

**SZYMON KOZŁOWSKI**

Obserwatorium Astronomiczne,
Uniwersytet Warszawski
simkoz@astrouw.edu.pl

Dr hab. Szymon Kozłowski jest laureatem Nagrody Naukowej im. Stefana Pieńkowskiego (fizyka i astronomia) III Wydziału Polskiej Akademii Nauk (2014), Medalu Młodego Uczzonego Politechniki Warszawskiej (2014) oraz stypendium dla wybitnych młodych naukowców Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wzszego (2011). Pracuje w zespole OGLE. Interesuje go metodologia poszukiwań kwazarów oraz badania ich zmienności, soczewkowanie i mikrosoczewkowanie grawitacyjne, zjawiska transient (jak np. supernowe) oraz astrofizyka pozagalaktyczna.

Za zatłoczonymi Obłokami Magellana

Szukanie igły w stogu siana? To drobiazg w porównaniu z przeszukiwaniem zdjęć gęsto upakowanych 100 milionami gwiazd, żeby znaleźć wśród nich kilkaset wyjątkowych obiektów, które, chociaż bardzo przypominają gwiazdy, to jednak nimi nie są. Zaczniemy jednak od początku – dlaczego w ogóle prowadzić poszukiwania kwazarów akurat w Obłokach Magellana?


Jedną z cech charakteryzujących człowieka jest jego ciekawość świata. To właśnie ciekawość popychała nas do największych odkryć, to jej w dużej mierze zawdzięczamy rozwój cywilizacyjny. Nie wyobrażamy już sobie świata bez elektryczności, lekarstw czy chociażby internetu. Wśród wczesnych pionierów powodowanych ciekawością (oraz zapewne chęcią zdobycia sławy i bogactw) wymienić należy Ferdynanda Magellana. Ten portugalski żeglarz, kierownik pierwszej ukończonej sukcesem wyprawy dokoła świata, obrał kurs na południe wzdłuż wybrzeży Ameryki Południowej. Niebo południowe, niewidoczne z Europy i Azji, było naszej cywilizacji niemal nieznaną. Kapitan Ferdynand Magellan w swoich dziennikach opisał m.in. gwiazdozbiór Krzyż Południa i dwa dziwne „mgliste” obiekty na nie-

bie, które na jego cześć nazwano później Obłokami Magellana. Jeszcze 90 lat temu nie wiadomo, czym są te obłoki, podobnie jak i inne „mgławice”. Uznawano je za część naszej Galaktyki – Drogi Mlecznej.

Obłok, czyli galaktyka

Później okazało się, że większość mgławicowych obiektów na niebie to inne galaktyki – podobne do naszej Drogi Mlecznej odrębne skupiska dziesiątek, a często setek miliardów gwiazd, pyłu i gazu. Galaktyki najczęściej oddzielone są od siebie ogromnymi obszarami „pustki”, choć potrafią się grupować w ogromne struktury.

Obłoki Magellana okazały się jednymi z najbliższych nam galaktyk. I, jak to często bywa, niemal od razu przypisano im rolę satelitów naszej Galaktyki. Cóż bardziej



naturalnego? Dwie mniejsze galaktyki okrążają większą i cięższą, podobnie jak Księżyc okrąża Ziemię, a Ziemia Słońce. Kilka lat temu ten obraz zaczął się jednak zmieniać – przy dokładniejszych pomiarach ruchu Obłoków Magellana na niebie okazało się, że mkną one o wiele za szybko, żeby być satelitami Drogi Mlecznej. Czyżby miały ją minąć i odlecieć w daleki kosmos?

Zacząć trzeba od rzeczy bardziej podstawowej: jak w ogóle zmierzyć ruch bliskich galaktyk? Żeby to zrobić, zazwyczaj należy ustalić położenie naszego obiektu względem innego nieruchomego punktu czy układu odniesienia w różnych momentach. Ze zmiany położenia w czasie możemy wyliczyć jego prędkość. Dla Obłoków Magellana najlepszymi nieruchomymi punktami odniesienia okazały się kwazary.

Migające kwazary

Kwazary to tak naprawdę także galaktyki. Od „zwykłych” galaktyk odróżnia je to, że są bardzo daleko od nas, a jednocześnie są bardzo jasne. Tak bardzo, że okazują się najjaśniejszymi obiektami we Wszechświecie, które świecą w sposób ciągły. Tę ogromną jasność zawdzięczają materii opadającej na supermasywne czarne dziury, które znajdują się w ich rejonach centralnych. Astronomowie sądzą, że przeważająca większość lub nawet wszystkie galaktyki są właścicielkami supermasywnych czarnych dziur; każda taka galaktyka w sprzyjających okolicznościach może stać się – chociaż w skali kosmicznej na niezbyt długo – kwazarem. Opadająca na supermasywną czarną dziurę materia tworzy dysk, i to on jest źródłem światła, które możemy obserwować z Ziemi.

Kwazar – efekt artystyczny. Gorąca materia wiruje wokół supermasywnej czarnej dziury, tworząc gorący dysk i powoli na nią opadając

Odkrycie ponad 700 nowych kwazarów

Liczba znanych dziś kwazarów zbliża się do miliona. Można je stosunkowo łatwo zidentyfikować w „pustych” rejonach nieba. Charakteryzuje je pozornie chaotyczna zmiana jasności, tak duża, jakby włączało się w nich i wyłączało 10 miliardów gwiazd w skali kilku miesięcy (co odpowiada włączaniu i wyłączaniu jednej małej galaktyki). Nikt nie wie, ani jak, ani dlaczego tak się dzieje. Na dobrą sprawę do roku 2009 nie do końca było wiadomo, jak w ogóle modelować takie dziwaczne zmiany jasności. Astronomowie tylko sporadycznie zajmowali się badaniem tego fenomenu. Przełom przyniosła propozycja opisu takiej zmienności za pomocą procesów stochastycznych, a w szczególności z wykorzystaniem modelu tłumionego błędzenia losowego. Wraz ze współpracownikami przetestowaliśmy wiele jego odmian i pokazaliśmy, że bardzo dobrze opisuje on zmiany jasności kwazarów. Pomijam tutaj jego dokładne działanie. Ważne jest jedno: każdą krzywą zmian blasku zamienić można na dwa parametry tego modelu: skalę czasową i amplitudę.

Okazało się to kluczowe dla poszukiwań nowych kwazarów. Na podstawie rozkładu kwazarów na niebie oraz ich typowych jasności astronomowie spodziewali się odkryć około tysiąca takich obiektów za centralnymi obszarami Obłoków Magellana. Jednak pomimo kilku dekad starań jeszcze niedawno ich całkowita liczba oscylowała w okolicach 80. Główną przeszkodą okazała się duża liczba gwiazd Obłoków Magellana. Na mniej więcej milion obserwowanych gwiazd przypadają zaledwie ok. 30 kwazarów. Gwiazdy na niebie wyglądają jak punkty, podobnie sprawa ma się z kwazarami. Większość z 80 znanych przed naszymi badaniami kwazarów rozpoznana została na podstawie „dziwnych” zmian jasności. Ale poszukiwania były bardzo żmudne.

Obserwacje OGLE

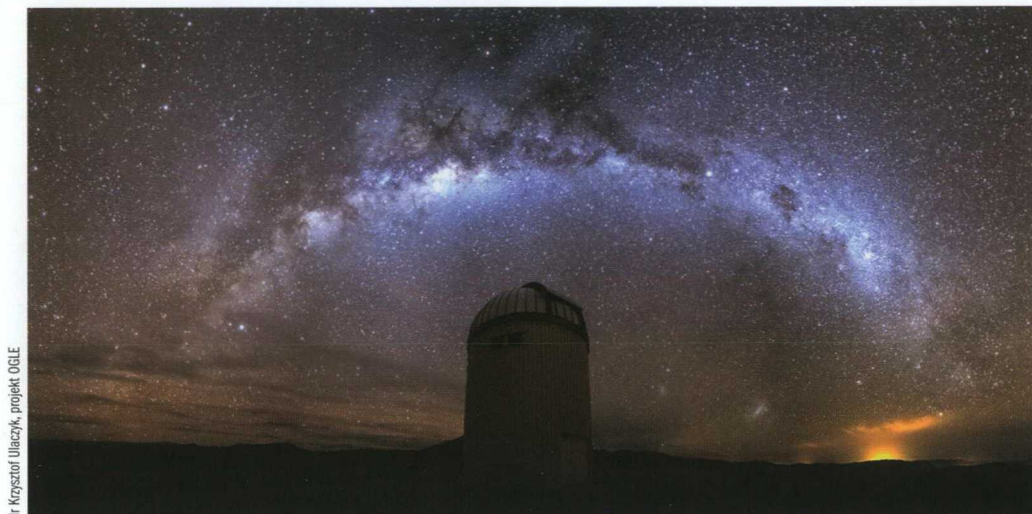
Obłoki Magellana są jednym z głównych celów obserwacji polskiego przeglądu nieba The Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE). Od 18 lat projekt ten monitoruje jasność ok. 100 milionów gwiazd Obłoków Magellana, a wśród nich nierozpoznanych dotychczas odległych kwazarów. Wszystkie dostępne krzywe zmian blasku z projektu OGLE dla obiektów z okolic Obłoków Magellana

wykazujące jakąkolwiek zmienność przeanalizowaliśmy za pomocą modelu tłumionego błędzenia losowego. Upraszczając: dla każdego zmieniającego jasność obiektu uzyskaliśmy dwa opisujące go parametry modelu – skalę czasową i amplitudę. Przedstawiając wszystkie obiekty zmienne na płaszczyźnie o osiach skala czasowa – amplituda, przekonaliśmy się, że odrębne klasy obiektów zmiennych niejako grupują się w różnych miejscach przestrzeni tych dwóch parametrów. Tym samym uzyskaliśmy nowe narzędzie do selekcji nie tylko kwazarów, ale także innych klas obiektów zmiennych.

Z drugiej strony wiemy, że dyski akrecyjne (materii) wokół supermasywnych czarnych dziur są gorętsze bliżej czarnej dziury i chłodniejsze w większych odległościach od niej. W pewnej odległości temperatura spada poniżej temperatury sublimacji pyłu i tworzy się gruby torus pyłowy. Torus ten absorbuje część promieniowania z dysku akrecyjnego i emituje tę energię ponownie w dłuższych falach świetlnych – w podczerwieni. Szczęśliwym trafem dekadę temu cały obszar Obłoków Magellana obserwował Kosmiczny Teleskop Spitzera, zaprojektowany do obserwacji nieba w podczerwieni. Powstały wtedy ogromne zdjęcia w czterech zakresach podczerwieni, pomiędzy długościami fali 3 a 8 mikronów. Odejmując od siebie te zdjęcia w taki sposób, aby światło gwiazd (w przeważającej większości niezapylonych) wyzerowało się, pozostawiliśmy na zdjęciach obiekty o dużej zawartości pyłu. Należały do nich właśnie kwazary, ale również młode protogwiazdy (załączki nowych układów planetarnych), mgławice planetarne i gwiazdy wyrzucające pył. Tym samym wyposażeni zostaliśmy w kolejne narzędzie do rozpoznawania kwazarów w gęstych obszarach gwiazdowych. Kolejnym logicznym krokiem było połączenie tych dwóch metod, co pozwoliło uzyskać próbkę 4 tysięcy kandydatów na kwazary za Obłokami Magellana.

758 kwazarów

Rozszczepiając światło dowolnego obiektu na poszczególne składowe (zwane widmem lub spektrum), można ustalić, czym dany obiekt jest. Aby przeprowadzić obserwacje spektroskopowe 4000 kandydatów na kwazary, potrzebny był nie lada instrument. Jedynym istniejącym teleskopem na półkuli



Obłoki Magellana (dwie jasne mgiełki nisko nad horyzontem po prawej stronie) oraz Droga Mleczna nad kopułą polskiego teleskopu OGLE

południowej zdolnym do wykonania tego zadania w skończonym czasie jest czterometrowy teleskop w Australii, który jednocześnie może pomierzyć widma 400 obiektów. Jedenaście nocy zajęły nam obserwacje ok. 3 tysięcy kandydatów. Analiza ich widm zaowocowała potwierdzeniem tożsamości 758 kwazarów (bardzo blisko 1 tysiąca spodziewanych) oraz wielu młodych układów protogwiezdnych, gwiazd zapyłonych i mgławic planetarnych.

Co dalej? Okazuje się, że nasze 758 kwazarów to największa obecnie próbka tak dobrze i długotrwale obserwowanych kwazarów na świecie. Zamierzamy przyjrzeć się, czy i jak zmienność tych kwazarów zależy od ich parametrów fizycznych. Może uda nam się dowiedzieć, dlaczego kwazary w ogóle zmieniają jasność. Otrzymaliśmy niedawno na to zadanie specjalny grant OPUS 8 z Narodowego Centrum Nauki.

Kwazary te tworzą także jednorodną i gęstą siatkę nieruchomych punktów referencyjnych na niebie. Poruszające się na ich tle Obłoki Magellana dostarczą nam informacji zarówno na temat swojej historii, jak i przyszłości. Już w 2013 roku wykonaliśmy Kosmicznym Teleskopem Hubble'a pierwsze obserwacje 30 nowych kwazarów za Małym Obłokiem Magellana. Zostaną one powtórzone pod koniec tego roku. Obserwacje te powinny ostatecznie odpowiedzieć nam na pytanie, czy Obłoki Magellana są satelitami naszej Galaktyki, czy może żyjemy w tym wyjątkowym szczęśliwym momencie, w którym możemy je podziwiać, a potem odleć w kosmos.

Projekt OGLE w 2010 roku przeszedł metamorfozę. Na polskim teleskopie w Chile zainstalowana została gigantyczna kamera mozaikowa. Pozwoliło to na 12-krotne zwiększenie rejonu obserwacji okolic Obłoków Magellana. Obecnie ten obszar powinien obejmować kilkanaście tysięcy kwazarów, których obserwacje prowadzone są już od pięciu lat. Jeszcze tylko nie wiemy, które to obiekty. Krzywe zmian blasku pozwolą na użycie modelu tłumionego błędzenia losowego do wybrania kandydatów. Kolejnym szczęśliwym trafem inny teleskop kosmiczny WISE, także obserwujący niebo w podczerwieni, kilka lat temu wykonał zdjęcia całego nieba. Ponownie łącząc metodę zmienności i selekcji kandydatów w podczerwieni, powinniśmy wkrótce powiększyć próbkę znanych kwazarów w okolicach Obłoków Magellana o kolejny rząd wielkości, do ok. 10 tysięcy. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Kozłowski S., Onken C. A., Kochanek C. S. et al. (2013). The Magellanic Quasars Survey. III. Spectroscopic Confirmation of 758 Active Galactic Nuclei behind the Magellanic Clouds. *The Astrophysical Journal*, 775, A92, 1-13.
- Kozłowski S., Kochanek C. S., Udalski A. et al. (2010). Quantifying Quasar Variability as Part of a General Approach to Classifying Continuously Varying Sources. *The Astrophysical Journal*, 708, 927-945.
- Kozłowski S., Kochanek C.S., Jacyszyn A. M. et al. (2012). The Magellanic Quasars Survey. II. Confirmation of 144 New Active Galactic Nuclei behind the Southern Edge of the Large Magellanic Cloud. *The Astrophysical Journal*, 746, A27, 1-13.