

Podstawy nauki o meteorach

Niniejszy tekst powstał w oparciu o wydany przez International Meteor Organization w 2008 r. „Handbook for Meteor Observers”, podręcznik będący aktualnym i przystępnym wprowadzeniem w świat współczesnej nauki o meteorach. W drugim odcinku zostanie przedstawiony temat meteorów sporadycznych.

Meteory sporadyczne

Meteory, których nie potrafimy przyporządkować do jakiegokolwiek roju, nazywane są meteorami sporadycznymi. Częstokroć to meteory należące do starych, a przez to bardzo mało aktywnych lub wręcz nieistniejących już rojów rozproszonych przez różnego rodzaju efekty grawitacyjne i niegravitacyjne. Meteoroidy te pochodzące z istniejących niegdyś rojów po milionach lat zakłóceń krążą po orbitach zupełnie niepodobnych do pierwotnych. Elementy orbitalne współcześnie obserwowanego tła meteorów sporadycznych na pierwszy rzut oka wydają się być losowe. Meteory sporadyczne są obserwowane każdej nocy.

Klasyfikacja meteorów jako sporadycznych jest nieco umowna, gdyż dzięki nowym sposobom prowadzenia obserwacji oraz korzystając z większej ilości danych obserwacyjnych, jesteśmy w stanie przypisać meteor sporadyczny do bardzo słabo aktywnego roju. Zauważmy, że dzięki rozwojowi technik obserwacyjnych znamy dziś około 600 rojów meteorowych, z których zdecydowana większość jeszcze 10 lat temu była nierozpoznawalna i zaklasyfikowana do tła sporadycznego. Aktywność sporadyczna dla przeciętnego obserwatora nie wydaje się być niczym atrakcyjnym. Zależnie od pory roku i momentu czasowego pod idealnie ciemnym niebem obserwuje się od 5 do 15 „sporadyków” w ciągu godziny.

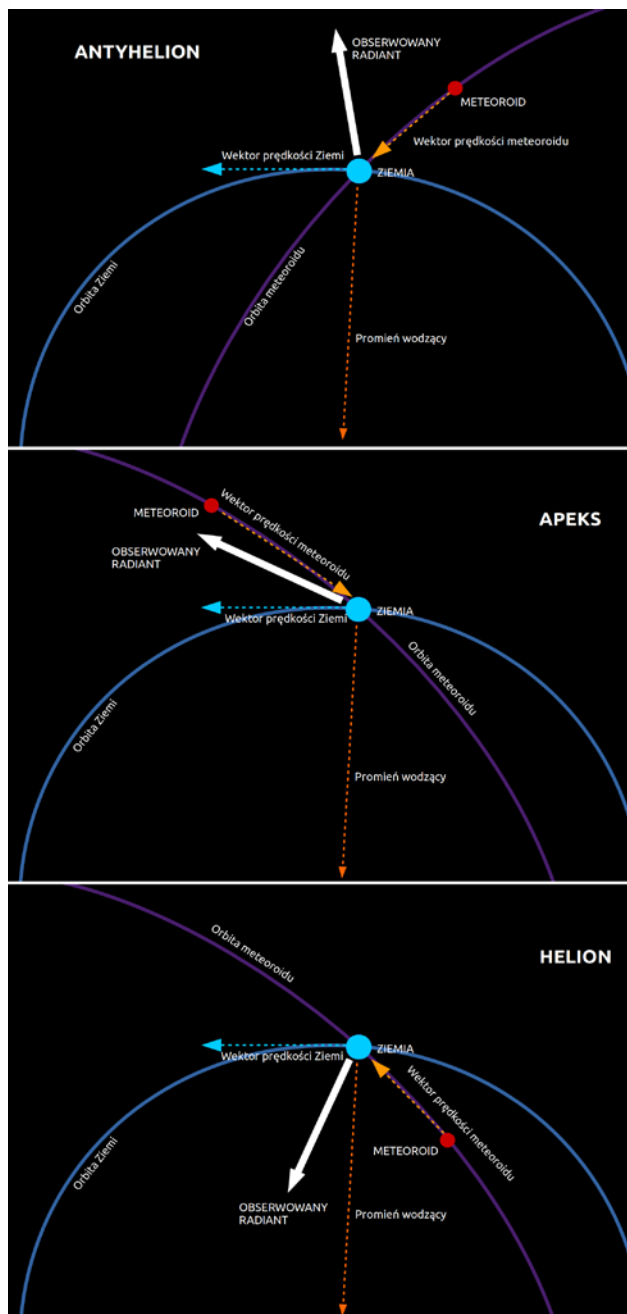
Orbita meteoroidów sporadycznych w istocie nie są wcale tak losowe, jakby się mogło wydawać, choćby z tej przyczyny, że część z nich to składniki rojów, których nie rozpoznajemy ze względu na ich znikomą aktywność. W pewnych rejonach nieba istnieje jednakże większa koncentracja radiantów meteorów sporadycznych niż w innych. Szczególnie wyraźnie jest zauważalna koncentracja radiantów w płaszczyźnie ekliptyki wynikająca z tego, że ogromna większość ciał macierzystych, z których pochodzą meteoroidy, porusza się po nisko nachylonych orbitach.

Roczne i dobowe wahania tła sporadycznego

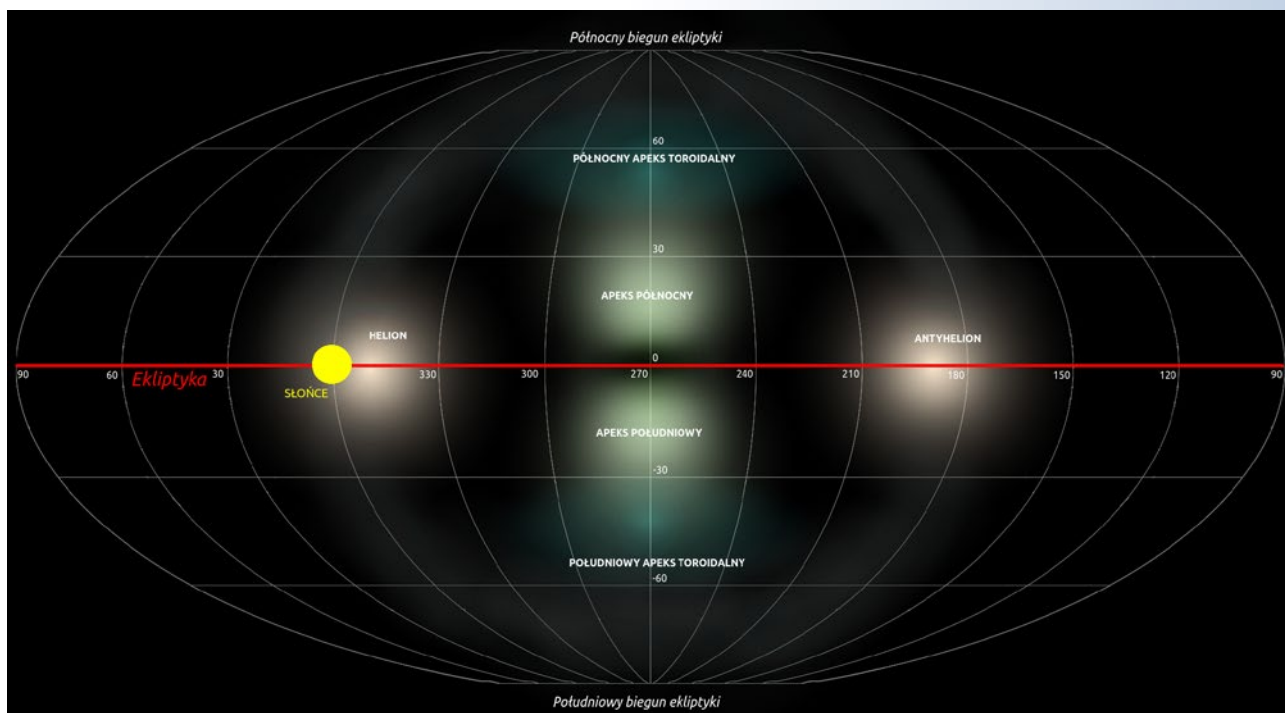
Obserwacje tła sporadycznego w długiej skali czasowej nie wykazują istotnych różnic. Na przestrzeni lat aktywność tła jest stała, składa się przy tym ze stosunkowo słabych meteorów, przeciętny współczynnik masowy r wynosi $2,95 \pm 0,05$ (im współczynnik jest niższy, tym więcej jasnych zjawisk jest obserwowanych; np. ostatnio aktywny rój Taurydów, obfitujący w jasne zjawiska posiada współczynnik masowy $r = 2,3$). Istotna zmienność tła sporadycznego jest obserwowana dla danego miejsca w cyklu dobowym i w cyklu rocznym.

Podczas nocy ilość obserwowanych meteorów sporadycznych stopniowo wzrasta. Najniższe ilości obserwowane są we wczesnych godzinach wieczornych (około godziny 18.00 czasu lokalnego), najwyższe pod koniec nocy z maksimum około godziny 6.00 czasu lokalnego. Zależność ta widoczna jest zarówno na półkuli północnej, jak i południowej. Według obecnych analiz ilość zjawisk sporadycznych obserwowanych pod koniec nocy jest pięciokrotnie większa od ilości tych samych zjawisk widzianych wieczorem. Oczywiście jest to prawda tylko, gdy długość nocy pozwala na obserwacje mniej więcej od godziny 18.00 do 6.00, latem gdy

noc w Polsce jest krótsza aż tak wyraźnych różnic nie zauważymy. Prócz zmienności dobowej dobrze zaznaczona jest też zmienność roczna. Na półkuli północnej w pierwszej połowie roku obserwowany jest stopniowy spadek aktywności spo-



Rys. 1. Geometria spotkania z meteoroidami tworzącymi źródło sporadyczne antyhelionu (obrazek górny), apeksu (obrazek środkowy) oraz helionu (obrazek dolny). Złożenie wektorów prędkości meteoroidu i Ziemi powoduje powstanie radiantu w kierunku w przybliżeniu odśrodkowym dla antyhelionu, w przypadku helionu radiant jest nieznacznie odchylony od kierunku ku Słońcu, dla apeksu położony jest na elongacji bliskiej 270°



Rys. 2. Mapa w układzie ekliptycznym przedstawiająca rozmieszczenie głównych źródeł sporadycznych. Czerwona linia reprezentuje ekliptykę, zaznaczono na niej elongację względem Słońca oraz szerokość ekliptyczną. Tego typu układ współrzędnych jest bardzo wygodny do opisu różnego rodzaju struktur związanych z meteorami. Na środku widoczne są apeksy — północny i południowy — przedzielone wyraźną luką w płaszczyźnie ekliptyki. Źródła symetrycznie rozmieszczone to odpowiednio helion (na elongacji około 350°) i antyhelion (elongacja około 190°). Na północ i południe od apeksów na szerokości ekliptycznej -50 i +50 stopni widoczne są apeksy toroidalne — północny i południowy. Uwagę zwraca subtelny pierścień łączący helion z antyhelionem — jest to delikatna struktura reprezentująca radianty meteoroidów pochodzących z głównego pasa planetoid

radycznej. Najmniejsze ilości sporadyków obserwuje się w czerwcu, w lipcu rozpoczyna się stopniowy wzrost (urozmaicony pewnymi fluktuacjami), płaskie maksimum rozciąga się od października do grudnia. Na półkuli południowej sytuacja wygląda dokładnie odwrotnie — największe ilości sporadyków obserwowane są w czerwcu, najmniejsze w grudniu. Zarówno dobowe, jak i roczne zmiany aktywności sporadycznej wywołane są zmienną wysokością źródeł sporadycznych. Jak wcześniej wspomniano, meteoroidy sporadyczne nie poruszają się po zupełnie chaotycznych orbitach, znaczna ich część porusza się w płaszczyźnie ekliptycznej. Analizy radarowe (a w ostatnich latach też analizy wideo) uwiarygodniły dość charakterystyczny obraz źródeł sporadycznych.

Rozkład radiantów sporadycznych

Rezultaty obserwacji radarowych wskazują, że prawdziwe rozmieszczenie radiantów sporadycznych tworzy dość złożoną strukturę. Jest to wynikiem złożenia rzeczywistego rozmieszczenia materii w Układzie Słonecznym z ruchem orbitalnym Ziemi, a na wszystko nakładają się dodatkowo efekty selekcji nieco komplikujące rzeczywisty obraz.

Do nanoszenia radiantów obserwowanych meteorów wygodnie jest stosować mapę sfery niebieskiej w układzie ekliptycznym. Na takiej mapie naniesiono położenia radiantów uzyskanych metodą radarową. Środek mapy reprezentuje kierunek, w którym porusza się Ziemia na swojej orbicie.

W centralnej części mapy zwraca uwagę plama znajdująca się nieco na północ od ekliptyki. Ta koncentracja radiantów to *północny apeks ekliptyczny*. Zwykle też zauważalny jest wyraźnie apeks południowy znajdujący się nieco na południe od ekliptyki. Pomiedzy północną a południową częścią apeksu jest widoczny niedobór radiantów spowodowany mniejszą ilością meteoroidów krążących dokładnie w płaszczyźnie ekliptyki.

Istnienie meteorowego apeksu zawdzięcza my meteoroidom pochodzącym od komet z rodziny Halleya. Rozproszony apeks zawiera w sobie niejako wbudowane radianty rojów meteorowych o tym samym pochodzeniu. Na tle północnego apeksu znajduje się radiant roju Orionidów, na tle południowego apeksu radiant roju Eta Akwarydów (oba bezpośrednio pochodzą od komety Halleya), na tle północnego apeksu da się też zauważyć radiant Leonidów pochodzących od komety 55P/Tempel-Tuttle. Dokładnie na ekliptyce i symetrycznie względem apeksu znajdują się dwa bardzo rozległe i wyraźne źródła sporadyczne — *helion* i *antyhelion*. Położenie helionu w przybliżeniu zgodne jest z położeniem Słońca na ekliptyce. Antyhelion znajduje się po przeciwnej, odsłonecznej stronie. Meteory pochodzące z helionu w sprzyjających warunkach mogą być zaobserwowane na krótko przed wschodem Słońca.

Antyhelion znajduje się natomiast na nocnym niebie i góruje w godzinę po północy czasu lokalnego. Meteoroidy tworzące helion i antyhelion krążą po zbliżonych do siebie orbitach. Są to w większości orbity o niewielkich nachyleniach, dużych mimośrodkach i stosunkowo małych peryheliach (<0,6 au). Sposób powstawania helionu i antyhelionu łatwiej zrozumieć, patrząc na rysunek, na którym przedstawiono sposób, w jaki składają się wektory ruchu takich ciał z wektorem ruchu Ziemi. Meteoroidy tworzące antyhelion nadlatują w stronę Słońca i trafiają w atmosferę przed osiągnięciem peryhelium. Odwrotnie jest w przypadku helionu, tu obserwujemy zgrupowanie radiantów pochodzące od meteoroidów, które przeszły przez peryhelium i trafiają w Ziemię, nadlatując od strony Słońca. Oba źródła (a w zasadzie jedno obserwowane z dwóch stron) można powiązać z kometami grupy jowiszowej. Współcześnie na helion są nałożone praktycznie wszystkie radianty dziennych rojów meteorowych, w grani-

cach antyhelionu mieszczą się natomiast radianty Geminiów, Delta Akwarydów czy też Taurydów. Helion wydaje się być bardziej aktywny w okresie od maja do czerwca, podczas gdy aktywność z antyhelionu bardziej zaznacza się w okresie od października do grudnia. Dość dobrze pokrywa się to z okresami aktywności wymienionych przed chwilą rojów.

Z dala od ekliptyki znajdują się apeksy toroidalne. Północny apeks toroidalny znajduje się na szerokości ekliptycznej około 50°. Południowy apeks toroidalny znajduje się po przeciwnej stronie, 50° na południe od ekliptyki. Badania apeksu toroidalnego wykazały, że jest on tworzony przez meteoroidy sporadyczne o wysokim nachyleniu do ekliptyki. Konkretnych ciał macierzystych jak dotąd nie wskazano, jedyny duży rój, który ma radiant położony w apeksie toroidalnym to rój Kwadrantydów.

Mówiąc o źródłach sporadycznych, należy pamiętać, że są to struktury dość rozległe i rozproszone. Duża część meteoroidów sporadycznych nie należy do żadnego z wymienionych tu źródeł.

Jasności meteorów sporadycznych

Porównując poszczególne źródła sporadyczne, można dostrzec istotne różnice w obserwowanych jasnościach mete-

orów. Wygląda na to, że istnieje korelacja pomiędzy charakterystycznym typem orbity dla danego źródła a jego rozkładem jasności. Przykładowo, meteoroidy o długich okresach obiegu wokół Słońca wywołują nieco jaśniejsze zjawiska od tych krótkookresowych. W praktyce okazuje się, że meteory sporadyczne pochodzące z apeksu mają największe jasności i dobrze rejestrują się przy użyciu metod fotograficznych. W przypadku helionu i antyhelionu zdecydowana większość zjawisk wydaje się leżeć poza zasięgiem przeciętnych kamer, jest jednak zauważalna dla ludzkiego oka. Przy obserwacjach meteorów z apeksu toroidalnego najlepiej sprawdza się radar lub bardzo wydajny system ze wzmacniaczem obrazu. Fakt, że różne źródła meteorów sporadycznych mają różne średnie jasności, ma wpływ na to, jaką w rzeczywistości zmienność dobową obserwujemy. Inaczej będzie wyglądała zmienność obserwowana kamerami wideo, inaczej jeśli użyjemy metody radiowej. W przypadku kamer głównym źródłem rejestrowanych sporadyków będzie apeks, a to pociągnie za sobą silny wzrost ilości rejestrowanych zjawisk przed świtem. Dla odmiany badacz posługujący się radioteleskopem nie stwierdzi zauważalnych zmian, jako że źródła, w których dominują bardzo słabe zjawiska, mogą być obserwowane przez całą noc.

Przemysław Żołądek

Bardzo jasny bolid nad Polską 31.10.2015 r.

Pogodny i dość ciepły wieczór poprzedzający dzień Wszystkich Świętych nie zapowiadał niczego niezwykłego. Zdążyłem wręcz zapomnieć, że jakieś dwa numery temu pisałem o możliwej podwyższonej aktywności Taurydów związanej z ich domniemaną dziesięcioletnią okresowością. Minęło dokładnie 10 lat od chwili, gdy kamery świeżo wówczas założonej Polskiej Sieci Bolidowej rejestrowały praktycznie każdej nocy zjawisko o jasności -8 magnitudo lub większej. 4 listopada 2005 r. Darek Dorosz zarejestrował Tauryda o jasności -15 magnitudo. Zjawisko to przez ostatnie 10 lat przewinęło się chyba przez wszystkie wygłaszane prezentacje, przez okładki czasopism, a w swoim czasie trafiło też do jednego z większych albumów astrofotograficznych.

O powrocie Taurydów przypomniał dzwonek telefonu. Nie miałem szczęścia być wówczas na zewnątrz, ale to, co usłyszałem, postawiło mnie na równe nogi. Znajomi jadący samochodem w okolicach Tucholi opisali potężne pojaśnienie nieba. Krajobraz został oświetlony silnym światłem. Było to światło błękitno-zielone, niezwykle i niepodobne do światła dziennego. W samochodzie rozległy się suche trzaski, a zza górnej krawędzi przedniej szyby wyłonił się ogromny bolid, który po kilku sekundach zgasł. W miejscu maksymalnego rozbłysku pozostał bardzo wyraźny ślad, który po chwili uległ rozdzieleniu na dwa równoległe pasma (podobnie jak w przypadku bolidu Czelabińskiego). Ślad widoczny był przez prawie godzinę. Największe wrażenie w tym opisie robi obecność dźwięków elektrofonicznych, generowanych w otoczeniu obserwatora. Jeden ze słyszanych trzasków pokrywał się dokładnie z momentem maksymalnego rozbłysku (podobnie zresztą jak przy wspomnianym już bolidzie Czelabińskim).

Telefon dzwonił jeszcze wiele razy, z różnych części Polski. W każdym z miejsc opisywano ogromy rozbłysk rozświetlający niebo. Dawało to pojęcie o ogromnej jasności, ale też i o znacznej wysokości bolidu. Dobrej jakości zdjęcia uzyskano między innymi w Czechach (w szczególności zarejestro-

wany został on na kamerach Europejskiej Sieci Bolidowej). Widoczny jest dobrze na kamerach należących do Czeskiego Instytutu Meteorologicznego (CHMU), a rekordowym pod względem odległości jest zdjęcie wykonane z Węgier. Bolid został uchwycony na popularnych ostatnio kamerach samochodowych — dostępne są zapisy zarówno z Polski, jak i z Czech, Niemiec, a nawet z Obwodu Kaliningradzkiego.

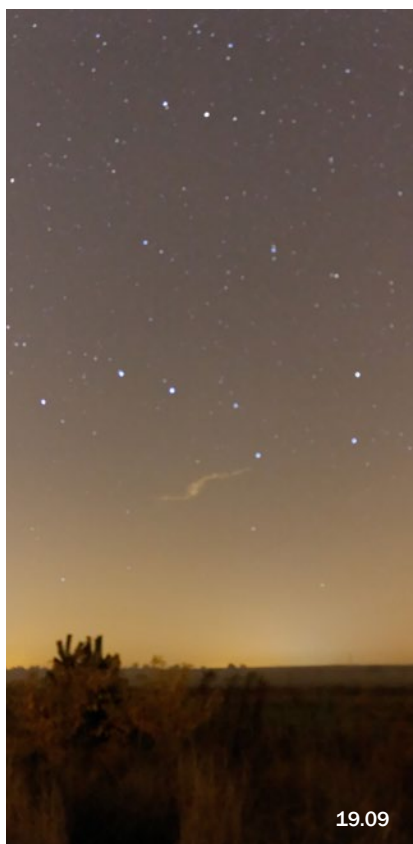
Zjawisko udało się uchwycić na wielu kamerach sieci PFN. W większości przypadków obrazy są przesaturowane, korzystając jednak z dostępnych obserwacji fotograficznych, udało się przeprowadzić pełnowartościowe pomiary astrometryczne.

Wstępne wyniki uzyskano już następnego dnia rano. Okazało się, że bolid należał do roju Taurydów i był pierwszym wielkim zjawiskiem z tegorocznego powrotu aktywności. Bolid PF20151031 „Okonek” osiągnął jasność wstępnie ocenianą na około -15 magnitudo. Był to bolid kometarny, pochodzący z roju Taurydów Południowych (STA). Zjawisko rozpoczęło się na wysokości 111 km nieco na wschód od miejscowości Tuchola. Bolid, przemieszczając się na zachód z prędkością około 31 km/s, w krótkim czasie osiągnął jasność maksymalną około -15 magnitudo. Punkt o maksymalnej jasności znajdował się w pobliżu miejscowości Okonek, na wysokości 81 km. Podczas rozbłysku rozświetlił niebo praktycznie nad całą Europą Środkową. W rozbłysku bolid utracił znaczną część swojej masy, tym niemniej znacząca jej część przetrwała fragmentację i kontynuowała dalszy lot, odparowując ostatecznie na wysokości 56 kilometrów. Drugi wielki Tauryd umknął uwadze obserwatorów, a widziany był jeszcze tej samej nocy, krótko po północy. Jasność tego bolidu wstępnie oceniana jest na -12 magnitudo. Przez kolejne dni w różnych częściach świata obserwowano Taurydy o jasnościach porównywalnych z Księżycem lub wręcz od niego jaśniejsze. Był to bardzo efektowny powrót aktywności bolidowej będący wspaiałym potwierdzeniem teorii wysuniętej przez Davida Ashera.

Przemysław Żołądek



Bolid z 31.10.2015 r. z godziny 18:05 UT zarejestrowany przez kamerę Czeskiego Instytutu Meteorologicznego (CHMU) z odległości 450 kilometrów



19.09



19.29



19.41

Grzegorz Czepiczek wraz z kolegą Arturem Leśniczkim wybrali się w okolice ulicy Ugody w Częstochowie w celu fotografowania nieba okolicy gwiazdozbioru Wielkiej Niedźwiedzicy, gdzie miała przebywać planetoida 2015 TB145, która w tym czasie minęła Ziemię w odległości ok 500 tys. km. Na miejsce obserwacji dotarli ok. godziny 19.00 i gdy rozstawiali sprzęt fotograficzny, tam gdzie za parę minut mieli robić zdjęcia, pojawił się bardzo jasny bolid. Przelot trwał kilka sekund. Bolid podczas przelotu przez atmosferę się rozpadał. Po zakończeniu tego zjawiska przez kilkadziesiąt minut było widać ślad przelotu na niebie, który utrwalili na serii zdjęć. Kod QR obok zdjęć prowadzi do animacji pokazującej całe zarejestrowane zjawisko

