

Mikołaj Sabat

Obserwacje komety C/2013 US10 (Catalina) w Sekcji Obserwatorów Komet PTMA

1. WSTĘP

C/2013 US10 (Catalina) została odkryta 31 października 2013 roku w ramach przeglądu nieba Catalina Sky Survey, przy użyciu liczącego 68 cm średnicy astrografu Schmidta-Cassegraina. Początkowo została uznana za planetoidę o krótkim, około 6-letnim, okresie obiegu wokół Słońca. Po uwzględnieniu kolejnych obserwacji, okazało się, że na serii zdjęć wykonanych półtora miesiąca przed odkryciem, została pomyłona z innym obiektem, co skutkowało wprowadzeniem znacznego błędu w początkowych obliczeniach jej orbity. Właśnie tej pomyłce zawdzięcza oznaczenie „US10” w swojej nazwie, wyróżniające ją spośród innych komet nazywanych według standardowego systemu klasyfikacji. Po wprowadzonej korekcie orbity wiemy, że to zupełnie nowy obiekt w Układzie Słonecznym o hiperbolicznej orbicie, który przeszedł przez peryhelium 15 listopada 2015 r. w odległości ok. 0,82 AU (127 mln km) od naszej Dzielnej Gwiazdy. Pełny obieg wokół Słońca zajęłby jej kilka milionów lat, zatem z pewnością nie zostanie ona zaobserwowana przez ludzkość podczas kolejnego powrotu w okolice Słońca, o ile takowy w ogóle nastąpi. Mocno ekscentryczna orbita może spowodować, że kometa opuści nasz układ planetarny i być może w odległej przyszłości trafi w bliskie rejony innej gwiazdy. W taki sposób mogła również dotrzeć do Układu Słonecznego, choć to nie znaczy, że nie można wytłumaczyć jej słonecznego pochodzenia. Równie prawdopodobne jak podróż z odległej przestrzeni międzygwiazdowej, w przypadku komet jednopojawieniowych, jak i wielu innych obiektów Obłoku Oorta, wydaje się być zakłócenie ich orbit przez zbliżenie jakiejś gwiazdy do rodzimego układu planetarnego i przyciągnięcie niewielkich obiektów na obrzeża układu.

Kometę Catalina jako pierwszy dostrzegł Richard Kowalski – astronom amator z Arizony, prowadzący poszukiwania planetoid. W chwili odkrycia znajdowała się blisko 7,7 AU od Ziemi i miała jasność 19 magnitudo. Ten fakt już wtedy pozwalał myśleć o niej jako o kandydatce na bardzo interesujący i jasny obiekt do obserwacji. Przez ostatnie 2 lata od czasu odkrycia, C/2013 US10 (Catalina) była widoczna jedynie dla obserwatorów z południowej części Globu. Już od grudnia 2013 r. pojawiały się regularne obserwacje fotometryczne komety, wykonywane także przy użyciu zdalnych teleskopów w Australii. Od maja do września 2014 r. jej jasność wzrosła z mniej niż 16 mag do prawie 14 mag i na tym poziomie utrzymywała się przez kolejne pięć miesięcy. Stopniowo zbliżając się do naszej planety, od kwietnia do lipca 2015 r. pojaśniała od ok. 13 mag do 10 mag, stając się obiektem widocznym w lornetkach. Przez lipiec zyskała kolejne 2 wielkości gwiazdowe, co zwiastowało szybkie zbliżanie się do Ziemi. Do największego zbliżenia doszło 15 sierpnia. Wówczas C/2013 US10 znajdowała się w odległości niespełna 1,1 AU od Niebieskiej Planety i miała jasność już ok. 6,5 mag. Co prawda niedługo po maksymalnym zbliżeniu jej jasność delikatnie spadła, ale przez większość września i października utrzymywała się na podobnym poziomie. Przez ten okres jawiła się jako obiekt z równomiernie skondensowaną gazową otoczką. Dopiero latem można było z powodzeniem

zaobserwować wizualnie warkocz komety – wcześniej było to możliwe jedynie przy użyciu kamery CCD i nie rozwijał on rozmiarów większych niż kilka minut kątowych.

2. ANALIZA OBSERWACJI

Pierwsze obserwacje z terenów Polski wykonano 25 listopada 2015 r. Do Sekcji Obserwatorów Komet PTMA spłynęło 77 raportów z obserwacji, w tym 74 z obserwacji wizualnych oraz 3 z fotometrii CCD. Wszystkie dane zawierały ocenę jasności komety, 74 dotyczyły średnicy gazowej otoczki i stopnia jej kondensacji, a 19 – długości warkocza.

W obserwacjach uczestniczyło 12 obserwatorów, zestawionych w tabeli poniżej.

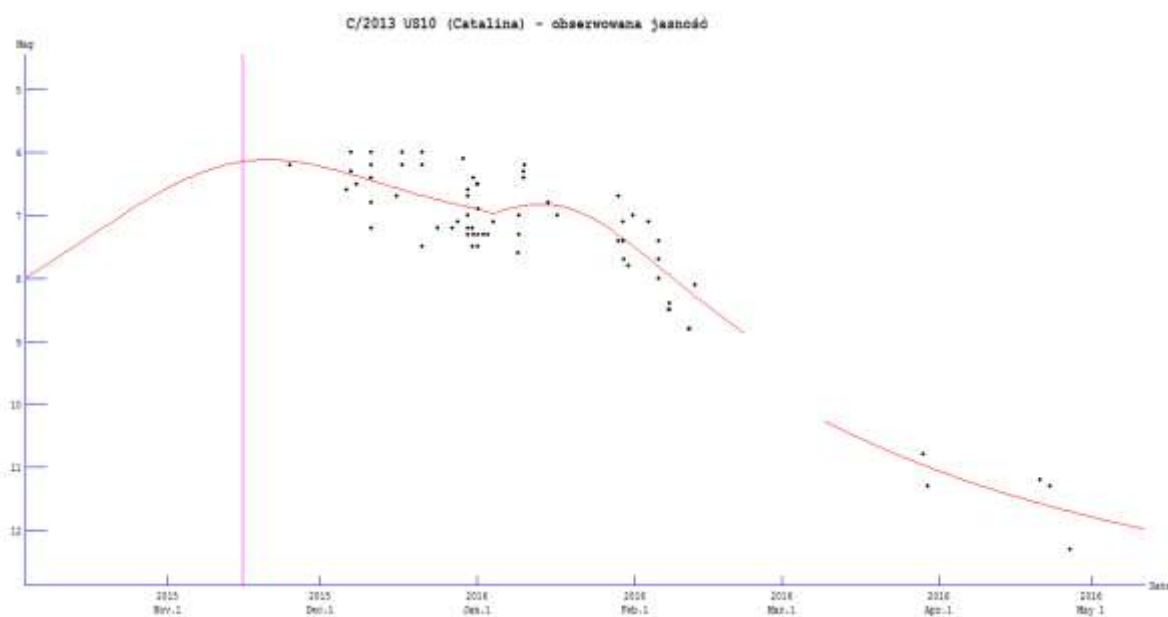
Obserwator	Miejscowość	Użyty sprzęt	Liczba obserwacji
Jerzy Bohusz	Myślin	6B 20L 38L	6
Tomasz Fajfer	Toruń	7B	1
Marcin Filipek	Jerzmanowice	5B 10B 40L	6
Piotr Guzik	Kraków	E 5B 33L	11
Grzegorz Kiełtyka	Krosno	5B 11L	2
Józef Lubas	Krosno	5B 6R	11
Wacław Moskal	Jaśło	6B 10B	3
Mieczysław Paradowski	Lublin	5B 7R 10B	6
Jacek Powichrowski	Knyszyn	5B 35L	10
Mikołaj Sabat	Kielce	5B 11B	2
Tomasz Ścieżor	Kraków	10B	13
Mariusz Świętnicki	Zręcin	7B 25L	6
Oznaczenia użytego sprzętu: E – oko nieuzbrojone, B – lornetka; teleskopy: L- Newtona, R- refraktor, T – SCT Liczby oznaczają średnicę obiektywu w centymetrach. Kolorem niebieskim oznaczono sprzęt używany do obserwacji fotometrycznych z detektorem.			

Tak przedstawiają się indywidualne „rekordy”, ustanowione przez obserwatorów SOK PTMA podczas śledzenia komety C/2013 US10 na polskim niebie:

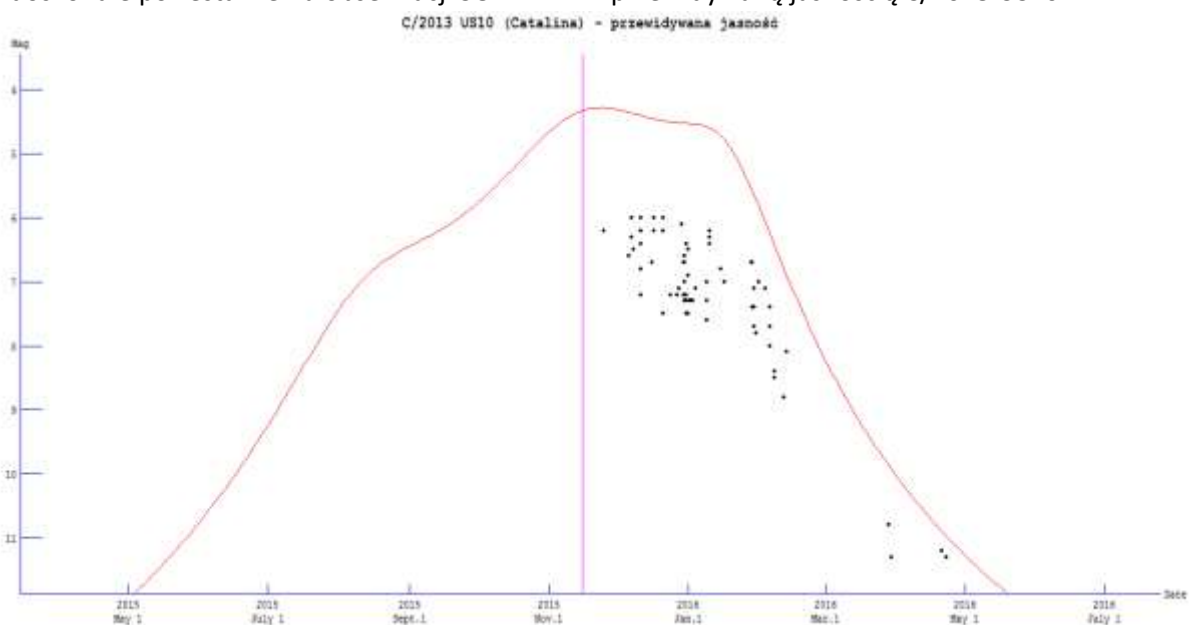
- pierwsza obserwacja (25 XI 2015 r.) – Piotr Guzik, Mariusz Świętnicki;
- ostatnia obserwacja (26 IV 2016 r.) – Piotr Guzik;
- najdłuższa seria obserwacji (25 XI 2015 r. – 26 IV 2016 r.) – Piotr Guzik;
- najwięcej nocy obserwacyjnych (13) – Tomasz Ścieżor.

2.1. Jasność komety

Analizę obserwacji C/2013 US10 (Catalina) rozpoczniemy, już tradycyjnie, od przyjrzenia się krzywej blasku komety. Wszystkie 77 pomiarów przedstawiono w funkcji czasu:

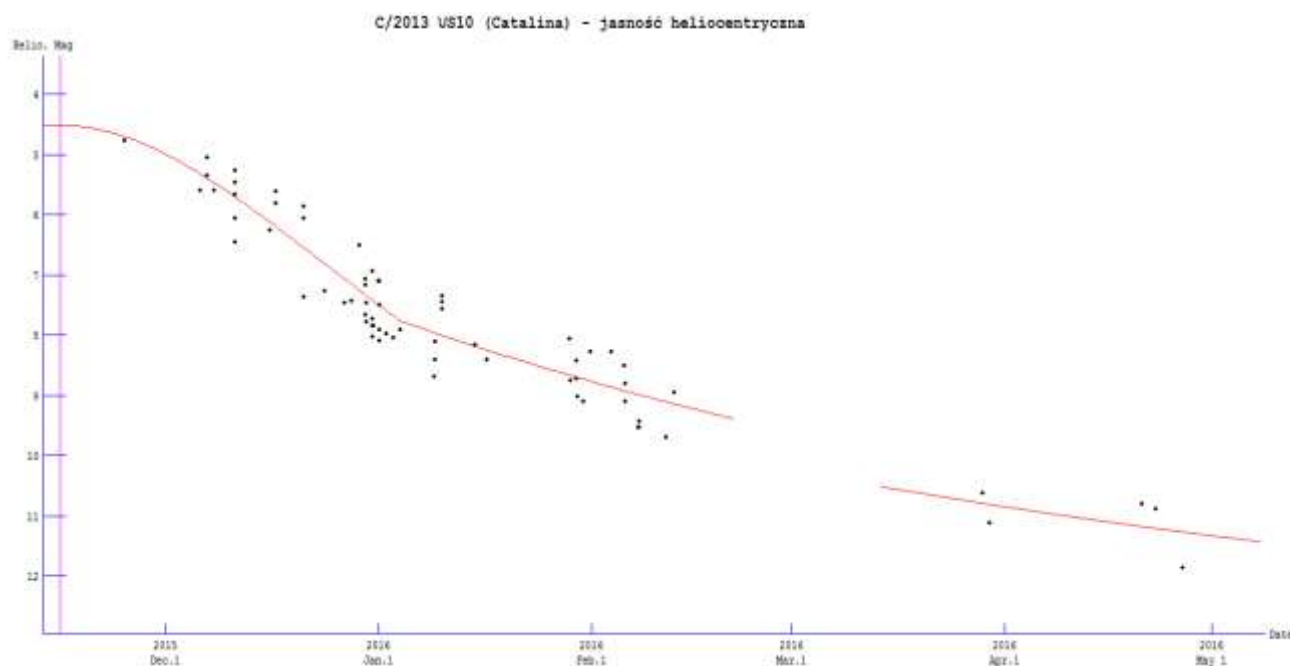


Maksymalne różnice w szacowanych jasnościach komety w podobnym czasie nie przekraczają ok. 1,5 mag – można zatem stwierdzić, że pomiary zostały wykonane z zadowalającą dokładnością. Obserwacje SOK PTMA ograniczają się jedynie do okresu po peryhelium komety, bowiem przed tym wydarzeniem nie była widoczna z naszej szerokości geograficznej. Luka w wykresie rozpoczynająca się w połowie lutego i trwająca aż do ostatniej dekady marca związana jest najprawdopodobniej z niesprzyjającą pogodą końcem zimy 2016 r. Choć trudno w to uwierzyć, w czasie półtora miesiąca nie wykonano żadnych obserwacji tej komety, choć jej jasność utrzymywała się wówczas na poziomie ok. 9 mag. To pokazuje jak dużą rolę odgrywa czynnik pogodowy w masowych akcjach obserwacyjnych. Uzyskana w połowie grudnia 2015 r. jasność maksymalna ok. 6 mag przyczyniła się do bezdyskusyjnej atrakcyjności obiektu, choć początkowe prognozy były jeszcze bardziej optymistyczne. Widać to doskonale po zestawieniu obserwacji SOK PTMA z przewidywaną jasnością C/2013 US10:



Z pewnością bylibyśmy świadkami przelotu jednej z najbardziej efektywnych komet ostatnich lat, gdyby nie niekorzystna pozycja Ziemi w okresie niedługo przed i po peryhelium C/2013 US10, a więc wówczas, gdy można było spodziewać się jej największej jasności. W listopadzie odległość Ziemi od Komety Catalina utrzymywała się w okolicach 1,7 AU, a więc obiekt był niemalże po przeciwnej stronie Słońca niż nasza planeta. Dużo lepszych efektów ziemscy obserwatorzy doświadczyliby, gdyby kometa przechodziła przez peryhelium w maju 2015 r. Wówczas dzieliłaby nas od niej odległość zaledwie ok. 0,2 AU! Nie trudno sobie wyobrazić, na jak jasną i dużą kątowo kometę moglibyśmy w takiej sytuacji liczyć. Tymczasem C/2013 US10 prezentowała się jako mocno skondensowany obiekt, którego maksymalna jasność utrzymywała się na poziomie ok. 6 mag. Wprawdzie pierwsze prognozy mówiły nawet o wielkościach rzędu 4 mag, jednak na przełomie lata i jesieni, jej jasność ustabilizowała się w okolicy 6,5 mag i ostatecznie nie jaśniała tak gwałtownie, jak można było zakładać. Wcześniej, w drugiej połowie 2014 r. kometa utrzymywała niemal jednakową jasność na poziomie 14 mag. Często możemy spotkać się ze zdaniem, że tempo wzrostu jasności komet pochodzących z Obłoku Oorta jest niewielkie w porównaniu do komet o krótszym okresie orbitalnym. Kometa Catalina zdaje się tę tezę potwierdzać.

Interpretację uzyskanych wyników pomiarów jasności przeprowadzimy po zredukowaniu jasności obserwowanej do tzw. jasności heliocentrycznej, dającej wyobrażenie o blasku komety odległej stale o 1 AU od naszej planety. Dzięki temu pozbędziemy się fałszującego wpływu zmiennej odległości komety od Ziemi. Poniższy wykres przedstawia ewolucję jasności heliocentrycznej C/2013 US10 (Catalina):



Jak widać na powyższym wykresie, z Polski widzieliśmy kometę, której jasność heliocentryczna już spadała. Jej największą wartość moglibyśmy zaobserwować w okolicach peryhelium C/2013 US10.

W celu sprawdzenia, jak zmieniała się aktywność komety podczas obserwowanego okresu, należy przedstawić powyższe dane w zależności o logarytmu odległości komety do Słońca, zgodnie ze wzorem:

$$m = H_0 + 5 \log d + 2,5 n \log r$$

gdzie:

m – jasność obserwowana

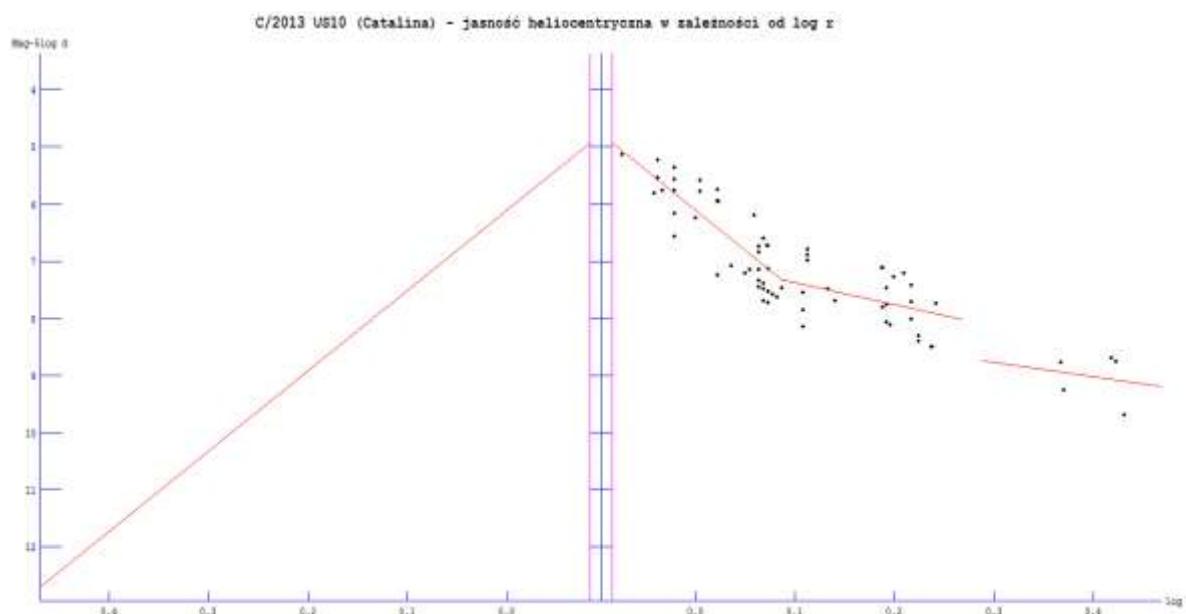
H₀ – jasność absolutna

n – czynnik określający aktywność komety

d – odległość od Ziemi

r – odległość od Słońca

Redukując dane do takiej postaci, aby zarówno jej odległość od Ziemi, jak i od Słońca była stała, uzyskujemy poniższy wykres, przedstawiający już nie krzywe, a odcinki prostoliniowe:



Wygenerowane w ten sposób odcinki, obrazujące omawianą zależność, można opisać następującymi wzorami:

- **10d < 50d:** 6.12 mag + 5 log d + 14.06 log r - 25.11.2015-04.01.2016
- **50d < 84d:** 7.54 mag + 5 log d + 3.84 log r - 04.01.2016-28.03.2016
- **84d < inf.:** 8.02 mag + 5 log d + 2.52 log r - od 28.03.2016

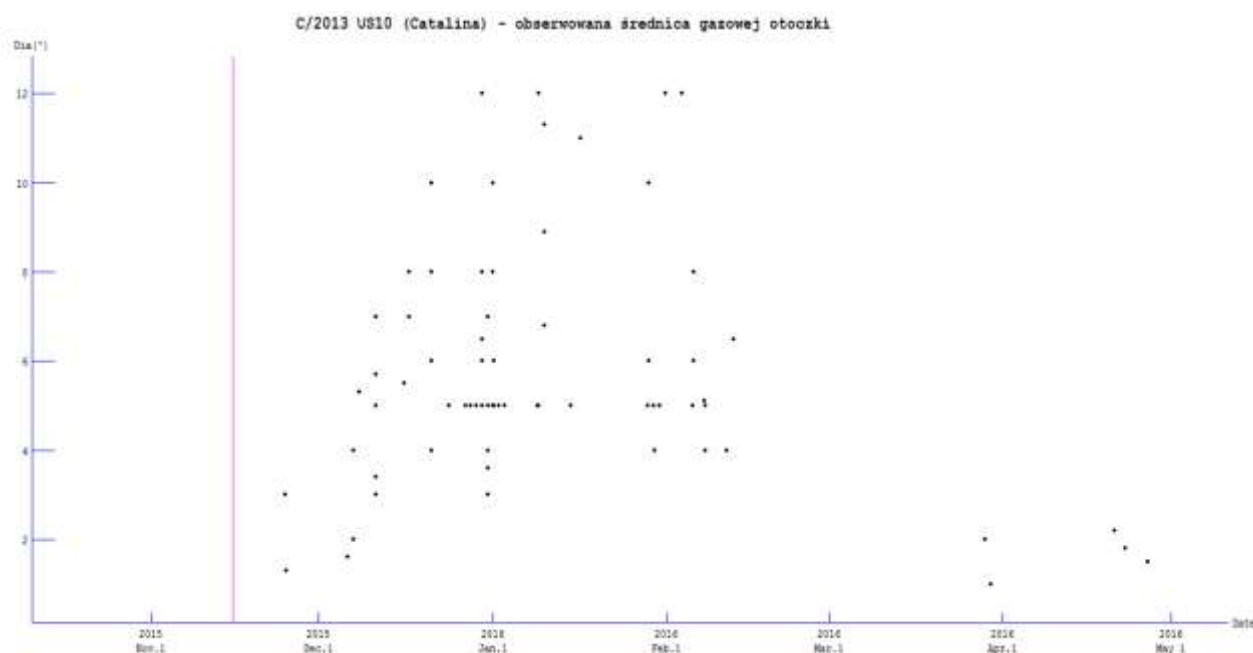
O czym mogą świadczyć otrzymane wartości? Od rozpoczęcia okresu obserwacji, 10 dni po przejściu przez peryhelium jasność absolutna C/2013 US10 wynosiła ok. 6.12 mag. Uwagę zwraca także współczynnik aktywności o wielkości raczej przewidywanej dla komety w tym czasie swojego życia, oznaczający większą aktywność sublimacyjną w pobliżu Słońca. Jednak już 50 dni po peryhelium obserwujemy zupełnie inną tendencję. Jasność absolutna spadła o niecałe 1,5 mag, a współczynnik aktywności zmalał ponad 3-krotnie. Świadczy to nie tylko o spadku aktywności komety, ale również o zmniejszeniu się albedo jej jądra. Można stąd wywnioskować, że od tego momentu jądro C/2013 US10 dążyło do stanu względnej stabilizacji, którą wymuszał coraz mniejszy wpływ ciepła słonecznego, wraz z oddalaniem się od naszej Diennej Gwiazdy. Po półtoramiesięcznej przerwie w

obserwacjach, uwidoczniła się kolejna tendencja, dająca obraz jeszcze większej stabilizacji na jądrze Komety Catalina. Jasność absolutna spadła o kolejne 0,5 mag, a współczynnik aktywności był już ponad 5,5-krotnie niższy niż w czasie pierwszego wyszczególnionego okresu. Wartość $n=2,52$ należy uznać za wyjątkowo niewielką, mówiącą o znikomej aktywności komety w tym czasie.

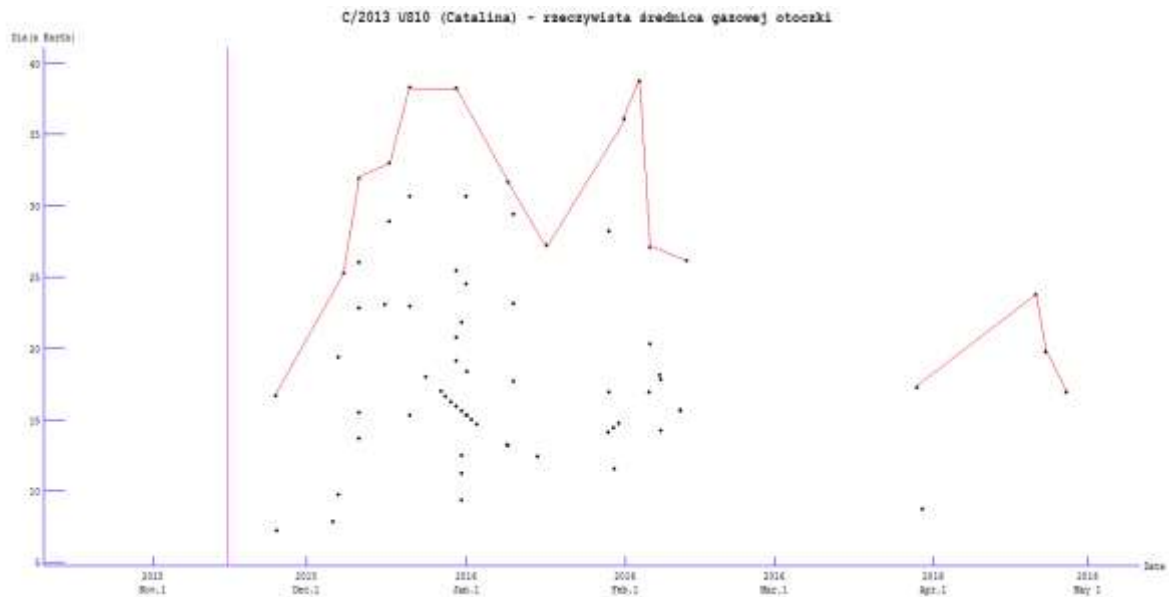
Pełny wgląd w dynamikę zmian komety C/2013 US10 (Catalina) obserwowanej z Polski daje obraz dosyć charakterystyczny dla komet – wzmożoną aktywność w pobliżu Słońca i stopniowe dążenie do stabilizacji sytuacji na jądrze wraz z oddalaniem się od niego. Co wydaje się być domeną komet jednopojawieniowych, to znaczny spadek aktywności po peryhelium, doskonale widoczny w przypadku Komety Catalina po niespełna dwóch miesiącach od peryhelium, kiedy jej aktywność była niewspółmiernie mała w porównaniu do momentu zbliżenia do Słońca. Przez cały okres obserwacji nie uświadczylśmy zatem żadnych zaskakujących zachowań komety, takich jak wahania jej aktywności, czy albedo jądra.

2.2. Obserwacje gazowej otoczki

Aby przekonać się, jak dynamika komety wpływała na wytworzoną przez nią komę, przyjrzymy się obserwacjom gazowej otoczki, zestawionym poniżej:

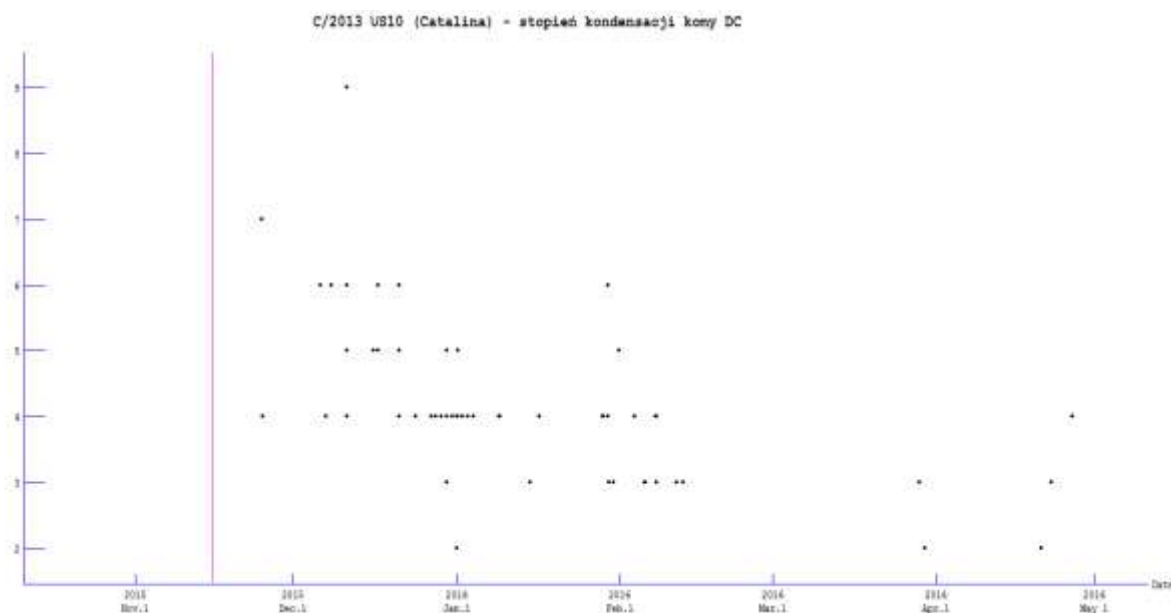


Maksymalna zmierzona średnica gazowej otoczki to 12 minut kątowych. Obserwatorzy kilkakrotnie podali taką wartość w swoich raportach w styczniu i na początku lutego 2016 r. Osiągnięcie największych rozmiarów na niebie akurat w tym okresie jest wytłumaczalne, zważywszy na zbliżenie komety do Ziemi 17 stycznia na odległość ok. 0,72AU. Aby przekonać się, jaką wielkość w rzeczywistości uzyskała koma należąca do C/2013 US10, należy usunąć mylący czynnik zmiennej odległości komety od Ziemi i dokonać redukcji danych jak na wykresie poniżej:



Średnicę komy, wyznaczoną niezależnie od zmiennej odległości (tak jakby kometę znajdowała się w stałej odległości od Ziemi), przedstawiono jako wielokrotności ziemskiej średnicy. Obserwacje gazowej otoczki należą do jednych z najtrudniejszych pomiarów, na które znaczący wpływ ma zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba. Dlatego, chcąc ustalić wielkość głowy komety, pod uwagę bierzemy największe zmierzone wartości, zakładając, że obserwatorzy, którzy je dokonali, znajdowali się pod najciemniejszym niebem. Poprowadzona obwiednia daje nam ogólny obraz zmiany wielkości komy w funkcji czasu. I tak widzimy, że na początku grudnia 2015 r. koma miała średnicę ponad 350 000 km, by w drugiej połowie miesiąca uzyskać maksymalną wielkość ok. 460 000 km. Pik w dół w połowie stycznia i powrót do podobnej wielkości początkiem lutego to prawdopodobnie skutek zbyt małej liczby obserwacji w tym okresie i zbliżania się komety do Ziemi. W ciągu miesiąca obserwatorzy oceniali wielkość komy na ok. 10-12 minut, dlatego podobne wartości po redukcji dały wrażenie chwilowego zmniejszenia się średnicy gazowej otoczki. Do jej faktycznej zmiany rozmiarów doszło najpewniej początkiem lutego, a kiedy kometę widziano po raz kolejny na początku wiosny, jej koma miała już wielkość zaledwie 250 – 300 tys. km.

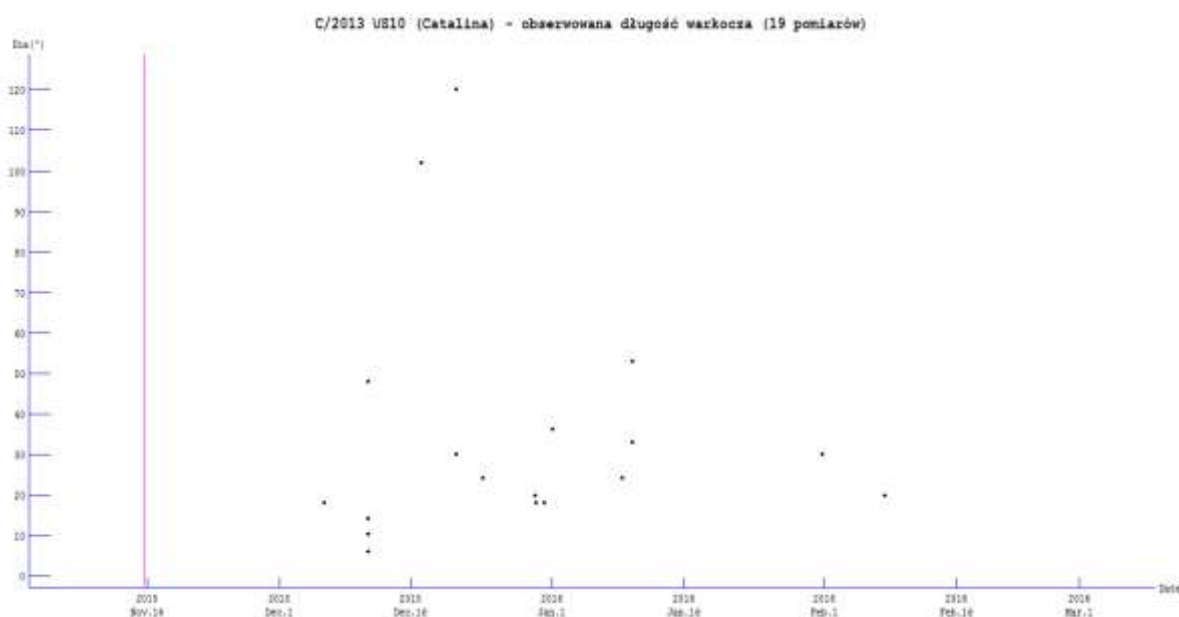
Chcąc uzyskać ogólne wyobrażenie o zmianach zachodzących w jądrze komety, przyjrzyjmy się wykresowi stopnia kondensacji komy:



Oceny stopnia kondensacji dla całego okresu obserwacji, poza pojedynczymi wyjątkami, nie przekraczały $DC=6$. W grudniu obserwatorzy widzieli C/2013 US10 jako obiekt z pojaśnieniem centralnym, jednak z biegiem czasu było ono coraz mniej widoczne, a koma stawała się bardziej jednorodna. Widzimy to wyraźnie od początku 2016 r., kiedy $DC=4$ aż do końca obserwacji (od lutego raportowano już przeważnie $DC=3$). Coraz bardziej jednorodny wygląd komy może świadczyć o stabilizacji procesów zachodzących na komecie.

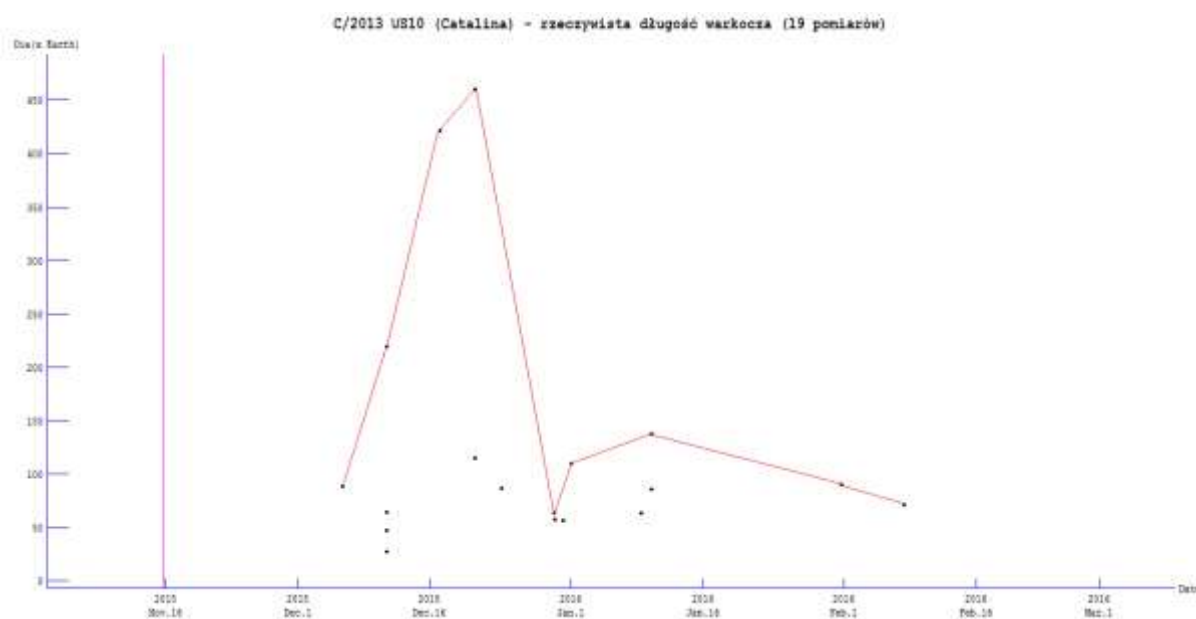
2.3. Obserwacje warkocza

W czasie 19 obserwacji powiodło się dostrzeżenie warkocza komety. Tak przedstawiają się wyniki pomiarów jego długości:



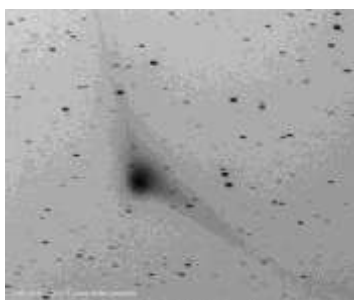
Największa wartość, wynosząca ok. 2 stopnie, została zmierzona 21 grudnia 2015 r. Przeważnie jednak warkocz komety C/2013 US10 (Catalina) dochodził maksymalnie do 1 stopnia i raczej nie był łatwo dostrzegalny, o czym może świadczyć fakt, że jedynie co 4 raport obserwacyjny zawierał pomiary warkocza.

Aby oczyścić wykres z fałszującej zmiennej odległości komety od Ziemi, dokonujemy redukcji danych, określając ją jako stałą i otrzymujemy następujący wykres:



Podobnie jak w przypadku obserwacji komy, pod uwagę bierzemy maksymalne zmierzone wartości, połączone obwiednią. Spośród wszystkich pomiarów wyróżniają się dwa, szacujące długość warkocza na ponad 5 mln km na początku grudnia. Pozostałe obserwacje mówią o wielkościach rzędu niespełna 2 mln km – prawdopodobnie na tyle pozwalała jakość nieba i warunki panujące w Polsce, jednak aby dokładnie prześledzić zmiany w formowaniu warkocza przez C/2013 US10 (Catalina), potrzebowalibyśmy więcej danych z obserwacji.

Ciekawy był sam wygląd warkocza. Od początku obserwacji można było dostrzec w miejscach o znikomym zanieczyszczeniu sztucznym światłem dwa warkoczce – gazowy i pyłowy, wytworzone przez C/2013 US10 (Catalina). Brak nam obserwacji szacujących długości obu z nich – obserwatorzy skupili się na samym warkoczcu gazowym, jednak interesującą strukturę obu tworów doskonale oddają zdjęcia, znajdujące się w Archiwum Fotografii Komet SOK PTMA.



2015-12-11: Bartosz Łaszczyński (Leszno), EQ6, SW ED80, WO P-FLAT4, Atik 314L+, 16 x 90 sek.



2016-01-17 01:10CSE: Maciej Kapkowski; Astrograf: OS Veloce RH 200, Kamera: STL 11000, Montaż : ASA DDM 60.
Tło: 2x(6x300 na każdy kanał LRGB) – mozaika 2 elementowa;
Kometa: 8x600 luminancja, RGB 6x300 na kanał.

3. PODSUMOWANIE

77 obserwacji komety w ciągu jej półrocznej widoczności na niebie to wynik zadowalający, lecz na tle akcji obserwacyjnych SOK PTMA plasujący się dopiero w czwartej dziesiątce. Nie przyszło nam wprawdzie obserwować najjaśniejszej komety od lat, toteż jej akcja obserwacyjna nie była szczególnie wyjątkowa. Podobnie jak sama kometa, której zachowanie po peryhelium było raczej przewidywalne. Jasność absolutna wynosząca od początku okresu obserwacji do stycznia 2016 r. ok. 6,12 mag przy współczynniku aktywności równym 14,06, daje standardowy pokaz zachowania komety w tym właśnie okresie. Utrzymująca się przez przeszło miesiąc stabilna jasność, nieco słabsza od przewidywań, wydaje się z kolei cechą charakterystyczną dla niektórych komet jednopojawieniowych. Następujący na początku stycznia 2016 r. spadek jasności absolutnej i ponad 3-krotny spadek współczynnika aktywności świadczy o zahamowaniu aktywności komety wraz z oddalaniem się od Słońca. Kolejne, jeszcze większe spadki początkiem wiosny sugerują przywrócenie stabilnej sytuacji na jądrze C/2013 US10 (Catalina), przechodzącej w stan „uśpienia” przed kolejnym zbliżeniem do gwiazdy. Pytanie tylko, czy kiedykolwiek do takiego zdarzenia nastąpi – wszakże przebieg jej orbity nie daje pewności co do pozostania obiektu w Układzie Słonecznym.

Koma osiągająca średnicę ok. 460 000 km to także wartość przeciętna w porównaniu do innych komet. Podobnie jak warkocz gazowy, który prawdopodobnie rozpiął się na ponad 5 mln km. Wyjątkowo ciekawym zjawiskiem w przypadku tej komety był, ponad wszelką wątpliwość, obraz dwóch warkoczy: gazowego i pyłowego, oddzielonych od siebie pod dosyć dużym kątem. Z pewnością dawno nie widzieliśmy na polskim niebie innej komety z takim rozmieszczeniem warkoczy.