

Planetoidy zagrażające Ziemi

Klucz do Apophis

MAŁGORZATA KRÓLIKOWSKA-SOŁTAN

Centrum Badań Kosmicznych, Warszawa
Polska Akademia Nauk
mkr@cbk.waw.pl

WERONIKA ŚLIWA

Academia
weronika.sliwa@gmail.com

Codziennie w ziemską atmosferę wpada ponad sto ton materii międzyplanetarnej. Większość stanowią drobny pył i maleńkie okruchy skalne. Jednak średnio raz na kilkaset tysięcy lat zderza się z nami ciało o średnicy większej od kilometra, a więc zdolne swym upadkiem spowodować zagładę dużego kraju

Szczęśliwie niebezpieczeństwo upadku dużej planetoidy da się dziś często przewidzieć z dużym wyprzedzeniem. Od kilkunastu lat niebo jest bezustannie monitorowane między innymi w poszukiwaniu obiektów mogących zagrozić naszej planecie. Najbardziej zastrzeżone w tej dziedzinie są programy badawcze mające badać różne populacje małych ciał znajdujących się w naszym Układzie Słonecznym,

w szczególności w najbliższym otoczeniu Ziemi. Są to między innymi programy znane jako Spacewatch, LINEAR (ang. *Lincoln Near-Earth Asteroid Research*) czy CATALINA (ang. *Catalina Sky Survey*). Ten ostatni działa od kilku lat i obecnie jest najskuteczniejszy w odkrywaniu obiektów bliskich Ziemi (ang. *NEOs od Near Earth Objects*). Dzięki intensywnym poszukiwaniom planetoid mogących dowolnie blisko zbliżyć się do Ziemi szacuje się, że znamy dziś z tej populacji ponad 80% obiektów największych – o rozmiarach powyżej jednego kilometra.

Niebezpieczne planetoidy

Dziś lista niebezpiecznych planetoid (PHAs z ang. *Potentially Hazardous Asteroids*), uaktualniana codziennie przez NASA w witrynie <http://neo.jpl.nasa.gov/risk>, liczy prawie 300 pozycji. Na górze tej listy znajduje się planetoida (99942) Apophis, która zaraz po jej odkryciu w 2004 r. przewodziła tej liście przez wiele miesięcy, gdyż niosła największe ryzyko zderzenia spośród znanych wówczas sporych obiektów. W listopadzie 2007 r. odkryto jednak planetoidę 2007 VK₁₈₄, której ryzyko upadku na powierzchnię Ziemi (w 2048 r.) uważa się obecnie za największe i ocenia na 1:3000. Ale Apophis pozostał nadal jednym z bardziej niebezpiecznych obiektów. Ta prawie 300-metrowa planetoida w kwietniu 2029 r. zbliży się do Ziemi na odległość zaledwie kilku jej promieni. Po tym niezwykle bliskim przelocie orbita Apophis znacząco się zmieni. Również niepewność określenia jego późniejszych elementów orbitalnych pogorszy się o kilka rzędów wielkości. Czy taka zmiana zwiększy ryzyko późniejszego zderzenia obiektu z Ziemi? Zanim się tego dowiemy, przyjrzyjmy się niezwyklej planetoidzie.

Historia Apophis rozpoczyna się dla nas 19 czerwca 2004 r., gdy zostaje on odkryty podczas rutynowego programu poszukiwania planetoid. Ogłoszone w Wigilię 2004 r. szacowania NASA określały prawdopodobieństwo rychłego zderzenia planetoidy z Ziemią na całkiem realne 1 do 300. W dodatku przez kolejne dni prawdopodobieństwo rośnie, dochodząc do wartości 1:35. I choć szanse na zderzenie oceania się dziś znacznie niżej, 19 lipca 2005 r. planetoida nie bez kozery zyskała swe obecne złowroge imię.

Apophis, Apep to w mitologii starożytnego Egiptu demon ciemności, nicości i chaosu, czasami utożsamiany z Setem. Był zatem całkowitym zaprzeczeniem jasności, czyli Boga Słońca Ra, którego był odwiecznym i zaprzysięgłym wrogiem.

Kosmiczny Apophis należy do planetoid z grupy Atena, których okres obiegu wokół Słońca jest krótszy od roku



Don Dennis

Komety i planetoidy zderzały się z Ziemią od początku jej istnienia. Być może to upadkowi niektórych takich ciał zawdzięczamy pewną część ziemskiej wody



Rozmiary planetoid sięgają od kilkunastu metrów do kilkuset kilometrów. Część z nich to układy podwójne, takie jak widoczna na zdjęciu Antiope

i które większość czasu spędzają bliżej Słońca niż Ziemia. Pełen obieg Słońca zajmuje mu 323 dni, a orbita jest nachylona pod niewielkim kątem 3 stopni do płaszczyzny ekliptyki. W trakcie każdego obiegu Apophis dwukrotnie przebiega płaszczyznę ekliptyki w tzw. węzłach orbity, jednocześnie „przecinając” wówczas orbitę Ziemi. Do spektakularnego zbliżenia z Ziemią dojdzie jednak dopiero 13 kwietnia 2029 r., kiedy to Apophis, przechodząc przez płaszczyznę ekliptyki, spotka się z Ziemią. Wówczas przemknie nad powierzchnią planety w odległości zaledwie 6 promieni ziemskich, czyli trochę bliżej nawet niż odległości satelitów geostacjonarnych, które nadają na Ziemię sygnał telewizyjny. W trakcie maksymalnego zbliżenia planetoidę będzie można obserwować gołym okiem jako punkt o jasności porównywalnej do niezbyt jasnej gwiazdy, obiekt trzeciej wielkości gwiazdowej.

Kluczowe zbliżenie

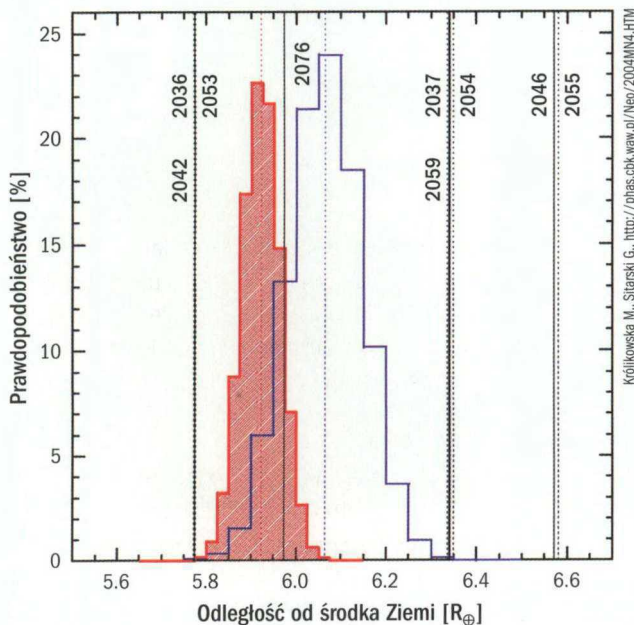
Czy takiej wizyty należy się bać? Nasze dzisiejsze szacunki sugerują, że tak bliskie spotkanie ze sporą planetoidą przydarza się Ziemi średnio raz na nieco ponad tysiąc lat. Odległość Apophis od Ziemi zapewni jego spokojny przelot. A jednak – jego dokładne parametry będą miały kluczowe znaczenie dla dalszych losów planetoidy. Tak głębokie zbliżenie 13 kwietnia 2029 r. sprawi, że orbita Apophis ulegnie znaczącej zmianie. W efekcie przelotu planetoida znajdzie się w rezonansie średnim z Ziemią (jest to sytuacja, kiedy stosunek okresów orbitalnych z dobrym przybliżeniem może być wyrażony stosunkiem dwóch małych liczb naturalnych) skutkującym wieloma możliwościami przyszłych zderzeń z naszą planetą, począwszy już od roku 2036. Tego rodzaju zagrożenie pojawi się, o ile planetoida przejdzie w trakcie zbliżenia przez grawitacyjną „dziurkę od klucza” – niewielki obszar, w którym wpływ Ziemi na zmianę toru planetoidy będzie dokładnie taki, że skieruje ją ku przyszłemu zderzeniu. Dziś uważa się, że takich

dziurek zagrażających Apophis jest nawet kilka, jednak średnica każdej z nich nie przekracza – w zależności od definicji dziurki – od kilkuset metrów do kilku kilometrów. Czy jesteśmy dziś w stanie ocenić z taką dokładnością orbitę Apophis w 2029 r.? Pracę badaczy utrudnia fakt, że obecne położenie planetoidy względem Ziemi uniemożliwia jej obserwacje aż do roku 2011. Dysponujemy ponad 1000 obserwacji pozycyjnych i 7 radarowymi, zebranymi w okresie od marca 2003 (część z nich wykryto w danych zebranych przed odkryciem planetoidy) do stycznia 2009 r. Dziś trwają badania mające na celu uściślenie geometrii największego zbliżenia w kwietniu 2029 r., a co za tym idzie – późniejszej trajektorii planetoidy.

Przewidywania przelotu

Ten cel przyświecał również zespołowi, w którego skład weszła współautorka artykułu – Małgorzata Królikowska, Grzegorz Sitarski, oboje z Centrum Badań Kosmicznych PAN, oraz Andrzej M. Sołtan z Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie. W trakcie obliczeń postanowiliśmy wymodelować ruch planetoidy na podstawie jej dotychczasowych obserwacji. Głównym celem pracy było zbadanie, jak różny sposób selekcji i wagi obserwacji wpływa na oceny prawdopodobieństwa zderzeń Apophis z Ziemią. W trakcie obliczeń uwzględnialiśmy m.in. wpływ grawitacji planet i czterech największych planetoid: Ceres, Pallas, Westy i Hygiei. Na podstawie symulacji ponad 15 tysięcy orbit, tzw. orbit wirtualnych, nieznacznie różniących się parametrami (elementami orbitalnymi), udało nam się ustalić, że planetoida przejdzie najprawdopodobniej w odległości $6.064 \pm 0.095 R_z$ (ziemskich promieni) od centrum naszej planety. Niestety, niepewność tego wyznaczenia przelotu, choć tylko 1,5%, wciąż umożliwia planetoidzie natknięcie się na grawitacyjne dziurki od klucza. I tak przejście w odległości 5.7736–5.7763 R_z sprawi, że planetoida przejdzie niezwykle blisko Ziemi

Planetoidy zagrażające Ziemi



Rozkład minimalnej odległości od centrum Ziemi w momencie zbliżenia 13 kwietnia 2029 r. uzyskany na podstawie rachunków typu Monte Carlo. Wyniki oparte na krótszym przedziale obserwacyjnym (2004 03 15 – 2006 08 16) przedstawia histogram niebieski, wyniki oparte na obecnym łuku (2004 03 15 – 2008 01 09) przedstawia zaś zakresowany histogram czerwony. Położenie dziurek od klucza przedstawiają linie pionowe z datami ewentualnych zderzeń. Do zderzenia w 2076 r. mogłoby dojść jedynie wówczas, gdyby w 2051 r. doszło do zbliżenia z Ziemią na ściśle zadaną odległość. Zatem dziurka od klucza w 2029 r. jest skrajnie mała dla zderzenia w 2076 r., toteż i prawdopodobieństwo zajścia takiego zdarzenia okazuje się znacznie mniejsze niż prawdopodobieństwo zderzenia w roku 2036

w roku 2036 albo się z nią zderzy, a kwietniowy przelot w odległości 6.3359–6.3488 R_z narazi ją na superbliki przelot lub upadek w roku 2037. Szczęśliwie najbardziej prawdopodobna minimalna odległość przelotu leży pomiędzy tymi krytycznymi wartościami, wciąż jednak nie można wykluczyć, że Apophis wpadnie w groźną, choć tak niewielką dziurkę. W dodatku przelot w odległości 5.97347 R_z grozi przyszłym zderzeniem w roku 2076, ale to zderzenie jest dużo mniej prawdopodobne, gdyż aby mogło zajść, planetoida musi wcześniej – w 2051 r. – przelecieć blisko Ziemi w pewnej, ściśle określonej, odległości. Dodatkowo, jak zostało wcześniej wspomniane, w naszej pracy pokazaliśmy, że ocena prawdopodobieństwa zderzenia w kolejnych latach znacząco zależy od sposobu selekcji i ważenia obserwacji, ale nie przekracza obecnie 0,0005%. Warto wspomnieć, że rachunki prowadziliśmy w oparciu o unikatowe metody losowania orbit wirtualnych oraz uzyskiwania orbit zderzeniowych opracowane przez profesora Sitarskiego z Centrum Badań Kosmicznych PAN. Niepewność wyznaczenia orbity powiększa fakt, że wciąż zbyt słabo znamy kształt i powierzchnię Apophis, by móc uwzględnić w trakcie symulacji efekty niegrawitacyjne jej

ruchu: wpływ ciśnienia promieniowania słonecznego na jej ruch i emisję promieniowania przez planetoidę. Czy wobec tych wszystkich niepewności jest się czego bać?

Groźny upadek

Planetoida ma średnicę około 270 m, zatem jej upadek może wyzwolić energię równoważną 510 megatonom trotylu, a więc kilkadziesiąt razy większą od tej wyzwolonej w trakcie katastrofy tunguskiej. Mimo wszystko ewentualny upadek Apophis nie zagraziłby całej Ziemi – byłby raczej katastrofą obejmującą w najgorszym razie duży fragment jednego z kontynentów. Wciąż czekamy na dalsze obserwacje, dzięki którym będzie można dokładniej ustalić przyszłe losy niebezpiecznej planetoidy. Następną dobrą okazją do obserwacji pojawi się w roku 2013, gdy Apophis przejdzie w odległości 14,4 mln km od Ziemi. Można będzie wówczas wykonać kolejne pomiary radarowe jej oddalenia od Ziemi w momencie obserwacji. A jeśli ich wyniki nie okażą się rozstrzygające? W drogę ku planetoidzie może wówczas wyruszyć niezwykła misja.

Przewidywacz katastrof

W 2007 r. Planetary Society ogłosiło konkurs mający na celu opracowanie koncepcji misji, która pomogłaby zbadać Apophis. Zawody wygrała misja Foresight. Zgodnie z jej planami sonda do Apophis miałaby wyruszyć w drogę pomiędzy 2012 a 2014 r. i dolecieć do celu około 10 miesięcy później. Próbnik o wadze 220 kg niósłby na pokładzie instrumenty badawcze i nadajnik radiowy umożliwiający dokładniejsze zbadanie toru Apophis. A powinien być on poznany niezwykle precyzyjnie: o ile do roku 2017 będziemy znali położenie Apophis z dokładnością do dziesiątek metrów i jej prędkość z dokładnością do tysięcznych części milimetra na sekundę, niepewność jej przejścia nad Ziemią w roku 2029 da się zredukować do obszaru mniejszego od 14 km, czyli zawęzić około 50-krotnie w porównaniu z obecnymi wyznaczeniami. Na razie nikt nie zdecydował się jeszcze na sfinansowanie tej misji, jednak dotyczące jej opracowania mogą być wzięte pod uwagę podczas przygotowań do innych planowanych badań: misji NASA – Orion Asteroid Mission, w trakcie którego planowane jest załogowe badanie jednej z planetoid, oraz Don Quijote, którego ma wynieść Europejska Agencja Kosmiczna. Czy wyniki tych lub innej misji pomogą nam poznać losy Apophis? Nasza wiedza o tym niebezpiecznym ciele zdecydowanie musi być większa. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Królikowska M., Sitarski G., Sołtan A.M. (2009). How selection and weighting of astrometric observations influence the impact probability. The case of asteroid (99942) Apophis. *Mon. Not. r. Astron. Soc.*, 399, 1964–1976.

<http://neo.jpl.nasa.gov/risk>

<http://unicorn.eis.uva.es/neodys>

<http://phas.cbk.waw.pl/neo.htm>