



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

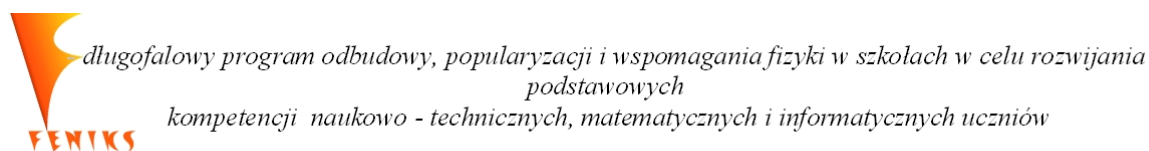
Pisemna wersja wykładu wygłoszonego w 2009 r. w ramach projektu FENIKS
w Uniwersytecie Jana Kochanowskiego w Kielcach

Czy grozi nam kosmiczna katastrofa?

Paweł Kankiewicz

*Zakład Astrofizyki, Instytut Fizyki UJK, ul. Świętokrzyska 15, Kielce
E-mail: pawel.kankiewicz@ujk.kielce.pl*

14 lutego 2009



dlugofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych

kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

1 Wstęp

1.1 Dlaczego obawiamy się spadku planetoidy?

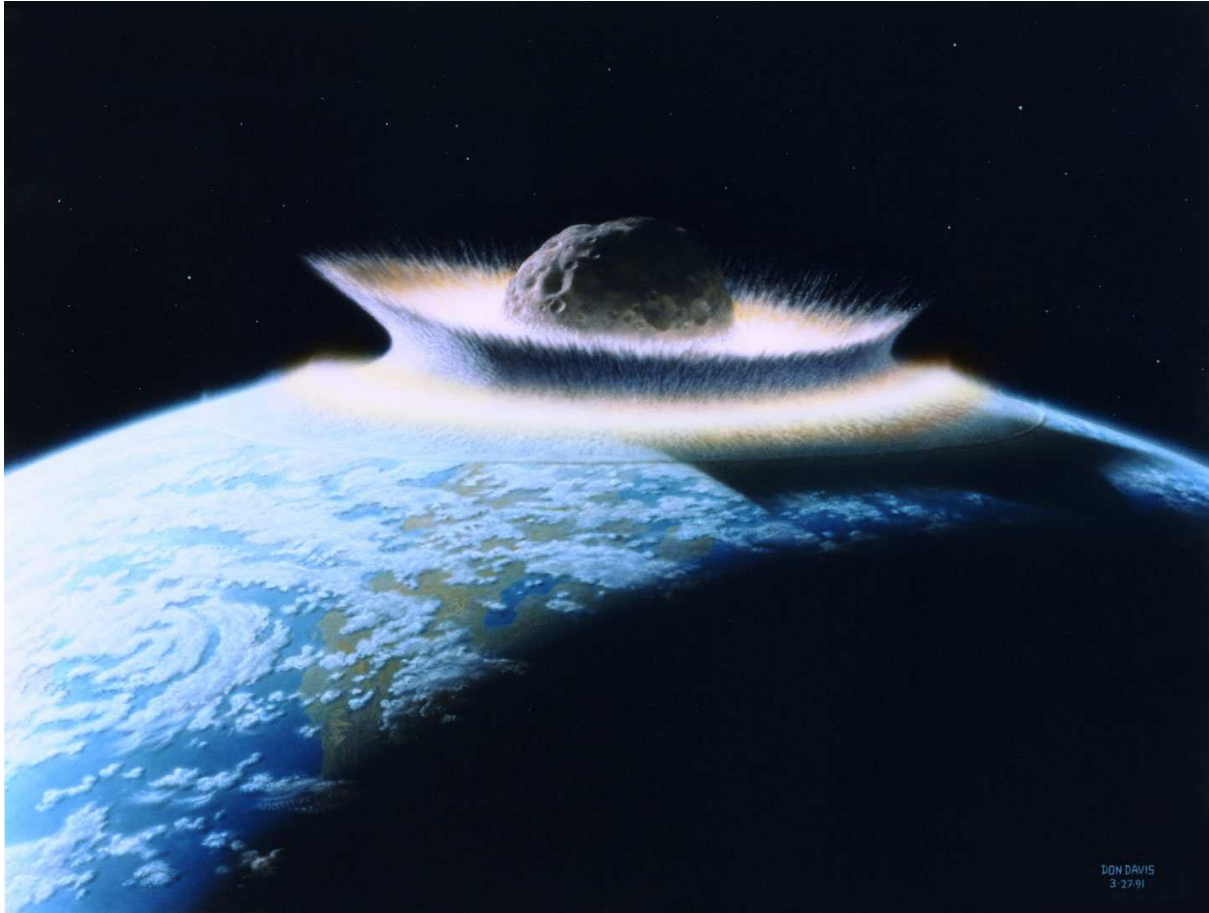
W XX wieku doszło do wielu odkryć astronomicznych, które utwierdziły nas w przekonaniu, że Układ Słoneczny jest czymś więcej, niż olbrzymią pustą przestrzenią z kilkoma planetami i ich księżycami. Rozwój technik obserwacyjnych spowodował, że nasze najbliższe otoczenie możemy badać przez małe teleskopy dostępne dla amatorów astronomii. Obecnie olbrzymia rzesza ludzi, astronomów zawodowych i amatorów, odkrywa wielkie ilości krążących wokół Słońca małych ciał, do których zaliczamy komety i planetoidy.

W odległej przeszłości ludzie obawiali się komet, wierząc, że zwiastują one rozmaite nieszczęścia. Nie znano ich natury, a nawet nie wiadomo, jak daleko od nas się znajdują. Dopiero Edmund Halley (1656-1742) wyznaczył orbitę okołosłoneczną komety okresowej i tym samym potwierdził, że komety należą do naszego układu. Nauka traktuje dawne przepowiednie związane z kometami z przymrużeniem oka, ale gdyby ich nie było, nie wzbudzałyby one ciekawości naszych przodków. Wiedzę o dawnych obserwacjach komet czerpiemy z kronik historycznych i dzięki nim możemy czasem odtworzyć, co działo się z nimi setki lat temu. Ale to nie komety wzbudzają najbardziej katastroficzne emocje.

Jeszcze w 1898 r. odkryto pierwszego przedstawiciela obiektów zbliżających się do Ziemi - planetoidę (433) Eros. Przez dłuższy czas przybywało tego typu odkryć, ale prawdziwe zainteresowanie problemem kolizji planetoidy z Ziemią rozpoczęło się w latach osiemdziesiątych XX w. , co zaowocowało licznymi projektami i masowymi odkryciami pod koniec stulecia. We wcześniejszych latach, pomimo katastrofy, która rzeczywiście wydarzyła się w 1908 roku, kiedy to miał miejsce upadek Meteorytu Tunguskiego, problem był raczej lekceważony jako zjawisko rzadkie i mało prawdopodobne.

Niespodziewanie okazało się, że planetoid w Układzie Słonecznym jest więcej, niż się wszystkim wydawało – i to w obszarach dotąd uważanych za niemal puste. Utarty pogląd, że model naszego układu planetarnego zmieści się w „płaskim pudełku” również uległ zmianie. Kryje on wiele nierozwiązanych zagadek i nowych, nieodkrytych obiektów. Hipoteza Jana Oorta z 1950 r. głosząca, że gdzieś poza orbitami najdalszych planet znajduje się obłok, z którego pochodzą komety, w ostatnich latach wydaje się potwierdzać. Podobnie stało się z tzw. Pasem Kuipera, który rzeczywiście istnieje na krańcach układu i od lat 90-tych potwierdza się w nim nowo odkryte małe ciała. A przecież jeszcze niedawno postrzegano Układ Słoneczny jako dziewięć (!) planet z pasem planetoid między Jowiszem a Marsem, z nielicznymi wyjątkami odosobnionych komet i planetoid. Odkryty na początku XX wieku Pluton, leżący wśród podobnych wielkością ciał niebieskich, nie wydaje się współczesnym astronomom godny uwagi na tyle, aby uważać go dalej za wyróżnioną planetę. Wiele się zatem zmieniło w postrzeganiu naszego najbliższego otoczenia i stało się to stosunkowo niedawno.

Pojawiły się lawinowo nowe zagrożenia, nad którymi astronomowie zaczęli się poważnie zastanawiać. Spora ilość drobnych ciał o średnicy powyżej kilometra przebywa na stałe w sąsiedztwie orbity ziemskiej. Uważa się, że planetoida o takim rozmiarze może spowodować poważne zniszczenia i dlatego należy takie obiekty badać i przygotowywać Ziemię do obrony przeciwko nim.



Rysunek 1: Zderzenie dużej planetoidy z Ziemią. Wizja artystyczna Dona Davisa. Jeden z najbardziej znanych obrazów, przedstawiający wizję katastrofy. Astronomia i kosmos są inspiracją dla wielu artystów, a w niektórych przypadkach ich prace urozmaicają i pozwalają lepiej zrozumieć, jak wyglądają zjawiska dotąd niemożliwe do sfotografowania lub zobrazowania przez sondy kosmiczne. Źródło: [2]

2 Historyczne katastrofy i zagrożenia

2.1 Zagłada dinozaurów: hipoteza czy prawda?

Różne dziedziny nauki potwierdzają, że w przeszłości nasza planeta przechodziła przez różne etapy rozwoju, a klimat i warunki życia były zmienne. Gatunki zwierząt żyjące dawniej na Ziemi okresowo gineły i współcześnie znamy je wyłącznie z wykopalisk. Najbardziej obiegowy przykład dotyczy zagłady wielkich gadów – dinozaurów. Badania uczonych z różnych dyscyplin są zgodne co do tego, że dinozaury wyginęły, ale wciąż niewyjaśniona pozostaje przyczyna. Niektórzy są pewni, że nastąpiła katastrofa kosmiczna, ale niekoniecznie są to specjaliści związani z astronomią. Ta poparta pewnymi faktami, ale wciąż hipoteza, przeniknęła do opinii publicznej i mediów. Pogląd ten zagościł niemal na stałe w obiegowej opinii – nawet poszukiwano hipotetycznego miejsca upadku planetoidy. Ostatnio wskazywano okolice Zatoki Meksykańskiej, ale nowsza hipoteza dotyczy Półwyspu Indyjskiego. Słabym punktem całego rozumowania jest fakt, że nie mamy żadnego ścisłego modelu tego wydarzenia, a takich właśnie dowodów żądają nauki przyrodnicze. Historia astronomii zresztą potwierdza, jak wiele razy poglądy ludzkości schodziły na manowce.

2.2 O kometach i przesądach

Komety to tajemnicze ciała towarzyszące człowiekowi od zarania ludzkości. Ludzie, którzy dostrzegali od dawna na niebie regularności i według nich żyli, zawsze byli zaniepokojeni nowym zjawiskiem, które nie podlegało pozornie żadnym regułom czasowym. Dzień, noc, pory roku, fazy Księżyca a nawet ruchy planet i zaćmienia - według tych wszystkich zjawisk w przeszłości mierzono upływ czasu. Pojawienia komet nie były na pozór regularne albo trudno było je ze sobą skojarzyć. Ale najważniejsze jest to, że komety mogą wyglądać bardzo spektakularnie – ich warkocz może rozciągać się niemal przez cały nieboskłon. Niektóre z nich można było nawet oglądać w dzień! Ówczesni astrologowie zwiastowali wojny, głód i zarazę. Ale nawet po poznaniu bliżej natury komet (Halley obliczył pierwszą orbitę w 1705 r.) obawy przed kometami nie ustały.

Inne niebezpieczeństwo wynika z samej natury ruchu komet – ich orbity są wydłużone i mijają one naszą planetę z dużą prędkością. Mają zatem dużą energię kinetyczną. Gdyby kometa uderzyła w Ziemię, energia upadku byłaby większa, niż dla podobnej rozmiarami planetoidy. Jednak sklasyfikowanych komet jest mało w porównaniu z licznymi planetoidami...

2.3 Meteoryt Tunguski: 1908 r.

Nad ranem 30 czerwca 1908 roku na środkowej Syberii wydarzyła się prawdziwa katastrofa kosmiczna. Olbrzymi bolid przeleciał i eksplodował nad tajgą, co było słyszalne w promieniu około tysiąca kilometrów. Spowodował potężne zniszczenia lasu oraz geologiczne i atmosferyczne zjawiska, odnotowane na całej Ziemi – zatem ze skutkami w skali globalnej. Sejsmografy na terenie Azji i Europy odnotowały wstrząsy, na niebie pojawiły się jasne, srebrzyste obłoki, widziane nawet dziesiątki tysięcy kilometrów od miejsca upadku. Przez kilka dni obserwowano także czerwoną zorzę. Było wielu naocznych świadków zjawiska, ale poważne problemy komunikacyjne utrudniały zbadanie zjawiska. Początkowo władze nie przejawiały zainteresowania wysłaniem ekspedycji. Dopiero po 13 latach od zdarzenia wyruszyła wyprawa kierowana przez rosyjskiego specjalistę od meteorytów i mineraloga Leonida Kulika. Pierwsza



Rysunek 2: Rysunek komety Halleya z 1531 r. wykonany przez Petera Apiana w 1538 r. w dziele „Homocentricorum, sive de stellis”. Dawne wyobrażenia komet wyglądają złowieszczo, ale pamiętajmy, że długo nie znano natury komet. Pomimo dużej dawki fantazji zachowano prawidłowy kierunek warkocza, a zatem obraz ten ma pewną wartość historyczną oraz naukową.



Rysunek 3: Fotografia komety Halleya z 1910 roku. Kometa przeszła blisko Ziemi, ukazując imponujących rozmiarów warkocz, który wbrew obawom nie zaszkodził atmosferze naszej planety.



Rysunek 4: Zniszczenia drzew w tajdze syberyjskiej przez wybuch Meteorytu Tunguskiego. Fotografia: N.A. Strukov, 1928 r.

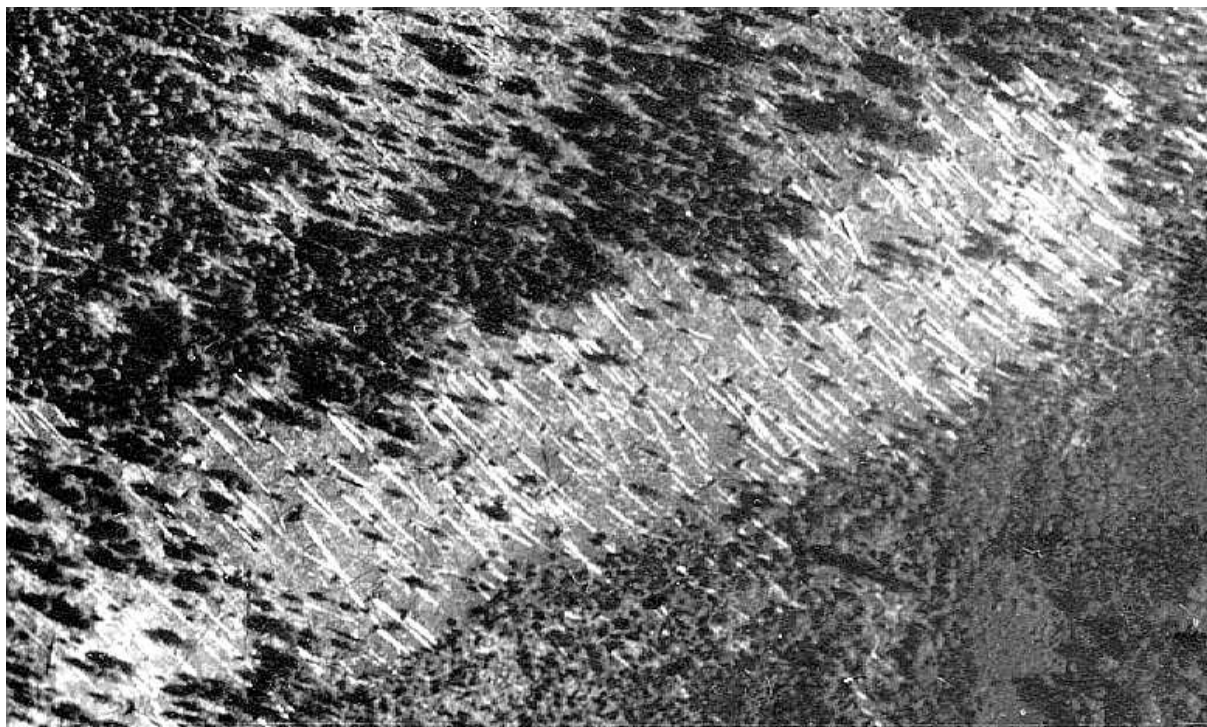
wyprawa nie dotarła do miejsca katastrofy, zajęła się zaledwie jego ustaleniem. Trudności były naprawdę poważne, ponieważ świadkowie upadku mówili lokalnym językiem, a dotarcie w tak odosobnione regiony tajgi jest niebezpieczną wyprawą nawet dzisiaj!

Druga wyprawa wyruszyła w 1927 r. Napotkała powalony las na wielkim obszarze, a w epicentrum wybuchu wbrew oczekiwaniom nie znaleziono krateru ani nawet znacznych śladów materii meteorytovej. Dopiero symulacje przeprowadzone później wykazały, że bolid eksplodował nad powierzchnią Ziemi, lecąc kilkadziesiąt kilometrów na sekundę po słabo nachylonym torze. Jego prawdopodobny rozmiar ocenia się na ok. 50 m. Wszystkie parametry opisujące Meteoryt Tunguski są ustalone z dużym przybliżeniem. Z zadowalającą dokładnością współrzędne epicentrum określono w 1967 r. , a moment uderzenia dopiero w 1986 r.

Istnieją dwie najważniejsze hipotezy pochodzenia ciała: planetoidalna i kometarna. Hipoteza kometarna bardzo dobrze pasowała do ciała tunguskiego w czasach, gdy komety uważano za „brudne kule śniegowe” – ponieważ łatwo było można wytłumaczyć rozpad bolidu. Współcześnie granica między planetoidą a kometą wydaje się jednak zacierać. Po porównaniu znanych orbit komet i planetoid z przybliżoną orbitą Meteorytu Tunguskiego okazało się, że mógł być on planetoidą z grupy PHA (Potentially Hazardous Asteroid - potencjalnie niebezpiecznych planetoid).

2.4 Kometa Halleya w 1910 r.

Podczas powrotu komety Halleya w 1910 roku obawiano się przejścia Ziemi przez warkocz komety i wszelkich tego konsekwencji. Wydano nawet pocztówkę okolicznościową w języku polskim „z okazji zniszczenia świata przez kometę”. 18 maja 1910 roku miał być rokiem zagłady,

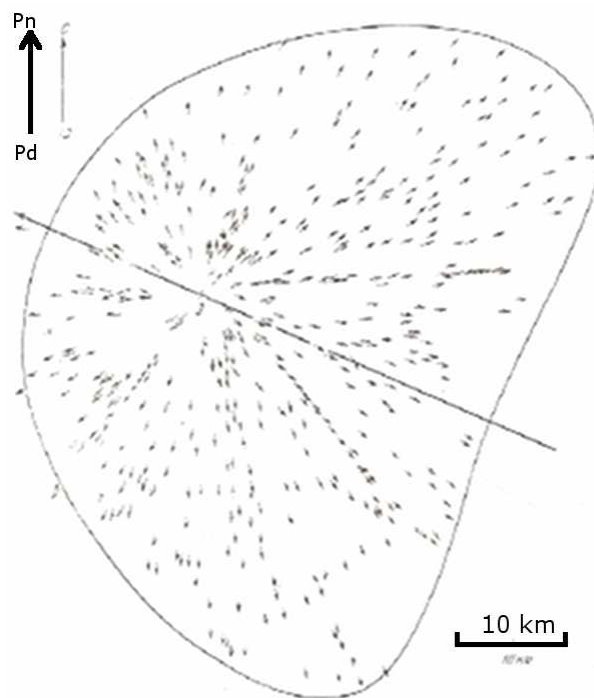


Rysunek 5: Zdjęcie lotnicze drzew powalonych przez katastrofę tunguską. Fotografia z archiwum obserwacji lotniczych Leonida Kulika (wykonana w 1938 r.)

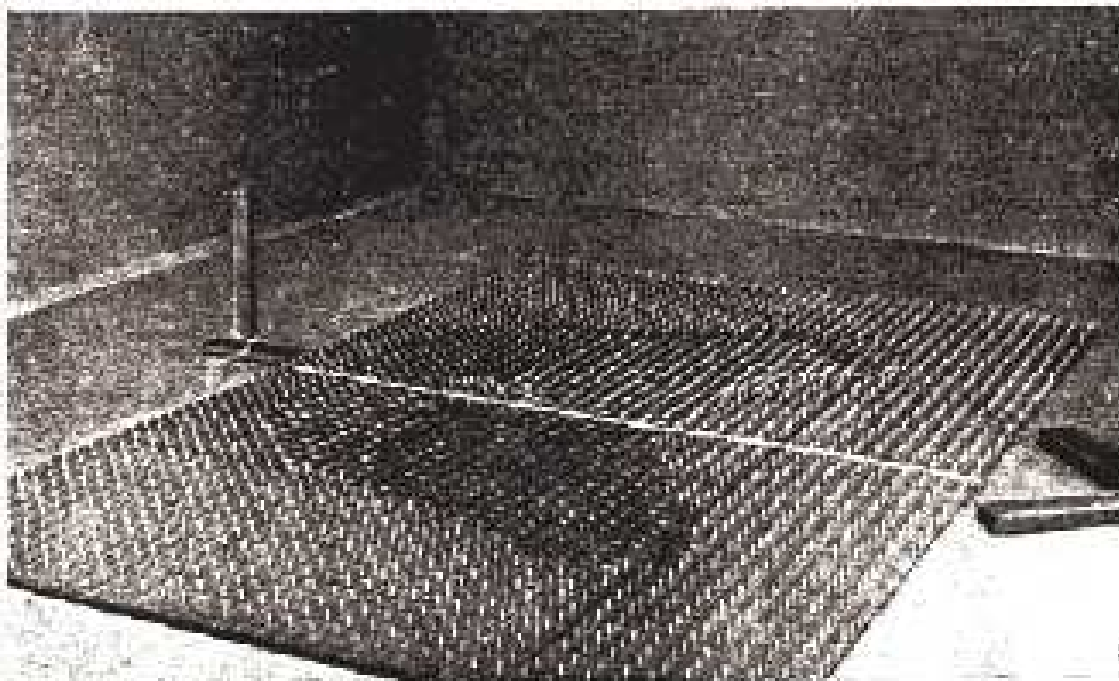
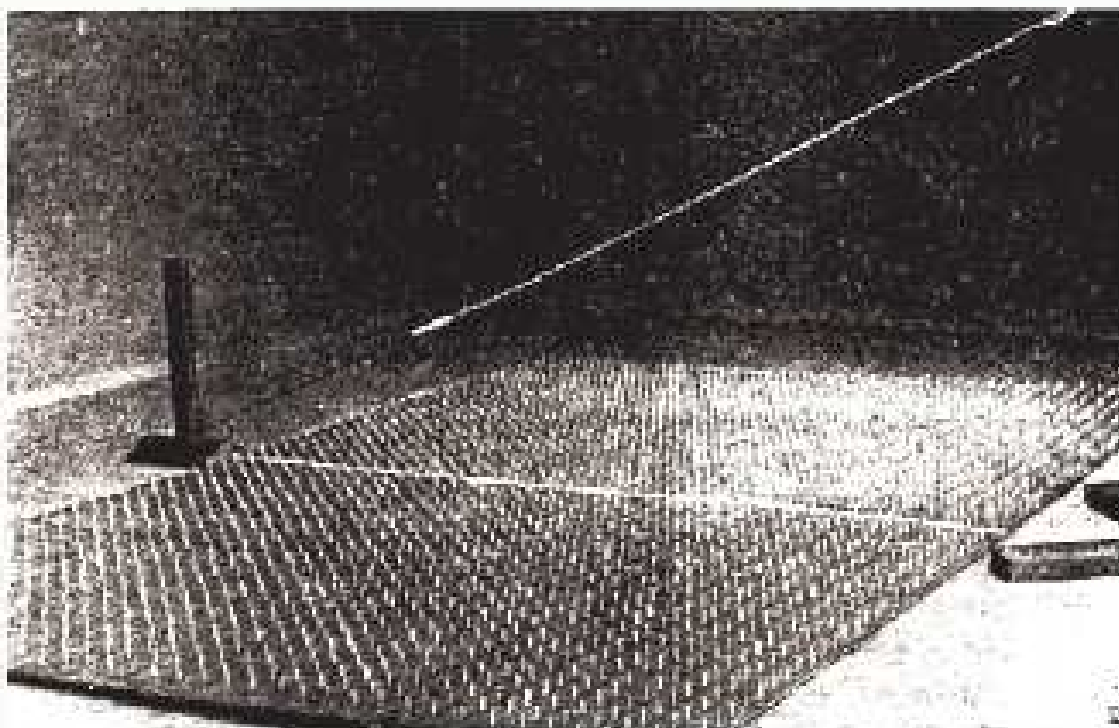
ale okazało się, że rozciągający się na dużych odległościach warkocz (nawet setki milionów kilometrów) składa się z bardzo rozrzedzonych gazów i jest nieszkodliwy dla naszej atmosfery.

2.5 Planetoida 2008 TC3 – meteoryt Almahatta Sitta

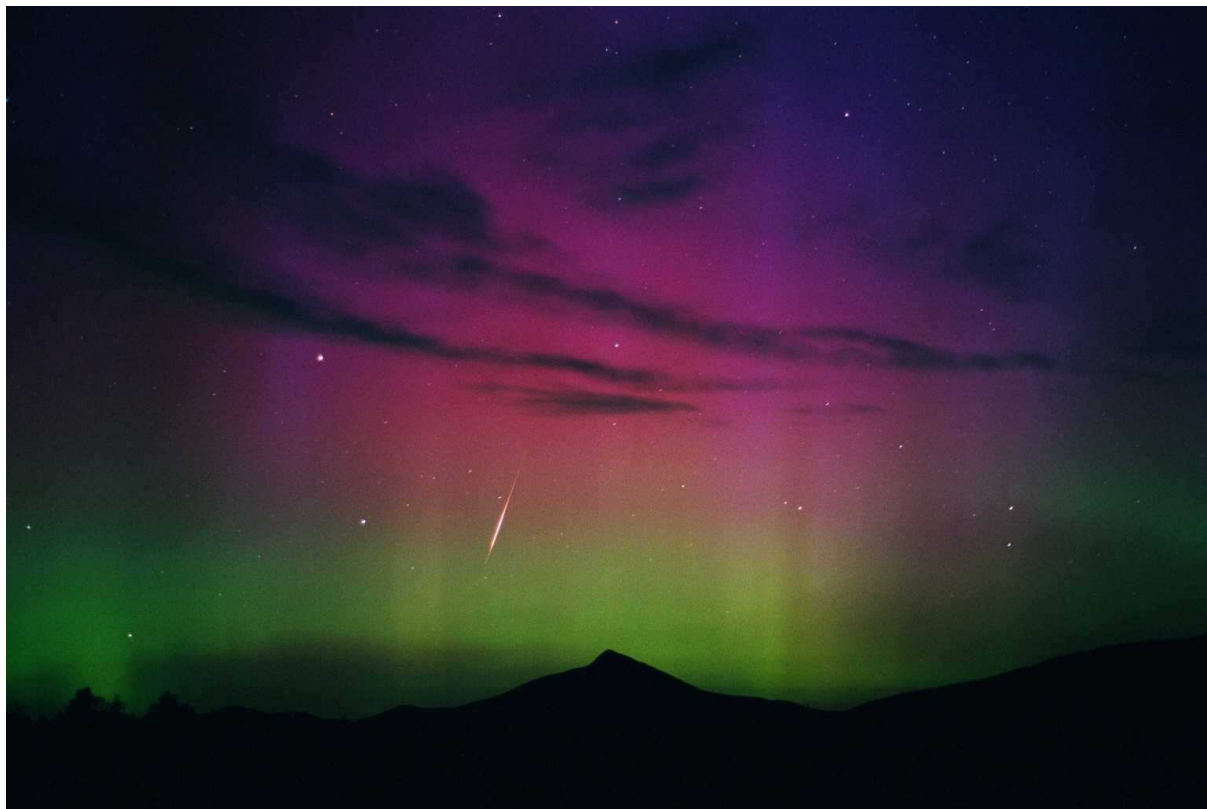
W 2008 r. mieliśmy do czynienia z pierwszą przewidzianą obserwacyjnie przez astronomów katastrofą kosmiczną. Zaobserwowany wcześniej obiekt spadł na Pustynię Nubijską. Planetoidę odkryto w ramach programu poszukiwania małych ciał Catalina Sky Survey na teleskopie o średnicy 1.5 m. W ciągu kilku godzin zebrano materiał obserwacyjny wskazujący, że obiekt uderzy w Ziemię w Afryce, w okolicach Sudanu. Na ten wniosek złożyły się obserwacje z czterech ośrodków, w tym z dwóch małych teleskopów o średnicy 0.36 m i 0.25 m! 19 godzin po odkryciu nastąpił upadek, którego ślady potwierdzają nieliczne zdjęcia nieba po katastrofie, relacje pilotów linii lotniczych oraz zapisy ze stacji seismologicznych. Eksplozja mogła mieć siłę około 1-2 tysięcy ton trotylu. Bolid rozpadł się na wysokości 37 km, a jego szczątki rozsypały się po Pustyni Nubijskiej. Wcześniej był po prostu szybko kręcącą się wokół osi planetoidą, luźnym zlepkiem, który łatwo rozpadł się na fragmenty. Szczątki znaleziono niedaleko stacji kolejowej Almahatta Sitta i sklasyfikowane jako tzw. meteoryt urelitowy. Po raz pierwszy dzięki globalnym systemom komunikacji udało się tak szybko zmobilizować wielu amatorów i zawodowych astronomów do obserwacji i badań.



Rysunek 6: Mapa zniszczeń wyrządzonych przez Meteoryt Tunguski. Diagram przypominający motyla mógł powstać w wyniku wybuchu bolidu nad powierzchnią Ziemi, co tłumaczy brak krateru i szczątków meteorytu. Doświadczenia potwierdzają tę hipotezę. Rysunek sporządzony w oparciu o oryginalne wyniki Wilhelma Fasta (Meteoritika, 24, 1964). W ogólności jest znany jako „Fast’s butterfly”.



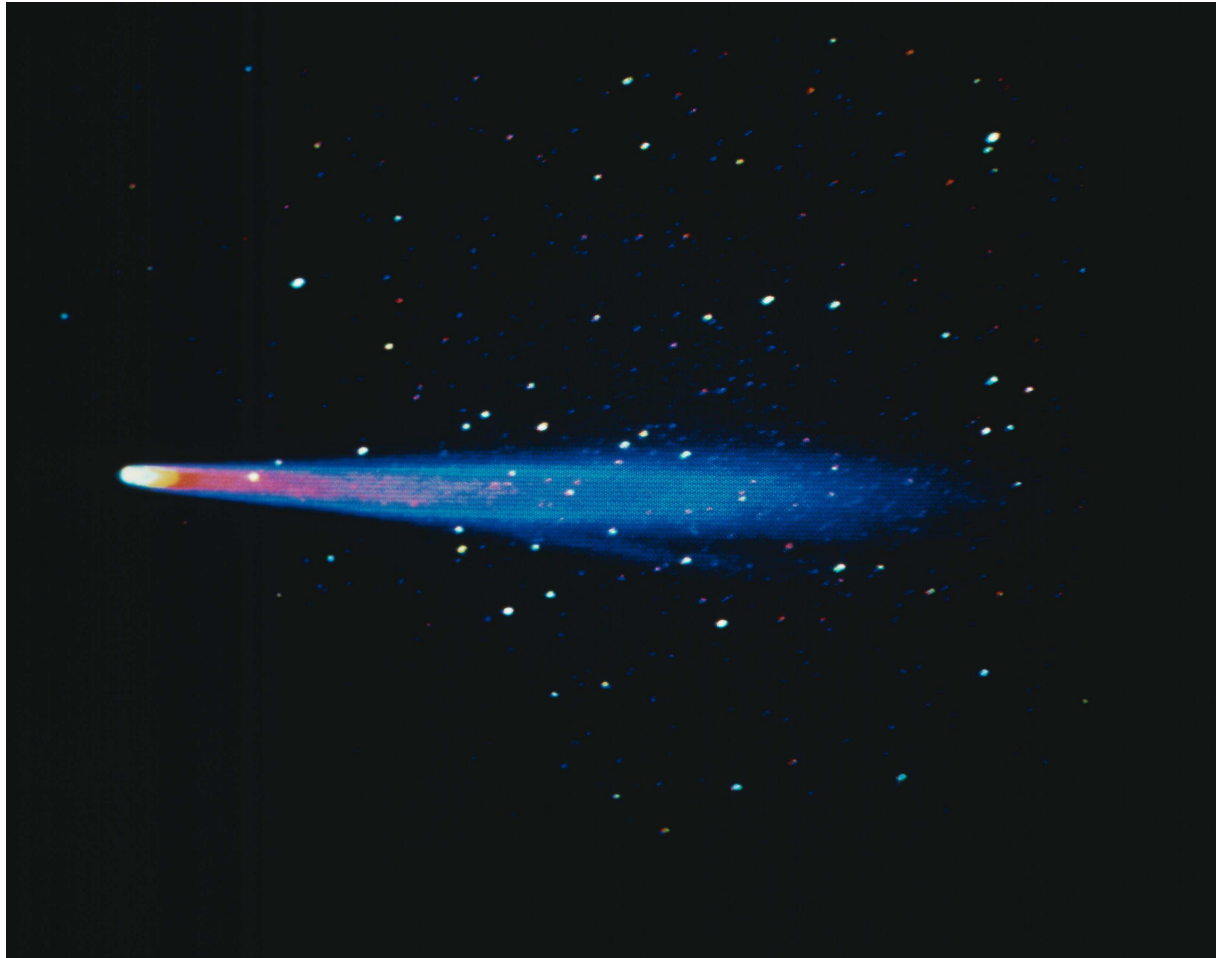
Rysunek 7: Jeden z eksperymentów laboratoryjnych wykonanych w latach 60 XX w., ilustrujący powalenie lasu przy katastrofie tunguskiej. Pozwala on wytworzyć diagram podobny w kształcie do motyla. Został on przeprowadzony niezależnie przez różnych eksperymentatorów i jest pierwszą poszlaką, że Meteoryt Tunguski eksplodował nad Ziemią.



Rysunek 8: Typowa fotografia małego meteoru. Większość z nich spala się całkowicie przy przelocie przez atmosferę na wysokościach niższych, niż 100 km. Źródło: Spaceweather [7]



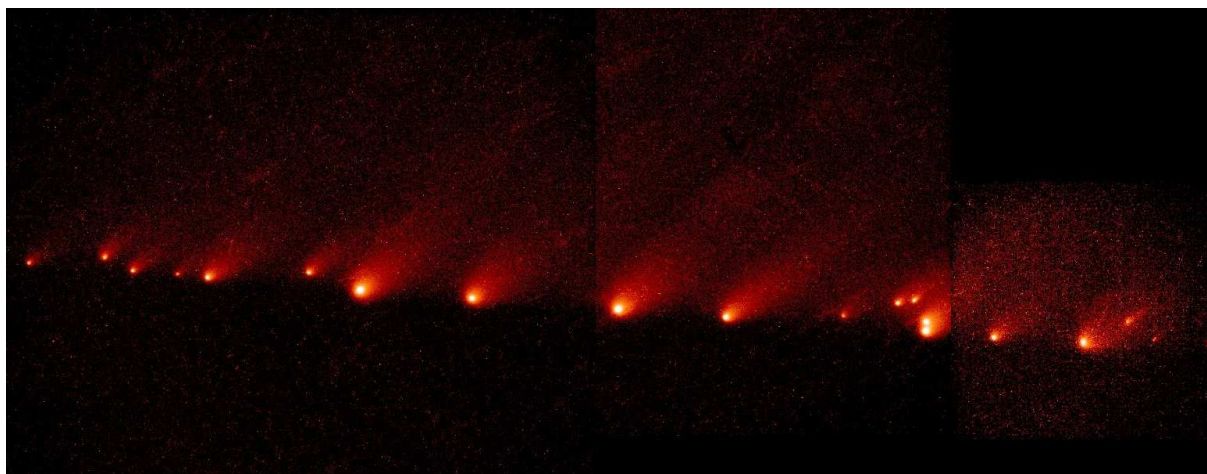
Rysunek 9: Przelot bolidu - dużego meteoru, któremu towarzyszą zjawiska rozbłysków, a nie-
rzadko słyszalnych wybuchów. Źródło: [6]



Rysunek 10: Obraz komety Halleya z 1910 roku poddany sztucznej obróbce. Kolory w przybliżeniu odzwierciedlają rzeczywiste wrażenia wizualne sprzed 100 lat. Sztuczne kolory często stosuje się w technikach obrazowania w astronomii. Czasem chodzi po prostu o efektowny wygląd zdjęcia, a czasami sztuczne kolory niosą ze sobą informację, np. o temperaturze czy składzie chemicznym. Źródło: [4]



Rysunek 11: Jeden z odłamków planetoidy 2008 TC3 – meteoryt Almahatta Sitta na Pustyni Nubijskiej. Fotografia: Peter Jenniskens, SETI Institute.



Rysunek 12: Kometa Shoemaker-Levy na krótko przed uderzeniem w Jowisza (źródło: NASA JPL). Siły pływowe planety-olbrzyma rozerwały kometa na części, które później spadły w atmosferę powodując katastrofę.

3 Zagrożenia

3.1 Zagrożenia ze strony komet

Największe zagrożenie niesie ze sobą energia zderzenia. Jak już wspomniano wcześniej, komety krążą wokół Słońca po wydłużonych orbitach. Orbita komety Halleya o okresie 76 lat ma swój odśłoneczny punkt za orbitą Neptuna. Niektóre komety mają orbity otwarte (hiperboliczne) i pojawiają się w pobliżu Słońca tylko raz. Można bardzo ogólnikowo powiedzieć, że wydłużenie (ekscentryczność, mimośród) orbit komet zależy od energii. Prędkość takich komet w okolicach Ziemi wyraźnie wzrasta, a energia kinetyczna jest bardzo duża. Stąd obawa przed skutkami zderzenia z kometa.

3.2 Zagrożenia ze strony planetoid

Planetoidy zbliżające się do Ziemi przez kilkadziesiąt lat były traktowane jako obiekty egzotyczne i o małej liczebności. Liczne odkrycia lat dziewięćdziesiątych obaliły pogląd, że planetoid typu NEA (Near Earth Asteroids) jest mało. Zdefiniowano nawet grupę szczególnie groźną dla Ziemi, zwaną PHA (Potentially Hazardous Asteroids) – są to ciała o przybliżonej średnicy ponad 150 m i których orbita usytuowana jest w przestrzeni tak, że potencjalnie umożliwia zbliżenia z Ziemią na odległość mniejszą, niż 0.05 jednostki astronomicznej (około 7.5 mln km). Ich liczba niedawno przekroczyła 1000 planetoid, a także 65 komet (tzw. PHC) – wciąż przybywa nowych odkryć. To prawdopodobnie obiekt tego typu spowodował katastrofę tungska. Nie wiemy, ile takich planetoid jest naprawdę. Znamy nasze ograniczenia obserwacyjne i wygląda na to, że większość planetoid o takich średnicach została już odkryta i niewiele mogłoby umknąć naszym obserwacjom. Największe teleskopy optyczne potrafią śledzić w pobliżu Ziemi planetoidy o rozmiarach zaledwie kilku metrów! Mimo to, nawet zorganizowana sieć obserwatorów nie jest w stanie dostrzec wszystkiego.

Prawdopodobieństwa katastrof kosmicznych są na ogół małe – nawet te, o których często słyszymy w prasie wynoszą np. około 10^{-7} – czyli dają szansę jedną na dziesięć milionów.

Liczbę tę otrzymujemy analizując różne scenariusze ruchu planetoidy (prognoz jest bardzo dużo i tylko mały ułamek z nich kończy się kolizją). Czasem zdarza się obiekt obdarzony większym ryzykiem – na pocieszenie można dodać, że zazwyczaj są to małe planetoidy. Dopóki znanych planetoid było mało, te liczby nie robiły wrażenia. Obecnie lista jest dosyć liczna – jest na bieżąco publikowana przez NASA i europejskie projekty.

3.3 Śmieci kosmiczne

Śmieci kosmiczne (space junk) są produktem cywilizacji. Od wystrzelenia pierwszego sztucznego satelity Ziemi upłynęło ponad 50 lat, a przestrzeń wokółziemska jest obecnie zajęta przez ponad 10 000 małych satelitów, w tym sporo nieużywanych lub nieczynnych. Organizacje międzynarodowe próbują usankcjonować wykorzystanie przestrzeni kosmicznej, bo szacuje się, że nadmierna ilość zużytych satelitów zacznie zagrażać bezpieczeństwu lotów kosmicznych. Ponadto satelity mogą spadać na Ziemię, wywołując szkody. Niektóre satelity korzystają z jądrowych źródeł energii, które mogą działać o wiele dłużej, niż to zaplanowano. Nieraz obawiano się skażenia związanego z upadkiem satelity. Wiele sensacji wzbudzała operacja sprowadzenia do atmosfery stacji Mir (deorbitacja). Stało się to w 2001 roku, po 15 latach pracy stacji Mir spłonął w atmosferze, a jego resztki spadły do Pacyfiku. Nie zawsze można taką operację przeprowadzić w sposób kontrolowany, a wiele śmieci kosmicznych nie ma napędu i możliwości korekcji orbity. Dlatego śledzimy na bieżąco ich orbity. Śmieci kosmiczne stanowią zagrożenie dla największej stacji kosmicznej ISS, którą planowano wyposażyć w mechanizmy obrony przed zderzeniami. Międzynarodowe konwencje zabraniają jednak używania broni w przestrzeni kosmicznej i jest to przeszkodą do stosowania urządzeń do niszczenia satelitów. Dlatego na razie możemy tylko obserwować nieczynne satelity oraz o porządek na najbardziej zatłoczonych orbitach, używanych przez satelity komercyjne, meteorologiczne i przeznaczone do wielu innych celów.

3.4 Energia katastrof

Stosując proste rozważania fizyczne możemy łatwo samodzielnie policzyć, jak duża jest energia upadku kosmicznych intruzów. Energia kinetyczna planetoidy uderzającej w Ziemię wynosi:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

gdzie m jest masą planetoidy, a v prędkością upadku. Problemem mogą być duże liczby, bo typowa kilkusetmetrowa planetoida może ważyć około 10 miliardów kilogramów (10^{10} kg) i mieć prędkość względem Ziemi kilku kilometrów na sekundę. Przykładowo można użyć prędkości 5 km/s, czyli 5000 m/s. Po podstawieniu tych liczb do wzoru otrzymamy „imponującą” energię $1.25 \cdot 10^{17}$ J (dżuli)! Tak wielką wartość najlepiej porównać z silnymi wybuchami w skali ziemskiej. Siłę wybuchów ocenia się w tonach trotylu (t TNT), przy czym $1 \text{ t TNT} = 4.184 \cdot 10^9$ J, czyli ponad cztery miliardy dżuli. Bardziej popularne są tysiąc razy większe kilotony (kt TNT) lub milion razy większe megatony (Mt TNT). Nasza przykładowa planetoida ma zatem energię odpowiadającą prawie 30 megatonom. Dla porównania, silne trzęsienie Ziemi lub wybuch wulkanu to około 200 Mt TNT, a Meteoryt Tunguski około 10 Mt TNT. Najważniejsze pytanie, jakie należy postawić to: co się stanie z tą energią? Czy wyzwoli się gwałtownie, czy skutki upadku złagodzi atmosfera? Optymistycznie zakłada się, że to i tak za mało, aby spowodować długotrwałą katastrofę klimatyczną.

4 Jak przewidujemy katastrofy?

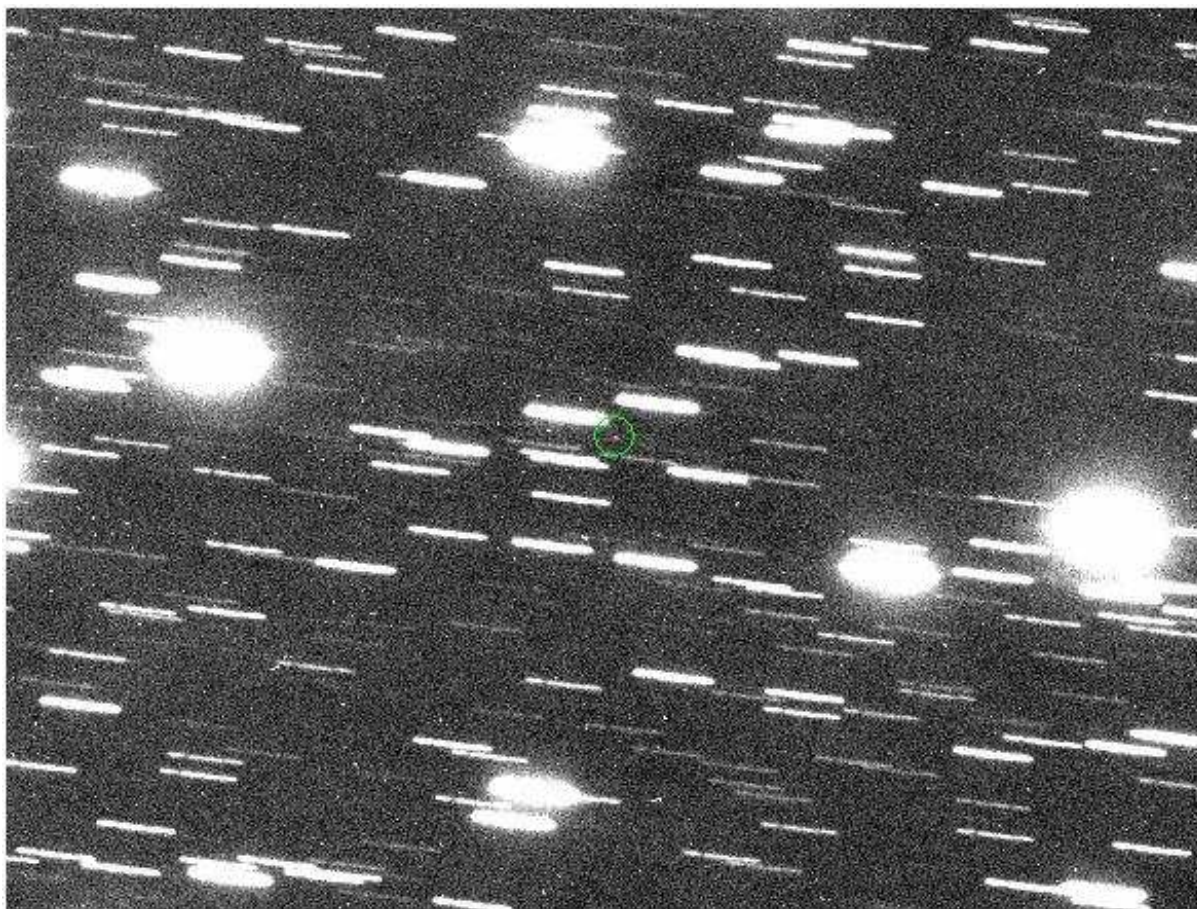
4.1 Obserwacje

Najważniejsze w zrozumieniu prognozowania katastrof jest uświadomienie sobie, skąd biorą się prognozy kosmicznych zderzeń i na ile można im wierzyć. Narzędziem astronomii są obserwacje i pomiary z nimi związane – wyłącznie stąd pochodzi cała wiedza o planetoidach. Wszystko zależy od tego, jak zrobiono obserwacje – w jakich warunkach, na jakim teleskopie i jak doświadczony był obserwator. Pomimo tego, że mierzymy bardzo odległe obiekty można to robić bardzo dokładnie. Pozycje sztucznych satelitów możemy odtworzyć z dokładnością nawet do kilku milimetrów, natomiast w układzie planetarnym ta dokładność szybko spada do metrów i kilometrów dla planet. W XX wieku planetoidy i komety odkrywano za pomocą fotografii oraz wizualnie. Niektórzy amatorzy astronomii nawet do dzisiaj robią to gołym okiem. Technika cyfrowa, dostępna już w tej chwili dla każdego pozwala otrzymywać i opracowywać obrazy astronomiczne o wiele szybciej, niemal natychmiast. Informacja o obserwacjach może zostać wysłana praktycznie od razu do centrum koordynującego takie obserwacje (MPC - Minor Planet Center). Systemy komputerowe szybko analizują nadesłany materiał i uwzględniają w dalszym prognozowaniu ewentualnych zagrożeń. Do tego potrzebni są obserwatorzy – nie tylko zawodowi astronomowie, ale tysiące amatorów, którzy mogą obserwować w rejonach świata, gdzie panują lepsze warunki. Mimo zaawansowania techniki cyfrowej planetoidy i komety przypominają czasem na obrazach rozmyte kropki czy plamki. A jednak informacja, którą niosą te obrazy może mieć unikalną wartość naukową. Nawet pomiary uzyskane małym, prostym teleskopem są bardzo ważne. Oczywiście każdy obserwator otrzymuje wyniki z jakimś błędem – i te błędy wpływają później na przewidywanie ewentualnych katastrof!

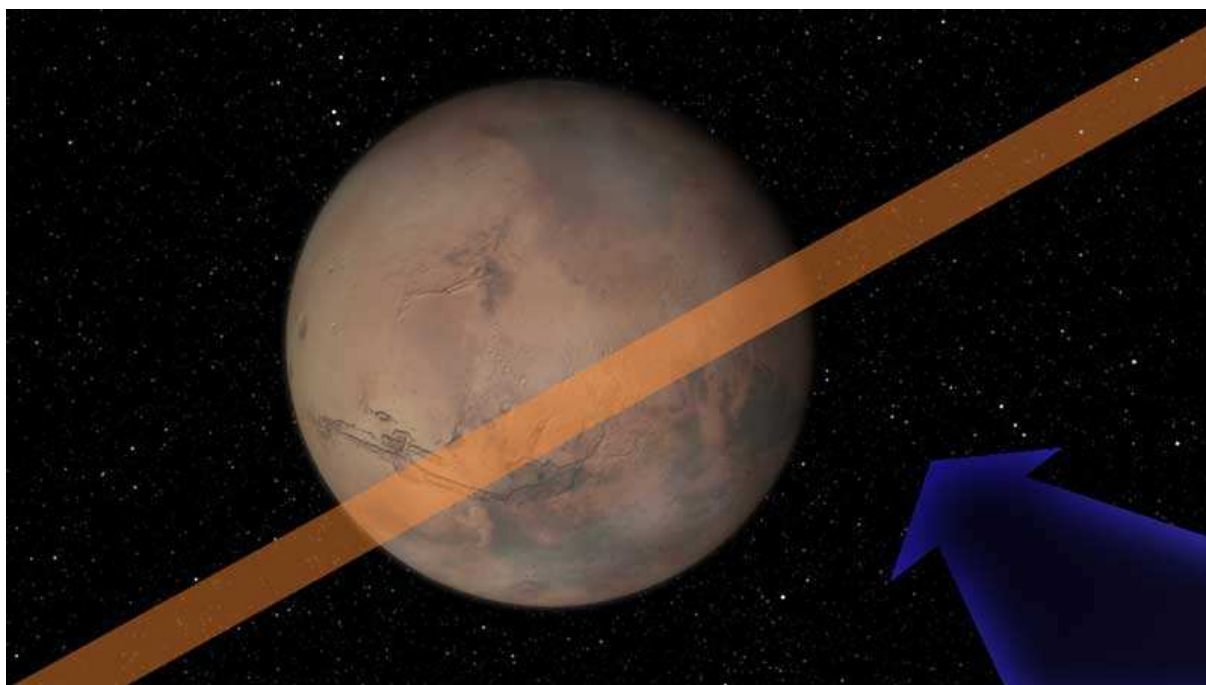
4.2 Jak prawdopodobne są katastrofy i skąd to wiemy?

Obserwacje ciał niebieskich może wykonać niemal każdy amator astronomii, natomiast ocena zagrożenia jest zagadnieniem trudniejszym. Trzeba wykonać rachunek błędów i przewidzieć możliwy ruch planetoid w przyszłości. Układ wzajemnie przyciągających się ciał jest skomplikowanym mechanizmem, który analizuje się poprzez symulacje komputerowe. Prognozy zderzeń wymagają dużej dokładności obliczeniowej. Ponieważ różnorodność obserwacji i ich błędów doprowadza do różnych wniosków, możemy tylko w przybliżeniu określić prawdopodobieństwo zderzenia. W prognozach tylko niewielka część rozwiązań dla trajektorii jest „kolizyjna” (kończy się zderzeniem z Ziemią). Pozostałe możliwe przypadki pokazują, że planetoida minie Ziemię. Typowo, gdy otrzymamy zaledwie kilka rozwiązań ze zderzeniem na dziesiątki milionów przypadków, prawdopodobieństwo jest bardzo małe i wynosi około 10^{-7} (jedna dziesięciomilionowa). Planetoidy bliskie Ziemi zachowują się chaotycznie i nieprzewidywalnie, dlatego za wiarygodne uważa się przewidywania ich ruchu do ok. 100 lat.

Wg obecnie obliczonych prawdopodobieństw, zderzenie z planetoidą większą, niż 10 km zdarza się raz na 50 milionów lat, z kilkukilometrową – co pół miliona lat. Katastrofy podobne do tunguskiej zdarzają się statystycznie co 5000 lat, a upadki ciał mniejszych od samochodu, jak 2008 TC3, mniej więcej co miesiąc.



Rysunek 13: Planetoida 2007 WD5 zmierzająca w stronę Marsa (w zielonym kółku) – obraz z kamery astronomicznej otrzymany na wielkim teleskopie. Na pozór nie można jej odróżnić od niedoskonałości obrazu, bo obserwacje były prawdziwym wyzwaniem. Ciało o rozmiarze około 50 m jest obserwowane z dziesiątek milionów kilometrów. Gdyby planetoida uderzyła w Marsa, skala katastrofy byłaby podobna do tunguskiej. Źródło: teleskop 2.2 m, Mauna Kea (Tholen, Bernardi, Micheli, National Science Foundation) [3]



Rysunek 14: Poglądowa prezentacja prognozy zderzenia planetoidy 2007 WD5 z Marsem, przygotowana przez NASA. Pas przedstawia najbardziej prawdopodobne obszary, w które miałyby uderzyć planetoida. Na pewnym etapie obserwacji, pod koniec 2007 roku prawdopodobieństwo katastrofy było duże – wynosiło około 1/30. Źródło: serwis internetowy NASA JPL [3]

4.3 Paradoksy zagadnienia: planetoida „stacjonarna”, ilość planetoid obserwowana i rzeczywista

Oprócz sensacji prasowych, poglądom na planetoidy zagrażające Ziemi towarzyszy wiele kontrowersji. Wykrywalność bardzo małych ciał jest co prawda imponująca, ale wiele z nich mija Ziemię albo zostaje niezauważona przez obserwatorów. Planetoidę odkrywa się na podstawie jej ruchu na tle gwiazd, ponieważ inaczej trudno ją spośród nich wyróżnić. Paradoks: gdyby pojawiła się planetoida stacjonarna, lecąca bezpośrednio na obserwatora, mogłaby pozostać niewykryta. Zdarzają się meteory obserwowane w ten sposób, że jaśniej nam nad głową nie zmieniając pozornie położenia. Ruch orbitalny planetki wokół Słońca jednak przebiega w taki sposób, że takie zdarzenie wydaje się mało prawdopodobne.

Astronomowie są świadomi, że nie obserwują wszystkich planetoid, ale ile procent pozostaje nieodkrytych – tego na pewno nie wiemy. Poglądy na ten temat się zmieniają i dla dużych planetoid wydaje się, że rzeczywiście większość (ponad 90 procent) została już odkryta. Wciąż napływają nowe obserwacje i uzupełniają naszą wiedzę.

4.4 Sposoby na kosmicznych intruzów; wnioski z misji NEAR/Deep Impact

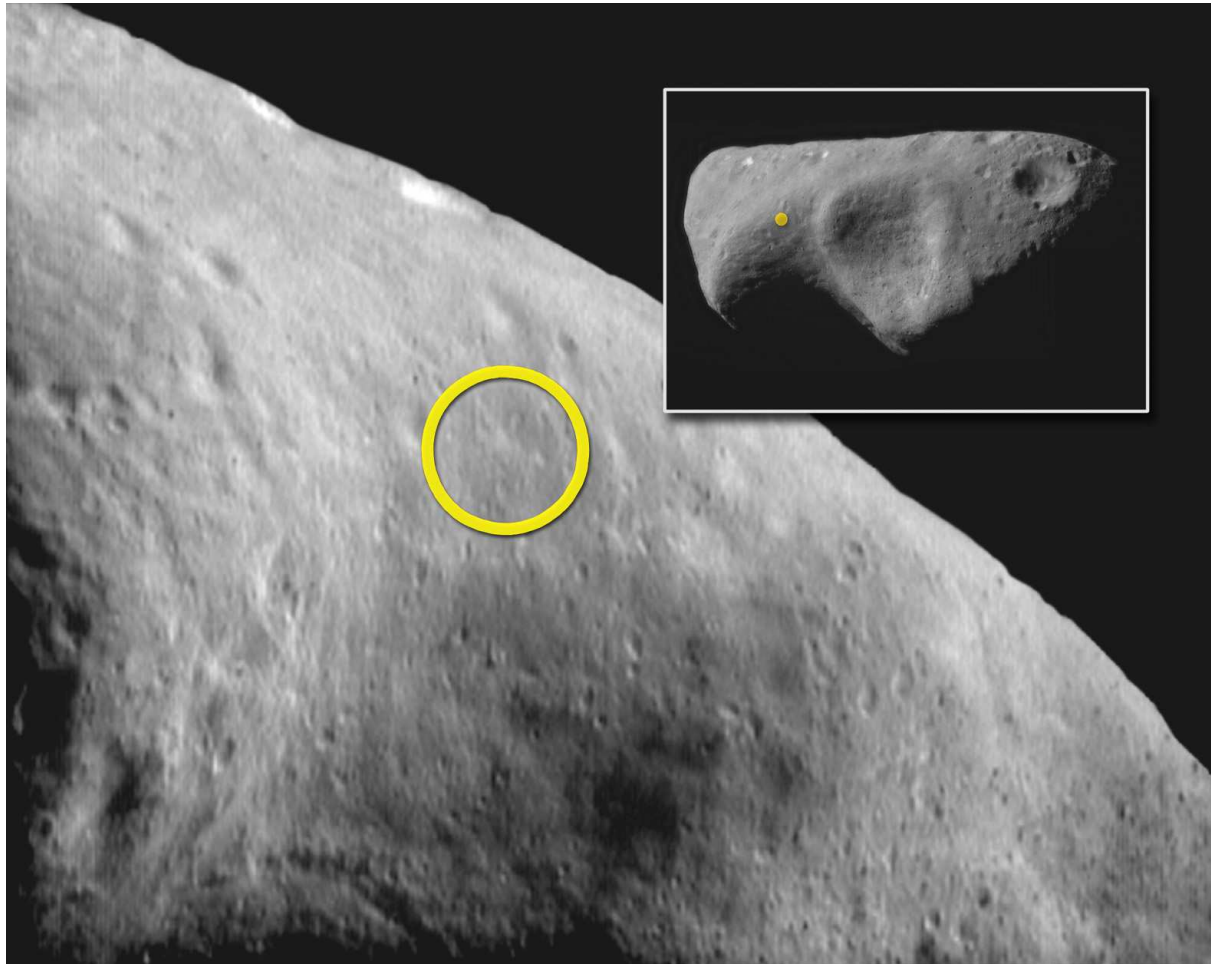
W 1996 r. do planetoidy (433) Eros została wysłana sonda kosmiczna Near Earth Asteroid Rendez-vous, znana jako Shoemaker NEAR. Sonda weszła na orbitę planetoidy i zaczęła zbierać dane do dokładnego modelu i mapy powierzchni. Od tej pory Eros jest najlepiej poznana



Rysunek 15: Tak wyobrażano sobie sondę kosmiczną Shoemaker NEAR na orbicie Erosa. Powodzenie misji przeszło oczekiwania, wszelkie precyzyjne manewry zakończyły się sukcesem. Oryginalne źródło grafiki: NASA [5]

planetoidą typu NEA. Co do większości innych często nie wiemy, jakie mają rozmiary, masy i skład chemiczny. Sonda wykonała swoje najważniejsze badania, ponadto jej możliwości pozwoliły na dłuższą pracę i dodatkowe manewry. Chodzi przede wszystkim o zejście na niską orbitę wokół Erosa i lądowanie. Ostatni manewr był raczej kontrolowanym upadkiem, bo sonda NEAR nie była zaprojektowana do lądowania na planetoidzie. Przekazywała obrazy do samego końca, dzięki czemu możemy oglądać powierzchnię Erosa z bardzo bliska. Wyniki misji były dowodem, że można wysłać taką sondę i precyzyjnie manewrując, osiągnąć powierzchni planetoidy, co może mieć niebagatelne znaczenie w przyszłości. Najważniejszy scenariusz obrony przed kosmiczną katastrofą zakłada wysłanie misji kosmicznej, która użyje jakichś środków do zmiany orbity planetoidy.

W 2006 roku do komety Tempel 1 wysłano misję kosmiczną Deep Impact. Scenariusz na pierwszy rzut oka przypominał misję zniszczenia groźnego ciała niebieskiego. Pocisk (impaktor) wysłany z sondy miał uderzyć w komety, w czasie gdy urządzenia sondy miały rejestrować skutki zderzenia. Na powierzchni ciała miał powstać krater, a samo uderzenie impaktora w komety mogło być rejestrowane nawet przez ziemskie teleskopy. Całe przedsięwzięcie dostarczyło bardzo dużej ilości danych do badań naukowych, dotyczących przede wszystkim budowy i własności fizycznych komet. Błysk po uderzeniu został zarejestrowany także przez amatorów astronomii obserwujących z Ziemi. Skutki dynamiczne okazały się niewielkie, chociaż „przesu-



Rysunek 16: Planetoida (433) Eros i miejsce twardego lądowania sondy Shoemaker NEAR.
Źródło: [5]



Rysunek 17: Artystyczna wizja – symulacja wybuchu impaktora sondy Deep Impact na powierzchni komety Tempel 1 [2].

nięcie” komety udało się zmierzyć... w centymetrach. Pocisk z sondy Deep Impact nie zmienił znacząco orbity komety, ale nie było to jego wyłącznym celem. Misja pozwoliła wykonać określone badania naukowe. Przy okazji pokazała, że możliwości techniczne ludzkości pozwalają na zaprojektowanie operacji zakończonej precyzyjnym trafieniem w komety/planetoidę.

4.5 „Naturalne” systemy obrony

Najważniejszym naturalnym systemem obrony Ziemi jest jej atmosfera. Większość meteorów wpadających do niej spala się na wysokości 80 - 100 km i tylko większe ciała mogą przebyć tę barierę. A jeśli to się uda, część ogromnej energii kinetycznej kosmicznych „pocisków” ulega rozproszaniu. Dlatego przeliczanie energii lecącego drobnego ciała na skalę wybuchu jest dużym przybliżeniem. Duża część zamienia się na ciepło przy przelocie przez atmosferę. Być może dlatego nie ma na Ziemi aż tak wielu widocznych kraterów meteorytowych, ale wyjaśnienie może okazać się bardziej złożone. Planetoidy w świetle ostatnich badań niekoniecznie są skałami, mogą mieć też bardzo małą gęstość. Takie ciało może się rozpaść przy przelocie przez atmosferę.

Innym ciekawym mechanizmem są własności ruchu orbitalnego. Tam, gdzie wchodzi w grę duże prędkości, masy, i, co za tym idzie energie, nie jest łatwo zmienić trajektorię planetoidy. Porusza się ona w pewnym dozwolonym obszarze ruchu, spełniając fizyczne zasady zachowania pędu, energii i momentu pędu. Może się zdarzyć, że dwie orbity w przestrzeni leżą obok siebie, ale ciała nigdy nie mogą się do siebie zbliżyć. Okresy obiegu powodują, że planetoida nie spotka



Rysunek 18: Uderzenie pocisku-impaktora w kometę Tempel 1. Warto zwrócić uwagę na powierzchnię jądra komety, bardzo przypominającego planetoidę. Różnica między kometami i planetoidami nie jest prawdopodobnie tak duża, jak to sobie dotychczas wyobrażano. Źródło: [1]

się z Ziemią, tylko będzie obiegać Słońce po sąsiadującej orbicie.

4.6 Co naprawdę wiemy o planetoidach i skutkach ich uderzeń?

Początkowo wyobrażano sobie planetoidy albo jako małe okrągłe planetki, po których można chodzić (patrz książka: „Mały Książę”). Największe planetoidy Ceres, Pallas, Vesta są rzeczywiście miniaturami planet. Gdy nadeszła era nowych odkryć, zaczęto myśleć po planetoidach jak o koziółkujących w przestrzeni głazach o nieregularnym kształcie. Zanim radary i sondy kosmiczne przekazały obrazy tych niekształtnych planetoid, do dyspozycji były wyłącznie obserwacje. Planetka na obrazie astronomicznym jest kropką, czasem podobną do gwiazd, a czasem ledwo odróżnialną od zanieczyszczeń obrazu. Patrząc na nią można obserwować tylko położenie, zmiany blasku i ewentualnie barwę. To jedyne informacje, którą znają astronomowie, a z nich uzyskuje się pośrednio orbitę, rozmiar planetoidy, kształt, masę, a nawet okres obrotu wokół osi. Czasem można coś powiedzieć o składzie chemicznym, ale poglądy na ten temat zmieniają się wraz z nowymi odkryciami. Do końca nie wiemy, co stanie się z planetoidą, która wtargnie w atmosferę ziemską – czy zakończy się to rozpadem, wybuchem, czy potężnym uderzeniem. Możemy oglądać świadectwa katastrof – takich, jak katastrofa tunguska, czy też badać olbrzymie kraterę meteorytowe. Wiemy już, że meteoryty mogą się składać z różnej materii i podobnie może być z planetoidami. Odłamki planetoidy mogą przypominać meteoryty żelazowo-niklowe albo być po prostu fragmentami materii o małej gęstości, która spłonie lub gwałtownie wyparuje w atmosferze. Dlatego badanie natury fizycznej komet i planetoid poprzez różnorodne obserwacje i misje kosmiczne jest ważne.

5 Podsumowanie: mity i prawdy

Temat katastrofy kosmicznej jest chwytliwy dla mediów, fantastyki naukowej i nie tylko. Na zakończenie spróbujmy się zmierzyć z hipotezami i przesadami dotyczącymi kosmicznych zagrożeń.

Najbardziej znana hipoteza związana jest z dinozaurami. Przyczyna, przez którą wyginęły wielkie gady jest wciąż nieznana – problemem zajmują się nie tylko astronomowie, ale przedstawiciele wielu innych dziedzin nauki. Każdy z nich ma swoje argumenty. Z punktu widzenia astronomii, nie mamy konkretnego modelu takiego zjawiska i nie możemy wiarygodnie go odtworzyć. Wątpliwości budzi miejsce upadku i wszelkie inne dowody, które są pośrednie. Hipoteza wydaje się być mocna i budzi wiele medialnych sensacji. Naukę mimo wszystko cechuje krytyczne podejście i wciąż żąda ona twardszych dowodów.

Z całą pewnością przesadą są nieszczęścia ludzkości związane z pojawieniami komet. Trzeba jednak powiedzieć, że wiara w nie spowodowała, że mamy historycznie udokumentowane obserwacje. Bez nich Halley nie wyznaczyłby pierwszej orbity komety. Zagrożenia dla Ziemi od warkocza komety również nie istnieją – pomimo imponujących rozmiarów i wyglądu gazy wydobywające się z jądra komety nie są w stanie nam zaszkodzić.

Nadmierna ufność w prognozy zderzeń i podnoszenie nowych medialnych alarmów szybko wygasa. Jak wspomniano wyżej, prawdopodobieństwa zderzeń są na ogół bardzo małe i często są szybko wykluczane po nadejściu nowych obserwacji. Szybko zapomina się, jakie oznaczenie miała planetoida, o której w zeszłym roku słyszeliśmy w radiu. Gdyby każdą z tych spraw nagłaśniać, byłoby to grubą przesadą.

Oddajmy teraz głos prawdzie: katastrof nie można lekceważyć, bo rzeczywiście się zdarzają. Czasem widzimy wszystko w ostatniej chwili, jak w 1908 r. nad syberyjską tajgą, a czasem udaje się wszystko przewidzieć dokładniej i trochę wcześniej – jak w 2008 roku nad Afryką (meteoryt znaleziono!).

Energie upadku małych ciał są olbrzymie i związane z dużymi prędkościami – można je przeliczać na kilotony i porównywać z ziemskimi wybuchami i kataklizmami. Ale nie możemy przewidzieć, w jakiej formie przekazana będzie ta energia. Czy będzie to gwałtowny wybuch? Niekoniecznie. Zależy to od wielu czynników. Konsekwencje niekoniecznie są bezpośrednie. Być może nasza atmosfera nas trochę obroni...

Pora na pytania bez jednoznacznej odpowiedzi, a przede wszystkim na dwa najważniejsze. Czy obserwujemy dostatecznie dużo obiektów, aby zapobiec katastrofie? Co chwilę jakaś mała planetoida umyka naszej uwadze. Być może nowe techniki obserwacyjne, inne, niż obserwacje optyczne (radar, podczerwień) pozwolą ich wyłapać więcej i z większą dokładnością. Kolejne pytanie: Czy dysponujemy wystarczającym środkami, aby jej zaradzić? Postęp technologiczny misji kosmicznych i ich sukcesy robią wrażenie, ale zaplanowanie skutecznej misji na czas wydaje się na razie zbyt trudne dla ludzkości.

Uwagi i podziękowania

Autor chciałby podziękować dr Ireneuszowi Włodarczykowi z Obserwatorium Astronomicznego Planetarium Śląskiego za współpracę oraz udostępnienie swoich wyników obliczeń i wizualizacji w wykładzie.

Bibliografia, źródła i przydatne adresy

- [1] Informacje o misji Deep Impact (NASA)
<http://discovery.nasa.gov/deepimpact.html>
- [2] Strona internetowa Dona Davisa
<http://iasos.com/artists/dondavis/>
- [3] Serwis internetowy NASA NEO JPL
<http://neo.jpl.nasa.gov>
- [4] Obrazy komety z Lowell Observatory/NOAO/AURA/NSF,
http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0471.html
- [5] Informacje o sondzie Shoemaker NEAR
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov>
- [6] Pracownia Komet i Meteorów
<http://www.pkim.org>
- [7] Serwis Spaceweather
<http://www.spaceweather.com>