

Imię greckiego boga miłości nadano odkrytej ponad sto lat temu planetoidzie, która zaskoczyła ówczesnych astronomów możliwością zbliżeń do Ziemi. W końcu XIX wieku wiadomo było, że ponad 400 znanych już wtedy małych planet krąży wokół Słońca po prawie kołowych orbitach w odległościach większych niż Mars, ale mniejszych niż Jowisz. W rozpościerającym się między orbitami Marsa i Jowisza pierścieniu planetoid skatalogowano dotychczas kilkanaście tysięcy obiektów. Planetoida Eros (mająca numer katalogowy 433) była pierwszą, której ruch okazał się nietypowy. Wyraźnie eliptyczny kształt jej orbity sprawia, że najmniejsza jej odległość od Słońca jest niewiele większa od odległości Ziemi. Obiegając Słońce Eros i Ziemia mogą więc przybliżyć się na odległość zaledwie 22 mln km.

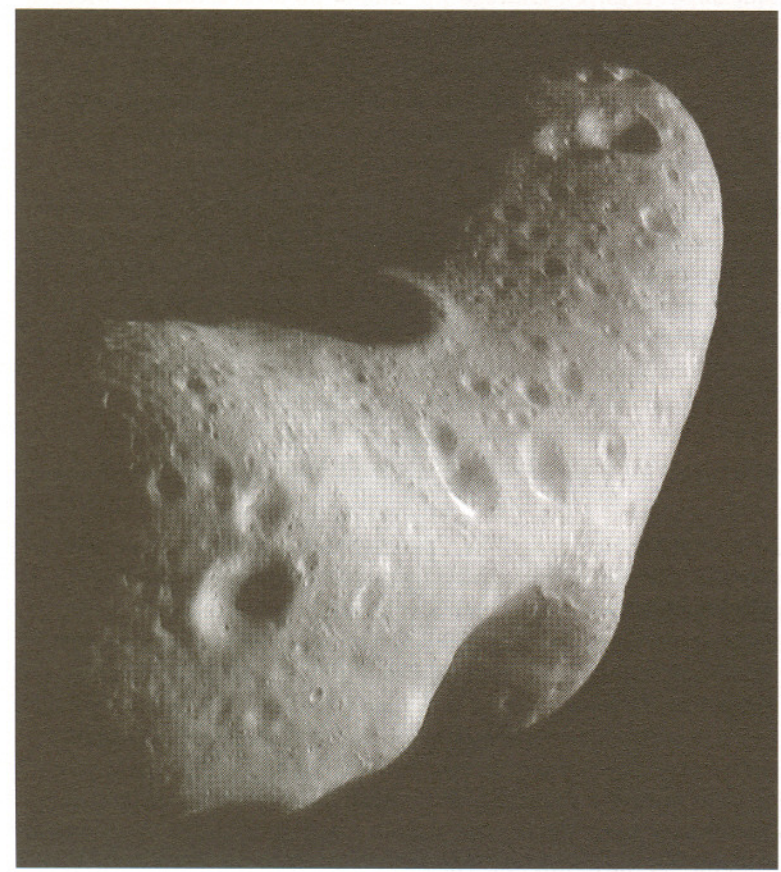
Bliskie przeloty Erosa koło Ziemi uczyniły z tej planetoidy obiekt szczególnego zainteresowania m.in. z tego powodu, że śledzenie jej stosunkowo szybkiego ruchu po niebie w czasie zbliżenia dawało szanse wyznaczenia, z większą niż dotychczas uzyskiwaną dokładnością, wartości różnych stałych astronomicznych, np. odległości Słońca od Ziemi. Ostatnio Eros stał się pierwszym obiektem wśród małych ciał Układu Słonecznego, który uchylił rąbka swych tajemnic sondzie kosmicznej wprowadzonej na orbitę wokół niego. Otóż w październiku 1991 roku kierownictwo amerykańskiej agencji kosmicznej NASA zdecydowało, że pierwszą misją nowego programu Discovery będzie spotkanie z planetoidą bliską Ziemi. Ten cel misji dowcipnie wyeksponowano przez nazwanie jej NEAR (od ang. *Near Earth Asteroid Rendezvous*). Na początku 2000 roku nazwę tę zmieniono na NEAR-Shoemaker dla uczczenia tragicznie zmarłego w 1997 roku Eugeniusza Shoemakera, wybitnego amerykańskiego astronoma i geologa planetarnego, znawcy małych ciał Układu Słonecznego, współodkrywcy słynnej komety Shoemaker-Levy 9, która w 1994 roku zderzyła się z Jowiszem. Jego prochy spoczęły w 1999 roku na Księżycu wraz z zasłużoną w badaniach Srebrnego Globu sondą Lunar Prospector, która je tam dostarczyła. Wzrost zainteresowania Erosem spowodował, że zaczęto go znowu intensywnie

obserwować oraz reinterpretować obserwacje wykonane podczas jego bliskiego przelotu koło Ziemi w 1975 roku. Warto tu wspomnieć o ciekawych wnioskach co do ewolucji jego orbity w przyszłości. Trudno nie zwrócić uwagi na fakt, że z obliczeń wydaje się wynikać możliwość takiej zmiany orbity Erosa, że w czasie rzędu miliona lat może ona przeciąć się z orbitą Ziemi (o ile obliczenia na tak wielki odstęp czasu mogą być wiarygodne). To zaś prowadzi do pojawienia się niebezpieczeństwa zderzenia Erosa z Ziemią, ale – podkreślmy – w perspektywie kilkudziesięciu, a może nawet kilkuset milionów lat.

Start sondy kosmicznej NEAR odbył się 17 lutego 1996 roku z Przylądka Canaveral na Florydzie. Trzyletnią podróż do Erosa sonda rozpoczęła po eliptycznej orbicie, której odległości peryhelium i aphelium wynosiły odpowiednio 0,99 i 2,2 j.a. NEAR jest stosunkowo niewielkim obiektem zbudowanym na bazie amerykańskich satelitów wojskowych. Jego masa startowa wynosiła 805 kg, z czego na paliwo przypadało aż 325 kg. Wyposażony jest w silnik główny o sile ciągu 450 N, cztery pomocnicze mające ciągi po 21 N i siedem silniczków korekcyjnych po 3,5 N. Energii



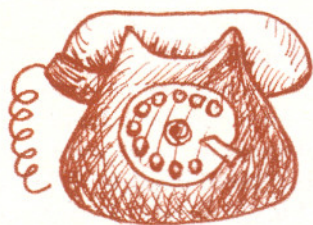
Rozwiązanie zadania M 958.
Podzielmy wierzchołki 12-kąta na 6 par przeciwległych wierzchołków A_1A_7 , A_2A_8 , A_3A_9 , ..., A_6A_{12} . Przy każdej operacji znak zmienia się dokładnie przy jednym wierzchołku z każdej pary. Dlatego po nieparzystej liczbie operacji w każdej z par A_2A_8 , A_3A_9 , ..., A_6A_{12} będziemy mieli różne znaki przy wierzchołkach, po parzystej zaś liczbie operacji – takie same. Stąd nie może się zdarzyć, by w parze A_2A_8 znaki były różne, a w A_3A_9 – takie same.





Rozwiązanie zadania M 959.

Rozbijmy wierzchołki 12-kąta na 4 grupy po 3 wierzchołki $A_1 A_5 A_9$, $A_2 A_6 A_{10}$, $A_3 A_7 A_{11}$, $A_4 A_8 A_{12}$. Zauważmy, że przy każdej operacji parzystość liczby minusów w każdej trójce zmienia się, a ponieważ w trójkach $A_2 A_6 A_{10}$, $A_3 A_7 A_{11}$ jest ona na początku taka sama, więc nie możemy otrzymać sytuacji żądanej w zadaniu, w której parzystości liczb minusów w owych trójkach są różne.



Rozwiązanie zadania M 960.

Zauważmy, że dowolne dwie operacje opisanego w treści typu „komutują”, tzn. wynik jest ten sam, jeśli zmieniamy kolejność ich wykonywania. Wykonanie dowolnej operacji dwa razy nic nie zmienia, więc można zakładać, że każdą operację wykonujemy co najwyżej raz. Wreszcie możemy rozpatrywać tylko operacje dla $k = 3, 5$, ponieważ operację dla $k = 15$ można otrzymać przez złożenie odpowiedniej liczby operacji dla $k = 3$ lub $k = 5$. Istnieje 5 operacji dla $k = 3$ i 3 operacje dla $k = 5$. Mamy więc 8 operacji (kolejność ich wykonywania nie ma znaczenia) i wykonując każdą co najwyżej raz, otrzymamy wszystkie osiągalne rozstawienia. Wynika stąd, że wychodząc ze zbioru samych plusów otrzymamy co najwyżej 2^8 różnych rozstawień. Wszystkich możliwych rozstawień jest 2^{15} , więc teza zadania jest prawdziwa.

dostarczają sondzie cztery panele baterii słonecznych, każdy o rozmiarach $1,8 \times 1,2$ m, dające moc 1800 W w odległości 1 j.a. od Słońca i 400 W, gdy odległość ta wzrośnie do maksymalnej podczas misji wartości 2,2 j.a. Łączność z Ziemią odbywa się za pomocą anteny o średnicy 1,5 m.

Instrumentarium naukowe sondy składa się z pięciu podstawowych przyrządów: kamery wielospektralnej, dwóch spektrometrów (bliskiej podczerwieni oraz promieniowania rentgenowskiego i gamma), dalmierza laserowego i magnetometru. System telemetryczny sondy jest wykorzystany również do badań pola grawitacyjnego Erosa (pomiar przesunięć dopplerowskich sygnałów radiowych może wykryć zmiany prędkości sondy rzędu 0,1 mm/s wywołane niejednorodnościami oddziaływań grawitacyjnych planetoidy).

W rok po starcie z Ziemi, 18 lutego 1997 roku, NEAR pobił rekord odległości od Słońca, w jakiej znalazł się obiekt zasilany energią słoneczną. W odległości 327 mln km (około 2,2 j.a.) od Słońca nigdy dotąd nie pracowała sonda nie mająca ogniw jądrowych na pokładzie. 27 czerwca 1997 roku NEAR przeleciał w pobliżu planetoidy (253) Matylda, stosunkowo dużego (o rozmiarach $66 \times 48 \times 44$ km) obiektu pasa głównego małych planet. Zbliżenie sondy na odległość 1212 km umożliwiło wyznaczenie masy planetoidy i w konsekwencji jej gęstości, która okazała się niewiele większa od gęstości wody ($1,3 \pm 0,2$ g/cm³). Jest to o tyle zaskakujące, że typowe gęstości planetoid są na ogół dwukrotnie większe.

Kilka dni po przelocie NEARa koło Matyldy, 3 lipca 1997 roku po raz pierwszy został uruchomiony główny silnik sondy w celu takiej zmiany jej orbity, aby mogło dojść do bliskiego przelotu koło Ziemi, której wspomaganie grawitacyjne skierowałyby sondę do Erosa. Manewr w pełni się udał i 23 stycznia 1998 roku sonda ponownie znalazła się w pobliżu Ziemi. Przeleciała w minimalnej odległości 540 km od powierzchni (nad południowo-zachodnim Iranem). W rezultacie oddziaływania grawitacyjnego Ziemi płaszczyzna orbity NEARa zwiększyła nachylenie względem płaszczyzny ekliptyki z $0^{\circ}5$ do $10^{\circ}2$, a odległość aphelium zmniejszyła się z 2,17 do 1,77 j.a. Zmiany te umożliwiły osiągnięcie Erosa.

Pod koniec 1998 roku nastąpiły wydarzenia dramatyczne. Po rozpoczęciu manewrów, mających spowodować wejście sondy na orbitę wokół Erosa, sonda nagle zamilkła na ponad dobę. Po odzyskaniu z nią łączności okazało się, że wszystkie jej urządzenia działają sprawnie, ale utracono już szanse uczynienia jej sztucznym satelitą Erosa w planowanym terminie 10 stycznia 1999 roku. Tak więc 23 grudnia 1998 roku NEAR minął Erosa ze względną prędkością 932 m/s w minimalnej odległości 3827 km. Z przekazanych na Ziemię obrazów wywnioskowano, że planetoida ma rozmiary $33 \times 13 \times 13$ km. To niepowodzenie pierwszego „podejścia” do Erosa nie przekreśliło jednak możliwości zrealizowania celu misji w przyszłości. Okazało się bowiem, że drugą próbę wprowadzenia NEARa na orbitę wokół planetoidy będzie można podjąć na początku 2000 roku, co też stało się 14 lutego. Gdy NEAR zbliżył się do Erosa na odległość 327 km, uruchomienie silnika na 57 s zmniejszyło ich wzajemną prędkość do zaledwie 1 m/s, co spowodowało przejście przez Erosa kontroli nad ruchem sondy, która stała się w ten sposób jego księżycem. Eros został więc siódmym ciałem niebieskim (po Ziemi, Księżycu, Słońcu, Marsie, Wenus i Jowiszu), wokół którego krąży zbudowane przez człowieka urządzenie. Dzień 14 lutego 2000 roku (nota bene uroczystość św. Walentego, czyli od niedawna popularne także i w Polsce „walentynki”) zapisał się w historii astronomii niezwykle wyjątkowym wydarzeniem, za jakie trudno nie uznać utworzenia pierwszego sztucznego satelity planetoidy; wystrzelony z Ziemi obiekt pozostał już na zawsze w uścisku kosmicznego Erosa.

Orbita NEARa wokół Erosa była wielokrotnie zmieniana, co wynikało przede wszystkim z konieczności pogodzenia zadań naukowych misji z możliwościami technicznymi sondy. Najdłużej NEAR pracował na prawie kołowych orbitach o promieniach około 200, 100 i 50 km, ale doprowadzono też do jego przelotu w odległości zaledwie 5,3 km od powierzchni (na wykonanych wtedy zdjęciach



można zobaczyć szczegóły o rozmiarach trochę mniejszych niż półtora metra). Analiza ruchu sondy umożliwiła wyznaczenie masy planetoidy na $(6,687 \pm 0,003) \cdot 10^{15}$ kg. Siła ciężenia na powierzchni jest zatem tak mała, że astronauta ważący na Ziemi np. 70 kg, na Erosie ważyłby nie więcej niż 38 g, a prędkość ucieczki z planetoidy zawiera się w granicach od 3,1 do 17,2 m/s. Eros rotuje wokół osi nachylonej pod bardzo małym kątem do płaszczyzny własnej orbity, a okres obrotu jest równy 5,27 h. Pomiar wykonany dalmierzem laserowym pozwolił określić kształt planetoidy, a tym samym jej objętość. W rezultacie gęstość materii Erosa, wynoszącą $2,67 \pm 0,03$ g/cm³, udało się wyznaczyć ze stosunkowo dużą dokładnością.

Ukształtowanie powierzchni Erosa charakteryzuje się ogromną różnorodnością struktur powstałych zapewne w wyniku silnych uderzeń i spowodowanych nimi wstrząsów, pęknięć czy osuwisk. Najbardziej typowymi są, oczywiście, kratery, z których największy ma średnicę 5,5 km. Wśród nierówności terenu pojawiają się prostoliniowe łańcuszki kolistych zagłębień, wielokształtne zapadliska z płaskimi dnami, równoległe ciągnące się wyżłobienia i rowy, strome uskoki, pasma pagórków itp. Obserwowane utwory nie mogłyby powstać, gdyby nie zdolność materii powierzchniowej do ulegania trwałym odkształceniom, a więc świadczy to przede wszystkim o tym, że Eros jest litą bryłą, a nie konglomeratem drobniejszych fragmentów tworzących jeden obiekt dzięki siłom ich wzajemnego przyciągania grawitacyjnego. Zdziwienie budzą ogromne głązy rozrzucone po całej powierzchni Erosa. Ich rozkład nie wydaje się jednolity, ale nie dopatrzonego się w nim żadnych korelacji z dużymi kraterami ani z innymi utworami rzeźby terenu. Mają najrozmaitsze kształty: od wyraźnie zaokrąglonych jak ziemskie otoczaki brył, po nieforemne bloki z ostrymi krawędziami. Ich pochodzenie trudno zrozumieć. Gdyby założyć, że zostały wybite z powierzchni podczas uderzeń meteoroidów, to pojawia się pytanie, dlaczego nie odleciały w przestrzeń kosmiczną, skoro prędkość ucieczki jest tak mała. A może odlatywały, ale krążąc wokół Słońca po orbitach niemal identycznych z orbitą Erosa po jakimś czasie znów trafiały na jego powierzchnię i dlatego dziś nie obserwujemy w ich rozkładzie żadnego związku z kraterami uderzeniowymi?



Rozwiązanie zadania F 551.

Ciało znajdujące się na powierzchni Ziemi jest przyciągane do jej środka siłą

$$Q = G \frac{mM}{R^2},$$

gdzie M to masa Ziemi, m – masa danego ciała, a R – promień Ziemi. Ale ciężar ciała jest równy

$$Q = mg.$$

Stąd

$$G = \frac{gR^2}{M}.$$

Masa Ziemi jest równa $M = (4/3)\pi R^3 \rho$ i ostatecznie

$$G = \frac{3g}{4\pi R\rho} \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}.$$



Rozwiązanie zadania F 552.

Pod działaniem siły przyciągania Słońca

$$G \frac{M_Z M_S}{r^2}$$

Ziemia porusza się z przyspieszeniem dośrodkowym

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Zgodnie z drugim prawem dynamiki mamy

$$M_Z \frac{4\pi^2 r}{T^2} = G \frac{M_Z M_S}{r^2},$$

stąd

$$M_S = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}.$$

Jednym z najważniejszych wyników badania składu chemicznego powierzchni Erosa jest stwierdzenie jego podobieństwa do składu meteoroidów zwanych chondrytami. Te bryłki materii kosmicznej znajdowane na Ziemi są pozostałościami pierwotnego tworzywa, z którego uformowały się planety grupy ziemskiej. Skład pierwiastkowy tworzących je minerałów jest niemal identyczny ze składem atmosfery Słońca, jeśli pominąć, oczywiście, pierwiastki lotne, czyli przede wszystkim wodór i hel. Gdyby na powierzchni dominowała materia złożona z pierwiastków lekkich, to można by podejrzewać, że w wyniku jakiegoś naturalnego procesu segregacji materia składająca się z pierwiastków cięższych skupiła się w centrum bryły planetoidy. Z pomiarów pola grawitacyjnego Erosa wynikało jednak, że jest on obiektem jednorodnym pod względem gęstości. Ewentualna przewaga pierwiastków lżejszych lub cięższych mogłaby też świadczyć o pochodzeniu Erosa odpowiednio z warstw powierzchniowych lub z wnętrza jakiegoś większego, rozwarstwowanego obiektu, który uległ rozpadowi. Podobieństwo powierzchni Erosa do chondrytów wyklucza jednak te możliwości i prowadzi do wniosku, że planetoida ta jest prawdopodobnie najbardziej pierwotnym ciałem, które od czasu początkowej kondensacji przed ponad 4 miliardami lat pozostaje niezmienione, oprócz, oczywiście, powierzchni bombardowanej przez meteoroidy.

Zakończenie misji NEAR-Shoemaker planowane jest w lutym 2001 roku zrzuceniem sondy na powierzchnię planetoidy. Właściwie będzie to raczej łagodne położenie sondy na powierzchni. Prowadzące do tego manewry rozpoczną się już w połowie grudnia 2000 roku. Podczas opadania sonda będzie cały czas intensywnie badać powierzchnię Erosa aż do utraty łączności, co najprawdopodobniej nastąpi w momencie zetknięcia się z powierzchnią.

(Artykuł napisany został w listopadzie 2000 roku – red.)