy po orbitach znacznie ciaśniejszych niż np. Merkury wokół Słońca) i przepisujemy tę wartość do notatnika. Po kliknięciu *Next* uzyskamy odpowiedź na bardzo ważne pytanie: „Czy na »odkrytej« przez nas planecie panują warunki umożliwiające powstanie życia (takiego, jakie znamy), tj. czy może na niej występować woda w stanie ciekłym?”. Podstawowym warunkiem (koniecznym, choć niewystarczającym) jest znalezienie planety w tzw. ekosferze, czyli stosownej odległości od jej macierzystego słońca. Na ilustracji ten zakres możliwych odległości jest zaznaczony niebieskim pasem. Musimy jeszcze tylko

się upewnić, czy rysunek dotyczy właściwej gwiazdy (na początku pojawiają się dane dla Słońca, ale wystarczy kliknąć obraz gwiazdy lub zmienić wartości temperatury – patrz rys. 3).

Naszym zadaniem jest teraz przesunięcie planety na właściwą, wyznaczoną wcześniej odległość (można przesuwać albo samą planetę, albo suwakiem wybrać wartość liczbową). Po udanym ustawieniu gwiazdy i przesunięciu otrzymamy komunikat *You got it!* i zostaniemy poproszeni o wpisanie odpowiedzi na powyższe pytanie (odpowiednio literki Y/N, czyli tak/nie) oraz kliknięcie *Next*. Następnie obliczamy charakterystyczną temperaturę planety, zależną przede wszystkim od temperatury i rozmiarów jej słońca oraz jego odległości. Przenosimy stosowne dane, wciskamy *Calculate* i przepisujemy wynik do notatnika. Po kolejnym *Next* obliczymy już (na podstawie rozmiarów gwiazdy i amplitudy spadku jasności) promień planety w promieniach Ziemi.

Pozostałe plansze to już prawdziwa uczta. Na pierwszej otrzymujemy graficzne porównanie „odkrytej” planety z Ziemią. Na kolejnej – artystyczną wizję jej powierzchni (i co nawet ważniejsze – nazwę rzeczywistego obiektu, którego odkrycie posłużyło do stworzenia tego bardzo ciekawego przykładu). Możemy teraz wybrać inną gwiazdę i uczyć się, bawiąc...

Przy okazji warto zwrócić uwagę, jak dużą wagę przywiązują autorzy i współpracownicy misji Keplera do wzbogacenia oferty edukacyjnej w szkołach (<http://kepler.nasa.gov/education/activities/>). Proszę też przyrzec się, jak można zilustrować odkrycia nowych planet (kanał na YouTube *Kepler Planets – 3D collection*: https://www.youtube.com/playlist?list=PLEFkz1KqOM_54KRyi0L7NPiFSQV3dKBZ).

Agencja NASA też doczekała się doskonałego portalu poświęconego odkryciom planet poza Układem Słonecznym, proszę koniecznie sprawdzić: <https://exoplanets.jpl.nasa.gov/>.

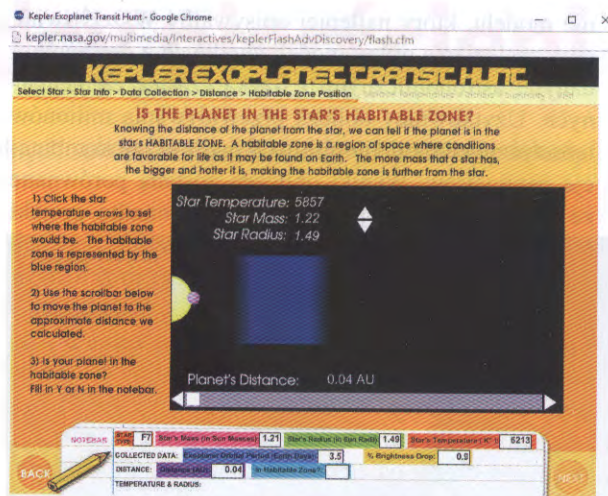
Internetowe projekty edukacyjne

Na zakończenie jeszcze drobna zachęta do zaangażowania uczniów w ciekawe projekty edukacyjne. Pisaliśmy już wcześniej o projekcie *Planet Hunters*, który zresztą swego czasu doczekał się polskiej wersji językowej. Warto wspomnieć też o Rafale Herszkowiczu – informatyku ze Zgierza, a przede wszystkim astronomie amatorze, który zapisał się jako współodkrywcą jednej z planet [3].

Projekty internetowe najogólniej można podzielić ze względu na rodzaj uczestnictwa na czynne i bierne.

Uczestnictwo czynne oparte jest na wspólnej pracy i polega na dostarczaniu, porządkowaniu, klasyfikacji lub wyszukiwaniu określonych informacji. Do tego rodzaju projektów można zaliczyć m.in.:

- Wikipedię – encyklopedię tworzoną przez wolontariuszy;
- Open Directory Project (zwany też jako DMOZ) – katalog stron WWW;
- *Galaktyczne Zoo* – projekt astronomiczny, w którym uczestnicy klasyfikują i porównują galaktyki na pod-



Rys. 3. Zrzut ekranu ze strony internetowej misji Keplera. Interaktywna symulacja „Polowanie Keplera na pozasłoneczne planety” pozwala zrozumieć zasadę wykonywania pomiarów, a przede wszystkim sposób analizy i rozumowania, prowadzący od bardzo prostych pomiarów fotometrycznych do uzyskania cennych informacji o samej planecie, której przecież w gruncie rzeczy nie widzimy! Tak jednak działa proces naukowego rozumowania i wnioskowania – zademonstrowanie tego krok po kroku na lekcji w szkole może przekonać uczniów, że dzięki elementarnej wiedzy fizycznej możemy odkrywać i badać ogromny Wszechświat. Źródło: NASA

stawie zdjęć wykonanych automatycznie teleskopem Sloan Digital Sky Survey o średnicy zwierciadła równej 2,5 m (w najnowszej edycji również teleskopem Hubble’a). W projekcie wzięło udział już ponad 250 tys. osób, z tego z Polski prawie 10 tys.! I tu możemy się pochwalić polską wersją językową <http://www.galaxyzoo.org/?lang=pl>. Powstała ogromna baza danych, a odkryciami użytkowników zajęły się teleskopy na Ziemi i w Kosmosie. Możemy się dowiedzieć zaskakujących rzeczy o naturze galaktyk. Na przykład dawniej astronomowie zakładali, że galaktyki mające barwę czerwoną to najprawdopodobniej galaktyki eliptyczne. Dzięki pomocy użytkowników *Galaktycznego Zoo* okazało się, że mniej więcej 1/3 czerwonych galaktyk to galaktyki spiralne oraz że jest więcej niż sądzono niebieskich galaktyk eliptycznych, obejmujących także małe, lecz istotny odsetek galaktyk formujących znaczącą liczbę nowych gwiazd – czasami aż 50-krotnie przewyższającą liczbę gwiazd w naszej Galaktyce.

Uczestnictwo bierne polega na bezpłatnym udostępnianiu mocy obliczeniowej swojego komputera przyłączonego do internetu. Zwykle projekt taki polega na wykorzystywaniu mocy obliczeniowej komputerów w celu wykonania na nich żmudnych i czasochłonnych obliczeń niezbędnych do rozwiązania danego problemu. Tę grupę projektów obejmuje wspólne hasło BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing, tj. Otwarta Infrastruktura Przetwarzania Rozproszonego Uniwersytetu Berkeley; patrz np. <http://www.boincatpoland.org/wiki/BOINC>). Na stronie znajdziemy listę zawierającą ponad 100 różnych projektów, w tym kilka z dziedziny astronomii (np. *Cosmology@home*, *Einstein@home*, *SETI@home*, *Universe@home*):

- *Cosmology@home* – projekt powstał na Uniwersytecie Illinois i może się przyczynić do lepszego rozumienia natury Wszechświata. Jego celem jest poszukiwa-

nie modelu, który najlepiej opisywałby Wszechświat, oraz znalezienie grupy modeli zgodnych z dostępnymi danymi astronomicznymi i fizyką cząstek elementarnych. Użytkownicy obliczą przewidywania milionów teoretycznych modeli opisanych przez różne kombinacje parametrów. Wyniki obliczeń zostaną porównane ze wszystkimi dostępnymi danymi. Ponadto projekt może ułatwić zaplanowanie przyszłych obserwacji i eksperymentów oraz analizę wynikających z nich danych (np. z satelity Planck).

- *Einstein@home* – zgodnie z teorią sformułowaną przez Alberta Einsteina zmiany w polu grawitacyjnym powodują zmiany w zakrzywieniu czasoprzestrzeni. Najprościej można wykryć to zjawisko, mierząc w sposób ciągły odległość między dwoma punktami. Fale grawitacyjne, przechodząc w pobliżu, powodują niewielkie zmiany tej odległości. W tym celu koło Hanoweru w Niemczech zbudowano laboratorium GEO 600, a w stanach Luizjana i Waszyngton w USA laboratoria LIGO. Do mierzenia odległości wykorzystuje się w nich po dwa bardzo długie, prostopadłe tory laserowe (600 m w GEO 600 i około 4 km w LIGO). Dzięki tak znacznej długości możliwe jest mierzenie zmian odległości rzędu jednej milionowej średnicy atomu wodoru. W ramach projektu *Einstein@home* bada się dane pochodzące ze wszystkich trzech laboratoriów w celu wykrywania fal grawitacyjnych wytwarzanych przez szybko obracające się gwiazdy neutronowe, czyli pulsary, bądź też, jak to było w przypadku ogłoszonego niedawno odkrycia, zderzające się czarne dziury [4].

- *SETI@home* – projekt zrzesza internautów w celu znalezienia obcych cywilizacji. Zadaniem uczestników projektu jest przetwarzanie danych otrzymanych z radioteleskopów rozsyłanych po całym świecie w nadziei, że znajdą w „kosmicznym szumie radiowym” uporządkowane sygnały, które mogłyby być nośnikiem informacji przesyłanej przez pozaziemskie cywilizacje. Obecnie projekt *SETI@home* – choć wciąż nie może się poszczycić jakimikolwiek realnymi osiągnięciami – zrzesza ponad 2 mln wolontariuszy i jest największym tego rodzaju projektem.
- *Universe@home* – to już polska specjalność! Proszę zajrzeć na stronę <http://www.universeathome.pl/universe/>. Warto też przeczytać obszerny artykuł opublikowany w czasopiśmie „Urania” [5].

dr Krzysztof Rochowicz

Zakład Dydaktyki Fizyki UMK w Toruniu

LITERATURA

- [1] Berg P., *Jest druga Ziemia. I to jeszcze nie koniec*, Polityka, 24 lipca 2015, <http://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/nauka/1627393,1-jest-kolejna-druga-ziemia-i-to-jeszcze-nie-koniec.read> [dostęp: 23.11.2016].
- [2] Kelly M., *More than 1200 new planets confirmed using new technique for verifying Kepler data*, <http://www.princeton.edu/main/news/archive/S46/28/88S16/> [dostęp: 23.11.2016].
- [3] Rafał Herszkowicz odkrywca nowej planety PH2b1, PolskieRadio.pl, 27 marca 2013, <http://www.polskieradio.pl/5/3/Artykul/811282,Rafal-Herszkowicz-odkrywca-nowej-planety-PH2b> [dostęp: 23.11.2016].
- [4] Karwasz G., *Fala z grawitacyjnej otchłani*, „Fizyka w Szkole” 2016, nr 2, s. 36.
- [5] Wiktorowicz G., *Czarne dziury w twoim domu*, „Urania” 2016, nr 2, s. 13.

