prof. dr hab. Andrzej Pigulski
Instytut Astronomiczny
Uniwersytetu Wrocławskiego
ul. Kopernika 11
51-622 Wrocław

Wrocław, 6 lutego 2017

Ocena rozprawy doktorskiej mgr Weroniki Narloch
„Astrometria wybranych gromad kulistych"

Zwykle na początku recenzji rozprawy doktorskiej przywołuję główne cele, które stawia sobie autor przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej. To z kolei pozwala mi wyrazić swój pogląd na znaczenie naukowe takiego projektu doktorskiego i to, czy jest on odpowiedni dla kandydata do stopnia doktora. Ma to ścisły związek z ustawowym wymogiem, aby rozprawa doktorska stanowiła *„oryginalne rozwiązanie problemu naukowego"* [art. 13, ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami]. W przypadku pracy doktorskiej pani Narloch, problem naukowy, który trzeba rozwiązać właściwie nie został w pracy sformułowany. Trudno więc odnieść się do tego, w jakim stopniu projekt ten został zrealizowany, a zakładane cele osiągnięte. Mogę się ich co najwyżej domyślać. Niewątpliwie w badaniach gromad kulistych (zwłaszcza tych, które leżą stosunkowo blisko płaszczyzny Galaktyki) kwestia oddzielenia gwiazd gromady od gwiazd tła jest ważna. Metody separacji gwiazd gromady i tła oparte o ruchy własne pozwalają – w przeciwieństwie do np. metody opartej na prędkościach radialnych, którą w praktyce można użyć tylko do najjaśniejszych gwiazd – zrobić to nawet dla słabych gwiazd, o ile tylko ruchy własne wyznaczone są z dostateczną dokładnością. Dużo ciekawsze wydaje się jednak to, co można zrobić jeśli już takiej separacji się dokona. Część wyników uzyskanych przez panią Narloch (Rozdz. 4) jest temu poświęcona. Można dla przykładu wykorzystać pewne typy gwiazd zmiennych do badań właściwości samej gromady, wyznaczyć ogólne parametry gromady (wiek, poczerwienienie, odległość), czy też badać ruch gromady w polu grawitacyjnym Galaktyki. Kłopot w tym, że próby szerokiego wykorzystania uzyskanych przez panią Narloch wyników czy choćby przedyskutowania ich w świetle naszej obecnej wiedzy o gromadach kulistych w rozprawie właściwie nie ma. **Brak wyczerpującej dyskusji uzyskanych wyników w szerszym kontekście astrofizycznym uważam za największy mankament tej pracy.** Dla przykładu, Rozdz. 4.1 składa się trzech (!) zdań i 13 tabel, gdzie aż się prosi, aby przedyskutować, do czego można wykorzystać uzyskaną informację o przynależności do gromady takich gwiazd jak gwiazdy typu RR Lyrae, SX Phoenicis czy też ważne z punktu widzenia projektu CASE układy zaćmieniowe. Tym bardziej, że jak mi się wydaje (pewności nie mam, bo informacji o tym w pracy nie ma), wyniki uzyskane przez panią Narloch zostały wykorzystane w publikacjach projektu CASE poświęconych NGC 6362 (Kałużny i in., 2014, AcA 64,309), M12 (Kałużny i in., 2015, AcA 65, 267), NGC 3201 (Kałużny i in., 2016, AcA 66, 31) oraz NGC 362 (Różyczka i in., 2016, AcA 66, 307) właśnie w dyskusji przynależności gwiazd zmiennych do tych gromad.

Jednocześnie chcę podkreślić, że praca zawiera wiele wartościowych wyników i dla każdego, kto zajmował się fotometrią pól gwiazdowych jest oczywiste, że zostało w nią włożone bardzo wiele pracy. Szczegółowe uwagi do poszczególnych rozdziałów przedstawiam niżej, tutaj tylko zaznaczę, że używane metody uważam w większości za prawidłowe, a uzyskane wyniki za wiarygodne. Za **najbardziej wartościowe wyniki tej rozprawy** uważam wyznaczenie względnych ruchów własnych dla prawie 450 tys. gwiazd w polach 12 gromad kulistych oraz wyliczenie dla nich dwóch wskaźników odnoszących się do ich członkostwa w gromadzie: statusu i prawdopodobieństwa przynależności (Rozdz. 3.3). Wartościowe jest także wyliczenie jasności w pasmach B i V dla prawie 700 tys. gwiazd w tychże polach. Jako materiał porównawczy użyteczne mogą być też inne wyniki przedstawione w Rozdz. 4: wykresy wskaźnik barwy – jasność

oczyszczone z gwiazd pola, profile rozkładów radialnych błękitnych maruderów i bezwzględne ruchy własne dla 6 gromad.

Pora na nieco bardziej szczegółowe uwagi merytoryczne do poszczególnych rozdziałów rozprawy, przy czym będę się głównie odnosił to tych miejsc, które budzą moje wątpliwości lub też nie są dla mnie do końca zrozumiałe.

Rozdz. 1 (Wstęp): Wstęp napisany jest stosunkowo dobrze, choć brakuje w nim przedstawienia motywacji do podjęcia tej tematyki i zdefiniowania samego problemu badawczego, który podejmowany jest w rozprawie. Brakuje też szerszego spojrzenia na astrometrię i przestawienia (choćby w kontekście wyznaczanych później absolutnych ruchów własnych) problemu układu odniesienia w astrometrii (w pracy nie pada nazwa ICRS czy ICRF). Gromady kuliste nie zawsze są stare (str. 8), przykładem jest choćby Wielki (nie „*Duży*", str. 9) Obłok Magellana. Tak jest w Galaktyce, choć o niektórych tzw. supergromadach czy asocjacji Cygnus OB2 mówi się czasami jako o galaktycznych młodych gromadach kulistych.

Rozdz. 2 (Dane i metody analizy): Rozdział 2 przedstawia dane analizowane w rozprawie (zebrane w ramach projektu CASE i uzyskane za pomocą 1-m teleskopu Swope w LCO, w tym częściowo przez autorkę rozprawy) oraz metody wyznaczania ruchów własnych i parametrów określających prawdopodobieństwo przynależności gwiazdy do gromady. Jak wspomniałem wyżej, uważam, że metody te są w większości prawidłowe, mam jednak do ich opisu kilka uwag i pytań:

- Rozumiem dlaczego do utworzenia obrazu referencyjnego użyto serii następujących po sobie obrazów (str. 24), skutkuje to jednak znacznym rozrzutem jasności gwiazd na gałęzi horyzontalnej w obszarze, gdzie występują gwiazdy typu RR Lyrae (np. dla M4, Rys. 3.17 i 4.3; dla NGC 6362, Rys. 4.2; dla NGC 362, Rys. 4.10 i M5, Rys. 4.11). Wynika to z tego, że faza pulsacji danej gwiazdy dla obrazu referencyjnego jest przypadkowa. Można to było poprawić i użyć średnich jasności, bo końcowa fotometria wykonana jest na bardzo dużej próbce (Tab. 2.5). Podobnie ma się rzecz z innymi gwiazdami zmiennymi o dużych amplitudach (gwiazdy zaćmieniowe, SX Phe), zwłaszcza, że pozycja tych gwiazd na wykresach wskaźnik barwy – jasność jest w pracy wykorzystywana (np. Rozdz. 4.3).
- Autorka nie tłumaczy dlaczego obrazy referencyjne (a w konsekwencji także pozostałe obrazy) zostały podzielone na podpola. Domyślam się, że przyspieszyło to obliczenia. Łatwo jednak można wymienić problemy jakie taki podział mógł sprawić: (i) problemy z transformacją geometryczną przy brzegach podpól, (ii) brak fotometrii/ruchów własnych dla gwiazd leżących na brzegu, (iii) systematyczne różnice między transformowanymi współrzędnymi dla gwiazd leżących blisko siebie, ale w innych podpolach, (iv) znaczne różnice w dokładności transformacji związane ze zbyt dużą (centralne części gromad) lub zbyt małą gęstością gwiazd w podpolu.
- Nie jest dla mnie jasne, czy przy powyższym podziale podpola były rozłączne czy też zachodziły na siebie. Z tekstu na str. 25 („*... pola były traktowane niezależnie...*") i str. 35 wynika, że raczej były rozłączne. Gdyby zachodziły na siebie, spodziewałbym się informacji jak szeroka była „zakładka" oraz dyskusji, jak traktowano wyniki dla tej samej gwiazdy z zachodzących na siebie podpól. Tego nie ma, więc sądziłem, że były rozłączne. Z drugiej strony autorka pisze jednak (str. 55): „*... przeprowadzono analizę dla zachodzących na siebie podpól w polach gromad kulistych*". Jak więc naprawdę było?
- Spodziewam się, że przy podziale na podpola fotometria centralnych części gromad była bardzo trudna z uwagi na problem z wyznaczeniem PSF. Chętnie bym zobaczył przykładowy obraz centralnego pola gromady po odjęciu wszystkich dopasowanych gwiazd.

- Chętnie zobaczyłbym też przykładowe równania transformacyjne (Rozdz. 2.1.4) zarówno dla przypadku transformacji na gromadzie jak i na polach Landolta. Zwłaszcza ten drugi przypadek powinien zostać opisany i pokazany, bo wymaga przejścia przez współczynniki ekstynkcji. Współczynniki transformacji (równania 2.1) powinny zostać podane w tabeli żeby można było ocenić ich spójność. Równania 2.1 nie są niezależne (odjęcie pierwszego od drugiego daje trzecie); jaka jest zgodność między współczynnikami tych równań?
- Wyznaczając ruchy własne pani Narloch ogranicza się do obrazów uzyskanych dla masy powietrznej nie większej niż 1,45 (str. 34), zaniedbując następnie refrakcję różnicową (choć unika gwiazd gałęzi horyzontalnej przy wyborze gwiazd siatki, str. 36). Moim zdaniem w takim wypadku refrakcja różnicowa wciąż może być znacząca. To, czy można ją zaniedbać, powinno zostać pokazane choćby rysując residua od dopasowań takich jak na Rys. 2.15 w funkcji masy powietrznej i dla gwiazd o różnych wskaźnikach barwy. Jeszcze lepsze byłoby sprawdzenie tego efektu po przeliczeniu residuów na współrzędne horyzontalne. Zaniedbanie tego efektu daje gorsze dopasowania i może prowadzić do efektów systematycznych (o tym także niżej).
- Należało pokazać dla kilku przypadków iż rzeczywiście dwuwymiarowy wielomian Czebyszewa trzeciego stopnia (str. 37) jest wystarczający do transformacji. Ile parametrów było wyznaczanych przy dopasowaniach?
- Dlaczego równanie transformacyjne do współrzędnych równikowych zawiera tylko 2 wyrazy 3. rzędu i jeden wyraz 4. rzędu?
- Metody *bootstrapu* użyto do stwierdzenia braku korelacji między składowymi ruchów własnych (str. 40/41), a można jej użyć także do wyznaczenia wartości tych ruchów i odchyleń standardowych (rozrzuty na Rys. 2.16). Czy są one zgodne z błędami policzonymi metodą różniczki zupełnej?
- Nie zdefiniowano, co to są *„średnie niepewności ruchów własnych"* (Rozdz. 2.5.1). Szkoda, że nie podano w pracy parametrów dopasowań do funkcji postaci (2.12) i (2.13).
- Bardzo zagadkowo brzmi przedostatnie zdanie Rozdz. 2: *„W powyższych rozważaniach pominięto efekt rozkładu przestrzennego z powodu relatywnie niewielkich rozmiarów pola widzenia"*. Co to znaczy?

Rozdz. 3 (Przedstawienie wyników): W rozdziale tym przedstawione zostały główne wyniki rozprawy, czyli ruchy względne ponad 400 tys. gwiazd w polu 12 gromadach kulistych oraz parametry związane z oceną ich członkostwa w tych gromadach. Dyskusja wyników jest bardzo lakoniczna (nawet w Rozdz. 3.2 zatytułowanym „Dyskusja jakości...") lub jej po prostu brakuje. Kilka szczegółowych uwag do tego rozdziału:

- Na str. 50 pani Narloch pisze: *„We wszystkich analizowanych gromadach dało się zauważyć ogólną tendencję wzrostu absolutnych wartości ruchów własnych [...] dla słabszych gwiazd"*. Pomijając już to, że w kontekście dyskutowanych dalej absolutnych ruchów własnych przymiotnik „absolutny" nie powinien być tu użyty, takiego wzrostu na wskazanych rysunkach nie widać. Nie bardzo zresztą rozumiem dlaczego taki wzrost miałby nastąpić.
- Na Rys. 3.3 – 3.5 i 3 – 6 Dodatku widać równoległe ciągi na wykresach V – $\log(\sigma_\mu)$, czasami wskazujące na rząd różnicy (!) w dokładności wyznaczenia ruchów własnych. Istnienie tych ciągów i różnic tłumaczone jest tym, że dla gwiazd z ciągów leżących wyżej ruchy własne policzono z mniejszej liczby danych, bo używano obrazów o niejednorodnym rozmiarze. Nie bardzo to rozumiem, bo Rys. 2.2 – 2.13 pokazują prostokątne obszary odpowiadające polu widzenia kamery SITe#3, a pole widzenia drugiej kamery było większe (str. 23). Jeśli więc nawet obserwacje danej gromady były wykonane obydwiema kamerami, wszystkie powinny obejmować w całości prostokątne pola pokazane na Rys. 2.2 – 2.13. Rzecz chyba częściowo wyjaśnia się dopiero w Dodatku (str.

139), gdzie pani Narloch wspomina o tym, że istnieje przesunięcie rzędu dziesiątych części piksela na granicy wzmacniaczy kamery E2V. Jeśli tak było, należało ten efekt uwzględnić lub choćby oszacować wpływ tego zjawiska na wyznaczane ruchy własne.

- O ile analiza gwiazd z przecięcia pól E i W 47 Tuc nie budzi wątpliwości, o tyle pokazanie przykładu przecięcia podpól w M4 (Rozdz. 3.2.2) skłania do wielu pytań, które wyraziłem już w uwagach do Rozdz. 2. Chodzi o to, czy dla wszystkich gromad były zakładki, jakie duże były i jak traktowane były wyniki dla gwiazd z zakładek?
- Wyznaczone przez mgr Narloch ruchy własne porównywane są w Rozdz. 3.2.4 z wcześniejszymi wyznaczeniami tylko dla jednej gromady (M55) i odnoszą się do dwóch prac, Złoczewskiego i in. (2011) i Sariyi i in. (2012). Znaczące statystycznie różnice ruchów własnych dla gwiazd w różnych przedziałach jasności w stosunku do pracy Sariyi i in. (2012) nie są dyskutowane, a mogą wynikać choćby z tego, że poprawiają oni swoje ruchy własne na różnicową refrakcję (ich Rys. 4 i Rozdz. 2.1.4), czego w tej pracy nie ma. Porównania dla sześciu innych gromad pokazane są w Dodatku (Rys. 7 – 12) (tylko z pracą Złoczewskiego i in. 2012). Trudno jednak sobie wyrobić zdanie na temat zgodności, zwłaszcza, że w podpisach podane są – mam wrażenie – nie błędy średniej, ale odchylenia standardowe. Na Rys. 12 rozrzuty na rysunku są wizualnie podobne w rektascensji i deklinacji, a podany błąd w rektascensji jest prawie 4 razy większy niż w deklinacji. Różnice powinny być podane przynajmniej dla kilku przedziałów jasności, a porównanie zrobione także dla innych wyznaczeń, jeśli istnieją.
- Kompletność wyznaczania ruchów własnych (Rozdz. 3.2.5) określana jest w stosunku do gwiazd, dla których uzyskano fotometrię na obrazach referencyjnych. Jest dla mnie oczywiste, że fotometria ta nie jest kompletna do jasności V = 20 – 23 mag, do której sięgają wykresy fotometryczne. Ciekawe byłoby więc oszacowanie absolutnej kompletności wyznaczania ruchów własnych. Do tego można było wykorzystać obrazy HST, choćby w tej ograniczonej liczbie używanej w Rozdz. 4.3. Słowo „skuteczność" jest w Rozdz. 3.2.5 niepotrzebnie używane na zastąpienie kompletności.
- Porównanie wyznaczonych w pracy doktorskiej prawdopodobieństw przynależności do gromady z prędkościami radialnymi gwiazd gromad uważam za wartościowe. Szkoda tylko, że rysunek podobny do dolnego panelu na Rys. 3.20 nie został narysowany dla wszystkich czterech analizowanych w tym rozdziale (3.4) gromad. Można też było szerzej przedyskutować przyczyny nielicznych rozbieżności między wynikami z obydwu metod.
- Razi rozrzut gwiazd na gałęzi horyzontalnej gromady M4 (Rys. 3.17) i innych gromad, wynikający ze zmienności typu RR Lyrae, co można było poprawić (zaznaczyłem to już wcześniej).

Rozdz. 4 (Zastosowanie otrzymanych ruchów własnych): W tak zatytułowanym rozdziale spodziewałem się znaleźć szczegółową dyskusję uzyskanych wyników oraz ich znaczenia z punktu widzenia badań gromad kulistych w ogólności. Niestety, czasami sprowadza się on tylko do suchego podania faktów lub wyników obliczeń. Podobnie jak wyżej, zamieszczam tu kilka szczegółowych uwag i pytań:

- Nie ma dyskusji w Rozdz. 4.1, choć ciekawe byłoby sprawdzenie jak wygląda przynależność do gromad gwiazd zmiennych powszechnych w starych populacjach, takich jak gwiazdy RR Lyrae i SX Phe. Z punktu widzenia projektu CASE dobrze byłoby przedyskutować to samo dla układów zaćmieniowych. Nie ma też dyskusji ewidentnych przykładów gwiazd RR Lyrae w Małym Obłoku Magellana widocznych na wykresach wskaźnik barwy – jasność NGC 362 (Rys. 4.10) i 47 Tuc (Rys. 4.13) dla V ≈ 19.8 mag czy też w galaktyce karłowatej Sgr dSph na

podobnym wykresie dla M55 (V ≈ 17 mag); tym bardziej, że pokrywa się to w tej gromadzie z obszarem błękitnych maruderów.

- Jednoznaczne rozdzielenie członków gromady od gwiazd pola na podstawie ruchów własnych mierzonych z taką dokładnością jak zrobione jest to w pracy mgr Narloch, jest praktycznie niemożliwe, zwłaszcza dla gromad położonych stosunkowo blisko płaszczyzny Galaktyki, których ruch własny różni się niewiele od ruchu własnego gwiazd pola. Tym niemniej ciekawe byłoby zobaczenie jaki wpływ na jakość rozdzielenia ma wybór innej wartości P1, choćby dla jednej gromady. Można się także zastanawiać czy nie można by było sprawdzić jak wygląda funkcja jasności gromady po rozdzieleniu i czy nie można by wykorzystać tej funkcji do weryfikacji jakości rozdzielenia (z zastrzeżeniem znajomości kompletności). Albo spróbować wykorzystać ruchy własne z katalogów astrometrycznych dla gwiazd w okolicy gromady aby wyznaczyć dyspersję i średnie wartości tych ruchów.
- Radialny rozkład błękitnych maruderów (Rozdz. 4.3). Przyznaję, że wyniki uzyskane w tym rozdziale budzą moje wątpliwości. Zastąpienie listy gwiazd w centralnym obszarze danymi z HST jest być może właściwe, aby jednak uzyskać wiarygodny rozkład radialny trzeba być pewnym kompletności obiektów, dla których taki rozkład jest robiony (błękitni maruderzy) i próbki, z którą robimy porównanie („populacja referencyjna", tutaj: podolbrzymy i olbrzymy z tego samego zakresu jasności). Czy tak rzeczywiście jest dla obszaru, dla którego nie ma już obserwacji z HST? Moje wątpliwości biorą się także z tego, że na Rys. 4.17 dla wszystkich gromad ostatni punkt wyliczony w oparciu o dane HST ma dużo większy błąd niż sąsiednie. Jeśli posłużono się modułem odległości i poczerwienieniem z katalogu Harris (1996) (str. 110), to o żadnym dopasowaniu do ciągu głównego nie ma mowy. Badanie bimodalności poza obszarem, dla którego mamy kompletny pierścień skutkuje skokiem dokładności, co widać wyraźnie dla NGC 3201. Najpoważniejsza moja wątpliwość co do wiarygodności wyniku bierze się z jednakże z Rys. 4.14. Widać wyraźnie, że dla wszystkich czterech gromad gwiazdy sklasyfikowane jako błękitni maruderzy leżą nie tylko na przedłużeniu ciągu głównego, ale w całym obszarze ograniczonym ścieżką ewolucyjną gwiazdy o masie 1,4 $M_{\odot}$. W szczególności chodzi mi o obszar położony nad punktem odejścia. Dla wszystkich czterech gromad średnia kontaminacja w badanym polu przez gwiazdy pola jest rzędu 15-25% (Tab. 3.3), ale – co ważniejsze – gwiazdy pola nie separują się dobrze na wykresach VPD od gwiazd gromad, zwłaszcza dla M12 i NGC 6362. Wydaje mi się więc, że wiele z gwiazd zaliczonych do błękitnych maruderów to gwiazdy pola, a to już może wpływać na wygląd profilu radialnego. Jednoznaczność separacji gwiazd pola i gromady zależy przecież od odległości od centrum gromady (kontaminacja też). Tym bardziej, że – jak pisze pani Narloch (str. 112) – „dane HST nie były wcześniej czyszczone z gwiazd pola".
- Mgr Narloch wspomina (str. 109) o podwójnym ciągu błękitnych maruderów odkrytym przez Ferraro i in. (2009) w M30. Szkoda, że nie zweryfikowano tego wyniku w tej pracy (M30 jest jedną z badanych gromad).
- Bezwzględne/absolutne ruchy własne dla sześciu gromad policzone z wykorzystaniem znanych z literatury absolutnych ruchów własnych SMC i Sgr dSph i założenia zerowego ruchu własnego dla kwazarów uważam za wartościowy wynik tej pracy. Rysunek 4.18 pokazuje jednak, że w wielu wypadkach wyznaczenia autorki różnią się znacząco od innych wyznaczeń (co sama zauważa w podsumowaniu, str. 124). Dobrze by więc było przedyskutować możliwe przyczyny takich rozbieżności.

Rozdz. 5 (Podsumowanie) i Dodatek: Do Podsumowania i Dodatku w zasadzie nie mam uwag; można tam znaleźć bardzo lakoniczne wnioski odnoszące się do oceny jakości wyznaczanych ruchów własnych.

Jak wspomniałem już wyżej, podstawowym mankamentem pracy jest bardzo lakoniczna lub wręcz brak dyskusji otrzymanych wyników. Dla przykładu, nigdzie w pracy nie jest dyskutowana naturalna dyspersja ruchów własnych gwiazd gromady nietrudna do oszacowania dla tych gromad, gdzie zmierzona jest też dyspersja prędkości radialnych. Czy dałoby się wykorzystać funkcje jasności do weryfikacji rozdzielenia gwiazd gromady i tła? Czy istnieją obserwacje HST (poza tymi pokazanymi w pracy), które można by wykorzystać do niezależnego wyznaczenia ruchów własnych w gromadach kulistych albo choćby weryfikacji kompletności listy gwiazd? Skoro dokonano oddzielenia gwiazd gromady i pola, można było wyznaczyć parametry gromad poprzez dopasowanie izochron. W pracy poświęconej astrometrii bardzo dziwny jest brak odniesienia się do tego, jak mająca nastąpić wkrótce publikacja wyników z Gai wpłynie na astrometrię w gromadach kulistych.

Strona redakcyjna pracy

Praca napisana jest stosunkowo dobrym językiem, a ilustrujące ją rysunki są w większości dobrze opisane i przejrzyste. Autorka nie ustrzegła się jednak pewnej ilości „kalek" z języka angielskiego czy słów obcego pochodzenia tam, gdzie można było użyć ich polskich odpowiedników. Lepiej więc pisać o „względnych" niż „***relatywnych***" ruchach własnych (str. 10), „składnikach układu", a nie „***komponentach systemu***" podwójnego (str. 12), „wkładzie" zamiast „***kontrybucji***" (str. 44), „rozkładzie", a nie „***dystrybucji***" (str. 44), „spójności" a nie „***konsystencji***" wyników (str. 47, tytuł Rozdz. 3.2, str. 123), „zagęszczeniu", a nie „***zgęstnieniu***" gwiazd (str. 48) „błękitni maruderzy", a nie „***błękitne marudery***" (str. 109 i następne), niebieska „granica", a nie „***limit***" (str. 110). Bardzo niezręczne są wyrażenia typu „szybkie gwiazdy [...] ***afektowały*** transformacje" (str. 39), „***zaafektowane***" (str. 42), „***sfotometrowane*** gwiazdy" (str. 41, 47). Dość dwuznacznie brzmi pojęcie „***suma kontrybucji od wszystkich Gaussów***" (str. 44). Pojęcie „epoki" (str. 33, 39) nie jest wyjaśnione, a może być różnie rozumiane. Nie wiem, co to są „***bimodalne trendy***" (str. 124).

Końcowa konkluzja

Podsumowując, uważam, że mimo dość licznych mankamentów, a w szczególności bardzo lakonicznej dyskusji otrzymanych wyników, rozprawa doktorska mgr Weroniki Narloch zawiera wartościowe wyniki naukowe. Są one na tyle istotne dla badań gromad kulistych, że pozwala mi to uznać rozprawę za **spełniającą formalne warunki stawiane rozprawom doktorskim** i wnioskować o dopuszczenie mgr Weroniki Narloch do dalszych etapów postępowania, w tym publicznej obrony rozprawy doktorskiej.