

Streszczenie

Celem niniejszej rozprawy jest scharakteryzowanie małych międzygwiazdowych obiektów odkrywanych w Układzie Słonecznym. Obiekty te pochodzą z dysków protoplanetarnych wokół innych gwiazd, skąd zostały wyrzucone w przestrzeń międzygwiazdową w wyniku perturbacji planetarnych. Kiedy te próbki obcej, pierwotnej materii przemierzają Układ Słoneczny, możemy badać je z niewielkich odległości przy pomocy dobrze znanych technik wykorzystywanych w badaniach Układu Słonecznego. Daje nam to unikalny bezpośredni wgląd w odległe układy planetarne. Pomimo, że wizyty tych obiektów były oczekiwane od dziesięcioleci, zaczęto je odkrywać dopiero niedawno: pierwsze, 1I/'Oumuamua w 2017 roku i drugie, 2I/Borisov w 2019 roku.

Niniejsza rozprawa doktorska stanowi cykl trzech publikacji koncentrujących się na fotometrycznej i spektroskopowej charakterystyce tych dwóch obiektów. Prace te obejmują: 1) badania fotometryczne 1I/'Oumuamua, 2) raport ze wstępnych obserwacji komety 2I/Borisov wykonanych zaraz po jej odkryciu oraz 3) badania spektroskopowe komety 2I/Borisov, które doprowadziły do odkrycia gazowego niklu w jej komie.

Pierwsza publikacja prezentuje wyniki obserwacji fotometrycznych 1I/'Oumuamua wykonanych za pomocą 8-m teleskopu Gemini North. W ciągu dwóch następujących po sobie nocy zebraliśmy ponad 400 zdjęć o łącznym czasie integracji 3.58 godziny. Złożone z tych ekspozycji zdjęcie 1I/'Oumuamua jest najgłębszym, jakie kiedykolwiek wykonano i pokazuje gwiazdopodobny obiekt pozbawiony choćby śladu aktywności kometarnej. Następnie wykorzystaliśmy indywidualne zdjęcia do skonstruowania precyzyjnej krzywej blasku obejmującej ponad 8 godzin, która charakteryzuje się olbrzymią amplitudą równą 2.6 mag, nigdy nie obserwowaną w przypadku jakiegokolwiek małego ciała pochodzącego z Układu Słonecznego. Nasz wynik wskazuje na mocno wydłużone ciało o stosunku osi wynoszącym co najmniej 5. Krzywa zmian blasku, zgodna z okresem rotacji wynoszącym 7.56 godziny, wykazywała drobne niespójności między cyklami rotacji, które pozwoliły nam odkryć, że ciało to "koziółkuje", czyli znajduje się we wzbudzonym stanie rotacji.

Druga publikacja przedstawia najwcześniejszą charakterystykę drugiego międzygwiazdowego małego ciała, komety 2I/Borisov. Szybka reakcja na pojawienie się tego obiektu była możliwa dzięki dedykowanemu programowi, który opracowaliśmy po 1I/'Oumuamua. Program sprawdza publiczne bazy danych zawierające pomiary astrometryczne nowo odkrytych małych ciał w poszukiwaniu potencjalnych międzygwiazdnych gości i informuje nas, jeśli wykryje obiecującego kandydata. Nasze obserwacje 2I/Borisov przy użyciu 4-m teleskopu Williama Herschela i 8-m teleskopu Gemini North wykazały, że drugi międzygwiazdny przybysz jest znajomo wyglądającą kometą o promieniu jądra ~ 1 km oraz morfologii, kolorze i właściwościach pyłu typowych dla komet Układu Słonecznego.

W trzeciej publikacji przeanalizowaliśmy ultrafioletową część widma komety 2I/Borisov, uzyskaną za pomocą spektrografu X-Shooter na 8-m teleskopie ESO/VLT. Obserwacje obejmowały trzy noce z efektywnym czasem integracji wynoszącym 3.84 godziny. W widmie tym znaleźliśmy linie emisyjne gazowego atomowego niklu, których nigdy wcześniej nie obserwowano w żadnym zimnym środowisku astrofizycznym. Odkrycie było całkowicie nieoczekiwane, gdyż kometa znajdowała się w tym czasie w odległości 2.32 jednostki astronomicznej od Słońca, a temperatura gazu w jej komie wynosiła mniej niż 180 K. Tempo produkcji gazowego niklu oszacowaliśmy na $0.9 \pm 0.3 \times 10^{22}$ atomów na sekundę. Przeanalizowaliśmy również profil przestrzenny wykrytych linii i stwierdziliśmy, że atomy niklu pochodzą z cząsteczki macierzystej o czasie życia 340_{-200}^{+260} sekund w odległości 1 jednostki astronomicznej od Słońca. Wykryliśmy także wszystkie typowe emisje kometarne (tj. CN, C₂, C₃, NH, NH₂ i OH), potwierdzając całkowite podobieństwo 2I/Borisov do komet Układu Słonecznego.