

# Podstawy nauki o meteoroidach

*Niniejszy tekst powstał w oparciu o „Handbook for Meteor Observers”, podręcznik wydany w 2008 r. przez International Meteor Organization, będący dość aktualnym i przystępnym wprowadzeniem w świat współczesnej nauki o meteorach. Tym razem kilka słów o bolidach.*

Od czasów starożytnych aż do XIX w. terminem „meteor” określano wszelkie zjawiska atmosferyczne, takie jak błyskawice, zorze polarne, opady deszczu, gradu czy śniegu. (W języku polskim w specjalistycznej terminologii takie znaczenie słowa meteor jest po dziś dzień aktualne). Dawniej często uważano, że widoczne na niebie meteory powiązane są w jakiś sposób z aktywnością wulkaniczną czy silnymi wiatrami. Sądzono, że powstają wskutek zapłonu gazów krążących gdzieś wysoko w atmosferze. Tego typu pogląd przetrwał aż do XIX w., mimo że już dużo wcześniej niektórzy naukowcy sugerowali kosmiczne pochodzenie bolidów i meteoroidów.

Pierwszym badaczem próbującym obliczyć trajektorię bolidu był Schickard (1624), który podjął się zbadania natury zjawiska obserwowanego 17 listopada 1623 r. nad Niemcami. Wyniki Schickarda były jednak na tyle nieprecyzyjne, że nie pozwalały w bezsporny sposób określić pochodzenia bolidu. Podobne obliczenia przeprowadził w 1676 r. Montanari, próbując określić trajektorię bolidu obserwowanego 21 maja 1676 r. nad Adriatykiem. Stwierdził on, że obserwowany obiekt z dużym prawdopodobieństwem nie pochodził z Ziemi. W 1686 r. Edmund Halley określił wysokość ziemskiej atmosfery na 72 km a w kilka lat później wysunął hipotezę o pozaziemskim pochodzeniu meteoroidów.

Wieczorem 19 marca 1719 r. nad Anglią pojawił się wielki bolid. Na podstawie zebranych danych z przelotu Halley wyznaczył wysokość tego bolidu na 119 km a prędkość na 8 km/s. Ten sam bolid był źródłem silnych efektów dźwiękowych, co przy wyznaczonej wysokości wydawało się być trudne do wytłumaczenia. Pierwszym badaczem, który w nieco bardziej systematyczny sposób podchodził do badań meteoroidów, był Ernst Chladni uważany za ojca meteoroidyki. W 1794 r. Chladni przedstawił spójną teorię dotyczącą kosmicznego pochodzenia znajdujących meteoroidów i związanych z nimi bolidów. Teoria ta nie znalazła jednak szerszego uznania. Nawet słynny Alexander von Humboldt, obserwujący wielki deszcz Leonidów z 1799 r. był przeciwnikiem pozaziemskiego pochodzenia bolidów, o czym pisał jeszcze w 1845 r. w swojej pracy pt. „Kosmos”. Dochodzenie do prawdy odbywało się metodą małych kroków. Jednym z nich była jednoczesna obserwacja tego samego meteoru z dwóch różnych miejsc przez niemieckich studentów o nazwiskach Brandes i Benzenberg w roku 1798. Jesienią tegoż roku wspomniani studenci zorganizowali nawet planowe obserwacje, na podstawie których byli w stanie określić trajektorie 22 meteoroidów, potwierdzając jednocześnie ich pozaziemskie pochodzenie.

Wielki deszcz meteoroidów z 1799 r. nie wzbudził niestety większego zainteresowania tymi zjawiskami. Nie podjęto systematycznych badań na większą skalę. Nie potraktowano też poważnie pierwszych prawidłowych wyników. W pierwszych latach XIX w. meteory traktowano prawie tak samo jak w czasach Galileusza. Przełom przyszedł nagle, jak grom z jasnego nieba. 26 kwietnia 1803 r. w pobliżu miejscowości L'Aigle z nieba dosłownie posypały się kamienie, a wszystko to stało się na oczach licznie zgromadzonych świadków. Wydarzenie to w poważny sposób wpłynęło na poglądy ów-

czesnych uczonych. Na rozpoczęcie pierwszych poważniejszych badań trzeba było poczekać kolejne 21 lat. Pod wodzą Adolphe Queteleta wznowiono wizualne bazowe obserwacje meteoroidów, których to efektem było opublikowanie katalogu meteoroidów w 1841 r. 13 listopada 1833 r. ogromny deszcz Leonidów przykuwa po raz kolejny uwagę, a w pięć lat później zostaje zauważone istnienie roju Perseidów. Coraz więcej faktów świadczy o pozaziemskim pochodzeniu meteoroidów, tym niemniej jeszcze około 1863 r. takie pochodzenie było tu i ówdzie podawane w wątpliwość. Wkrótce wysunięto tezę, że deszcz Leonidów był spowodowany przez drobne ciała krążące wokół Słońca i przewidziano kolejny powrót roju na 1866 r. co okazało się być prawdą. Podczas powrotu Leonidów obserwowano ślady pozostawiane przez jasne meteory, co pozwoliło wyciągać pewne wnioski na temat wiatrów wiejących w górnej atmosferze.

Przypatrywano się też barwom meteoroidów, snując przypuszczenia na temat składu chemicznego meteoroidów. Przeprowadzono też pierwsze obserwacje spektroskopowe, obserwując pojawiające się meteory wizualnie, wprost przez pryzmaty. Pomimo oczywistych trudności związanych z prowadzeniem obserwacji metodami wizualnymi, w drugiej połowie XIX w. zebrano dość dużo wartościowych danych. W tym czasie pojawiają się też pierwsi miłośnicy astronomii obserwujący meteory.

W 1861 r. Kirkwood wysunął tezę, że meteoroidy są drobnymi pozostałościami komet, które uległy rozpadowi. W 1867 r. Peters, Schiaparelli i Oppolzer niezależnie zauważyli podobieństwo orbity komety 55P/Tempel-Tuttle (1866 I) i orbity Leonidów. Schiaparelli poszedł nawet dalej i podobne wnioski wysunął dla Perseidów i komety 109P/Swift-Tuttle (1862 III).

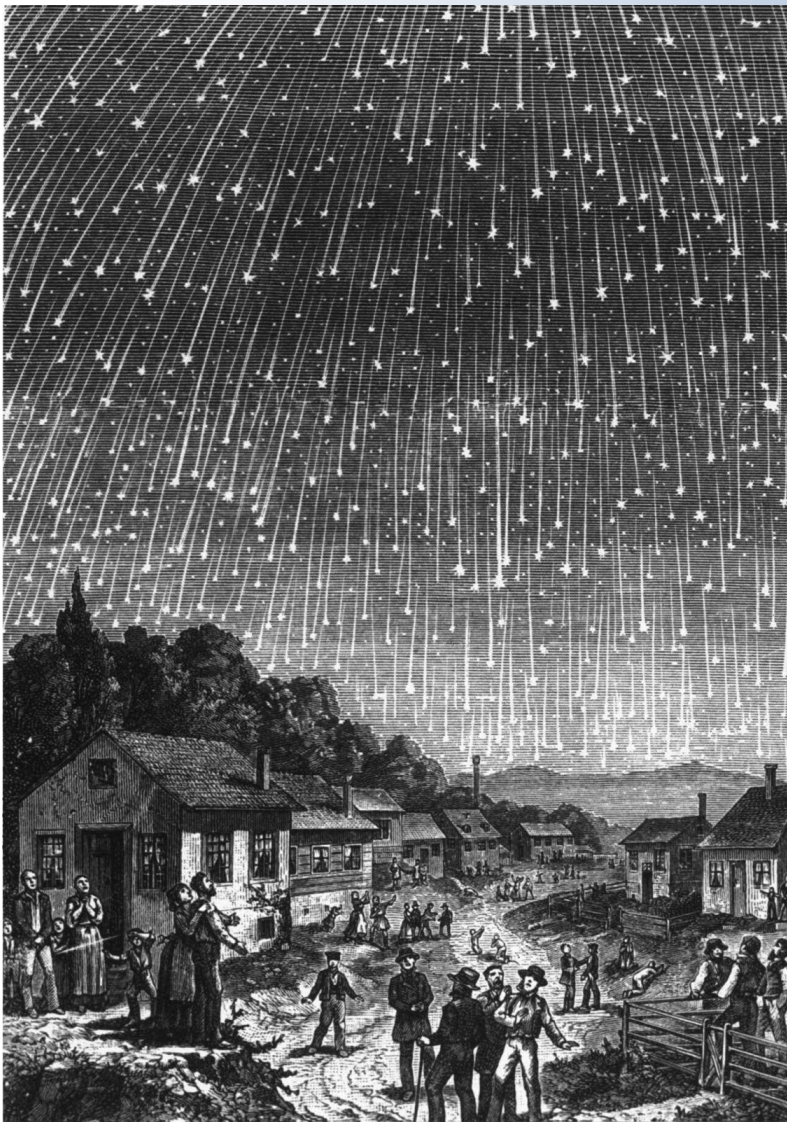


Drobny fragment meteorytu L'Aigle z zachowaną skorupką obtopieniową (pokazany odcinek to 1 cm, okaz z kolekcji Jacka Drażkowskiego)

### Systematyczne obserwacje meteorów

Systematyczne obserwacje meteorów prowadzone były przez miłośników astronomii już w XIX w. Zainteresowanie meteorami było szczególnie żywe w Wielkiej Brytanii, we Włoszech i w Niemczech. Na koniec XIX i początek XX w. przypada działalność niewątpliwie najsłynniejszego badacza meteorów owych czasów, Williama Fredericka Denninga (1848–1931), wybitnego obserwatora wizualnego i miłośnika astronomii. Pierwsze obserwacje Denninga datuje się na 1860 r. Dzięki niemu ilość znanych rojów meteorowych szybko wzrosła. W swoich obserwacjach pominął jednak istnienie tła aktywności sporadycznej meteorów, przez co oprócz odkrycia rzeczywistych rojów na listę dostało się też wiele nieprawidłowych radiantów klasyfikowanych na podstawie przypadkowego pojawienia się niezwiązanych ze sobą meteorów w jednym rejonie nieba. Denning był przekonany, że każdej nocy może być aktywnych nawet 50 różnych rojów meteorowych. Wizualnie taka ilość rojów da się zaobserwować nie w ciągu nocy, ale roku i wymaga to dużego doświadczenia obserwacyjnego. Z punktu widzenia współczesnych badań z wykorzystaniem dokładnych technik instrumentalnych oraz gromadzenia olbrzymich ilości danych o trajektoriach z wielu lat twierdzenie Denninga staje jednak prawdziwe, choć niemożliwe dla pierwotnego autora do naukowego potwierdzenia. Innym błędnym konceptem Denninga było uznawanie niezmienności położenia radiantów rojów meteorowych (jak dziś wiemy, przesuwają się one z nocy na noc, co jest odbiciem ruchu naszej planety względem strumienia meteoroidów). Pomimo pewnych błędów dorobek Williama Denninga był przełomowy, a historia obserwacji większości współcześnie znanych rojów zaczyna się właśnie od obserwacji przeprowadzanych przez tego badacza. Poświęcił on ponad 65 lat swojego życia na badania nad meteorami, opublikował setki prac w tej dziedzinie, a pod koniec życia został uhonorowany tytułem magistra honoris causa uniwersytetu w Bristolu.

Zainteresowania Denninga koncentrowały się wokół odkrywania nowych rojów meteorowych. Znacznie mniej uwagi przywiązywał on (i jemu współcześni) do określania poziomu aktywności rojów. Dość powiedzieć że w XIX w. nie powstał żaden w pełni użyteczny opis aktywności który można by jednoznacznie odnieść do współczesnego pojęcia zenitalnej liczby godzinnej (ZHR, ustandaryzowany sposób podawania aktywności roju, przy założeniu, że radiant znajduje się w zenicie, a każdy obserwator ma takie same warunki obserwacji, wyrażone w granicznej widoczności najsłabszych gwiazd wynoszących 6,2 mag). Wbrew pozorom nasza wiedza o profilach aktywności rojów nie sięga tak daleko wstecz, jak mogłoby się to wydawać. Czytając dziewiętnastowieczne opisy aktywności rojów, można dostrzec wiele sprzeczności. Różni autorzy opisują te same zjawiska w różny sposób, bardzo subiektywnie i w sposób, który uniemożliwia wyciąganie wartościowych wniosków.



Wielki deszcz Leonidów z 1833 r.

Z meteoroidami wiązały się w owym czasie dość osobliwe hipotezy. W 1890 r. Lockyer wysunął tezę, że głównym źródłem energii słonecznej jest ciągły dopływ wielkich ilości meteoroidów, które, docierając do Słońca, podtrzymywały jego świecenie przez tak długi czas. Co więcej, w ten sam sposób można było wytłumaczyć istnienie gwiazd zmiennych, tłumacząc zmiany blasku zmianami w ilości materii docierającej na powierzchnię takich gwiazd.

### Pierwsze obserwacje fotograficzne i radarowe

Po raz pierwszy sfotografowano meteor w roku 1885 podczas wybuchu aktywności Andromedydów. Pierwsze zdjęcie wykonał Czech, Ladislaus Weinek. Po roku 1894 podjęto pierwsze systematyczne obserwacje fotograficzne, a już w 1898 r. w obserwatorium harwardzkim William Lewis Elkin zastosował dobrze nam dziś znany rotujący shutter. Fotografowanie w owych czasach było bardzo drogie i nieefektywne, zarówno materiały światłoczułe, jak i optyka były bardzo niedoskonałe. Pierwsze widmo meteorowe uchwyciono przypadkiem w 1897 r. podczas obserwacji spektroskopowych gwiazd do katalogu Drapera. Do roku 1932, kiedy to Peter Millman rozpoczął swój program spektroskopowy, znane było tylko 8 widm meteorów natomiast szerszy rozwój spek-

troskpii meteorowej nastąpił dopiero po II wojnie światowej.

W 1929 r. narodziła się nowa technika obserwacji. Japońscy uczeni, badając odbicia fal radiowych od jonosfery, niespodziewanie zarejestrowali dodatkowe krótkotrwałe echa, które bardzo szybko powiązano z pojawiającymi się meteorami. W sposób planowy po raz pierwszy wykorzystano obserwacje radiowe podczas maksimum Leonidów w 1931 r. Podobnie jak w przypadku fotografii, tak i tu na szersze zastosowanie trzeba było poczekać do zakończenia drugiej wojny światowej.

Okres międzywojenny przyniósł bardziej szczegółową debatę nad pochodzeniem meteoroidów. W ówczesnych bazach orbit figurowały zarówno meteory na orbitach eliptycznych, jak i wielka ilość meteorów na orbitach hiperbolicznych. Meteory pochodzące z orbit eliptycznych najwyraźniej pochodziły z naszego Układu Słonecznego, te na orbitach hiperbolicznych musiały jednak pochodzić z przestrzeni międzygwiazdnej. Wielki badacz meteorów Cuno Hoffmeister uważał, że aż 79% meteorów pochodzi spoza Układu Słonecznego. Podobnego zdania był Ernst Opik z obserwatorium w Armagh, który na dobre wprowadził pojęcie meteoroidu międzygwiazdowego. Aby dokonać weryfikacji tych oszacowań, zorganizowano w latach 1931–1933 ekspedycję harwardzką do Arizony. W arsenale urzędów znajdowało się między innymi specjalne ruchome lustro zaprojektowane przez Opika, które, poruszając się w regularny sposób, powodowało powstawanie pofalowanego śladu meteoru na zdjęciu. Na podstawie takiego zdjęcia możliwe było zmierzenie prędkości kątowej, podobnie jak czyni się to w przypadku klasycznych shutterów. Niestety pomiar pofalowanych śladów okazał się być bardzo nieprecyzyjny, przez co aż 60% wyznaczonych orbit miało mimośród

większy od 1. Dopiero po roku 1945 przeprowadzono prawidłowe obserwacje (aktualnie nie obserwuje się meteorów na realnie hiperbolicznych orbitach, występujące w tabelach przypadki zjawisk z mimośrodem większym niż 1 powiązane są z danymi o wątpliwej jakości).

### Organizacje miłośnicze

Organizacje miłośnicze działały prężnie przez cały XX w., poczynając od roku 1900 powstawały w różnych częściach świata. Już od 1890 r. prowadzone były obserwacje meteorów w ramach Sekcji Meteorowej Brytyjskiego Towarzystwa Astronomicznego. W 1911 r. założona została organizacja American Meteor Society (AMS), która działa prężnie po dzień dzisiejszy. Przed wojną dużym problemem był brak jakiegokolwiek szerszej koordynacji i wymiany informacji. Obserwacje prowadzono według różnych, nieporównywalnych wzajemnie metod. Podczas drugiej wojny światowej aktywność miłośnicza znacząco ucierpiała. Na frontach poległo wielu doświadczonych obserwatorów. W tych trudnych czasach tu i ówdzie prowadzono jednak regularne obserwacje, korzystając z ciemnego nieba miast, w których w obawie przed bombardowaniami wyłączano wszelkie oświetlenie

### Badania meteorów po roku 1945

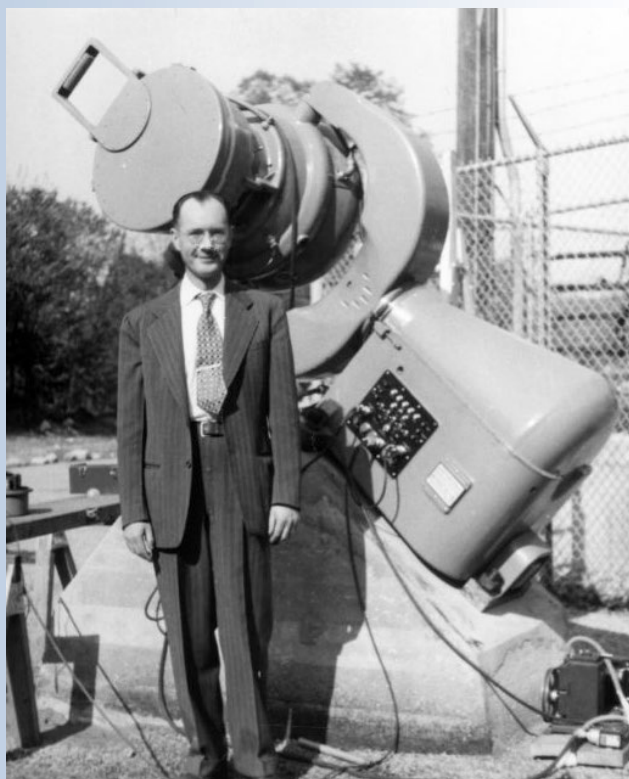
Po roku 1945 doszło do prawdziwej rewolucji w badaniach meteorów, a jej źródłem był znaczący rozwój technik obserwacyjnych (i techniki w ogóle). W 1950 r. do obserwacji zastosowano wielkie kamery Super-Schmidt pozwalające fotografować meteory do jasności +3,5 magnitudo (jest to zasięg bardzo wysoki, nawet biorąc pod uwagę współczesne standardy). Dzięki takim kamerom uzyskano setki precyzyjnych orbit meteorowych, zmniejszając przy tym drastycznie odsetek orbit hiperbolicznych.

Po wojnie duże roje meteorowe zbadane zostały dość szczegółowo. Poznano dokładnie ich orbity. przypatrzone się bliżej profilom aktywności. W przypadku wielu małych rojów, w których istnienie wierzyli obserwatorzy wizualni, nie udało się uzyskać pozytywnych wyników. Jednocześnie obserwacje fotograficzne pozwoliły odkryć kilka rojów, których istnienie nie było znane obserwatorom wizualnym. W ten sposób w latach 50. po raz pierwszy dostrzeżono słabsze strony obserwacji wykonywanych nieuzbrojonym okiem. Przeniesiono precyzję szkicowania meteorów na mapach, co więcej, dawną metodyką obserwacji zaniedbywała wiele istotnych spraw, takich jak określanie widoczności granicznej czy choćby rzetelny opis sposobu obserwacji. Wielu obserwatorów, słysząc o niewielkiej wartości naukowej swoich wieloletnich badań, porzuciło swoje dotychczasowe zajęcie.

Tymczasem w Europie i Ameryce Północnej powstały fotograficzne sieci bolidowe. Nastawione na rejestrację bardzo jasnych bolidów przy dużych polach widzenia pozwalały na obserwację zjawisk powiązanych z upadkami meteoroidów. Bardzo duży postęp odnotowano w dziedzinie obserwacji radarowych. Dzięki tej technice określono radianty i orbity dla meteorów o jasności do +13,5 mag. Jednocześnie odkryto pierwszy dzienny rój meteorów (a w niedługim czasie kolejne.)

W latach 60. podjęto pierwsze obserwacje wideo (Spalding, 1963). Kamery telewizyjne, jakich wówczas używano, miały bardzo małą czułość i aby uzyskać jakiegokolwiek rezultaty, montowano przed obiektywami wzmacniacze obrazu (mówiąc inaczej — noktowizory). Pierwsze kamery, które pozwalały na skuteczne obserwacje meteorów bez użycia wzmacniaczy, zaczęły pojawiać się dopiero w latach 90. XX w.

Przemysław Żołądek



Fred Whipple stojący obok kamery Baker Super-Schmidt, rok 1952. Kamera miała aperturę 31 cm, ogniskową 20 cm, numeryczną światłotłoczną  $f/0.65$  (rzeczywista wynosiła  $f/0.85$ ). Zainstalowana w płaszczyźnie obrazowania specjalnie ukształtowana płyta fotograficzna pozwalała na uzyskanie prawidłowo naświetlonego, wolnego od winietowania pola widzenia o rozmiarze  $55^\circ$