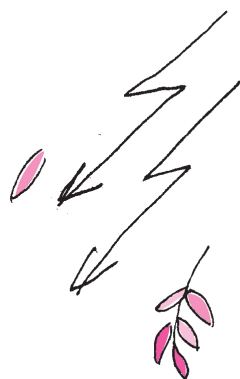


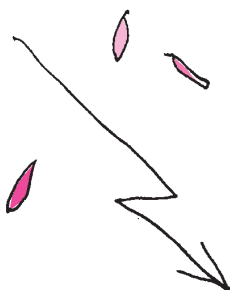
# Wycieczka na Jowisza

Lech FALANDYSZ

Góra Olimp we wschodniej Grecji nie należy do najwyższych w Europie, ale jest trudno dostępna. Starożytni Grecy wierzyli, że to na niej mieszkał najważniejszy z bogów – Zeus. Był on władcą nieba i ziemi. Od niego zależało, jakie będą losy władców, państw i ludzi. Gdy był rozgniewany, wokół Olimpu gromadziły się ciemne burzowe chmury, a grzmoty i częste błyskawice przypominały ludziom, by nie odchodzili od boskich praw. U Rzymian odpowiednikiem Zeusa był Jowisz. Właśnie tym imieniem nazwano największą planetę naszego Układu Słonecznego. Planetę Jowisz można dostrzec na niebie nawet bez użycia lunety. Ma orbitę 5,2 razy większą niż orbita Ziemi i jeden jego obieg wokół Słońca trwa 11,86 lat ziemskich. Na niebie wygląda jak jasna gwiazda, nocą ustępując blaskiem tylko Księżycowi i Wenus.



W roku 1979 sondy kosmiczne Voyager 1 i 2, po około 1,5 roku podróży, znalazły się w okolicach Jowisza i przekazały na Ziemię wartościowe informacje.



Największe księżyce Jowisza odkrył w 1610 roku Galileusz – za pomocą swojej pierwszej lunety astronomicznej. Księżyce te mają nazwy: Io, Europa, Ganymedes, Kallisto.

Atmosfera Jowisza ma grubość ponad 1000 km. Składa się głównie z wodoru, amoniaku i helu, ale są też małe ilości fosforu, siarki oraz związków organicznych.

Próbowano uzyskać wodór metaliczny w warunkach laboratoryjnych na Ziemi. Małutka próbka zaistniała tylko przez drobny ułamek sekundy.

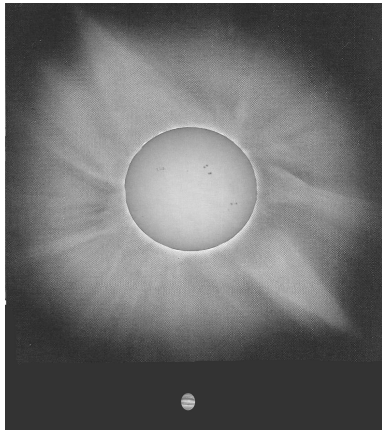


W starożytnej Grecji wchodzenie na trudno dostępny Olimp było aktem zuchwałości obarczonym ogromnym ryzykiem. Być może podobną zuchwałością wykazemy się, ryzykując podróż na „kosmiczny Olimp” – Jowisza. To trudne zadanie. Nasz statek ma napęd plazmowy (mógłby być też jonowy), gdyż zależy nam bardzo na skróceniu czasu podróży na tak długiej trasie. Jest to ważne ze względów zdrowotnych, psychicznych i ekonomicznych. Gdybyśmy chcieli odbyć podróż po orbicie Hohmanna (zob. *Wycieczka na Wenus i Marsa*,  $\Delta_{20}^{11}$ ,  $\Delta_{15}^8$ ), trwałaby ona w jedną stronę około 2,73 roku. My jednak wybraliśmy trasę krótszą, lecz stale kontrolowaną i często korygowaną pracę silników.

Po kilkunastu miesiącach lotu znajdujemy się w pobliżu planety. Dotarcie przed „oblicze boskiego Jowisza” jest niezwykle trudne, gdyż otacza go „ochronny orszak” złożony z około 79 szybko krążących księżyców. Zderzenie z jednym z nich oznaczałoby dla nas tragiczne zakończenie wyprawy. Księżyce są skalno-lodowymi bryłami o różnych wielkościach. Te znajdujące się najbliżej planety poruszają się z prędkościami około 5 km/s i obiegają Jowisza z okresem około 8 godzin. Najdalsze, oddalone od Jowisza o ponad 20 mln km, mają prędkości około kilkuset m/s i okresy obrotu wynoszące ponad 2 lata ziemskie. Oprócz księżyców Jowisza otaczają 3 współśrodkowe pierścienie bardzo rozrzedzonego pyłu. Znajdują się one w zakresie od około 28 tys. km do około 140 tys. km od atmosfery planety. Pierścienie te odbijają niewiele światła słonecznego i dlatego nie dostrzegano ich przez lunety oraz pierwsze teleskopy.

I tak oto znaleźliśmy się około 1 mln km od atmosfery największej z planet. Olbrzym ten ma masę około 318 razy większą niż masa Ziemi, a w jego wnętrzu zmieściłoby się 1300 planet wielkości Ziemi! Gdyby zsumować masy wszystkich planet, to na Jowisza przypadłoby aż 71% tej sumy. W centrum Jowisza znajduje się skalisto-żelazne jądro o promieniu trochę większym od promienia Ziemi, lecz o masie 15 razy większej niż masa naszej rodzimej planety. Ponad jądrem, aż do atmosfery, znajduje się tylko wodór, bardzo zagęszczony z powodu olbrzymich ciśnień. Pierwsza, gruba warstwa wodoru sięga do około 2/3 promienia planety. Panujące tam ciśnienia są kilkadziesiąt mln razy większe od ziemskiego ciśnienia atmosferycznego – przy takim gigantycznym ciśnieniu i olbrzymiej temperaturze atomy wodoru jakby „zwyrodniały” i powstała bardzo gęsta ciecz, którą nazwano „wodorem metalicznym”. Ponad warstwą wodoru metalicznego, aż do atmosfery, wodór występuje jako cząsteczkowy w postaci gorącej i gęstej cieczy. Jedynie brzeg tej warstwy pokrywa bardzo cienka warstwa chmur. Szacujemy, że aż 99% objętości planety zajmuje wodór, dlatego też Jowisza nazywa się planetą wodorową.

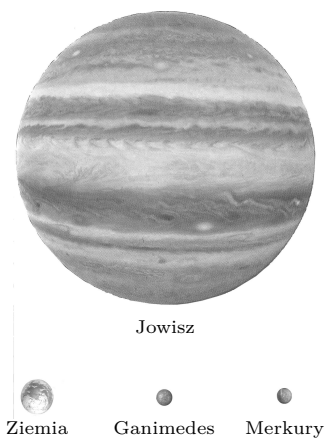
Planeta szybko wiruje z okresem około 9 godz. i 55 min. Taka szybka rotacja metalicznego wodoru jest prawdopodobnie przyczyną powstania rozległego i silnego pola magnetycznego. Natężenie tego pola jest kilkadziesiąt razy, a czasem nawet do 100 razy większe niż ziemskiego pola magnetycznego. Sięga ono daleko poza planetę i jest zmienne co do kształtu oraz zasięgu. Po stronie Słońca magnetosfera ta sięga do około 4 mln km, a po stronie przeciwnej rozciąga się niczym bardzo długi „magnetyczny warkocz”, o długości zmiennej na dziesiątki, a nawet setki mln km.



Względne wielkości Słońca i Jowisza

Nie ryzykujemy zbliżeniem się do planety – w 1995 roku Jowisza odwiedziła sonda Galileo. Odłączony od niej próbnik spadał ku planecie z szybkością 170 tys. km/h. Po wejściu w atmosferę zaczął działać spadochron i wyhamował prędkość do 640 km/h. Coraz wyższa temperatura stopiła odrzucony spadochron, a po 40 min. także części aluminiowe sondy. Po kilku godzinach sonda została zgnieciona przez olbrzymie ciśnienie. Próbnik, zanim „zginął”, zdążył wykonać wiele pomiarów atmosfery.

Na Ganimedecie swobodnie puszczony z wysokości 20 m kamień spada około 5,3 s (na Ziemi 2 s).



Względne wielkości globów

Dogodnym miejscem do obserwacji Jowisza i jego otoczenia będzie największy z jego księżyców – Ganimedes. Jest on „zanurzony” w silnym polu magnetycznym planety. Z jego powierzchni olbrzymią tarczę Jowisza – o średnicy około 15 tarcz słonecznych widzianych z Ziemi – zdecydowanie dominującą na niebie. Olbrzymie obłoki gazu są z naszego punktu obserwacyjnego bardzo dobrze widoczne i szybko obiegają planetę. Obecne w atmosferze związki organiczne, fosfor i siarka dają różnobarwne pasma: brązowe, kremowe, ochry w różnych odcieniach. Są też jasne i bładniebieskie plamy. W niektórych miejscach tworzą się wiry, które trwają jakiś czas, zanikają, lecz po chwili pojawiają się nowe. Szaleje kilkadziesiąt sztormów, tworzą się i zanikają cyklony. Wiatry na Jowiszu osiągają prędkości nawet kilkaset km/s i w niektórych sąsiadujących ze sobą strefach pędzą w przeciwnie strony.

Lecz oto nagle pojawia się duża, czerwona, owalna plama – wielkości około  $40 \times 14$  tys. km. Widziano ją już z Ziemi jakieś 300 lat temu. To wielki wir, a raczej cyklon, który powstał nad najwyższą warstwą obłoków. Jego długość jest ponad 3 razy większa niż średnica Ziemi. Obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, a jeden obrót trwa około tygodnia ziemskiego.

Ale to nie wszystko. Jowisz zasługuje na miano boga piorunów. Widzimy niezwykle spektakl. W atmosferze zachodzą silne wyładowania elektryczne. Niemal bez przerwy obłoki są rozświetlane przez ogromne błyskawice, a nawet całe pęki błyskawic. Uroku dodają im zorze ponad chmurami. Są jaśniejsze niż ziemskie i szybko zmieniają swoje kształty oraz barwne odcienie. Powstają one z powodu przechwytywania naładowanych cząstek z wiatru słonecznego przez silne pole magnetyczne. Ładunki te zderzają się z gazowymi cząsteczkami, a te z kolei świecą, oddając energię. Przyspieszone polem ładunki wysyłają promieniowanie szkodliwe dla ludzi. Dawka takiego promieniowania jest kilkadziesiąt razy większa od dawki śmiertelnej. To promieniowanie zniszczyło obwody elektroniczne we wcześniejszych sondach Pionier 10 i 11.

Jak wygląda Ganimedes – miejsce, z którego oglądamy przedstawienie? To największy z księżyców w całym Układzie Słonecznym. Ma średnicę 5262 km, a więc jest większy nawet od planety Merkury. Obiega Jowisza w czasie 7,15 dni ziemskich. Co ciekawe, jego okres obiegu jest równy okresowi obrotu i dlatego zwrócony jest stale tą samą stroną powierzchni do Jowisza (zupełnie jak nasz Księżyc). Taki ruch mają też pozostałe 3 duże księżyce. Nie wychodzimy z lądownika, to niebezpieczne: dociera tu szkodliwe promieniowanie, a temperatura wynosi około minus  $160^{\circ}\text{C}$ . Ponadto atmosfera jest bardzo rozrzedzona. Natężenie pola grawitacyjnego na powierzchni jest prawie 7 razy mniejsze niż na Ziemi i tyleż razy mniej tu ważymy. Powierzchnia globu jest ciemnoszara z brązowymi i jasnymi pasmami. Czapy polarne utworzone z cienkiej warstewki lodu sięgają do  $45^{\circ}$  szerokości. Gdzieś w oddali widzimy też wielki ciemny obszar o średnicy około 3200 km, który powstał po uderzeniu bardzo dużego meteorytu.

A co słyhać na trochę mniejszym księżycu Io? Krąży on bliżej Jowisza, w odległości około 0,42 mln km, z szybkością 17,3 km/s, obiegając go w czasie 1,77 dni ziemskich. Na jego powierzchni, powstałej z zastygłej lawy, temperatura jest bardziej znośna niż na Ganimedecie – wynosi jedynie minus  $110^{\circ}\text{C}$ . Io jest dość nietypowo zabarwiony, na jego powierzchni widoczne są rozległe plamy o barwach żółtych, jasnobrązowych i żółtozielonych. Barwy te łagodnie przechodzą jedne w drugie. Rozrzedzoną atmosferę tworzą głównie cząsteczki dwutlenku siarki, sodu i atomy wodoru. Zatrzymaliśmy lądownik. Oto w oddali zauważyliśmy coś dziwnego – z dużej szczeliny w skorupie wystrzeliła w górę na wysokość kilkudziesięciu kilometrów żółto-brązowa fontanna. To wybuch jednego z około 10 wulkanów siarkowych znajdujących się na Io. Zaraz po tym nastąpił drugi, jeszcze potężniejszy. Materia wyrzucona na wysokość ponad 200 km utworzyła jakby rozległy pióropusz i powoli opada na okoliczny teren. Bliżej wulkanu rozlewa się i stygnie lava skalna, a dalej od wulkanu opada ciekła siarka. W otoczeniu lądownika mamy już na powierzchni świeżą skorupkę siarkową. Takie efektowne zjawiska są wynikiem tego, co dzieje się

we wnętrzu księżycy. Żelazo-niklowe jądro księżycy otoczone jest półpłynnym, miękkim płaszczem z krzemianowych skał. Skorupa o grubości około 25 km jest złożona ze skał bazaltowych oraz dużej ilości minerałów siarkowych i siarki. Gdy księżyc pędzi po orbicie, olbrzymia siła grawitacyjna Jowisza przesuwa i rozgrzewa miękką materię krzemianową we wnętrzu Io. Materia ta w postaci lawy jest wyrzucana na zewnątrz. We wnętrzu księżycy zachodzą więc przypływy i odpływy ku powierzchni. Skutek jest taki, że w rejonie przyrównikowym powierzchnia „faluje”, cyklicznie unosząc się i opadając o kilkadziesiąt metrów – tak jak falują powierzchnie oceanów na Ziemi w czasie przypływów i odpływów. Silne i obracające się pole magnetyczne Jowisza działa też na cząstki atmosfery księżycy. Część cząsteczek jonizuje się i tworzy naelektryzowaną plazmę, która razem z księżycem pędzi wokół Jowisza. Tworzy ona jakby „torus” i jej ruch można uznać za prąd elektryczny płynący wokół Jowisza. Natężenie tego prądu przekracza nawet 2 mln A.

Gdy z powierzchni Io spoglądamy na Jowisza, widzimy go jeszcze większego niż poprzednio z powierzchni Ganimesesa. Średnica kątowna olbrzyma wynosi około 38 średnic tarczy słonecznej dostrzeganej z Ziemi. Tu z jeszcze większym podziwem, pokorą i obawą oglądamy ogromne cyklony w atmosferze, kaskady błyskawic i pulsujących barwami zórz.

**Z czterech dużych księżyców Europa jest najmniejsza – ma 3140 km średnicy.**

Sprawdźmy jeszcze, jakie warunki panują na Europie. Księżyc ten krąży wokół Jowisza w odległości około 0,67 mln km, czyli pomiędzy Ganimesesem a Io,

z okresem 9,55 dób ziemskich. Powierzchnia jest tylko lekko pofałdowana, nie widać większych gór, rowów i kraterów. Europę pokrywa lód, którego grubość może sięgać nawet 4 km. Pod tą lodową skorupą kryje się ocean wody o głębokości sięgającej być może nawet 100 km. Zawiera on 2 razy więcej wody niż wszystkie oceany Ziemi. We wnętrzu księżycy woda przemieszcza się ciągle pod wpływem grawitacji Jowisza. Wskutek tych oddziaływań pływowych woda w oceanie się podgrzewa. Przypuszcza się, że w tym oceanie mogą istnieć organizmy, które nie potrzebują do metabolizmu światła, a jedynie składników mineralnych. Przecież tak funkcjonujące organizmy żyją na bardzo dużych głębokościach w ziemskich oceanach, gdzie światło słoneczne już nie dochodzi.

Odwiedzamy jeszcze czwarty wielki księżyc Jowisza – Kallisto, który znajduje się najdalej od Jowisza, bo w odległości 1,88 mln km i obiega go w czasie 16,7 dni ziemskich. Jest prawie takiej wielkości jak planeta Merkury. Kallisto jest kulą lodową z wieloma kraterami uderzeniowymi. Pod grubą skorupą znajduje się wodny ocean, a w centrum – skaliste jądro. Temperatura na powierzchni wynosi nieprzyjemne minus 140°C.

Spoglądamy na niebo. Gdzieś w oddali widać jaskrawą tarczkę Słońca, która jest około 5 razy mniejsza niż ta widoczna z Ziemi. Pobliski Jowisz świeci znacznie jaśniej niż Księżyc w pełni na ziemskim niebie. Czasem, gdzieś w okolicach Słońca, można dostrzec Marsa jako poranną lub wieczorną „gwiazdkę”. Ziemi – znajdującej się bliżej tarczy słonecznej – nie widać. Ale obieramy kurs na Ziemię. Czas wracać do domu.

## Sześćdziesiąt lat niepewności. Feynman w poszukiwaniu rekoneksji

*Jakub KOPYCIŃSKI\**

\*Doktorant, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

Cierpliwość. Tego nie można odmówić fizykom. Wyobraźmy sobie, że na potwierdzenie istnienia niektórych zjawisk trzeba czekać dziesiątki lat. Dziś przyjrzymy się dokładniej jednemu z nich. Przekonajmy się, co się stanie, jeśli będziemy mieszać bardzo zimny gaz, a potem nim potrząśniemy.

Wybermy się na chwilę w podróż do najchłodniejszego miejsca we Wszechświecie. Czy przyda nam się do tego rakieta i skafander kosmiczny? Nie, bowiem znajduje się ono tu, na Ziemi. I to nie jedno, a ponad setka. W tyłu bowiem laboratoriach rozsiansych po całym świecie naukowcy są w stanie schłodzić atomy. Chłodzą je do temperatur miliardy razy niższych niż temperatura wypełniającego kosmiczną pustkę relikowego promieniowania tła.

Eksperyment zaczynamy od złapania gazu w pułapkę. Następnie obniżamy jego temperaturę, aż stanie się ona bardzo bliska zera bezwzględного. Żeby uniknąć przejścia do stanu ciekłego lub stałego, nasz gaz musi być bardzo rozrzedzony.

Kiedy obniżamy temperaturę, widzimy, że klasyczny opis atomów jako kul zawodzi. I tu z pomocą przychodzi nam fizyka kwantowa ze swoim zestawem narzędzi. Okazuje się, że z dobrym przybliżeniem możemy powiedzieć, że wszystkie cząstki w naszym układzie zajmują najniższy energetycznie stan o praktycznie zerowym pędzie.

Więcej o tych wyrafinowanych metodach chłodzenia atomów można przeczytać w artykule Krzysztofa Pawłowskiego pt. „Kondensat Bosego-Einsteina: o najzimniejszych atomach świata”,  $\Delta_{14}^{10}$

Obsadzenie przez wiele cząstek tego samego stanu o najniższej energii jest możliwe tylko w przypadku atomów o spinie całkowitym – te atomy nazywamy bozonami. Przypadek atomów o innym spinie (tj. półowkowym), zwanych fermionami, jest nieco trudniejszy. Wtedy pod pojęciem cząstki kryje się para luźno związanych atomów, zwana parą Coopera.