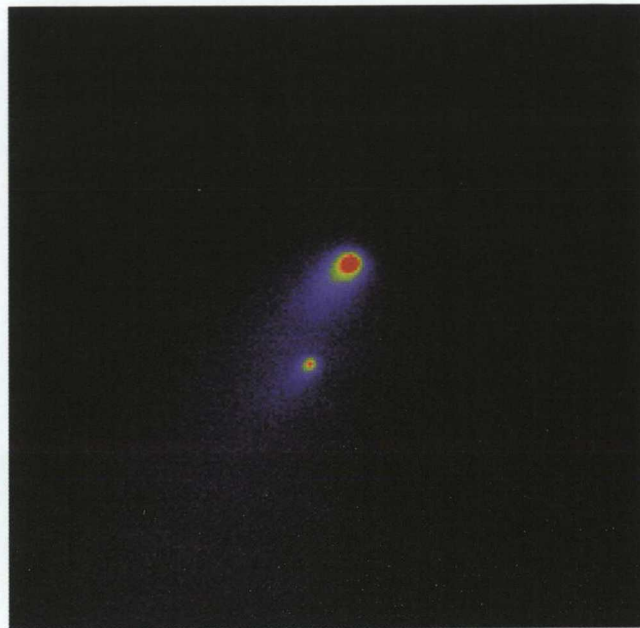
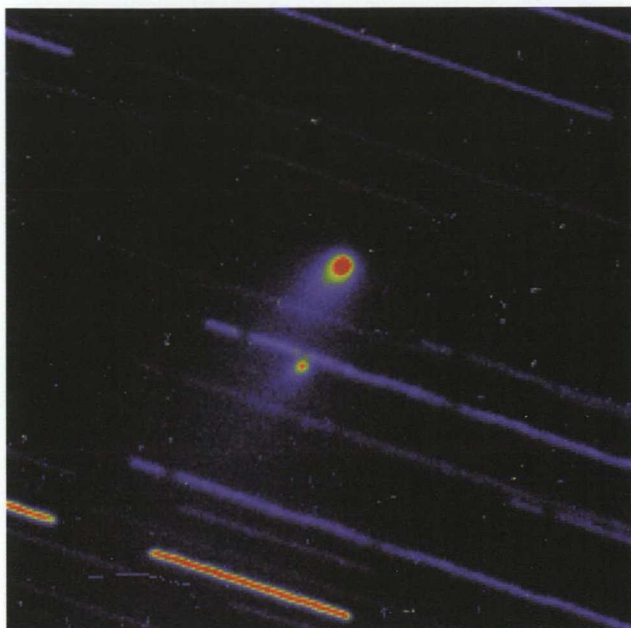


# Jak giną komety?



Rozpad komety C/2005 A1 (LINEAR) uchwycony przez astronomów krakowskich w 2005 roku. Zdjęcie po lewej stronie zawiera dodatkowo niepożądane ślady gwiazd i inne artefakty, naturalnie pojawiające się podczas długiego naświetlania. Zostały one usunięte na zdjęciu po prawej stronie, przy zastosowaniu techniki opracowanej w Obserwatorium Astronomicznym UJ przez Wacława Waniaka



## MICHAŁ DRAHUS

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej  
Uniwersytet Jagielloński, Kraków

[www.oi.uj.edu.pl/M.Drahus](http://www.oi.uj.edu.pl/M.Drahus)

Dr Michał Drahus interesuje się kometami i innymi drobnymi ciałami w Układzie Słonecznym. W ostatnich latach prowadził badania na uczelniach kalifornijskich UCLA i Caltech, a obecnie jest stypendystą programu FUGA Narodowego Centrum Nauki.

**Komety zadziwiają i intrygują ludzkość od zawsze. Dla nauki stanowią bezcenne kapsuły czasu – posłańców z najwcześniejszych etapów formowania Układu Słonecznego. Jak długo żyją? Czy przelot w pobliżu Słońca zwiastuje ich śmierć?**

Komety zaliczają się do grupy drobnych ciał Układu Słonecznego. Składają się z lodowo-skalnych jąder o typowych średnicach od kilkuset metrów do kilkudziesięciu kilometrów. Pod wpływem ciepła słonecznego lód sublimuje, a uwalniane gazy unoszą pył, tworząc charakterystyczne warkocze i otoczki. Komety powstały w okresie tworzenia się planet z niewykorzystanej materii dysku protoplanetarnego. Według najnowszych badań uformowały się w rejonie planet gigantów, skąd znaczna część została wyrzucona przez od-

działywania grawitacyjne planet poza Układ Słoneczny lub uległa zniszczeniu na skutek zderzeń z innymi ciałami. Część pierwotnych komet znalazła się jednak poza orbitą Neptuna, gdzie obecnie tworzą tzw. pas Kuipera, a część przypuszczalnie trafiła na peryferia Układu Słonecznego, formując tzw. obłok Oorta. Symulacje komputerowe pokazują, że źródłem obserwowanych obecnie komet krótkookresowych jest właśnie obszar pasa Kuipera, natomiast pozostałe komety trafiają w sąsiedztwo Słońca z obłoku Oorta.

## Kapsuły czasu

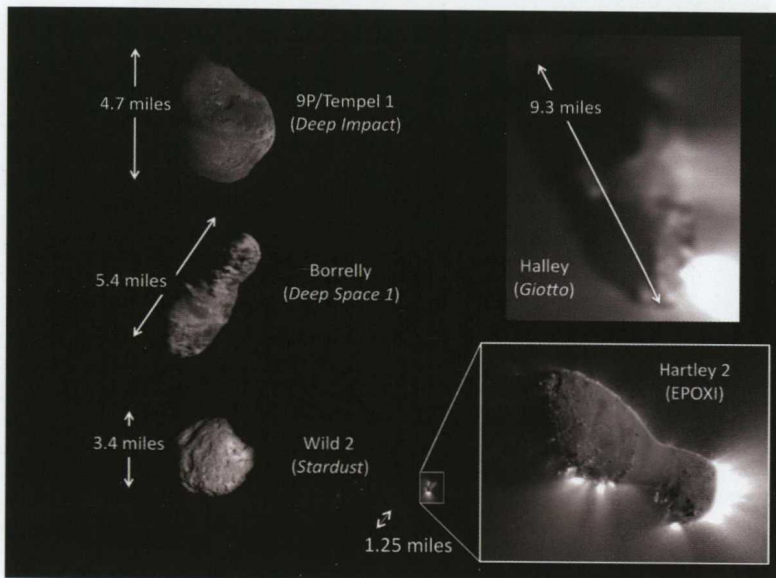
Pomimo znikomych mas komety mają ogromne znaczenie dla nauki, stanowiąc niejako „kapsuły czasu” z epoki formowania się Układu Słonecznego. Dlaczego? Otóż materia komet nie uległa znaczącej przemianie od chwili ich powstania, przebywając niemal wyłącznie w bardzo niskiej temperaturze daleko od Słońca. Jednak pomimo bardzo intensywnych badań, wiele aspektów natury komet wciąż pozostaje słabo poznanych. Szczególne znaczenie ma problem czasu życia komet w Układzie Słonecznym, który ograniczony jest m.in. przez kolizje ze Słońcem, z planetami i innymi drobnymi ciałami, wyrzut poza Układ Słoneczny na skutek oddziaływań grawitacyjnych planet, rozpad pod wpływem sił pływowych pojawiających się podczas zbliżenia komety na niewielką odległość do Słońca lub planety czy wreszcie spontaniczny podział i dezintegracja jądra.



## Naturalny czas życia komet w Układzie Słonecznym

Spontaniczny rozpad komet pozostawał przez dziesięciolecia jedynie niewyjaśnionym faktem obserwacyjnym, choć rosnące statystyki pokazywały, że może być głównym czynnikiem ograniczającym ich czas życia. Astronomowie zwrócili nań uwagę już w 1846 roku, gdy okresowa kometa 3D/Biela rozpadła się na ich oczach na dwie części. Podobne rozpady obserwowano później również dla innych komet, ale do dziś natura tego zjawiska pozostaje nieznaną. Dalszy los komet, od których oderwały się fragmenty, jest zazwyczaj podobny: główne jądro i mniejsze składniki ulegają kolejnym podziałom i z czasem zupełnie zanikają.

Tylko od 1975 roku zanotowano 13 spontanicznych rozpadów komet krótkookresowych oraz 12 rozpadów komet długookresowych i jednopojawieniowych, a wiele innych zaniknęło nie pozostawiając po sobie zwartego jądra ani fragmentów. Powszechność tego zjawiska potwierdzają rów-



**„Portret rodzinny” komet sfotografowanych z bliska przez sondy kosmiczne, do czasu trwającej obecnie misji Rosetta. Widoczne jest bogactwo rozmiarów i kształtów, jakie przybierają jądra tych obiektów**

nież badania źródeł pyłu w Układzie Słonecznym oraz statystyki rozmiarów komet krótkookresowych i obiektów w pasie Kuipera.

### Rozpad rotacyjny

Już w 1991 roku John Bortle zwrócił uwagę, że spośród komet o orbitach bliskich paraboli spontanicznej dezintegracji najczęściej ulegają obiekty o małej jasności własnej (a więc i o małym rozmiarze jądra), przechodzące blisko Słońca. Otrzymana przez Bortle’a empiryczna relacja pozwala ocenić, czy dana kometa ma duże szanse przetrwać spotkanie z naszą dzienną gwiazdą, jednak nie jest to zależność ścisła. Ponieważ zdecydowana większość obiektów analizowanych przez Bortle’a nie zbliżyła się do słonecznej

granicy Roche’a, po której przekroczeniu następuje rozpad pod wpływem sił pływowych, trzeba było znaleźć inny mechanizm dezintegracji.

Fred Whipple, ojciec współczesnej astronomii kometarnej, próbował wyjaśnić tendencję zaobserwowaną przez Bortle’a całkowitym „wyparowywaniem” mniejszych komet blisko Słońca. Dziś wiemy jednak, że wskutek niskiego współczynnika przewodzenia ciepła wnętrza jąder kometarnych pozostają bardzo chłodne nawet podczas przelotu blisko Słońca. W rezultacie przemiana lodu w gaz zachodzi efektywnie jedynie w cienkiej, nagrzanej warstwie przy powierzchniowej, co skutecznie chroni komety przed zbyt szybką utratą materii i wyparowaniem.

Co zatem wywołuje spontaniczny rozpad komet? Prawdopodobnym wyjaśnieniem okazuje się szybka rotacja jądra. Według tego scenariusza po przekroczeniu krytycznej prędkości wirowania własna grawitacja i wytrzymałość jądra (stanowiące siłę dośrodkową) nie są już w stanie przeciwdziałać naturalnej bezwładności materiału, z którego jest zbudowane (siłę odśrodkowej) i w efekcie następuje rozpad obiektu. Ale czy istnieje mechanizm zdolny efektywnie przyspieszać rotację komet?

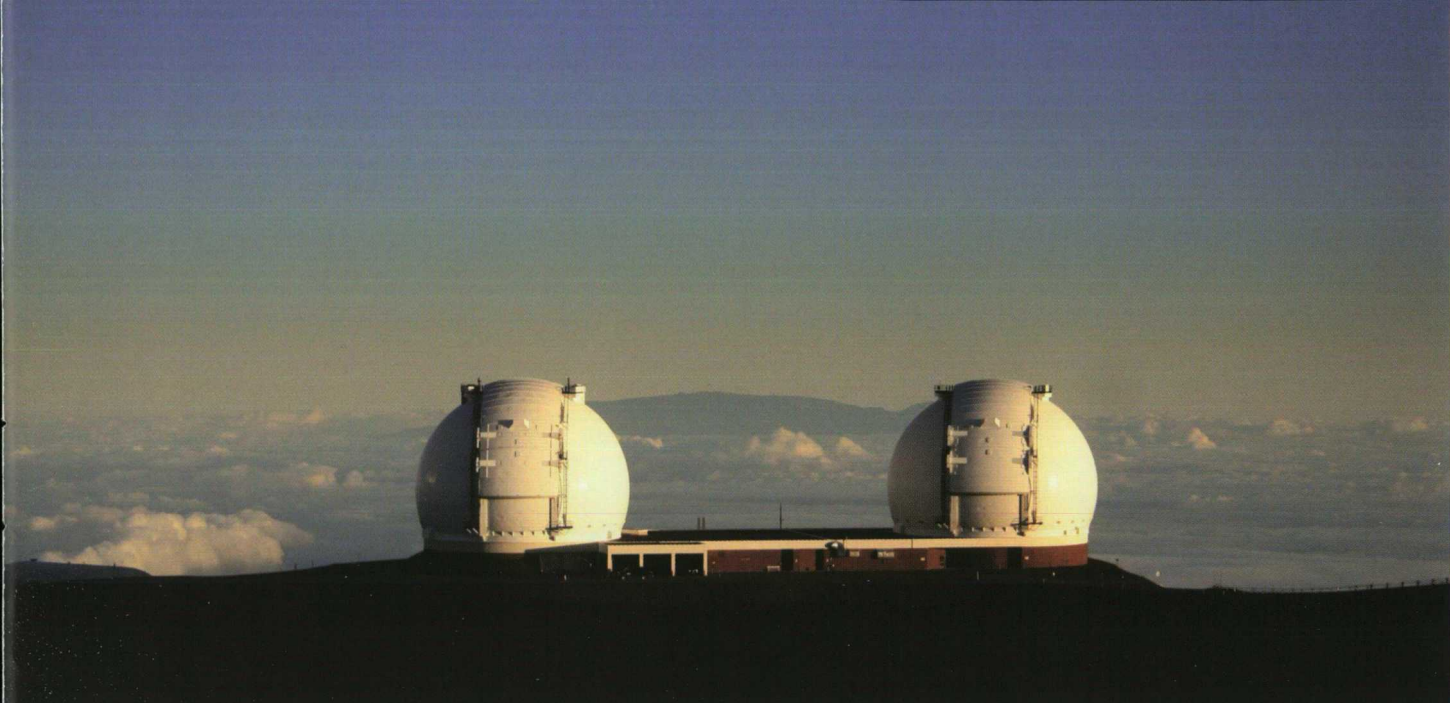
### Zmienne tempo wirowania

Już od lat 80. ubiegłego wieku wiemy, że sublimująca materia kometarna może generować znaczne momenty siły zdolne w krótkim czasie przyspieszyć bądź spowolnić tempo rotacji małych, lecz aktywnych jąder kometarnych. Jednocześnie szacowano krytyczny okres rotacji, przy którym następuje rozpad. Doprowadziło to Davida Jewitta do wysunięcia w 1992 roku hipotezy, że przyspieszanie rotacyjne może być przyczyną rozpadów i dezintegracji komet. Później pojawiło się wprawdzie wiele doskonalszych modeli, ale wciąż brakowało solidnych danych obserwacyjnych.

Sytuacja uległa zmianie w 2005 roku, kiedy to wspólnie z Wacławem Waniakiem opracowaliśmy w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego metodę dynamicznego badania rotacji komet, pozwalającą wyznaczyć okres rotacji równocześnie z tempem jego zmian. Metoda ta już rok później umożliwiła wykrycie powolnego przyspieszania rotacji komety 9P/Tempel 1 w danych z misji kosmicznej NASA Deep Impact. Wkrótce potem grupa kierowana przez astronomów z Obserwatorium Lowellla (USA) wykazała subtelne spowalnianie rotacji komety 10P/Tempel 2, a następnie kilka niezależnych zespołów odkryło szybkie spowalnianie rotacji komety 103P/Hartley 2, która była celem sondy NASA EPOXI i ważnym obiektem badań teleskopu kosmicznego Herschel. Nowatorska analiza naszych własnych obserwacji 103P/Hartley 2, przeprowadzonych w falach milimetrycznych, pozwoliła wyznaczyć parametry rotacji jądra obiektu w pełni zgodne z wynikami z misji EPOXI.

Tak oto w ciągu zaledwie kilku lat zmiany tempa rotacji komet przerodziły się z ciekawej koncepcji teoretycznej w niekwestionowany fakt obserwacyjny, choć





Magdalena Polifiska

**W swoich badaniach krakowscy uczeni wykorzystują m.in. potężne teleskopy Kecka w obserwatorium astronomicznym na szczycie Mauna Kea na Hawajach. Wymieniona lokalizacja na wysokości ponad 4100 m n.p.m. wynosi obserwatorium ponad warstwę chmur kłębiastych, zapewniając stabilną i krystalicznie przejrzystą atmosferę**

grupa obiektów, dla których takie zmiany bezdyskusyjnie wykryto, jest wciąż bardzo mała. Niemniej powróciło pytanie o możliwość rozpadu komet jako końcowego stadium ewolucji ich rotacji. Hipoteza ta łączy w naturalny sposób obydwie kluczowe fakty obserwacyjne, tzn. znane od dawna rozpady tych ciał i wykryte niedawno zmiany tempa rotacji. Może również wyjaśnić tendencję do niszczenia małych obiektów blisko Słońca, zaobserwowaną przez Bortle'a. Co więcej, niewielkie komety, dostarczane w okolice Słońca z odleglejszych rezerwarów, mogą ginąć na masową skalę, osiągając rozpad rotacyjny, zanim w ogóle zdążymy je odkryć! Taki scenariusz wyjaśniałby m.in. przyczynę znanego od dawna deficytu małych komet krótkookresowych.

### Trzy drogi

Badania w Obserwatorium Astronomicznym UJ prowadzimy na trzy sposoby. Po pierwsze, modelując dane z dużych teleskopów optycznych i radiowych, staramy się wyznaczyć ewolucję rotacji komet i przewidywać, kiedy nastąpi rozpad ich jąder. Na przykład zmiany rotacji komety 103P/Hartley 2 sugerują możliwość jej rozpadu za ok. 200 lat. Jest jednak prawdopodobne, że dla któregoś z aktualnie badanych obiektów przewidywany czas rozpadu okaże się mniej odległy. Po drugie, wykorzystując m.in. największe na świecie teleskopy optyczne w obserwatorium Mauna Kea, podejmujemy próby wyznaczenia tempa rotacji obiektów, od których w niedalekiej przeszłości oderwały się małe fragmenty. Wykrycie rotacji, której tempo byłoby bliskie krytycznemu, wskazywałoby na rozpad rotacyjny, natomiast wolniejsze tempo rotacji – na inny mechanizm. Po trzecie, na gruncie teoretycznym badamy prawdopodobieństwo rozpadu rotacyjnego komet o typowych właściwościach, próbując w ten sposób wskazać fizyczne uzasadnienie dla empirycznej granicy przeżywalności komet, znalezionej przez Bortle'a.

Znaczenie prowadzonych przez nas badań wykracza daleko poza próbę rozwiązania historycznej i intrygującej zagadki spontanicznych rozpadów komet. Przede

wszystkim w wyniku podejmowanych wysiłków lepiej poznamy naturalny czas życia tych obiektów, który jest punktem wyjścia do wszelkich rozważań na temat ich roli w Układzie Słonecznym. Między innymi będziemy mogli wyznaczyć faktyczne tempo dostarczania nowych komet z odległych rezerwarów, a w konsekwencji również oszacować „zapas” komet, które w nich jeszcze pozostały. Stąd, pośrednio, będzie też można ustalić pierwotną liczbę tych ciał. Wiedza ta, istotna sama w sobie, nabiera szczególnego znaczenia w kontekście astrobiologicznym, w którym komety z jednej strony jawią się jako naturalne nośniki wody i związków organicznych potrzebnych do rozwoju życia, a z drugiej strony niosą groźbę niewyobraźalnej w skutkach katastrofy, o czym przypomnieli nam niedawno potężna eksplozja nad Czelabińskiem. Spodziewamy się również wymiernego wpływu na pokrewne kierunki badań, biorąc pod uwagę, że to właśnie rozpadające się jądra kometarne są typowane na główne źródło pyłu międzyplanetarnego w naszym układzie oraz mogą odpowiadać za niespodziewaną obfitość gazu wokół innych gwiazd. ■

Artykuł powstał na podstawie wniosku nr 2014/12/S/ST9/00426 zgłoszonego przez autora do Narodowego Centrum Nauki w konkursie FUGA 3.

### Chcesz wiedzieć więcej?

- Belton M.J. & Drahus M. (2007). The Accelerating Spin of 9P/Tempel 1. *BAAS* 39, 498.
- Bortle J.E. (1991). Post-Perihelion Survival of Comets with Small  $q$ . *Int. Comet Quart.* 13, 89–91.
- Drahus M. & Waniak W. (2006). Non-constant rotation period of comet C/2001 K5 (LINEAR). *Icarus* 185, 544–557.
- Drahus M., Jewitt D., Guilbert-Lepoutre A. et al. (2011). Rotation state of comet 103P/Hartley 2 from radio spectroscopy at 1 mm. *Astrophys. J. Lett.* 734, L4.
- Jewitt D.C. (1992). Physical Properties of Cometary Nuclei. Proceedings of the 30th Liège International Astrophysical Colloquium, ed. Brahic A., Gerard J.-C., Surdej J. (Liège: Univ. Liège Press), 85–112.