

GWIAZDA ŻYCIA

Słońce uformowało się ok. 4,567 mld lat temu. Dziś znajduje się w wieku średnim. W ciągu sekundy przetwarza 620 mln ton wodoru.

WODÓR I HEL

Około trzech czwartych masy Słońca tworzy wodór, resztę stanowi głównie hel. Pozostałe 1,69 proc. tworzą cięższe pierwiastki, m.in. tlen, węgiel, neon i żelazo

MASA UKŁADU

Jest prawie idealnie kuliste, ma średnicę ok. 1 392 684 km, ok. 109 razy większą niż Ziemia, a jego masa, ok. 333 tysięcy razy większa niż masa Ziemi, stanowi około 99,86 proc. całkowitej masy Układu Słonecznego

PRZODEM PO ZMIERZCHU

W Devon w amerykańskim stanie Connecticut prawo zabrania chodzenia do tyłu po zachodzie Słońca. Niewyjaśnione pozostaje, czemu właśnie w Devon ludzie odczuwali tak nieodpartą ochotę poruszania się wspak po zmierzchu, że musiało się to doczekać regulacji ustawowej.

CHŁODNY ŚRODEK

Powierzchnia Słońca rozgrzana jest do temperatury 5-6 tys. st. C, a atmosfera otaczająca gwiazdę ma temperaturę ponad 2 mln stopni.

CORAZ CIEPLEJ

Wypromieniowywana przez Słońce energia zwiększa się o 10 proc. co miliard lat. W przyszłości stanie się tak gorące, że zniszczy wszelkie życie na Ziemi - a przynajmniej życie oparte na wodzie, bo wszelka woda wyparuje z powierzchni naszej planety.

Nauka dla każdego

Co z tym Słońcem?

Irena Cieślińska, fizyk

Gazeta Wyborcza; 21 lipca 2015

To pytanie najczęściej zadawane w wakacje: będzie słońce czy nie będzie? Z lubością grzejemy się w cieple pochodzącym z fuzji jądrowej naszej gwiazdy, a co o niej tak naprawdę wiemy? Rozszczelnia gazociągi, zrzuca satelity, wywołuje pożary, resetuje komputery, niszczy dane, utrudnia łączność i - jak utrzymują niektórzy - podlega do rewolucji.

Jeszcze kilkadziesiąt lat temu wydawało się nie mieć przed astronomami większych tajemnic. Bo w końcu cóż prostszego niż wielka kula gazu, skupiona siłami grawitacji, poddana znanym regułom łączącym ciśnienie i temperaturę. Fuzja termojądrowa, będąca źródłem nieprawdopodobnej wręcz ilości energii produkowanej przez gwiazdy, została opisana już w 1939 r. Modele gwiazd opracowane w latach 50. przez długi czas wydawały się tak

doskonałe, że wiele podręczników astronomii dumnie deklarowało, iż wewnątrz Słońca zostało poznane lepiej niż wewnątrz Ziemi.

Jednak przy bliższym poznaniu nasza gwiazda okazała się mieć naturę dalece bardziej skomplikowaną. I jak się dziś wydaje, wiemy o Słońcu... coraz mniej. Albo też coraz więcej wiemy o tym, czego nie wiemy. Kiedy tylko jedna z tajemnic zostaje rozwikłana, na jej miejsce pojawiają się inne.

Z całą pewnością Słońce dostarczy astrofizykom pracy jeszcze na długie lata. Jak długie? Dopóki starczy wody na Ziemi, czyli dopóki - za jakiś miliard lat - Słońce nie rozgrzeje się do tego stopnia, że wysuszy naszą planetę.

Dlaczego jest takie gorące?

Nie ma wyraźnej powierzchni, jak Ziemia. Widoczny na wielu fotografiach ostry "rancik" otaczający gwiazdę jest tylko złudzeniem. Im dalej od środka ognistej kuli, tym bardziej rozrzedzony staje się formujący ją gaz. Od pewnego miejsca ten gaz jest tak rzadki, że staje się przejrzysty.

Przyjęto się mówić, że w tym miejscu zaczyna się atmosfera Słońca. Jej najbardziej zewnętrzna część, rozciągająca się miliony kilometrów od niego, to tak zwana korona. Widać ją znakomicie podczas całkowitego zaćmienia. Ma bardzo małą gęstość, lecz jest bardzo rozległa - obejmuje przestrzeń o średnicy kilkudziesięciu promieni Słońca.

Z przyczyn, które wciąż stanowią zagadkę, temperatura korony jest 400 razy wyższa niż powierzchni Słońca. O ile powierzchnia rozgrzana jest do temperatury 5-6 tys. st. C, o tyle atmosfera otaczająca Słońce ma temperaturę ponad 2 mln stopni! Słońce jest niczym kostka lodu otoczona płomieniem.

To jest niewypowiedzianie dziwne i dotąd niewyjaśnione. Dlaczego bliżej Słońca jest chłodniej niż w skrajnej koronie? Przecież w pobliżu ogniska jest cieplej niż z dala od niego. Owszem, to Słońce z całą pewnością rozgrzewa koronę, ale jakim cudem ciepło płynie z obszaru chłodniejszego do gorętszego?

Starając się odgadnąć, jak przekazywana jest energia z wnętrza Słońca do jego korony, fizycy rozważali różne mechanizmy. Najpierw podejrzewali fale akustyczne wywołane turbulencjami na powierzchni gwiazdy, ale obserwacje przy użyciu orbitalnej stacji Skylab w 1970 r. pokazały, że tylko nieznaczna ilość energii akustycznej mogłaby w ten sposób tam dotrzeć. Potem zwrócili uwagę na fale magnetohydrodynamiczne (tzw. fale Alfvéna), ale te wydają się przenikać przez słoneczną koronę bez rozpraszania i pozostawiania energii. Niemniej temperatura korony słonecznej jest największa tam, gdzie pole magnetyczne osiąga największe natężenie, więc z pewnością rozwiązanie zagadki będzie musiało uwzględnić magnetyzm gwiazdy.

Najwięcej informacji przynosi przyglądanie się Słońcu w ultrafiolecie i promieniach Roentgena, bo takie właśnie promieniowanie o wysokiej energii emitują ciała bardzo rozgrzane. Ponieważ jednak to promieniowanie jest silnie rozpraszane przez ziemską atmosferę, musi być obserwowane spoza Ziemi. Dziś dryfująca 1,5 mln km nad powierzchnią naszej planety sonda SOHO bezustannie mierzy szybkość zmian pola magnetycznego tarczy słonecznej, zmiany promieniowania Słońca, temperaturę jego powierzchni i korony, przepływ plazmy, siłę i skład wiatru słonecznego. Fotografuje i przesyła na Ziemię fantastyczne obrazy gigantycznych pęcherzy plazmy wyrzucanych z korony. Te wszystkie dane pozwalają budować coraz doskonalsze modele opisujące fenomen słonecznej korony -

uwzględniające złożony układ fal magnetycznych i akustycznych przekazujących energię plazmie.

Dlaczego jest takie zimne?

Dr Weronika Śliwa, szefowa warszawskiego planetarium Niebo Kopernika, zastanawia się nad inną zagadką. Skąd się bierze 11-letni cykl aktywności słonecznej, mierzony rosnącą i spadającą liczbą pojawiających się na nim plam? I dlaczego czasami ten cykl zamiera?

To ostatnie pytanie jest szczególnie ciekawe w epoce globalnego ocieplenia. Sądząc z historycznych zapisów obserwacji, cykl słoneczny zupełnie zamarł w latach 1645-1715. Tak się składa, że było wówczas wybitnie zimno. Okres ten nazywamy małą epoką lodowcową, a legendy mówią, że Bałtyk zamarzał wówczas na tak długo i tak solidnie, że opłacało się nawet budować karczmy na lodzie wzdłuż przeprawy między Polską a Szwecją. Jak to z legendami bywa, nie wszystko jest w nich prawdą. Bałtyk zamarzał, ale nie cały i nie na bardzo długo, a karczmy owszem, stawiano, ale przy brzegu, a nie na środku morza.

Niemniej - było zimno. Przyrosty roczne drzew z tamtego okresu są znacznie cieńsze niż przyrosty drzew z lat wcześniejszych i późniejszych, co świadczy o tym, że warunki stały się znacznie surowsze - krótsze, chłodne lata i dłuższe zimy. Jedną z legend tłumaczy fenomen dźwięku stradivariusów tym, że mistrz używał drewna z drzew rosnących na stokach Alp w epoce małego zlodowacenia, a te miały gęściejsze słoje.

Czy faktycznie Słońce miało wtedy inną aktywność? I na czym to polegało? Wiemy, że w tym czasie plamy na naszej gwiazdzie praktycznie się nie pojawiały albo działo się to sporadycznie. Podejrzewamy też (na podstawie relacji z zaćmień), że praktycznie nie widać było korony. Zapewne nie obserwowano również zórz polarnych.

Jeśli aktywność słoneczna wówczas spadła, to czy może się to zdarzyć jeszcze raz? Jak to przewidzieć? Nie sposób cofnąć się w czasie, żeby jeszcze raz obejrzeć nietypowe okresy dziejów naszego Słońca - tłumaczy dr Śliwa. - Ale próbujemy szukać podobnych gwiazd i je obserwować.

Gdzie ono ma rodzeństwo?

Podobnych gwiazd, czyli jakich? O zbliżonej jasności, temperaturze i w podobnym wieku (z astronomicznego punktu widzenia, czyli z dokładnością do mniej więcej - bagatela - miliarda lat). Poza tym samotnych - jako że i Słońce nie ma towarzysza - oraz o zbliżonym składzie chemicznym. Najlepiej jeszcze takich, które nie są położone zbyt daleko (bo łatwiej je badać). A w ogóle najcenniejsze są prawdziwe słoneczne krewniaczki, czyli gwiazdy, które zrodzone zostały 5 mld lat temu z tego samego obłoku gazu i pyłu co nasza gwiazda.

Mniej lub bardziej podobnych do Słońca gwiazd znamy już całą listę - poczynając od oddalonych o dziesięć lat świetlnych epsilon Eridani czy tau Ceti. Krewniaczkę znamy na razie tylko jedną. Jest nią HD 162826 z konstelacji Herkulesa. Podobna do Słońca niemal jak dwie krople wody, identyczna pod względem składu chemicznego i tylko o 15 proc. bardziej masywna. Dzieli nas od niej 110 lat świetlnych.

Warto się jej przyglądać, jak również szukać pozostałych krewniaczków - powinno ich być, porozrzucanych po całej okolicy, nawet 100 tys.!

Obserwacje słonecznego rodzeństwa mogą wyjaśnić, na ile ustabilizowany charakter mają słońcopodobne. Czy często im się zdarza zamierać, jak naszemu Słońcu podczas małej epoki lodowcowej? Jak często występują na nich megarozbłyski, które przynoszą drastyczny wzrost aktywności?

Prof. Janusza Sylwestra, kierownika Zakładu Fizyki Słońca z Centrum Badań Kosmicznych PAN, szczególnie nurtuje pytanie, czy takie potężne rozbłyski mogą się zdarzać na Słońcu - i jak przewidzieć, że nadchodzą.

Skąd ten cały wiatr?

Korona słoneczna wypełnia przestrzeń wokół słoneczną delikatnym obłokiem zjonizowanej materii. W pewnej odległości od gwiazdy - tam, gdzie słabnie pochodzące od niej przyciąganie - ciśnienie rozgrzanego do milionów stopni Celsjusza gazu pokonuje grawitację i wytwarza wiatr, którego prędkość osiąga wartości naddźwiękowe. W ciągu jednej sekundy ten wiatr wywiewa ze Słońca milion ton materii.

Wiatr słoneczny miewa silniejsze i słabsze podmuchy. Czasem wieje z prędkością 400 km/s, a czasem niemal dwukrotnie większą. Wolniejsza, regularna składowa to po prostu "parowanie" gorącej korony. A co powoduje gwałtowniejsze zrywy słonecznego wiatru? Tego też do końca nie wiadomo. Prawdopodobnie ma to związek z polem magnetycznym Słońca - wiatr emitowany w płaszczyźnie słonecznego równika jest słabszy niż ten, który "dmucha" z biegunów. Gwałtowne uderzenia wiatru słonecznego niosącego miliardy ton zjonizowanej materii zmieniają pole magnetyczne wokół Ziemi i wywołują burze magnetyczne.

Najgorsza kosmiczna pogoda przypada na ogół na występujące co 11 lat maksimum aktywności Słońca. Gdy zwiększona dawka promieniowania ultrafioletowego i rentgenowskiego dociera do Ziemi, powoduje zaburzenia w górnych warstwach atmosfery, przez co silniej zaczynają być pochłaniane niektóre długości fal radiowych - przede wszystkim te, które używane są do komunikacji z satelitami. Zawodne stają się więc systemy łączności i lokalizacji GPS.

To promieniowanie także nagrzewa i powoduje rozszerzanie się górnych warstw atmosfery - do tego stopnia, że zaczyna ona zahaczać o krążące na niskich orbitach satelity, a powstałe tarcie przyspiesza ich hamowanie i upadek. Ten efekt m.in. przyczynił się do przedwczesnego zakończenia służby laboratorium Skylab w 1979 r.

Zmiany pola magnetycznego Ziemi w czasie burz słonecznych indukują przepływ prądu w długich metalowych przedmiotach, np. rurociągach lub drutach telegraficznych. W XIX wieku zdarzały się przypadki porażenia prądem telegrafistów czy samoistnego zapalania się papieru w telegrafie (był on nasączany łatwopalną substancją chemiczną).

W obszarach podbiegunowych dodatkowe skoki prądu wygenerowane w sieci energetycznej powodują awarie - jedna z większych miała miejsce 13 marca 1989 r., kiedy to blisko 6 mln Kanadyjczyków straciło zasilanie w domach. Pięć miesięcy później, w sierpniu 1989 r., burza słoneczna wyłączyła giełdę w Toronto, zakłócając działanie komputerów. A niekontrolowane prądy płynące w rurociągach powodują ich korozję i rozszczelnienie.

Rosyjscy historycy przekonują, że magnetyczne burze przynoszą też niepokoje polityczne - rewolucja francuska, powstanie Komuny Paryskiej i obie rewolucje w Rosji przypadły na okres maksimum aktywności Słońca. Trzeba jednak dodać, że teoria o wpływie Słońca na politykę nie zyskała jednak popularności nigdzie poza swoją ojczyznę.

Trudno powiedzieć, czy faktycznie Słońce podlega do rewolucji, bezwzględnie jednak jego niepokój udziela się zwierzętom orientującym się według kierunku pola magnetycznego Ziemi. Podczas burz słonecznych przerywa się m.in. zawody gołębi pocztowych, bo wiele ptaków się gubi i nie dociera do celu.

Choć badania nowozelandzkich lekarzy sugerują, że czasie burz na Słońcu o ponad jedną piątą wzrasta ryzyko udarów mózgu, to wciąż brakuje niezbitych dowodów na to, że kosmiczna pogoda wpływa na nasze zdrowie. Z pewnością jednak pozostaje nieobojętna dla zdobyczy naszej techniki, bo z każdym nowym wynalazkiem robimy się coraz bardziej zależni od Słońca.

Śmierć Słońca

Jest żółtym karłem produkującym energię w wyniku fuzji jądrowej, łącząc jądra wodoru w hel. Weszło właśnie w stateczny wiek średni, jak na gwiazdę tego typu. Ma teraz 4,6 mld lat i od czasu swego ostatecznego uformowania zwiększyło swój promień o blisko 12 proc., temperatura wnętrza wzrosła o 16 proc., a jasność - o mniej więcej 40 proc. Staje się coraz gorętsze.

Minie jeszcze kolejnych 5 mld lat, zanim spali niemal cały zapas wodoru zgromadzony w jądrze, zamieniając go w hel, i przekształci się w czerwonego olbrzyma. Pochłonie wtedy Merkurego i Wenus i 150 razy zwiększy swoje rozmiary.

Ziemia pokryje się oceanami roztopionych skał, a naszym potomkom być może uda się w międzyczasie "przesiąść" na któryś z księżyców Jowisza lub Saturna, by stamtąd oglądać dalszą część spektaklu.

Jako czerwony olbrzym Słońce przetrwa prawdopodobnie jeszcze kolejny miliard lat, a gdy wypali zapasy helu, skurczy się i przekształci w białego karła. Zachowa blisko połowę swej potężnej masy, ale w objętości porównywalnej z objętością kuli ziemskiej. Będzie więc miało ogromną gęstość - łyżeczka materii białego karła może mieć masę kilkuset kilogramów.

Zewnętrzne warstwy gwiazdy zostaną zaś wyrzucone w przestrzeń i utworzą mgławicę planetarną, którą wiatr słoneczny uformuje w najwymyślniejsze kształty. Podświetlona od wewnątrz przez rozgrzanego do 100 tys. st. C karła, będzie się z daleka wspaniale prezentować. Jako ostatnia pamiątka po potężnym niegdyś Układzie Słonecznym, na którego trzeciej planecie powstała dumna cywilizacja ludzi.

Co wiemy o Słońcu

*** W ciągu jednej sekundy wytwarza mniej więcej 10^{23} kWh**, czyli około miliona razy więcej, niż cała ludzkość zużywa w ciągu roku. W każdej sekundzie zamienia w energię ponad 4 mln ton swojej masy. Od chwili narodzin zdążyło przekształcić w energię masę około stu mas Ziemi, co jednak szczególnie nie uszczupliło jego tuszy. Jest naprawdę wielkie, o wiele większe, niż możemy sobie wyobrazić. Ma masę 333 tys. razy większą od Ziemi, a konkretnie 1 989 100 000 000 000 000 000 mld kg, co stanowi 99,86 proc. masy całego Układu Słonecznego. Ach, brakujące 0,14 proc. to w zasadzie w całości masa Jowisza. Inne planety - w tym nasza - nie liczą się w tym rachunku.

*** Byłbyś naprawdę bardzo ciężki, gdybyś stanął na powierzchni Słońca.** Przyciąganie Słońca jest 28 razy silniejsze niż przyciąganie Ziemi, więc człowiek o masie 75 kg ważyłby na Słońcu 2,1 tony (oczywiście nikt nie wybiera się, by zrobić pierwszy kroku na Słońcu, i to nie tylko dlatego, nie ma tam twardej powierzchni, jak na Ziemi).

*** Mimo że tak masywne, jest jednak całkiem żwawe.** Porusza się z prędkością 220 km/s wokół środka naszej Galaktyki. Ale że mieszkamy na obrzeżach Drogi Mlecznej, od centrum dzieli nas 24-26 tys. lat świetlnych; jedno okrążenie orbity zajmuje Słońcu blisko 250 mln lat.

*** Jego promień jest 109 razy większy od promienia Ziemi.** Do środka Słońca można by więc wpakować 1,3 mln kul ziemskich. To dużo? Jak na gwiazdę raczej mizernie. Największe znane

nam gwiazdy umieszczone w centrum Układu Słonecznego sięgałyby swoimi granicami aż do Saturna.

* **W środku Słońca panują zaiste piekielne warunki** - temperatura sięga 15 mln Kelwinów. Gaz zgnieciony jest ogromnym ciężarem słonecznej materii do gęstości 151 g/cm sześć., 13 razy większej niż gęstość ołowiu.

* **Jest prawie idealną kulą** - odległość od środka Słońca do bieguna jest o zaledwie 10 km mniejsza niż odległość do równika. Składa się głównie z wodoru (74 proc.) i z helu (24 proc.). Tylko niecałe 2 proc. to żelazo, nikiel i tlen.

* **Jest całkiem jasne.** Gdyby porównać 50 najbliższych nam gwiazd położonych nie dalej niż kilkanaście lat świetlnych od nas, Słońce zajęłoby wśród nich czwarte miejsce pod względem jasności. Oczywiście, są gwiazdy znacznie od niego jaśniejsze - eta Carinae czy Betelgeza. Ba! Nawet na Ziemi nietrudno o jaśniejsze obiekty - Sky Beam, reflektor wycelowany w niebo z dachu hotelu Luxor w Las Vegas, ma jasność przewyższającą jasność promieni słonecznych.

* **Co 11 lat jego bieguny magnetyczne - północny i południowy - zamieniają się miejscami.** Zamiana zaczyna się wówczas, gdy Słońce osiąga maksimum aktywności.

* **Wyzwała kichanie.** Wprawdzie nie u każdego, ale mniej więcej co trzeci człowiek, kiedy patrzy na Słońce, czuje kręcenie w nosie. Arystoteles uważał, że to dlatego, iż słońce ogrzewa nos. Dziś wiemy, że winne jest najpewniej "skrzyżowanie" nerwów wzrokowego i trójdzielnego. Podrażnienie nerwu wzrokowego przekłada się na zwiększoną aktywność nerwu trójdzielnego, który wyzwała kichanie.

* **Gdyby nagle zniknęło, dowiemy się o tym po 500 sekundach.** Tyle potrzebuje światło, żeby dotrzeć na Ziemię.

* **Nie jest żółte.** Jest białe. Wydaje się żółte, ponieważ niebieska część światła słonecznego rozprasza się w atmosferze (dzięki czemu niebo jest niebieskie).

Irena Cieślińska, fizyk