

pierwiastkowania dowolnych stopni. To jak gdyby dwie różne sprawy. W dowodzie operowaliśmy na symbolach, które z natury rzeczy nie podlegają żadnym nietrywialnym relacjom algebraicznym, wszystko było tam dość sztywne. Jeśli jednak w napisie symbolicznym

$$X^5 + a_4X^4 + a_3X^3 + a_2X^2 + a_1X + a_0 = 0$$

zastąpimy literki a_i konkretnymi liczbami, np. $X^5 - X - 1 = 0$, to współczynniki będą spełniać różne relacje, np. $a_1^2 + a_0 = 0$ (podstawowe wielomiany symetryczne s_i nie spełniają żadnych tego typu relacji – to można wykazać) i kto wie, czy przy odpowiednim manipulowaniu nie dobijemy się do pierwiastków tego jednego konkretnego wielomianu za pomocą naszych ulubionych narzędzi. Faktem jest, że akurat dla $X^n - X - 1 = 0$ ($n \geq 5$) jest to niemożliwe (wynik z 1987 r.), ale teorię, która pozwala rozpracowywać takie przypadki, stworzył dopiero genialny Galois (1811–1832). Ale to już za długa bajka...



Rozwiązanie zadania M 936.

Niech O będzie środkiem okręgu przechodzącego przez A, B, D . Oznaczmy $\angle ACB = \gamma$, $\angle ABC = \beta$, $\angle BAC = \alpha$. Mamy $\angle ADB = 2\gamma$ (D jest środkiem odpowiedniego okręgu). Poza tym $\angle AMB = \angle ADB = \angle ANB = 2\gamma$ (wszystkie trzy kąty są oparte na tym samym łuku okręgu o środku O). Stąd $\angle MBA = 180^\circ - 2\gamma - \alpha$ oraz $\angle NAB = 180^\circ - 2\gamma - \beta$. Następnie $\angle MOA = 2\angle MBA = 360^\circ - 4\gamma - 2\alpha$ oraz $\angle NOB = 2\angle NAB = 360^\circ - 4\gamma - 2\beta$. Mamy również $\angle AOB = 360^\circ - 2\angle ADB = 360^\circ - 4\gamma$ ($\angle AOB$ oznacza tutaj kąt zawierający punkt D). Mamy więc

$$\begin{aligned} \angle MON &= \angle AOB - \angle MOA - \angle NOB = (360^\circ - 4\gamma) - (360^\circ - 4\gamma - 2\alpha) - (360^\circ - 4\gamma - 2\beta) = \\ &= -360^\circ + 4\gamma + 2\alpha + 2\beta = 2\gamma. \end{aligned}$$

Ostatecznie $\angle MON = 2\gamma$. Jeśli zatem odbijemy trójkąt MNC względem prostej MN , to punkt C „wyląduje” na okręgu opisanym na $\triangle ABD$. wynika z tego, że promienie okręgów opisanych na $\triangle ADB$ i $\triangle MNC$ są równe.

Eksploracja przestrzeni kosmicznej najdonioślejszą zdobyczą XX wieku

Krzysztof ZIOŁKOWSKI

Na początku 1999 roku amerykańska telewizja CNN przeprowadziła sondaż mający wskazać, które z dziesięciu zaproponowanych wydarzeń kończącego się stulecia można uznać za najważniejsze. Prawie połowa (48%) spośród ponad 45 tys. respondentów uznała, że był to lot człowieka na Księżyc w 1969 r. Następnie wymieniono Holocaust (15%) i zrzućenie bomby atomowej na Hiroszimę (15%). Na czwartym miejscu (9%) znalazł się pierwszy lot samolotu braci Wright w 1903 r. Wyniki tej ankiety nie tylko potwierdzają powszechną na ogół opinię, że wiek XX był okresem ogromnych kontrastów, ale także wydają się ujawniać aktualność odwiecznych marzeń człowieka o wzbiciu się ponad Ziemię, symbolizowanych ciągle żywym w kulturze euroatlantyckiej mitem o Dedalu i Ikarze. Ich urzeczywistnienie jest wynikiem wysiłku wielu pokoleń, rozpoczętego u progu czasów nowożytnych niezwykłymi projektami maszyn latających Leonarda da Vinci.

W drugiej połowie XX stulecia wykrystalizowała się nowa dyscyplina współczesnego przyrodznawstwa, łącząca dzięki wykorzystaniu technik kosmicznych

różne elementy poznawcze i aplikacyjne fizyki, astronomii i nauk o Ziemi. Określa się ją zwykle mianem badań kosmicznych. Za jej początek można przyjąć wystrzelenie pierwszego sztucznego satelity Ziemi w dniu 4 października 1957 r. oraz pierwszy lot kosmiczny człowieka 12 kwietnia 1961 r. Po 40 latach od tamtych wydarzeń eksploracja przestrzeni kosmicznej jest już czymś tak naturalnym i oczywistym, że obecnie nawet nie bardzo zdajemy sobie sprawę z tego, jak wiele zawdzięczamy rozwojowi nauki i techniki w tym zakresie.

Aktywność człowieka w przestrzeni kosmicznej obejmuje obecnie cztery rodzaje działalności:

- skierowaną ku Ziemi, służącą różnym dziedzinom nauk o Ziemi oraz ich zastosowaniom w meteorologii, telekomunikacji, nawigacji, teledetekcji itp.;
- wykorzystującą unikatowe warunki przestrzeni kosmicznej (np. próżnię, stan nieważkości) do eksperymentowania w dziedzinie fizyki, chemii, biologii, medycyny itp., a także do wykonywania różnych zadań produkcyjnych;

- dotyczącą badań otoczenia Ziemi przez sondowanie ciał Układu Słonecznego i przestrzeni międzyplanetarnej;
- zmierzającą do lepszego poznania Wszechświata dzięki możliwości prowadzenia obserwacji astronomicznych spoza atmosfery ziemskiej.

Dotychczas odbyło się prawie 4 tys. startów rakiet, w wyniku czego poza Ziemią znalazło się około 25 tys. różnych obiektów. Spośród nich mniej więcej 17 tys. już nie istnieje (najczęściej uległy spaleni w atmosferze ziemskiej), a około 8 tys. krąży wokół Ziemi lub porusza się w dalszych rejonach przestrzeni międzyplanetarnej. Liczbę czynnych sztucznych satelitów i sond kosmicznych ocenia się obecnie na ponad 600. Kilka obiektów skonstruowanych ręką ludzką zdołało już oddalić się od Słońca bardziej niż najdalsza planeta Układu Słonecznego. Na czterech ciałach niebieskich (Księżycu i trzech planetach: Wenus, Marsie i Jowiszu) działały przyrządy zbudowane przez człowieka, a jedno (Księżyc) odwiedzili ludzie. W przestrzeni kosmicznej przebywało prawie 400 osób, a rekordzista spędził na orbicie okołoziemskiej ogółem niemal 750 dni (podczas trzech lotów).

Spojrzenie na Ziemię z przestrzeni kosmicznej dało możliwość badań różnych zjawisk i procesów zachodzących w atmosferze i na powierzchni w dużej skali. Spośród nauk o Ziemi pierwsza skorzystała z tego meteorologia, dostrzegając łatwość otrzymania z orbity okołoziemskiej globalnego obrazu atmosfery. Pierwszy satelita meteorologiczny został uruchomiony w 1960 r. Od połowy lat 70. satelity takie zaczęto umieszczać na tzw. orbicie geostacjonarnej. Jest to orbita kołowa, położona w płaszczyźnie równika ziemskiego, na której okres obiegu jest równy okresowi obrotu Ziemi. Poruszający się po takiej orbicie obiekt znajduje się więc stale nad jednym punktem równika w odległości 35,8 tys. km od powierzchni Ziemi. Dlatego satelita meteorologiczny znajdujący się na orbicie geostacjonarnej może stale monitorować przebieg procesów pogodowych na tym samym obszarze Ziemi.

Drugim po meteorologii najpoważniejszym obecnie użytkownikiem orbit geostacjonarnych jest telekomunikacja. Pierwsze próby wykorzystania sztucznych satelitów w tej dziedzinie sięgają także 1960 r., ale pierwsza transmisja telewizyjna przez Ocean Atlantycki odbyła się w 1962 r. Największym dziś satelitą telekomunikacyjnym jest amerykański obiekt Galaxy XI wystrzelony 22 grudnia 1999 r. za pomocą rakiety Ariane 4 Europejskiej Agencji Kosmicznej; jego masa wynosi 4500 kg, a rozpiętość (wraz z panelami baterii słonecznych) sięga 31 m; ma funkcjonować przez 15 lat. Obecnie krąży wokół Ziemi po orbicie geostacjonarnej około 250 czynnych satelitów łącznościowych i meteorologicznych.

Zbliżonym do zagadnień łączności satelitarnej jest problem nawigacji. Pierwszy satelitarny system nawigacyjny powstał już na początku lat 60. Ale precyzyjne określenie pozycji w dowolnym punkcie globu ziemskiego, niezależnie od warunków atmosferycznych oraz zarówno w dzień, jak i w nocy, umożliwił dopiero działający w pełni od 1993 r. system GPS (ang. Global Positioning System) zbudowany przez Departament Obrony USA. Składa się on z 24 satelitów, krążących po prawie kołowych, rozmaicie usytuowanych orbitach, w odległości około 20 tys. km od powierzchni Ziemi. Ich ruchy zostały tak zaplanowane, aby w każdym momencie, z każdego punktu powierzchni Ziemi, można było odebrać sygnały radiowe co najmniej 4 satelitów. Każdy satelita stale emituje dane o swoim położeniu w przestrzeni oraz dokładny czas z pokładowego zegara atomowego. Informacje te, odebrane przez użytkownika wyposażonego w specjalny odbiornik, umożliwiają obliczenie jego pozycji na Ziemi z dokładnością około 30 m. Kody wojskowe pozwalają na osiągnięcie jeszcze większej dokładności, a najnowsze udoskonalenia systemu dają nawet dokładność milimetrową.

Kolejnym wielkim obszarem zastosowań sztucznych satelitów Ziemi jest teledetekcja. Pierwszym obiektem przeznaczonym do systematycznego śledzenia całej powierzchni Ziemi był satelita Landsat, wystrzelony w 1972 r. na prawie kołową orbitę biegunową, która przebiegała na wysokości około 900 km. Ogrom informacji uzyskiwanej z satelitów teledetekcyjnych znalazł zastosowanie w bardzo wielu dziedzinach. Globalne monitorowanie stanu środowiska naturalnego dostarcza danych zarówno o jego zasobach, jak i zanieczyszczeniach czy zagrożeniach, których, być może, nie jesteśmy jeszcze nawet świadomi. Przykładem obiektu przeznaczonego do takiego całościowego monitorowania Ziemi jest amerykański satelita Terra wystrzelony 18 grudnia 1999 r. Trudno wreszcie nie wspomnieć i o tym, że prawie wszystkie z omówionych funkcji sztucznych satelitów Ziemi znajdują zastosowania militarne, a więc niewiele informacji na ten temat przenika do wiadomości publicznej. Pozostaje tylko ufać, że są to głównie satelity zwiadowcze, służące przede wszystkim do kontroli przestrzegania porozumień międzynarodowych, zwiększając bezpieczeństwo poszczególnych państw i całego globu.

Dzięki technikom kosmicznym przestrzeń okołoziemską pełni rolę unikatowego laboratorium badawczego. Z jego możliwości najwięcej czerpie fizyka kosmiczna, której jednym z głównych zadań jest poznanie podstawowych zjawisk fizycznych w bezpośrednio otaczającej Ziemię przestrzeni. Fizyka kosmiczna jest w znacznym stopniu fizyką plazmy poddanej działaniu zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych. Specyfiką plazmy kosmicznej, w odróżnieniu od

typowej sytuacji laboratoryjnej, jest brak ścianek „naczynia” niszczących samoistne procesy plazmowe, oraz olbrzymie rozmiary, a zatem stosunkowo długie skale czasowe charakterystycznych procesów. Dzięki temu w laboratorium kosmicznym można prowadzić badania i eksperymenty absolutnie niewykonalne w warunkach ziemskich.

Innymi obszarami wykorzystania laboratorium kosmicznego są: inżynieria materiałowa oraz biologia i medycyna kosmiczna. Prace w tych dziedzinach prowadzone są niemal od samego początku działalności człowieka w przestrzeni pozaziemskiej, w szczególności należały do głównych punktów programów pierwszych okołoziemskich lotów załogowych, a następnie prac prowadzonych w stacjach orbitalnych (w latach 70. radzieckie stacje Salut i amerykański Skylab, rosyjski Mir w latach 1986–1999). Od 1998 r. powstaje na orbicie okołoziemskiej międzynarodowa stacja kosmiczna Alfa. Warto tu wspomnieć o dokonaniach polskiego astronauty Mirosława Hermaszewskiego, który na przełomie czerwca i lipca 1978 r. spędził kilka dni na pokładzie Saluta 6. Choć jego lot został nadużyty propagandowo dla doraźnych celów politycznych i dziś z tego pewnie powodu odchodzi raczej w niepamięć, to jednak nie należy zapominać, że umożliwił polskim naukowcom wykonanie kilku interesujących eksperymentów. Do najciekawszych należało zbadanie, jak w warunkach mikrogravitacji przebiega proces krystalizacji z fazy ciekłej pewnego typu półprzewodników. Zachodząca w warunkach ziemskich konwekcja utrudnia otrzymanie jednorodnych stopów takich półprzewodników, a ich jakość i własności fizyczne zależą właśnie od jednorodności materiału.

Najbardziej spektakularne osiągnięcia w badaniach kosmicznych przyniosło sondowanie Układu Słonecznego. Obiekty zbudowane przez człowieka dotarły już do wszystkich planet z wyjątkiem Plutona. Przelatywały też przez głowy i warkocz komet oraz zbliżały się do planetoid. Pierwsze sondy międzyplanetarne kierowano, oczywiście, ku Księżycowi. Rywalizacja między ówczesnymi mocarstwami w jego zdobywaniu doprowadziła do tego, że już w 1969 r., czyli zaledwie 12 lat po wystrzeleniu pierwszego sztucznego satelity Ziemi, człowiek stanął na powierzchni Księżyca, a na dalsze osiągnięcia nie trzeba było długo czekać. W latach 70. zobaczyliśmy np. pierwsze zdjęcia powierzchni najbliższych planet – Wenus i Marsa – wykonane z pokładu sond, które na nich łagodnie lądowały (radzieckie Wenera na Wenus i amerykańskie Vikingi na Marsie). Dzięki pracy tych i wielu innych sond został zwielokrotniony zasób wiedzy o Wenus i Marsie oraz rozwiane fałszywe wyobrażenia i koncepcje związane np. ze słynnymi dawniej kanałami marsjańskimi. W tym też czasie nastąpiły pierwsze przeloty sond kosmicznych koło największych planet Układu Słonecznego. W grudniu 1973 r. zbliżył

się do Jowisza Pioneer 10, a rok później przeleciała koło niego bliźniacza sonda Pioneer 11, która następnie dotarła do Saturna, mijając go we wrześniu 1979 r. Dzięki tym misjom odkryto np. pasy radiacyjne wokół Jowisza i poznano szczegóły jego rozległej magnetosfery, a także zaktualizowano wartości mas planet i ich księżyców. Były one jednak dopiero wstępem do jednego z największych osiągnięć w ramach eksploracji przestrzeni kosmicznej, jakim jest niewątpliwie lot dwóch sond Voyager.

Niezwykłość misji Voyager bierze się nie tylko z dostarczenia przez obie sondy ogromu informacji o wszystkich czterech wielkich planetach, lecz także stąd, że opuściwszy już Układ Słoneczny są ciągle czynne i być może za kilka lat doniosą o przekroczeniu granicy heliosfery. Byłoby to bezpośrednim potwierdzeniem wielu dociekań teoretycznych dotyczących obszaru dominacji plazmy wiatru słonecznego nad plazmą ośrodka międzygwiazdowego. Sondy Voyager zostały wystrzelone z Ziemi w 1977 r. Przez układ Jowisza przeleciały w 1979 r., odkrywając m.in. pierścienie Jowisza i aktywność wulkaniczną księżycy Io. Voyager 1, po przelocie koło Saturna w 1980 r., jest obecnie najodleglejszą sondą kosmiczną – we wrześniu 1999 r., czyli w 22 lata po swym starcie, znajdował się w odległości ponad 75 j.a. od Słońca. Voyager 2 zbliżył się do Saturna w 1981 r., a następnie do najdalszych planet Układu Słonecznego: Urana w 1986 r. i Neptuna w 1989 r. Ogromna część tego, co dziś wiadomo o tych odległych olbrzymach planetarnych, jest zasługą tej właśnie sondy.

Po sukcesach misji Voyager kolejne radykalne wzbogacenie wiedzy o Jowiszu i jego księżycach nastąpiło w drugiej połowie lat 90. za sprawą sondy Galileo, która od grudnia 1995 r. jest sztucznym satelitą największej planety. Jej zawdzięczamy m.in. odkrycie oceanu płynnej wody pod niezbyt grubą skorupą lodową na powierzchni satelity Jowisza o nazwie Europa, dzięki czemu księżyc ten stał się drugim po Marsie obiektem Układu Słonecznego, na którym – być może – warto poszukiwać życia. Dalszego wzbogacenia wiedzy o Saturnie oraz jego pierścieniach i księżycach oczekuje się po r. 2004, w którym doleci do tej planety i stanie się jej sztucznym satelitą sonda Cassini wystrzelona w październiku 1997 r. Ostatnie dziesięciolecie przyniosło też znaczne pogłębienie znajomości bliższych Ziemi planet. Z pokładu sztucznego satelity Wenus o nazwie Magellan wykonano w latach 1990–1993 pomiary radarowe, które umożliwiły opracowanie mapy całej powierzchni tej planety, niewidocznej z powodu spowijającej ją stale grubej warstwy chmur. Z kolei krążąca wokół Marsa od 1997 r. sonda Mars Global Surveyor dostarcza zdjęć powierzchni czerwonej planety, z których tworzona jest szczegółowa mapa Marsa. Program ten jest już nawet odczytywany jako początek przygotowań do lotu człowieka na Marsa, choć przebiega nie bez przykrych

porażek, jak np. niedawne fiasko misji Mars Surveyor '98.

Rosnące zainteresowanie małymi ciałami Układu Słonecznego wynika przede wszystkim ze zrozumienia, że komety i planetoidy są pozostałościami materii, z której powstał Układ Słoneczny, zawierają więc informacje o naszej przeszłości. Pierwszego przelotu przez warkocz komety Giacobiniego–Zinnera, w odległości około 8000 km od jądra, dokonała we wrześniu 1985 r. sonda ICE (ang. *International Cometary Explorer*). W marcu 1986 r. cała flotylla sond kosmicznych dokonała obserwacji ze stosunkowo niewielkiej odległości oraz przeprowadziła badania *in situ* słynnej komety Halleya, która wtedy właśnie znowu była w pobliżu Słońca. Najgłębszego zanurzenia się w głowę komety dokonała zachodnioeuropejska sonda Giotto, która minęła jądro w odległości około 600 km z prędkością 68 km/s. Najbardziej spektakularnym rezultatem było uzyskanie obrazu jądra komety Halleya, gdyż dotychczas nie tylko nie dało się zobaczyć żadnego jądra kometarnego, ale nawet nie bardzo było wiadomo, czy stanowią one jedną bryłę materii. W 1992 r. sonda Giotto przeleciała jeszcze przez głowę komety Grigga–Skjellerupa, dostarczając ciekawych informacji o emisji gazu i pyłu z jej jądra oraz o strukturze jego otoczenia plazmowego.

Pierwsze obrazy planetoid z bliska przekazała sonda Galileo. Po starcie z Ziemi w 1989 r., zanim osiągnęła Jowisza w końcu 1995 r., zbliżyła się w październiku 1991 r. do Gaspry i w sierpniu 1993 r. do Idy. Wykonane przez nią zdjęcia Idy ujawniły obecność satelity tej planetoidy, co było pierwszym obserwacyjnym potwierdzeniem przypuszczenia, że niektóre małe planety mogą mieć księżyce. Pierwszą sondą przeznaczoną do badań planetoid jest NEAR (ang. *Near Earth Asteroid Rendezvous*) wystrzelona w lutym 1996 r. Wprawdzie jej celem jest Eros, ale już w czerwcu 1997 r. przeleciała koło Matyldy, której osobliwością okazała się jej gęstość, znacznie mniejsza niż innych planetoid. W lipcu 1999 r. w odległości zaledwie kilku kilometrów od powierzchni małej planetoidy Braille przeleciała sonda Deep Space 1, która w 2001 r. ma się jeszcze zbliżyć do dwóch komet. Planowane są następne misje do komet i planetoid.

Dziś sondy kosmiczne penetrują wprawdzie niemal cały Układ Słoneczny, jednak dalsze obszary Wszechświata pozostają niedostępne dla tej metody badawczej i astronomia opiera się nadal wyłącznie na obserwacjach. Dzięki jednak wyniesieniu instrumentów astronomicznych poza atmosferę ziemską astronomia zyskała możliwość śledzenia promieniowania ciał niebieskich w całym zakresie widma elektromagnetycznego. Obserwacje prowadzone z orbity okołoziemskiej wolne są ponadto od najrozmaitszych zakłóceń powodowanych przez atmosferę. Zrewolucjonizowało to badania astronomiczne i wręcz niewyobrażalnie rozszerzyło

wiedzę o Wszechświecie w ciągu zaledwie kilku ostatnich dziesięcioleci.

Pierwsze orbitalne obserwatoria astronomiczne zostały uruchomione w końcu lat 60. Do najbardziej płodnych naukowo obiektów można zaliczyć satelitę IUE (ang. *International Ultraviolet Explorer*) prowadzącego w latach 1978–1996 obserwacje nieba w nadfiolecie. Wśród wielu satelitów przeznaczonych do odbioru promieniowania rentgenowskiego szczególnie zasłużonym wydaje się ROSAT, który działał w latach 1990–1998. Przeglądu całego nieba w dalekiej podczerwieni dokonał satelita IRAS (ang. *Infrared Astronomical Satellite*) w 1983 r. Obserwacjom promieniowania z pogranicza podczerwieni i milimetrowych fal radiowych poświęcona była w latach 1989–1993 misja COBE (ang. *Cosmic Background Explorer*), której jednym z najważniejszych rezultatów było odkrycie anizotropii promieniowania tła, mającej fundamentalne znaczenie kosmologiczne. Satelita Hipparcos, działając w latach 1989–1993, umożliwił opracowanie – znacznie dokładniejszego niż dotychczasowe – katalogu pozycji, ruchów własnych i jasności 1,2 mln gwiazd, na którego podstawie m.in. stwierdzono, że skala odległości obserwowalnego Wszechświata jest mniej więcej 10% większa, niż dotychczas sądzono. Nie można wreszcie nie wspomnieć o najdoskonalszym chyba narzędziu współczesnej astronomii, jakim jest Teleskop Kosmiczny Hubble'a. Umieszczony na orbicie okołoziemskiej w 1990 r. wślawił się wieloma odkryciami i dostarczył ogromnie dużo cennych obserwacji najrozmaitszych obiektów. Jest pierwszym instrumentem powstającego w przestrzeni kosmicznej wielkiego obserwatorium astronomicznego – drugim jest teleskop promieniowania gamma im. Comptona uruchomiony w 1991 r., a trzecim teleskop rentgenowski Chandra wystrzelony w 1999 r.

Na zakończenie trzeba spytać, czy to wszystko uzasadnia tytułową tezę tego artykułu. Zastanawiając się nad odpowiedzią, warto jeszcze zdać sobie sprawę z tego, że w badaniach kosmicznych upatruje się dziś jeden z podstawowych mechanizmów postępu cywilizacyjnego. Początkowo – podobnie jak w przeszłości, kiedy siłą napędową rozwoju techniki były głównie wojny – tym, co przede wszystkim prowadziło do spektakularnych osiągnięć w tzw. podboju Kosmosu, była rywalizacja między dwoma mocarstwami – Stanami Zjednoczonymi Ameryki Północnej i Związkiem Socjalistycznych Republik Radzieckich – stanowiąca istotny element ówczesnych rozgrywek politycznych. Przy końcu XX wieku, gdy drugie z wymienionych mocarstw już nie istnieje, a rywalizacja przeradza się powoli we współpracę, eksploracja przestrzeni kosmicznej coraz wyraźniej przejmuje rolę kluczowego stymulatora wzrostu gospodarczego oraz staje się najbardziej płodnym obszarem narodzin nowych technologii i postępu wielu kierunków nauki i techniki.