

Kometa kamikadze, czyli zderzenie komety Shoemaker–Levy 9 z Jowiszem

Krzysztof ZIOŁKOWSKI

Zderzenie komety Shoemaker–Levy 9 z Jowiszem, którym to zderzeniem emocjonowaliśmy się w lipcu 1994 roku, było zjawiskiem znacznie okazalszym i bardziej intrygującym, niż się spodziewano. Zanim jednak przedstawimy wyniki rocznych badań jego przebiegu i skutków, przypomnimy krótko wiadomości o tym niezwykłym ciele niebieskim, które zakończyło swój żywot w tak spektakularny sposób na oczach niemal całego świata.

Kometa Shoemaker–Levy 9 została odkryta w końcu marca 1993 roku w Obserwatorium Palomarskim w Kalifornii przez znanych amerykańskich łowców komet: Karolinę i Eugeniusza Shoemakerów oraz Dawida Levy’ego. O jej wyjątkowości przesądziły trzy fakty: że jest satelitą Jowisza, że składa się z około 20 części rozciągniętych w przestrzeni prawie wzdłuż linii prostej oraz że w lipcu 1994 r. zderzy się z Jowiszem. Z tak niezwykłym obiektem astronomowie jeszcze nigdy się nie spotkali. Wprawdzie znanych jest kilka przypadków przechwycenia przez Jowisza komety, która przez kilka lat była jego satelitą (np. kometa Gehrels 3 w latach 1968–1974 czy też kometa Helin–Roman–Crockett w latach 1973–1985), obserwowano też rozpady komet na fragmenty (np. komety Brooksa 2 po jej wielkim zbliżeniu do Jowisza w 1886 roku czy też komety Westa w 1976), ale uderzenia komety w planetę dotychczas nie widziano. Znane są jedynie liczne ślady takich wydarzeń z przeszłości w postaci kraterów uderzeniowych na powierzchniach różnych ciał Układu Słonecznego, w tym również i naszej planety. Na Ziemi odkryto już około 140 śladów. Ostatnio wielkie zainteresowanie budzą doniesienia o wykryciu na Jukatanie krateru o średnicy około 200 km, powstałego prawdopodobnie 65 mln lat temu wskutek uderzenia kilkukilometrowej bryły, które spowodowało wielkie spustoszenia i zmiany o charakterze globalnym, powszechnie uważane za przyczynę wyginiecia dinozaurów.

Od momentu odkrycia kometa Shoemaker–Levy 9 stała się więc przedmiotem bardzo intensywnych i wszechstronnych badań. Częste pomiary pozycji na niebie poszczególnych jej fragmentów umożliwiły stosunkowo dobre poznanie ich ruchu w przestrzeni. Okazało się, że wszystkie części komety przeszły przez peryjowium, czyli punkt orbity najbliższy Jowisza, prawie w tym samym momencie (7 lipca 1992) i prawie w tej samej odległości od planety (0,3 promienia Jowisza od jego powierzchni). Wynika stąd, że znalazłszy się w okolicy peryjowium kometa najprawdopodobniej rozpadła się w wyniku działania sił pływowych masywnego przecież Jowisza.

Brak jakichkolwiek obserwacji komety przed jej rozpadem w zasadzie uniemożliwia prześledzenie jej ruchu w przeszłości. Nieznany więc pozostaje mechanizm jej przechwytu przez największą planetę. Czynione są jednak różne próby rozwikłania tej zagadki. Statystyczna analiza trajektorii poszczególnych części komety, wykonana m.in. przez amerykańskich astronomów L.A.M. Bennera

Przygody matematyki wśród ludzi (II)

(na podstawie wykładów wygłoszonych na antenie *Radia Bis*)

Czego uczono w Starożytności i Średniowieczu

Marek KORDOS

Wśród tabliczek zapisanych klinowym tekstem – w pełniącym przez większą część Starożytności rolę języka nauki (tak, jak dziś angielski czy w Średniowieczu łacina) języku sumeryjskim – są takie, które pomogły nam zrozumieć naukę sprzed czterech czy trzech tysiącleci. Nazywa się je tabliczkami dydaktycznymi, ale nie dlatego, że nam pozwoliły się czegoś nauczyć, lecz dlatego, że służyły one nauczaniu. Zawierają z reguły najpierw zadanie, a potem dialog mędrca i adepta, nauczyciela i ucznia, w którym nauczyciel – polecając uczniowi wykonywanie kolejno prostych czynności – prowadzi go do rozwiązania. Z dzisiejszego punktu widzenia sposób, jaki stosuje nauczyciel, jest bardzo wadliwy: mówi, co uczeń ma zrobić, a nigdy nie mówi dlaczego.

Od razu trzeba powiedzieć, że nie jest to – w przypadku nauki sumeryjskiej, chaldejskiej, babilońskiej, jakkolwiek by ją nazwać – cecha nauczyciela, lecz cecha tej nauki. Tam zdobywano nie wiedzę, lecz wprawę, umiejętność była funkcją jedynie częstego powtarzania, a w przypadku nowych sytuacji – naśladowania tego, co się już kiedyś udało. I nauczanie w konsekwencji musiało być indywidualne, żadnych szkół nie było i być nie mogło.

Z nazw nadawanych nowożytnie różnym szkołom najdawniej pojawiła się nazwa *gimnazjum*. O ile jednak teraz oznacza ona szkołę średnią, to w Starożytności greckiej, gdzie się pojawiła, oznaczała uczelnię doskonalącą ciało (stąd *gimnastyka*), a nie ducha – ten był kształcony przez indywidualnych *pedagogów* (oczywiście, kształcono jedynie chłopców). Prawdziwe wykształcenie zdobywane było tylko przez tych nielicznych, którzy zdecydowali się być uczonymi – oni otaczali, jak mówiono: *siedzieli u stóp*, wybitnych mędrców, nieraz po lat kilkadziesiąt, i tym sposobem sami mędrcami z wolna się stawali (lub, oczywiście, nie).

Najznamienitsza tego rodzaju szkoła (dziś też się przecież mówi, że uczoney tworzy szkołę badawczą) to sofisci i ich znakomity przywódca – Sokrates. Całe przedsięwzięcie zorganizowane było w sposób, który bardzo by się spodobał dzisiejszemu Ministerstwu Edukacji – sofisci zarabiali na sobie, a badania prowadzili nad tym, jak to zarabianie udoskonalić. Uczyli oni mianowicie kandydatów na parlamentarzystów, jak wygrywać publiczne dysputy i to niezależnie od tego, jaka i czyja jest prawda. Szczytowym osiągnięciem w tym zakresie jest rezultat Sokratesa, dziś zaliczany do logiki, który orzeka, że biorąc jeden argument z prawa naturalnego (np. głosząc chwałę wolnego rynku), a drugi z prawa moralnego (np. miłość bliźniego) można uzyskać dowolny rezultat rozumowania, takie więc dobieranie przesłanek dalekie jest od uczciwości – podobne myśli można znaleźć w ostatniej książce papieża. Nic przeto dziwnego, że skazano go za bezbożność (oczywiście, Sokratesa, a nie papieża) na śmierć przez wypicie trucizny, co też uczynił był.

Tylko gdzie tu matematyka? Otóż – przypominam – matematyka to aż do połowy XIX wieku cała wiedza ścisła, w szczególności więc logika była matematyką. Sokrates, głoszący, iż jest matematykiem (czytaj – uczoneym) równocześnie (jak zeznaje naoczny świadek, Ksenofont, żołnierz, awanturnik i pisarz powieści przygodowych – polecam sensacyjną książkę *Anabasis*, dostępną w bibliotekach publicznych, a jeszcze są takie) nienawidził geometrii (cytuje za Ksenofontem): *zajmowanie się geometrią i rozważanie tematów trudnych do zrozumienia może zająć człowiekowi całe życie i odciągnąć go od pożytecznych umiejętności*. Jak widać, matematyka mogła być dość daleka od tego, co dziś matematyką nazywamy.

Fanatykiem geometrii natomiast był, choć mało ją znał, uczeń Sokratesa, Platon. Był on pierwszym uczoneym, który otaczającej go szkole uczniów nadał ramy organizacyjne – pierwszą uczelnią była założona przez niego Akademia. Jest to zresztą najdłużej, jak dotąd, działająca uczelnia: założona około –390 roku rozwiązana została przez cesarza bizantyńskiego, Justyniana, w 529 roku – trwała więc 920 lat (najstarszy z uniwersytetów, boloński, ma obecnie 875 lat). Na Akademii uczono całej wiedzy pitagorejskiej, wykształcenie więc dawała znakomite – to z niej pochodzili najwięksi bodaj matematycy wszechczasów

i W.B. McKinnona, wydaje się wskazywać, że kometa już od wielu lat krążyła wokół Jowisza, a najbardziej prawdopodobnym okresem, w którym mogła zostać przez niego schwyтана, jest przełom lat dwudziestych i trzydziestych naszego wieku.

Ciekawie na tym tle wyglądają wyniki obliczeń polskiego badacza ruchów komet, Grzegorza Sitarskiego. Przyjął on mianowicie, że danymi wyjściowymi do badania ruchu komety w przeszłości może być położenie i prędkość środka masy jej fragmentów w momencie rozpadu. Okazało się wtedy, że kometa dawniej mogła obiegać Słońce po prawie kołowej orbicie znajdującej się całkowicie poza orbitą Jowisza. Coraz silniejsze przyciąganie grawitacyjne doganiającego komety Jowisza doprowadziło na początku 1991 roku do takiej zmiany jej toru, że stała się jego satelitą, a wkrótce potem nastąpiło jej wielkie zbliżenie do planety 7 lipca 1992 roku. Trzeba jednak podkreślić, że rezultaty tych obliczeń wskazują na razie tylko na możliwości rozwiązania problemu i w żadnym razie nie mogą być uważane za ostateczne.

Podobnie rzecz ma się z opisem samego procesu rozpadu. Wśród różnych modeli rozpadu komety zwraca uwagę koncepcja amerykańskich fizyków J.M. Hahna i T.W. Rettiga. Drogą modelowania cyfrowego doszli oni do wniosku, że jeśli pierwotny obiekt miał gęstość około $0,6 \text{ g/cm}^3$ i był zlepkiem co najmniej 500 luźno związanych bryłek, to w obłoku cząstek powstałym po rozpadzie będą się wskutek wzajemnej grawitacji tworzyć zgęszczenia i w czasie rzędu 10 godzin od rozpadu cały obłok skondensuje się właśnie w około 20 fragmentów rozlokowanych mniej więcej wzdłuż linii prostej przechodzącej przez środek Jowisza. Dodatkowym atutem tej propozycji jest dostarczenie poparcia hipotezie sformułowanej kilka lat temu przez P. Weissmana o jądrze komety jako rumowisku cząstek skalno-lodowych związanych bardzo słabymi siłami spójności (ang. *rubble pile*).

Spśród trzech wymienionych na początku osobliwości komety Shoemaker–Levy 9 największe zainteresowanie budzi jednak jej zderzenie z Jowiszem. Dolatujące do planety jej fragmenty rozciągnęły się w przestrzeni na dystansie około 2,5 mln km i dlatego bombardowanie przez nie Jowisza zajęło kilka dni – od 16 do 22 lipca 1994 roku. Miejsca uderzeń znajdowały się, niestety, po niewidocznej z Ziemi, nocnej stronie planety, ale na tyle blisko krawędzi jej tarczy, że już po mniej więcej 20 minutach od momentu każdego uderzenia można było oczekiwać pojawienia się jakichś jego skutków (okres obrotu Jowisza trwa niespełna 10 godzin). Ku wielkiemu zaskoczeniu obserwatorów pierwsze oznaki uderzenia dały się zauważyć kilkanaście minut wcześniej w postaci pojaśnienia na brzegu tarczy planety. Jasność tej poświaty szybko wzrastała, by po upływie 10–15 minut przerodzić się w spektakularny błysk, szczególnie efektowny w promieniowaniu podczerwonym. Zaskoczeniem było, że obłok gazów, powstałych w eksplozji kończącej spadek fragmentu komety z prędkością 60 km/s, wznosił się aż do wysokości 3000 km. Wierzchołek szybko unoszącego się pióropusza materii osiągnąwszy wysokość 400 km zaczynał być widoczny dla ziemskiego obserwatora wylaniając się spoza krawędzi tarczy planety. Znajdując się początkowo jeszcze w cieniu Jowisza świecił tylko własnym promieniowaniem gazów rozgrzanych do bardzo wysokiej temperatury, a później – po wyjściu z cienia – jego promieniowanie ulegało wzmocnieniu przez rozproszone w nim światło słoneczne.

W miarę obrotu planety coraz większa część tego pióropusza stawała się z Ziemi widoczna. Jednak po kilkunastu minutach jego blask zaczynał słabnąć w wyniku opadania i rozpraszania się szybko stygnących gazów. Po następnych kilku minutach ukazywały się na tarczy Jowisza niezwykle kształty plam pozostałych po całym wydarzeniu. Dodajmy, że dotychczas nie udało się znaleźć zadowalającego wytłumaczenia faktu, że uderzenia fragmentów kometarnych o różnej przecież wielkości i masie powodowały uniesienie pióropusza materii na taką samą mniej więcej wysokość.

Szybko rozprężająca się chmura materii o początkowej temperaturze rzędu 8000 K (czyli wyższej od temperatury powierzchni Słońca) stanowiła mieszaninę materii komety oraz pochodzącej z powierzchniowych warstw Jowisza, której cząsteczki musiały w najgorętszych miejscach ulec dysocjacji termicznej. Bardzo trudno jest więc określić jej skład chemiczny i stwierdzić, jakie zachodziły w niej procesy fizyko-chemiczne. Największe bodaj zdziwienie wywołuje wielka obfitość siarki, na której obecność – oprócz, oczywiście, cząsteczek S_2 – wskazują zaobserwowane molekuly CS , CS_2 , H_2S , OCS , SO , SO_2 . Wprawdzie przypuszcza się, że siarka występuje w głębszych warstwach atmosfery Jowisza w postaci wodorosiarczku amonowego (NH_4SH), ale na razie nie znaleziono mechanizmu, który byłby zdolny unieść na taką wysokość stwierdzone ilości tego pierwiastka. W każdym razie nie wydaje się możliwe, by mogła być ona pochodzenia kometarnego, gdyż w kometach – według tego, co dotychczas o nich wiemy – siarki jest bardzo mało.

Od dawna natomiast wiadomo, że jednym z głównych składników komet jest lód wodny. Np. w jądrze najlepiej poznanej dotychczas komety Halleya stanowi on około 80% masy. Tymczasem pierwsze doniesienia wskazywały, że w pióropuszcach materii – unoszonej w wyniku uderzeń fragmentów komety – wody nie znaleziono. Wkrótce jednak okazało się, że obserwacje spektroskopowe, wykonane z pokładu samolotowego obserwatorium NASA im. G. Kuipera, potwierdziły jej obecność, choć w mniejszej, niż się spodziewano, ilości. Amerykański astronom G. Bjoraker dokonał obrazowego oszacowania, że z zaobserwowanej wody można by utworzyć kulę lodu o średnicy 400 m. Tak więc panuje pogląd, że najprawdopodobniej woda ta jest pochodzenia kometarnego. Wprawdzie oczekuje się też obecności wody w warstwie atmosfery Jowisza, położonej na głębokości około 50 km, jednak tak głęboko fragmenty komety chyba się nie zanurzyły.

Obserwacje spektroskopowe wskazały również na obecność m.in. krzemu, magnezu, żelaza, a nawet litu. Największym zaskoczeniem jest pojawienie się w materii pióropusza najlżejszego z metali, litu, którego obecności ani w kometach, ani na Jowiszu dotychczas nie stwierdzono. Odkryte metale pochodzą przypuszczalnie z ablacji fragmentów komety w początkowej fazie jej przelotu przez górne warstwy atmosfery Jowisza (tak nazywamy gwałtowne topienie się i odparowywanie materii ciała, które z wielką prędkością wpadło w atmosferę planety; na Ziemi prowadzi do zjawiska meteoru). Warto tu dodać, że w przypadku jednego z największych fragmentów komety (oznaczonego literą G) zaobserwowano silną dwuminutową emisję zjonizowanego magnezu już na cztery dni przed zderzeniem, a więc prawdopodobnie podczas pierwszego kontaktu z magnetosferą Jowisza (czyli obszarem dominacji plazmy okołoplanetarnej nad plazmą wiatru słonecznego).

(o czym była mowa w poprzednim wykładzie): Teajtetos i Eudoksos. Słowo *Akademia* oznacza jedynie, że mieściła się w gaju bożka Akademos.

Z niej też pochodził uznany za największego uczonego, tak przez współczesnych, jak później przez chrześcijan i muzułmanów, jedyny bodaj mędrzec ponad podziałami, Arystoteles. Miał on najpierw indywidualne doświadczenia dydaktyczne – był wychowawcą Aleksandra Wielkiego – później założył, w –335 roku, zakład naukowy pod nazwą *Liceum*. Nazwa ta znów nic nie znaczy – pochodzi od dzielnicy Aten, gdzie szkoła się mieściła. O tyle przerastała ona dzisiejsze licea, że miała pierwszą w Europie bibliotekę, i że jej uczniowie pod dyktando Arystotelesa napisali owo nieprzebrane morze jego dzieł, tak cenionych przez następne 1500 lat.

Liceum Arystotelesa (czy Akademię Platona) oddziela od następnych szkół czy uczelni znaczny odstęp czasu. Powstały w międzyczasie kościół chrześcijański (początkowo był jeden) stawia na indywidualne przyuczanie się swoich adeptów, tak do sztuki czytania i pisania, jak też do wszelkich innych intelektualnych sprawności. W tej sytuacji następny krok należy do muzułmanów. Od hidżry, czyli ucieczki Mahometa z Mekki do Medyny (622 rok), aż do bitwy pod Poitiers (732 rok) Arabowie zajmowali się podbijaniem wszystkiego, co było, i to podbijaniem skutecznym. Dopiero zatrzymani na terenie dzisiejszej Francji zajęli się innymi rzeczami. Wśród nich niemal od początku znalazła się nauka. Ich system nauczania strukturalnie przypominał Akademię platońską, a realizujące go instytucje nazywały się *Domami Nauki*.

Europa pozostawała daleko w tyle za muzułmanami. Kościół, a dokładniej benedyktyni, prowadzili wprawdzie szkoły, ale daleko im było choćby do Liceum Arystotelesa. Uczono w tych szkołach na dwóch poziomach. Niższy zwano *trivium*, gdyż zawierał trzy przedmioty: gramatykę, retorykę i dialektykę lub logikę, czyli uczono czytać, pisać i dawano jakieś wyobrażenie o zasadach rozumowania. Od *trivium* wywodzi się dzisiejsze określenie trywialny. Wyższy poziom szkół benedyktyńskich to *quadrivium*, czyli kanon pitagorejski (wspomniałem o tym poprzednim razem): arytmetyka, geometria, astronomia i muzyka.

Wyszkolenie wyższe reprezentowane było

przez pojedyncze dzieła w rodzaju napisanych przez Alkuina dla kandydatów na dworzan Karola Wielkiego *Zasad kształcenia umysłu*.

Poziom owego wykształcenia wyższego ilustruje znane zadanie o wilku, kozie i kapuście: jak przewieźć je przez rzekę łodzią, mieszczącą oprócz wiosłarza jeden jeno z tych obiektów, nie zostawiając na brzegu ani wilka z kozą, ani kozy z kapustą (powody są oczywiste).

Nic przeto dziwnego, że wykształceni Europejczycy zdobywali wykształcenie w uczelniach arabskich, co początkowo miano im za złe – toczyła się wszak systematyczna wojna o wyzwolenie Półwyspu Pirenejskiego i organizowano niesystematyczne wprawdzie, ale permanentne wyprawy krzyżowe. Przełom (wymuszony groźbą ostatecznej zapaści cywilizacyjnej chrześcijaństwa) nastąpił prawie dokładnie 1000 lat temu, w 999 roku, gdy papieżem wybrano Francuza Gerberta (Sylwester II), mimo iż studia odbył on w arabskim Toledo. Następnym krokiem było zakładanie uniwersytetów. Pierwszy powstał w Rawennie, ale zaraz upadł i został reaktywowany dopiero 40 lat później, w 1150 roku. Wobec tego naprawdę zaczęło się od Bolonii (1119). We Francji pierwsza była Sorbona w Paryżu (1200) rozpędzona 25 lat temu przez Mitterranda (gdy był ministrem spraw wewnętrznych). W Anglii Cambridge (1209) i Oxford (1214). W Europie Wschodniej Praga (1348) i Uniwersytet Jagielloński w Krakowie (1364), założony, jak z samej nazwy wynika, przez Kazimierza Wielkiego.

Uniwersytety dały przede wszystkim kadry dla benedyktyńskich szkół tak liczne, że mogły te szkoły kształcić już nie tylko przyszłych księży. Pojawiła się grupa ludzi świeckich umiających pisać. Pisali oni z wielkim zapałem co tylko im się nasunęło pod pióro – była to w powszechnej opinii metoda osiągnięcia nieśmiertelności: nas już nie będzie, a nasze myśli będą nadal krążyły wśród ludzi.

Przykładem takich świeckich piszących XIII wieku są: Marco Polo, który w *Opisaniu świata* przekazał nam bardzo obszerne sprawozdanie ze swoich kupieckich podróży i pół wieku młodszy Leonardo Bonacci, zwany Fibonaccim (czyli synem Bonacciego). Od niego możemy się dowiedzieć, czego z arabskiej matematyki uczono podówczas w Europie. Mamy też w jego dziele *Liber abaci* – *Księga liczydeł* – zadanie, które później

Szybko wirujące wraz z planetą pole magnetyczne Jowisza działa jak akcelerator przyspieszając cząstki naładowane do prędkości bliskich prędkości światła. Są one z kolei źródłem promieniowania mikrofalowego Jowisza odbieranego na Ziemi za pomocą radioteleskopów. Bombardowanie Jowisza przez komety spowodowało znaczny wzrost natężenia tego promieniowania. Okazał się on zależny od długości fali i wynosił od 10% na falach 70–90 cm aż do około 45% dla fal 6–36 cm. Powrót do normalnego poziomu tej emisji trwał mniej więcej 3 miesiące. Obserwacje wykonane za pomocą Very Large Array w Socorro (USA) pokazały, że nadwyżka promieniowania pochodziła głównie z obszarów równikowych Jowisza o długościach jowigraficznych takich jak długości miejsc spadków fragmentów komety. Sugeruje to, że za obserwowany efekt odpowiedzialny jest raczej wzrost energii cząstek już obecnych w magnetosferze niż wzrost ich liczby w wyniku eksplozji.

Do nieoczekiwanych zjawisk związanych ze spadkiem komety można też zaliczyć pojaśnienie powierzchni planety w miejscach półkuli północnej położonych symetrycznie względem równika do miejsc półkuli południowej trafianych fragmentami komety. Najbardziej wiarygodnego wytłumaczenia tego efektu dostarcza mechanizm, który jest również odpowiedzialny za powstawanie zórz polarnych w atmosferze Ziemi. Wzbudzenie bowiem świecenia atmosfery planety najprawdopodobniej jest wywołane bombardowaniem jej przez elektrony i protony uwolnione podczas zderzenia oraz przyspieszone do prędkości relatywistycznych i przeniesione z półkuli południowej na północną wzdłuż linii pola magnetycznego Jowisza. Wywołane przypuszczalnie w ten właśnie sposób promieniowanie obserwowano do 7 sierpnia, przy czym maksimum jego natężenia zarejestrowano 27 lipca, czyli 5 dni po uderzeniu w planetę ostatniego fragmentu komety. Ta zorzowa aktywność Jowisza była także widoczna w zakresie rentgenowskim, co stwierdził sztuczny satelita Ziemi ROSAT.

Zdjęcia Jowisza wykonane za pomocą teleskopu kosmicznego Hubble'a ukazały pojawienie się kołowych pierścieni wokół miejsc uderzeń pięciu fragmentów komety (oznaczonych literami A, E, G, Q1 i R). Widoczne one były przez kilka godzin, kiedy rozprzestrzeniały się ze stałą mniej więcej prędkością 450 m/s. W przypadku fragmentów E i G dostrzeżono ponadto znacznie słabsze, wewnętrzne pierścienie ekspandujące z prędkością w granicach 180–350 m/s. Analizując te zjawiska amerykański „geolog” planetarny A.P. Ingersoll doszedł do wniosku, że obserwowane efekty mogą być wyjaśnione przez zaburzenia troposfery rozchodzące się poziomo w hipotetycznej warstwie bogatej w parę wodną, wzbudzone eksplozją fragmentu komety o rozmiarach rzędu 2 km.

Wśród pilnie poszukiwanych, a na razie nie wykrytych, efektów zderzenia trzeba wymienić fale sejsmiczne, których wzbudzenia w globie planety należało oczekiwać w wyniku uderzeń brył komety. Ich propagacja powinna ujawnić się poprzez subtelne zmiany temperatury na powierzchni planety. Negatywny wynik dotychczasowych badań każe sądzić, że średnice fragmentów komety nie mogły przekraczać 0,5 km (zakładając, że miały gęstość lodu). Z kolei nie wiadomo, jak eksplozja obiektu o tak małych rozmiarach byłaby w stanie wywołać niektóre spośród obserwowanych zjawisk, np. uniesienia pióropusza materii na wysokość aż 3000 km. Okazuje się więc, że tak podstawowa sprawa, jak określenie wielkości i masy poszczególnych części komety, pozostaje jeszcze ciągle jedną z najtrudniejszych do rozwikłania zagadek całego wydarzenia.

Podobnych znaków zapytania jest jeszcze dużo. Do uzyskania odpowiedzi przynajmniej na niektóre z już sformułowanych pytań, a także nowych, które niewątpliwie pojawią się w przyszłości, przyczyni się zapewne sonda Galileo. W grudniu 1995 roku stanie się^(*) ona sztucznym satelitą Jowisza i przez prawie dwa lata będzie badać planetę zbombardowaną przez komety Shoemaker-Levy 9 i jej otoczenie. Sonda ta, wystrzelona z Ziemi w 1989 roku, już dokonała różnych spektakularnych odkryć; była przy tym praktycznie jedynym przyrządem zbudowanym przez człowieka mogącym bezpośrednio obserwować uderzenia poszczególnych fragmentów komety w Jowisza. Trudno więc przecenić rolę uzyskanych przez nią danych w dalszej analizie całego wydarzenia. Co teraz zobaczy na powierzchni Jowisza w miejscach, które stały się poniekąd grobem komety-kamikadze, pokaże bliska już przyszłość.

(*) Pisane latem 1995 roku.

znalazło się w *Burzliwym życiu Lejzorka Rojtszwańca* Ilii Erenburga. Chodzi o problem rozmnażania królików:
Ile par królików może spłodzić jedna para w ciągu roku, jeśli
– każda para rodzi nową parę w ciągu miesiąca,
– para staje się płodna po miesiącu,
– króliki nie zdychają?
 Liczby uzyskane przez comiesięczne zliczanie liczby par królików z tego zadania, które gorąco Czytelnikom polecam, to liczby Fibonacciego, do dziś mające istotne zastosowanie tak w samej matematyce, jak i w matematycznym modelowaniu różnych zjawisk przyrody (nie tylko hodowli królików). Ale to już zupełnie inna historia.

Patrz w niebo



Wszystko wskazuje na to, że pulsary powstają w wyniku eksplozji supernowych. Należałoby zatem oczekiwać, że każdy pulsar będzie leżał w środku ekspandującej mgławicy stanowiącej efekt eksplozji. Przykładem takiego obiektu jest mgławica Krab (M1). Okazuje się jednak, że takie sytuacje są raczej wyjątkiem. Pozostałości po supernowych, tzn. te mgławice, są najczęściej wcale nie symetryczne, pulsary wcale nie są środkami takich mgławic, co więcej – w wielu mgławicach, najwyraźniej powstałych w wyniku wybuchu, w ogóle nie ma centralnego pulsara.

Jedno wytłumaczenie takiego stanu rzeczy można łatwo przedstawić. Przestrzeń międzygwiazdowa nie jest pusta. Ekspandująca mgławica spiętrza przed sobą materię międzygwiazdową, wobec tego prędkość jej ekspansji maleje, początkowo sferyczny bąbel wybuchu ugina się i załamuje na wszelkich niejednorodnościach otaczającej go materii i nic dziwnego, że w końcu pozostałość po supernowej może stać się obiektem zupełnie nieregularnym. Jeżeli w chwili wybuchu gwiazda miała znaczącą prędkość względem otaczającej ją materii, to mgławica musi rychło tę prędkość utracić jako obiekt wielki i silnie rozrzedzony, podczas gdy pulsar swoją prędkość zachowa, bowiem na jego ruch materia międzygwiazdowa nie ma żadnego wpływu. Z biegiem czasu pulsar może więc swoją mgławicę nawet opuścić. To samo rozumowanie dotyczy, oczywiście, również mgławic planetarnych i ich gwiazd centralnych.

W gwiazdozbiornie Strzelca znaleziono jednak pulsara (PSR 1757-24), który wraz ze swoją mgławicą tworzy obraz (zresztą radiowy, bo obiekt został wykryty w wyniku właśnie obserwacji radiowych) podobny do migawkowego zdjęcia pocisku przebijającego pomarańczę. Pulsar ten leży poza mgławicą, która ma nawet jeszcze dość regularny kształt i właściwie na podstawie samego obrazu nie można mieć pewności, że pulsar i mgławica mają ze sobą cokolwiek wspólnego. Jednak oszacowania odległości dają dla obu obiektów ten sam wynik (około 6 kpc), a pulsar od mgławicy się oddala i to z prędkością – tu uwaga! – 2300 km/s. Nie ma więc raczej wątpliwości, że właśnie widzimy pulsara, który porusza się szybciej niż, przynajmniej obecnie, ekspanduje mgławica po wybuchu (około 16 000 lat temu) jego macierzystej supernowej. Tak wielkiej prędkości gwiazda przed wybuchem mieć nie mogła, gdyż prędkość ta niemal o rząd wielkości przekracza prędkość ucieczki z Galaktyki. Pulsar musiał więc tę prędkość nabyć w momencie eksplozji, a to dowodzi, że eksplozje supernowych mogą zachodzić wysoce niesymetrycznie. Zapewne odrzut wywołany takim przebiegiem eksplozji nadał powstałemu wtedy pulsarowi prędkość stanowiącą niemal jeden procent prędkości światła. Jeżeli nie jest to przypadek wyjątkowy, to brak pulsarów w pozostałościach po supernowych staje się tym bardziej zrozumiałą.

Tomasz KWAST