

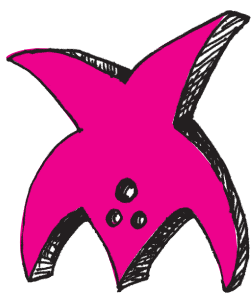
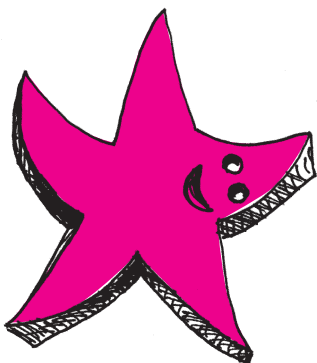


## Kres epopei Mira *Krzysztof ZIOŁKOWSKI*

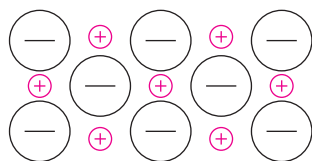
Niejednemu astronautce zakręciła się pewnie łza w oku, gdy 23 marca 2001 roku szczątki stacji kosmicznej Mir wpadły do Pacyfiku, kończąc w ten sposób piętnastoletni okres funkcjonowania na orbicie okołozemskiej obiektu, który był miejscem wielkiej przygody i ciężkiej pracy 105 osób. Tyłu bowiem ludzi, różnych płci i narodowości, przebywało na pokładzie Mira, doświadczając wszystkich blasków i cieni związanych z obecnością człowieka w przestrzeni kosmicznej. Wprawdzie 40 lat po locie Gagarina wyprawy w Kosmos stały się już niemal codziennością, to jednak nie należy zapominać, że rutyna dzisiejszych działań jest w niemałym stopniu wynikiem sprawności i umiejętności nabytych dzięki stacji orbitalnej Mir. Dotyczy to, oczywiście, nie tylko bezpośrednich lokatorów Mira, ale także, a może nawet przede wszystkim, całej ogromnej infrastruktury naukowej, technicznej, przemysłowej i organizacyjnej, która umożliwiła realizację i powodzenie tego przedsięwzięcia.

Mir był pierwszą dużą, wielomodułową stacją kosmiczną na orbicie okołozemskiej. Koncepcja utworzenia sztucznego satelity Ziemi, spełniającego rolę permanentnie działającego laboratorium, w którym mogliby pracować ludzie, wykrystalizowała się w latach siedemdziesiątych, stanowiąc – jak to wyraźnie widać z obecnej perspektywy – kontynuację rywalizacji ówczesnych potęg kosmicznych. Rosjanie, którym nie udało się wysłać człowieka na Księżyc, usiłowali bagatelizować spektakularny wyczyn Amerykanów z końca lat sześćdziesiątych, starając się wykazać potrzebę koncentracji działań związanych z eksploracją przestrzeni kosmicznej przede wszystkim na tworzeniu warunków do zdalnego badania Ziemi oraz naukowego i utylitarne go spożytkowania jej najbliższego otoczenia. Od 1971 roku zaczęli umieszczać w przestrzeni kosmicznej obiekty o nazwie Salut, będące poniekąd prototypami Mira. Początki były trudne, nie wszystko się udawało, nawet ginęli ludzie.

Szczególnie owocnym okazał się pięcioletni lot wokół Ziemi stacji kosmicznej Salut 6 działającej w latach 1977–1982. Na jej pokładzie przebywało ogółem 27 kosmonautów (w tym sześciu dwukrotnie), którzy – oprócz zadań technicznych – wykonywali różne eksperymenty naukowe. Przykładem mogą być dokonania polskiego uczestnika tego programu, Mirosława Hermaszewskiego, który na przełomie czerwca i lipca 1978 roku spędził kilka dni na stacji Salut 6. Wprawdzie jego lot został nadużyty propagandowo, ale nie można zapominać, że umożliwił polskim naukowcom wykonanie kilku ciekawych prac. Najwartościowszą było zbadanie, jak w warunkach mikrogravitacji przebiega proces krystalizacji z fazy ciekłej pewnego typu półprzewodników (na Ziemi konwekcja wynikająca z istnienia grawitacji utrudnia otrzymanie jednorodnych stopów takich półprzewodników, a ich jakość i własności fizyczne zależą właśnie od jednorodności materiału). Interesujące wyniki przyniosły również eksperymenty medyczne, którym poddany został polski astronauta.



**Rozwiązanie zadania F 563.**  
Rozpatrzmy płaszczyznę z tzw. szachowym uporządkowaniem jonów.



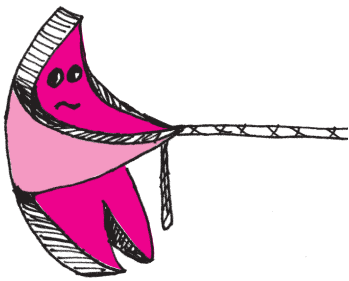
Napężenie niszczące wynosi  $\sigma_M = F_0 n$ , gdzie

$$F_0 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$$

jest siłą wzajemnego oddziaływania dwóch sąsiadujących jonów, a  $n = 1/a^2$  jest koncentracją jonów na jednostce powierzchni. Zatem

$$\sigma_M = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a^4},$$

dla chlorku sodu jest to  $3,8 \cdot 10^{10}$  Pa.



Amerykanie także podjęli wyzwanie utworzenia stacji kosmicznej. Wykorzystując elementy pozostałe po przerwaniu w 1972 roku programie księżycowym Apollo, już w następnym roku uruchomili stację Skylab, w której trzykrotnie przebywały trzyosobowe załogi. Ich praca zaowocowała wieloma wartościowymi wynikami w różnych dziedzinach; dla przykładu warto wspomnieć głośną w 1973 roku kometę Kohoutka, która zasłynęła niespełnieniem przewidywań jej dużej jasności na niebie. Wiarygodne wytłumaczenie dziwnego zachowania się tej komety stało się możliwe dzięki wszechstronnym jej obserwacjom nie tylko z powierzchni Ziemi, ale także z pokładu Skylaba (były to jedne z pierwszych obserwacji komet spoza atmosfery ziemskiej, które znacząco wzbogaciły wiedzę o tych ciągle tajemniczych ciałach niebieskich).

Kres istnienia zarówno Skylaba, jak i kończącej serię Saluta 7, był identyczny. Kilka lat po zaprzestaniu ich wykorzystywania jako laboratoriów orbitalnych oba obiekty wymknęły się spod kontroli służb naziemnych. Stopniowo przybliżając się do powierzchni Ziemi – podobnie jak wiele innych sztucznych satelitów – uległy spaleni w górnych warstwach jej atmosfery. Ale ze względu na stosunkowo duże rozmiary i masy nie zostały zniszczone całkowicie i pozostałości po nich spadły na Ziemię w miejscach i momentach, których jednak nie dało się dokładnie przewidzieć. Skylab, którego masa sięgała 75 ton, wtargnął do atmosfery 11 lipca 1979 roku nad Oceanem Indyjskim, a jego resztki znaleziono na wybrzeżu Australii. Salut 7 o masie około 40 ton zakończył swój żywot 6 lutego 1991 roku; przypuszcza się, że co najmniej trzy jego fragmenty metrowych rozmiarów runęły na terytorium Argentyny, ale ślad po nich zaginął.

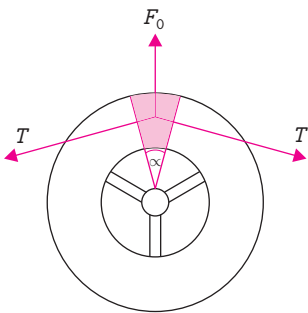
Pamięć o tych wydarzeniach spotęgowała obawy związane z projektami zakończenia lotu Mira. Ta stacja kosmiczna była znacznie większa od swych poprzedniczek (osiągnęła masę niemal 140 ton), a więc nic dziwnego, że możliwość niekontrolowanego spadku na Ziemię pozostałości takiego kolosa budziła uzasadniony niepokój. Podjęcie decyzji o zniszczeniu Mira nie było łatwe, tym bardziej że w świadomości wielu mieszkańców dawnego Związku Radzieckiego wydawał się on być bodaj ostatnim już symbolem mocarstwowości i potęgi ich kraju. Jednak liczne protesty, a także próby ratowania wysłużonej i coraz bardziej niszczonej stacji kosmicznej na nic się zdały w sytuacji kompletnego braku funduszy na jej remont oraz dalszą eksploatację. Zwyciężył zdrowy rozsądek, zrozumienie uludy świetności minionych czasów i pragmatyzm w usiłowaniu niedopuszczenia do zmarnowania ogromnego przecież potencjału intelektualnego i zaplecza technicznego w dziedzinie badań i wykorzystania przestrzeni kosmicznej. Konieczność autentycznej współpracy międzynarodowej w tym zakresie zdominowała nawyki działań inspirowanych rywalizacją. Mir poniekąd wymusił tę zmianę starego na nowe.

Epopeja Mira rozpoczęła się 20 lutego 1986 roku wystrzeleniem na orbitę okołoziemską podstawowego członu przyszłej stacji orbitalnej. Ten główny moduł w kształcie cylindra o długości 13,1 m i średnicy 4,2 m miał masę prawie 21 ton i służył przede wszystkim jako pomieszczenie mieszkalne załogi oraz centrum sterowania pracą całej stacji i jej łączności z Ziemią. W kwietniu 1987 roku przyłączono do niego 11-tonowy moduł o nazwie Kwant 1 będący obserwatorium astronomicznym wyposażonym m.in. w teleskop rentgenowski skonstruowany we współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną. Moduł ten przeznaczony był także do prowadzenia eksperymentów biotechnologicznych. Moduł Kwant 2 o masie 18,5 tony, zawierający przede wszystkim służący do wychodzenia astronautów na zewnątrz stacji, dołączono w listopadzie 1989 roku; służył on także do przechowywania materiałów do badań biologicznych. W maju 1990 roku stacja wzbogaciła się o moduł Kristall, mający masę prawie 20 ton, będący laboratorium do badań w dziedzinie inżynierii materiałowej (kilka lat później uzupełniono go o urządzenie umożliwiające cumowanie do Mira amerykańskich wahadłowców Space Shuttle). Kolejny moduł o nazwie Spekt, będący kopią poprzedniego, ale wyposażony w urządzenia do obserwacji teledetekcyjnych Ziemi, przyłączono w maju 1995 roku. I wreszcie dodanie ostatniego modułu Priroda zakończyło rozbudowę stacji

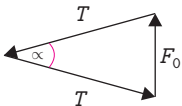


### Rozwiązanie zadania F 564.

Zadanie rozwiązaliśmy w wirującym układzie odniesienia. Wydzielmy myślowo fragment koła zamachowego widziany ze środka pod niewielkim kątem  $\alpha$ .



Na ten kawałek metalu działa odśrodkowa siła bezwładności i dwie siły sprężystości. Te trzy siły spełniają następujący warunek równowagi  $F_o = T\alpha$ .



Tutaj  $T = \sigma S$ , gdzie  $S$  jest przekrojem poprzecznym koła, a  $\sigma$  – naprężeniem. Objętość wyodrębnionego fragmentu wynosi  $V = lS = \alpha R R_{sr}$ , gdzie  $R_{sr} = \frac{1}{2}(R + r)$  oznacza średni promień obwodu koła zamachowego. Siła odśrodkowa bezwładności wynosi

$$F_o = m\omega^2 R_{sr} = \omega^2 R_{sr} \rho V = \alpha \rho S \omega^2 R_{sr}^2,$$

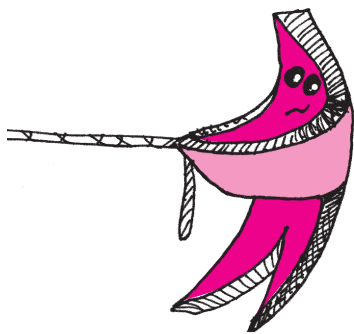
gdzie  $\rho$  jest gęstością metalu.

Po podstawieniu do warunku równowagi otrzymujemy zależność naprężenia w metalu od prędkości obrotów:

$$\sigma = \rho \omega^2 R_{sr}^2.$$

Rozzerwanie koła nastąpi wtedy, gdy naprężenie osiągnie wartość naprężenia rozrywającego, czyli dla

$$\omega_{rozryw} = \frac{2}{R+r} \sqrt{\frac{\sigma_M}{\rho}} \approx 7500 \text{ obr./min.}$$



w kwietniu 1996 roku; był on przeznaczony do monitorowania problemów ekologicznych Ziemi. Na jego pokładzie znajdowała się, zbudowana w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie, cyfrowa kamera telewizyjna WIZJER przeznaczona do śledzenia Słońca dla odpowiedniego ukierunkowywania platformy obserwacyjnej.

Składnikami Mira były też statki kosmiczne Sojuz i Progress niemal stale przycumowane do stacji. Obiekty Sojuz służyły do transportu ludzi do stacji i umożliwiały im powrót na Ziemię, a statki Progress zaopatrywały stację w materiały niezbędne do jej funkcjonowania (po wykonaniu zadania były kierowane ku Ziemi i wlatując do atmosfery spalały się). Wszystkie te elementy tworzyły w przestrzeni konstrukcję, której maksymalne rozmiary (uwzględniając panele baterii słonecznych) sięgały 33 m (Progress – Kwant 1 – moduł główny – Sojuz)  $\times$  31 m (Priroda – Kristall – moduł cumowniczy)  $\times$  27,5 m (Kwant 2 – Spektr). Całkowita masa stacji zmieniała się w granicach od 130 do 140 ton.

Piętnastoletnie dzieje Mira obfitowały w interesujące wydarzenia. Już pierwsza dwuosobowa załoga stacji popisała się przelotem statkiem Sojuz z Mira na Saluta 7 i z powrotem. Pierwsze poważne kłopoty pojawiły się przy cumowaniu modułu Kwant 1; udało się ono dopiero po interwencji kosmonautów, którzy po wyjściu na zewnątrz stacji zdołali naprawić węzeł cumowniczy. W lipcu 1987 roku gościł na Mirze pierwszy obcokrajowiec: obywatel zaprzyjaźnionej z ówczesnym Związkiem Radzieckim Syrii. Jeszcze dziwniejsza wizyta nastąpiła w następnym roku: na pokładzie Mira znalazł się mieszkaniec wstrząsanego w tym czasie wyniszczającą wojną Afganistanu. O badaniach kosmicznych w Syrii i Afganistanie świat nic nie słyszał. Zmiany polityczne na świecie, które symbolizuje rok 1989, na Mirze zaznaczyły się wizytą na jego pokładzie japońskiego dziennikarza. Na przyłot Amerykanów trzeba jednak było czekać aż do 1995 roku: w lipcu po raz pierwszy przycumował do Mira wahadłowiec Space Shuttle. Nieco wcześniej dzięki Mirowi padają rekordy: w marcu 1995 roku powraca na Ziemi Walery Poljakow, który spędził w stacji orbitalnej nieprzerwanie 438 dni, a w październiku 1994 roku, po 169 dniach pobytu na Mirze ląduje Elena Kondakowa, która do dziś dzierży kobiecy prym długości przebywania w przestrzeni kosmicznej.

Rysujący się w połowie lat dziewięćdziesiątych okres wyraźnej prosperity Mira został przerwany tragicznymi w skutkach wydarzeniami. W końcu lutego 1997 roku w głównym module Mira wybuchł pożar. Szybko go ugaszono i nikomu z załogi ani samej stacji nic się nie stało. Rozpoczęła się jednak czarna seria awarii. Psuły się m.in. urządzenia do uzdatniania powietrza i systemy chłodzenia. Najpoważniejszy wypadek nastąpił w czerwcu: statek transportowy Progress nie trafił w węzeł cumowniczy i uderzył w moduł Spektr, który został rozhermetyzowany i do tego stopnia zniszczony, że naprawić go na orbicie już się nie udało. Od tej pory coraz częściej pojawiały się jakieś kłopoty. I to chyba w znacznej mierze przesądziło o tym, że w końcu sierpnia 1999 roku ostatnia załoga opuściła Mira. Wprawdzie w czerwcu 2000 roku dwóch śmiałków jeszcze raz znalazło się na jego pokładzie, ale ich głównym zadaniem było już po prostu przygotowanie stacji do zrzucenia jej na Ziemię.

W operację sprowadzenia Mira z orbity były zaangażowane – oprócz oczywiście gospodarza stacji – amerykańska agencja NASA i Europejska Agencja Kosmiczna. Wspólny wysiłek najbardziej doświadczonych eksploratorów Kosmosu uchronił mieszkańców Ziemi przed trudnymi do przewidzenia skutkami niekontrolowanego spadku. Zgodnie z przewidywaniami resztki Mira spoczęły na dnie południowej części Pacyfiku. Pozostaje natomiast problem dziedzictwa Mira. Nie ukazało się jeszcze żadne kompetentne i rzetelne podsumowanie działalności i dokonań zawdzięczanych tej stacji kosmicznej. W nauce nie odnotowano błyskotliwych osiągnięć ani spektakularnych odkryć dzięki niej uzyskanych. Na razie trzeba więc zadowolić się oczywistą konstatacją, że Mir umożliwił zdobycie umiejętności, które – miejmy nadzieję – są i będą odpowiednio wykorzystane w budowie i eksploatacji Międzynarodowej Stacji Kosmicznej Alfa.



#### Rozwiązanie zadania M 976.

Żaden. Cyfra jedności liczby  $a_{2n+1}$  jest równa  $n$ -tej cyfrze po przecinku w zapisie dziesiętnym liczby  $\sqrt{10}$ . Ponieważ zaś liczba  $\sqrt{10}$  jest niewymierna, więc ciąg  $(a_{2n+1})$ , czyli tym bardziej ciąg  $(a_n)$ , jest nieokresowy. Niech  $\gamma_n = 0$ , jeśli  $\beta_n$  jest parzysta i  $\gamma_n = 1$ , jeśli  $\beta_n$  jest nieparzysta. Wtedy  $\gamma_{2n+1}$  jest  $n$ -tą cyfrą po przecinku w zapisie dwójkowym liczby  $\sqrt{2}$ . Wobec niewymierności liczby  $\sqrt{2}$  ciąg  $(\gamma_n)$ , a więc tym bardziej ciąg  $(\beta_n)$ , jest nieokresowy.



#### Rozwiązanie zadania M 977.

Niech 
$$a_n = (\sqrt{3} + \sqrt{2})^{2n} + (\sqrt{3} - \sqrt{2})^{2n} = (5 + 2\sqrt{6})^n + (5 - 2\sqrt{6})^n.$$

Łatwo sprawdzić, że  $a_{n+2} = 10a_{n+1} - a_n$ . Z równania tego i z  $a_0 = 2$ ,  $a_1 = 10$  wynika, że  $a_n \in \mathbb{Z}$ . Poza tym dla każdego  $n$  liczba  $a_n + a_{n+2} = 10a_{n+1}$  jest podzielna przez 10, a więc także liczba  $a_{n+4} - a_n = (a_{n+4} + a_{n+2}) - (a_{n+2} + a_n)$  jest podzielna przez 10. Oznacza to, że wszystkie liczby w ciągu  $a_0, a_4, a_8, \dots, a_{1000}$  dają tę samą resztę z dzielenia przez 10. Ponieważ  $a_0 = 2$ , więc liczba całkowita  $a_{1000}$  kończy się cyfrą 2. Wreszcie  $a_{1000} > (\sqrt{3} + \sqrt{2})^{2000} > a_{1000} - (0,5)^{2000} > a_{1000} - 0,1$ , z czego wynika, że w liczbie  $(\sqrt{3} + \sqrt{2})^{2000}$  cyfra jedności to 1, a pierwsza cyfra po przecinku to 9.



#### Rozwiązanie zadania M 978.

Para taka nie istnieje. Jeśli  $(5 + 3\sqrt{2})^m = (3 + 5\sqrt{2})^n$ , to również  $(5 - 3\sqrt{2})^m = (3 - 5\sqrt{2})^n$ , co jest jednak niemożliwe, bowiem  $|5 - 3\sqrt{2}| < 1$  i  $|3 - 5\sqrt{2}| > 1$ .