

Poznań, 28 sierpnia 2023 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Piotra Guzika pt.  
„Interstellar minor bodies in the Solar System”**

Rozprawa doktorska mgra Piotra Guzika przedstawia wyniki obserwacji fotometrycznych i spektroskopowych dwóch niezwykle ciekawych obiektów pochodzących (wg. naszej najlepszej wiedzy) z układów planetarnych uformowanych wokół innych gwiazd oraz ich szczegółową analizę, a także charakterystykę obiektów. Tematyka rozprawy jest niezmiernie interesująca gdyż po raz pierwszy udało się zbadać obiekty, pochodzące spoza naszego Układu Słonecznego.

Teorie ewolucji naszego Układu Słonecznego jak i innych układów planetarnych zakładają, że małe ciała – planetoidy, komety a nawet meteoroidy – zachowały informacje o warunkach panujących w dysku protoplanetarnym, a dzięki temu możemy badać jego przeszłość i ewolucję. Teorie te zakładają również czyszczenie dysku protoplanetarnego z tych niewielkich, pierwotnych ciał i ich wyrzut w przestrzeń międzygwiazdową w okresie niestabilności dynamicznej układu. Do tej pory mogliśmy badać jedynie małe ciała naszego Układu Słonecznego. Odkrycie dwóch obiektów międzygwiazdowych 1I/Oumuamua i 2I/Borisov otworzyło nowe perspektywy badań i pozwoliło na sprawdzenie i porównanie czy nasz Układ Słoneczny jest podobny do innych systemów planetarnych. Co ciekawe pierwszy z odkrytych obiektów był podobny do planetoid o większej zawartości związków lodowych (typu D lub z Pasa Kuipera), a drugi do komet. Z oczywistych względów oba te międzygwiazdowe ciała znalazły się w centrum zainteresowań wielu międzynarodowych grup naukowych. Powstał szereg publikacji opartych o ich badania astrometryczne, fotometryczne spektroskopowe, teoretyczne itd. Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska bardzo dobrze wpisuje się w obecne światowe trendy.

Rozprawa doktorska mgra Piotra Guzika składa się z dwóch publikacji, które ukazały się w *Nature Astronomy* w 2018 i 2020 roku (2, 407-412; 4, 53-57) oraz jednej opublikowanej w *Nature* w 2021 roku (593, 375-378). W pierwszej publikacji przedstawione zostały wyniki obserwacji fotometrycznych pierwszego obiektu międzygwiazdowego 1I/Oumuamua, które

przeprowadzono na teleskopie Gemini North 27 i 28 października 2017, czyli zaledwie kilka dni po odkryciu tego obiektu. Wniosek obserwacyjny został błyskawicznie napisany i zaakceptowany. Warto zauważyć, że obiekt ten nigdy nie osiągnął jasności poniżej 19 mag, a więc uzyskanie krzywych zmian blasku o dobrym stosunku sygnału do szumu wymagało użycia dużych teleskopów. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że ciało to nie wykazuje aktywności kometarnej pomimo niewielkiej odległości od Słońca (ok. 1.4 AU w momencie obserwacji), a ponadto zmiany blasku nie są w pełni powtarzalne i nie mogą pochodzić od obiektu o zwyczajnej rotacji wokół osi maksymalnego momentu bezwładności. W analizie częstotliwości obserwowanych na periodogramie zabrakło mi jedynie uwzględnienia faktu, że pojawiające się częstotliwości mogą być kombinacją okresów rotacji i precesji (Kryszczyńska A. et al. 1999, *A&A* 345, 643). Szkoda, że pewnego rodzaju wyścig pomiędzy zespołami obserwującymi 1I/Oumuamua nie pozwolił wtedy na globalną analizę wszystkich zaobserwowanych krzywych zmian blasku. Również ich interpretacja była różna i tu chciałabym podkreślić, że oszacowany stosunek półosi obiektu na  $>4.9$  jest dużo bardziej wiarygodny niż opublikowany przez Meech K. et al. 2017 (*Nature* 552, 327).

Dwie kolejne publikacje wchodzące w skład omawianej rozprawy dotyczą drugiego obiektu międzygwiazdowego 2I/Borisov, odkrytego 30 sierpnia 2019. W pierwszej z nich, dzięki ponownie bardzo szybko uzyskanemu czasowi obserwacyjnemu na teleskopach WHT i Gemini North, dokonano ogólnej charakterystyki tego obiektu. Stwierdzono, że pod względem rozmiaru jądra, obserwowanej komy, warkocza i ich morfologii, a także wskaźników barwy obiekt ten praktycznie nie różni się od komet z naszego Układu Słonecznego. Warto zaznaczyć, że w momencie obserwacji jasność obiektu była ciągle dość niewielka (ok. 18.3 mag), a ciało dopiero zbliżało się do perihelium. Większość kolejnych publikacji na temat 2I/Borisov potwierdziło wyniki uzyskane przez doktoranta. Jedynie oszacowane prawdopodobieństwo rozpadu jądra na poniżej 1%, obecnie wydaje się trochę za niskie. 2I/Borisov był też obserwowany spektroskopowo przez szereg obserwatorów, którzy potwierdzili obecność tych samych linii widmowych jakie obserwuje się w przypadku komet z naszego Układu Słonecznego, zwłaszcza tych bogatych w tlenek węgla. Obserwacje te potwierdziły podobieństwo tego obiektu do komet z naszego Układu.

W trzeciej publikacji wchodzącej w skład omawianej rozprawy zaprezentowano wyniki obserwacji przeprowadzonych na teleskopie VLT w ESO (Chile) przy użyciu średniej rozdzielczości spektrografu X-shooter. Obserwacje przeprowadzone na VLT zwłaszcza w części ultrafioletowej widma okazały się niezwykle interesujące, gdyż zaobserwowano linie

pochodzące od oparów atomowego niklu. Choć nikiel dość powszechnie występuje we Wszechświecie jego gazowa forma jest rzadko obserwowana, gdyż sublimacja metali wymaga wysokiej temperatury. W naszym Układzie Słonecznym metale w stanie gazowym mogły być obserwowane jedynie w przypadku komet „muskających” Słońce, czy tuż przed upadkiem na Słońce. Obserwacje spektroskopowe 2I/Borisov wykonano gdy obiekt znajdował się na odległości ponad 2.3 AU od Słońca, gdzie szacowana temperatura równowagi nie przekraczała 180K. W związku z tym obecność niklu w fazie gazowej wydaje się być związana z fotodysocjacją nietrwałych molekuł zawierających nikiel, które mogą sublimować w niższych temperaturach. Powagi tego odkrycia tego nie umniejsza fakt rejestracji linii oparów metali w widmach różnych komet naszego Układu Słonecznego, nawet na dużych odległościach od Słońca (Manfroid J., 2021. *Nature* 593, 372).

Podsumowując wyniki przedstawione w rozprawie doktorskiej mgra Piotra Guzika są bardzo interesujące i oryginalne. Szczególnie doceniam bardzo dobrej jakości obserwacje fotometryczne i ich interpretację, która nie podlega wątpliwości. Bardziej wymagające, moim zdaniem, obserwacje spektroskopowe również zostały przeprowadzone, zredukowane i zinterpretowane z największą starannością. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością warsztatu naukowego, umiejętnością prowadzenia obserwacji na największych teleskopach na Świecie i doskonałą orientacją w dynamicznie rozwijającej się tematyce. Co bardzo ważne, autor pokazał że jest dojrzałym naukowcem, podejmującym się bardzo trudnych zadań i badań. Scharakteryzowane w pracy obiekty są z pewnością tylko preludium do kolejnych odkryć, które już wkrótce nastąpią, po uruchomieniu teleskopu LSST w Obserwatorium Very C. Rubin.

Strona edytorska pracy nie budzi wątpliwości, jedynie brak załączenia tzw. „Supplementary information” w przypadku obu publikacji w *Nature Astronomy* w drukowanej wersji rozprawy, trochę utrudnił recenzję.

Szczegółowy indywidualny wkład doktoranta w powstanie publikacji wchodzących w skład rozprawy podany jest na końcu każdej z publikacji oraz dodatkowo w oświadczeniach współautorów. Również pozycja doktoranta na liście współautorów publikacji determinuje jego bardzo znaczący wkład w powstanie wszystkich publikacji.

Moim zdaniem przedstawiona rozprawa przekracza wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Otrzymane wyniki są niezwykle ciekawe i opublikowane w czasopismach o najwyższym światowym prestiżu.

Wnoszę o dopuszczenie mgra Piotra Guzika do dalszych etapów postępowania doktorskiego, a także wnoszę o wyróżnienie rozprawy.



Prof. UAM dr hab. Agnieszka Kryszczyńska  
Instytut Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu