

## Cel i powody prowadzonych badań

Celem proponowanych badań jest odpowiedź na pytania dotyczące pochodzenia obserwowanych komet bliskoparabolicznych. Podjęte próby wyjaśnienia tego zagadnienia wymaga od nas precyzyjnego wyznaczenia chwilowych orbit badanych obiektów (tzw. orbit oskulacyjnych reprezentujących obserwacje pozycyjne), a potem śledzenia ich ewolucji dynamicznej<sup>1</sup>, początkowo wskutek działania perturbacji planetarnych, a następnie, ze starannym uwzględnieniem zaburzeń grawitacyjnych od gwiazd i pola grawitacyjnego Galaktyki jako całości. Głównym przedmiotem naszego zainteresowania jest liczna grupa komet z tzw. „Oort spike”, czyli komet o pierwotnych<sup>2</sup> pólasiach wielkich przekraczających 10 000 AU, obserwowanych na tyle dobrze by wyznaczenie ich orbit było wiarygodne.

Nowatorstwo projektu nie polega na podjęciu nowego tematu – ten jest aktualny od stuleci, ale na sposobie podejścia do tego zagadnienia. Istotne jest zaproponowanie przez nas nowych, znacznie dokładniejszych metod opracowania obserwacji, indywidualnego dopasowania modelu dynamicznego i ścisłego uwzględnienia wszystkich znanych dzielników wpływających na ruch komety długookresowej tak wewnątrz naszego Układu Słonecznego jak i w jego Galaktycznym siedziwie. Właśnie jest to, co odkrywamy co roku kilka – kilkanaście komet bliskoparabolicznych, zatem wyznaczenie ich precyzyjnych orbit jest i z tej perspektywy zadaniem nieustannie aktualnym.

Problem źródła i pochodzenia komet długookresowych (LPCs z ang. Long-Period Comets) cięgle nie doczekał się jednoznacznego wyjaśnienia. Realizowane coraz powszechniej symulacje komputerowe powstania Układu Słonecznego mają poważne problemy ze stworzeniem obrazu zgodnego z obserwacjami, szczególnie właśnie gdy dotyczy to populacji małych ciał: komet, planetoid, obiektów Dysku Kuipera itp. Innymi słowami, właśnie populacje małych ciał stały się obecnie kluczowe w weryfikacji scenariuszy ewolucji Układu Słonecznego.

Symulacje te są konstruowane na podstawie wyznaczenia orbit kilkuset odkrytych dotychczas LPCs. Twierdzimy jednak, że orbity wielu z tych komet należą do podstawowej weryfikacji, zarówno ze względu na konieczność bardziej powszechnego niż to czyni się obecnie, uwzględnienia tzw. przyspieszenia niegrawitacyjnego istniejącego w ich ruchu wskutek niesymetrycznej sublimacji gazów z powierzchni jądra komety, jak i zastosowania indywidualnego podejścia do każdej z komet osobno przy wyznaczaniu ich orbit, czego dotychczas nie czyniono.

Istnienie Obłoku Oorta, czyli postulowanego źródła, rozległego spichlerza ciał protokometarnych znajdujących się w typowych odległościach rzędu połowy dystansu do najbliższych gwiazd, nadal nie ma pewnego potwierdzenia w faktach obserwacyjnych. Od kilkudziesięciu lat koronnym argumentem jest jedynie rozkład energii orbitalnych obserwowanych LPCs (na podstawie wyłącznie orbit czysto grawitacyjnych), którego maksimum odpowiada półosi wielkiej orbity, a gdzie pomiędzy 30 – 50 tys. AU. Dziś jednak, gdy wartość tej półosi nie powinna być wątpliwa za dowód pochodzenia komety z Obłoku Oorta. Twierdzimy, że stosowanie cięgle prawie powszechnie kryterium  $a > 10\,000$  AU na odróżnienie komet dynamicznie nowych od starych jest daleko niewystarczające, a wręcz błędne. Co więcej, nieuzasadnione jest także nieomal powszechne pomijanie efektów niegrawitacyjnych w ruchu LPCs, wynikające z nieumiejętności ich wyznaczenia.

W naszych wcześniejszych pracach pokazaliśmy, że ponad połowa ze zbadanych przez nas dotychczas komet bliskoparabolicznych o pólasiach przekraczających 10 000 AU (zbadaliśmy dotychczas ok. 1/3 wszystkich znanych) już w poprzednim obiegu wokół Słońca zbliżyła się na odległość mniejszą od 15 AU, czyli nie są to komety dynamicznie nowe jak sądził Oort, gdy w poprzednich obiegach doznały zaburzeń od planet, które mogły zasadniczo zmienić wielkość ich orbit. To oznacza, że rozkład pólasi wielkich populacji komet dzielników za obiekty z Obłoku Oorta jest istotnie zafałszowany poprzez uwzględnienie, w konstruowaniu tego rozkładu, komet dynamicznie starych. Co więcej, ponad połowa badanych komet bliskoparabolicznych z „Oort spike” wydaje się wyciekać z Układu Słonecznego, stąd także pytanie o stacjonarny rozkład pierwotnych pólasi wielkich jest cięgle aktualne. Dlatego jedyną drogą do zrozumienia zasadniczych rozbieżności pomiędzy teorią a obserwacjami jest, według nas, uzyskanie definitywnych informacji o dynamicznej przeszłości i przyszłości obserwowanych LPCs we wszystkich tych przypadkach, gdzie dane obserwacyjne na to pozwalają, czyli umożliwienie precyzyjne i wiarygodne wyznaczenie orbit oskulacyjnych (tam gdzie się uda orbit niegrawitacyjnych) stanowiących punkt wyjścia do prowadzonych przez nas badań dynamicznych obejmujących typowo okres kilku-kilkunastu milionów lat w oparciu o pełen model Układu Słonecznego i jego Galaktycznego otoczenia (pływy Galaktyczne, perturbacje gwiazdowe). Tego typu właśnie badania podstawowych chcemy się podjąć w proponowanym projekcie.

## Metoda i zakres proponowanych badań

Proponowane badania można podzielić na dwie podstawowe grupy zadań badawczych:

Udoskonalenie i zoptymalizowanie metod wyznaczenia orbity oskulacyjnej komety, począwszy od rygorystycznych metod opracowania obserwacji pozycyjnych (równie historycznych, sprzed 100 i więcej lat), poprzez użycie rozbudowanego modelu dynamicznego opisującego ruch komety w Układzie Planetarnym, a do ścisłego uwzględnienia zaburzeń ruchu komet pochodzących od Galaktycznego siedziwa Układu Słonecznego – zbliżających się do Słońca gwiazd oraz pola grawitacyjnego Galaktyki jako całości.

Zbadanie, przy użyciu tak opracowanych narzędzi, ewolucji dynamicznej jak największej liczby odkrytych dotychczas LPCs. Dotyczy to zarówno komet aktualnie obserwowanych (kilka – kilkanaście nowych komet każdego roku) jak i komet „historycznych”, których obserwacje sprzed 100 i więcej lat mogą zostać opracowane i wykorzystane do otrzymania znacznie dokładniejszych orbit. Ruch komet badamy w długich skalach czasowych (kilka – kilkanaście milionów lat) w oparciu o wyznaczone przez

nas orbity oskulacyjne, czyli najlepiej opisuj ce położenia i pr dko ci komety w okresie gdy ta była obserwowana.

Rozszerzenie modelu dynamicznego ruchu komety planujemy zrealizowa w dwóch potencjalnie istotnych dla dynamiki LPCs aspektach, mianowicie chcemy zbada : wpływ ró nych postaci przyspieszenia niegrawitacyjnego na wyznaczanie orbit, czyli podj prób indywidualnego traktowania danych obserwacyjnych gdy mamy dostatecznie bogaty ci g danych obejmuj cy mo liwie długi okres oraz wpływ gwiazdowego otoczenia Sł o ca na ruch badanych komet, czyli rozszerzamy model o oddziaływanie znanych pobliskich gwiazd, dokonuj c gruntownej weryfikacji dotychczasowych wyników w tym zakresie i stosuj c nowe, ciste metody rachunkowe w miejsce stosowanych dot d jedynie przybli e .

W tak rozszerzonym modelu wyznaczymy w sposób mo liwie jednorodny orbity jak najwi kszej liczby dotychczas odkrytych komet bliskoparabolicznych, a na ich podstawie, orbity pierwotne i wychodz ce, czyli te jakie komety miały w momencie wchodzenia do naszego Układu Planetarnego oraz w chwili, gdy z go opuszczaj (za efektywn granic Układu Planetarnego, czyli działania perturbacji planetarnych, przyjmujemy odległo 250 AU od Sł o ca). Orbity te b d nast pnie ledzone na jeden obieg wstecz i w przód z wzgl dnieniem oddziaływa Galaktycznych i gwiazdowych. Pozwoli to na otrzymanie parametrów orbit poprzednich (jeden obieg wstecz) i nast pnych (jeden obieg w przód) wraz z ich niepewno ciami. Dopiero na podstawie takich wyników mo liwa jest próba odpowiedzi na pytanie o ródło czy ródła komet długookresowych – pytanie pozostaj ce wci bez jednoznacznej odpowiedzi.