

Niewiele zjawisk astronomicznych może się szczycić wielowiekową historią obserwacji. Należą do nich najbardziej widowiskowe przejawy aktywności słonecznej — plamy. Jest to fenomen, który w sprzyjających warunkach można dostrzec bez pomocy jakichkolwiek instrumentów. Duże grupy plam są widoczne w postaci ciemnych „łatek” na tarczy Słońca, gdy tylko jego blask jest dostatecznie osłabiony, by patrzeć nań bezkarnie (np. podczas wschodu i zachodu). Nic więc dziwnego, że tak naprawdę nie wiadomo, kiedy po raz pierwszy człowiek zobaczył plamy słoneczne.

Pierwsze w kręgu kultury śródziemnomorskiej obserwacje plam przypisuje się uczniowi Arystotelesa, Teofrastowi z Eresos. Jego spostrzeżenia pozostały jednak niezauważone przez współczesnych i zapomniane przez potomnych. Stało się tak zapewne ze względu na wielki autorytet jego mistrza. Przekonanie Arystotelesa o absolutnej doskonałości Słońca było bezkrytycznie przyjmowane przez wiele pokoleń. W niektórych epokach niedopuszczalne były przypuszczenia o jakiegokolwiek skazie na tarczy naszej gwiazdy, a za głoszenie innych poglądów ryzykowało się życiem. Prawdopodobnie dlatego przez długie wieki nie znajdziemy w Europie zapisków dotyczących plam słonecznych. W innych rejonach świata sytuacja przedstawiała się inaczej (z punktu widzenia naszych zainteresowań — lepiej).

Teofrast z Eresos (370—287 r.p.n.e.), uczonej i filozof grecki. Rozbudował metodę obserwacji naukowej i stosował ją w badaniach. Jego imię weszło do historii nauki nie z powodu przypisywanych mu obserwacji plam słonecznych, lecz dzięki badaniom w dziedzinie biologii. Zyskał miano ojca botaniki.

W bardzo starych kronikach chińskich można znaleźć zapiski o latających na tle zachodzącego Słońca olbrzymich ptakach. Wydaje się, że teksty te mówią o plamach, choć z drugiej strony olbrzymia niejednoznaczność symboliki chińskiej każe zachować pewną rezerwę. Dlatego też za pewniejszą datę początku obserwacji plam przyjmuje się rok 28 p.n.e., kiedy powstał pierwszy zapis, co do którego nie ma takich wątpliwości. Od tego czasu w Chinach, a później w Korei i Japonii prowadzone były systematyczne obserwacje plam na Słońcu. Niewiele wiemy na temat ówczesnych interpretacji tego zjawiska oraz jego znaczenia w życiu religijnym, społecznym czy też politycznym. Było to jednak ważne wydarzenie, gdyż starannie odnotowywano obserwacje pojawiających się na Słońcu co jakiś czas ciemnych skaz. Zapiski takie, prowadzone przez ponad półtora tysiąca lat, stanowią spory materiał obserwacyjny. Do 1638 roku sporządzono 112 zapisów, które stanowią nie tylko ciekawostkę historyczną. Okazało się, że można je wykorzystać w badaniach długookresowych zmian aktywności Słońca.

Dla Europy plamy nie istniały aż do XVII wieku. Od tego czasu astronomowie, mając już do dyspozycji lunety, coraz częściej obserwowali Słońce, gdzie dostrzegali ciemne plamy. Wprawdzie akurat wtedy Słońce przechodziło ponad siedemdziesięcioletni okres zaniku aktywności (plamy pojawiały się stosunkowo rzadko), jednak występowanie plam wymagało jakiegoś wyjaśnienia. Pomysłów powstało bardzo wiele. Miały to być przejścia dotychczas nie znanych planet dolnych na tle tarczy Słońca. Proponowano nawet dla nich nazwy.

Inna klasa hipotez wiązała obserwowane zjawisko bezpośrednio ze Słońcem. Hipotezy te powstawały, oczywiście, po przełamaniu przekonania o absolutnej doskonałości Słońca. Uważano plamy bądź to za ciemne obłoki w atmosferze, bądź też za dziury w ognistych chmurach, poprzez które widoczna miała być chłodna, ciemna, stała i zamieszkała powierzchnia Słońca. Cokolwiek byśmy pomyśleli o tych pomysłach, były z pewnością bardziej

poprawne niż poprzednie. Właśnie dlatego, że wiązały plamy ze Słońcem.

Począwszy od drugiej połowy XVIII wieku plamy słoneczne zaczęły budzić coraz większe zainteresowanie. Obserwowano je częściej i systematyczniej, co w końcu doprowadziło do odkrycia znanego dzisiaj wszystkim cyklu aktywności słonecznej. Dokonał tego Heinrich Schwabe, który w 1843 roku zauważył, że średnia liczba plam na Słońcu zmienia się okresowo co kilkanaście lat. Odkrycie to jest uważane za początek badań aktywności naszej gwiazdy, chociaż minęło jeszcze trochę czasu, zanim przekonano się, że plamy są tylko jedną z wielu cech generalnej własności Słońca — aktywności magnetycznej. Rozwój wiedzy w tej dziedzinie, jaki nastąpił w latach czterdziestych bieżącego stulecia, trochę jakby zmniejszył pierwszorzędną rolę plam. Fenomen obserwowany od dwóch tysięcy lat stał się jednym ze szczegółów tajemniczego mechanizmu, który ciągle jeszcze poznajemy.

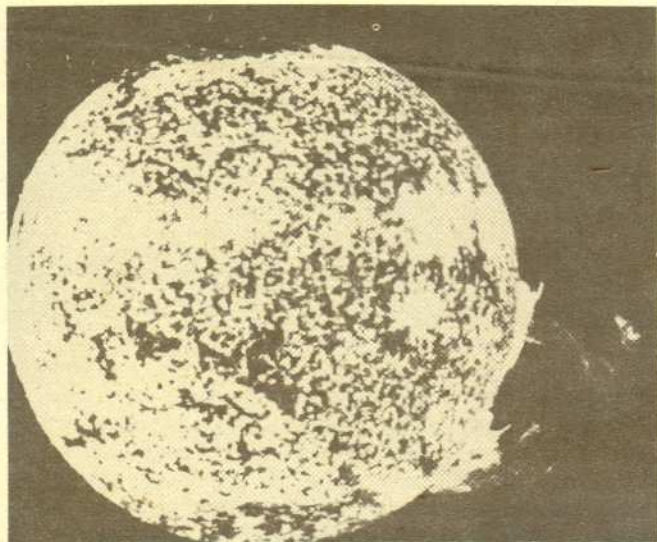
Obok plam istnieje wiele innych zjawisk i procesów składających się na aktywność Słońca. Łączy je wspólna cecha — wszystkie są skutkiem istnienia pola magnetycznego i jego oddziaływania z materią. Rodzaj efektu wywołanego przez pole zależy od stanu, w jakim znajduje się materia (gęstość, temperatura, prędkość). Zanim więc poznamy dalsze zjawiska, przyjrzyjmy się pokrótce budowie Słońca, w szczególności zaś obszarom, w których zjawiska te występują.

Schematycznie struktura Słońca przedstawia się następująco. Kula o promieniu około 0,25 promienia Słońca ($R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^5$ km) stanowi jądro, w którym zachodzą procesy nuklearne będące źródłem energii wyświecaną przez gwiazdę. Pokrywa je otoczka, w której w naturalny sposób można wyróżnić dwa obszary. W jądrze i wewnętrznej części otoczki, do odległości około 0,8 R_{\odot} od centrum, transport energii w kierunku powierzchni odbywa się przez promieniowanie. Obszar, w którym już nie zachodzą procesy termojądrowe, leżący bezpośrednio nad jądrem, to część promienista otoczki. Możemy ją sobie wyobrazić jako zbiór cienkich sferycznych warstw utworzonych przez spoczywającą materię. Mówimy wówczas, że obszar taki znajduje się w równowadze hydrostatycznej. Energia dostarczana z jądra jest przenoszona z warstwy do warstwy przez promieniowanie. Oczywiście, nie narusza to równowagi hydrostatycznej — materia pozostaje w spoczynku.

W wyższych rejonach otoczki (powyżej 0,8 R_{\odot}) równowaga ta załamuje się. Panujące tam warunki sprawiają, że promieniowanie staje się mało wydajnym mechanizmem transportu energii. Jego rolę w dużym stopniu przejmuje burzliwa konwekcja. Ogromną część energii dostarczanej z wnętrza gwiazdy przenoszą gwałtownie wznoszące się ku powierzchni bąble gorącej materii. Miejsce wznoszących się bąbli zajmuje chłodniejsza materia spływająca z wyższych warstw. Opadając ogrzewa się, po czym ponownie wędruje do góry, gdzie przekazuje energię otoczeniu, itd., itd. Warstwa konwektywna otoczki, o grubości około 20% słonecznego promienia, praktycznie sięga powierzchni Słońca — fotosfery.

Fotosfera jest najniższą położoną, bardzo cienką (o grubości około 500 km), warstwą atmosfery. Tworzy obraz świecącej sfery (stąd jej nazwa) o wyraźnej, ostro zaznaczonej krawędzi. Większość docierającego do nas promieniowania Słońca powstaje właśnie w fotosferze. Możemy więc powiedzieć, że stanowi ona najgłębszą warstwę, którą jeszcze możemy oglądać. Z tego powodu, jak i ze względu na niewielką grubość, fotosferę utożsamia się z powierzchnią Słońca i, w ogólności, gwiazd.

Konwektywny ruch materii zachodzi również w fotosferze nadając jej specyficzny wygląd. Wznoszące się gorące bąble gazu świecą oczywiście intensywniej niż materia opadająca (chłodniejsza). Widzimy to na powierzchni w postaci jasnych „łatek” (gorące bąble) otoczonych ciemniejszymi, nieregularnymi pierścieniami (opadająca materia). Takie komórki konwektywne tworzą obraz granulacji przypominającej sieć o jasnych oczkach (fot. 1). Rozmiary oczek (granul) wynoszą od 100 do 1000 km.



Fot. 1

Na powierzchni widoczny jest także obraz konwekcji wielkoskalowej, zachodzącej głębiej, gdzie rozmiary komórek są znacznie większe niż granulę. Nie są to jednak jaśniejsze i ciemniejsze obszary, lecz rejony uporządkowanego pola prędkości. Ślad dużych komórek konwektywnych tworzą supergranule. Są to obszary o kształcie nieregularnych wielokątów, w których środku materia wypływa, a następnie przepływa poziomo do brzegów, gdzie opada. Rozmiary oczek supergranulacji wynoszą około 30 000 km. Zarówno granulacja, jak i supergranulacja mają ogromny wpływ na postać pola magnetycznego obserwowanego w fotosferze.

Obok konwekcji wpływ na niejednorodność fotosfery mają także zjawiska związane z aktywnością Słońca. Silnym zaburzeniem powierzchni są oczywiście plamy, które wyświecają na jednostkę powierzchni blisko 80% energii mniej niż otoczenie. Odpowiada temu niższa temperatura plam. Są o 1600—1800 K chłodniejsze od fotosfery, której średnia temperatura (z uwzględnieniem wahań związanych z granulacją) wynosi 5800 K. Plamy powstają na skutek pojawienia się silnego pola magnetycznego na powierzchni. Wprawdzie oddziaływanie pola z materią nie ogranicza się wyłącznie do warstw fotosferycznych, lecz tu efekt jest widoczny najwyraźniej.

Szczególnie ważnym obszarem, z punktu widzenia badań aktywności nie tylko Słońca, ale i innych gwiazd, jest chromosfera. Stanowi ona niejednorodną warstwę gazu leżącą między fotosferą a koroną. Jej podstawa jest utożsamiana z takim obszarem ponad fotosferą, w którym temperatura po osiągnięciu minimalnej wartości (na Słońcu $T_{min} = 4100$ K) rośnie z wysokością. W większej części chromosfery słonecznej temperatura wynosi około 10 000 K, by w tzw. obszarze przejściowym, pomiędzy chromosferą a koroną, gwałtownie wzrosnąć do około miliona stopni.

Chromosfera słoneczna oglądana na brzegu tarczy (podczas zaćmień Słońca lub za pomocą koronografu) przypomina

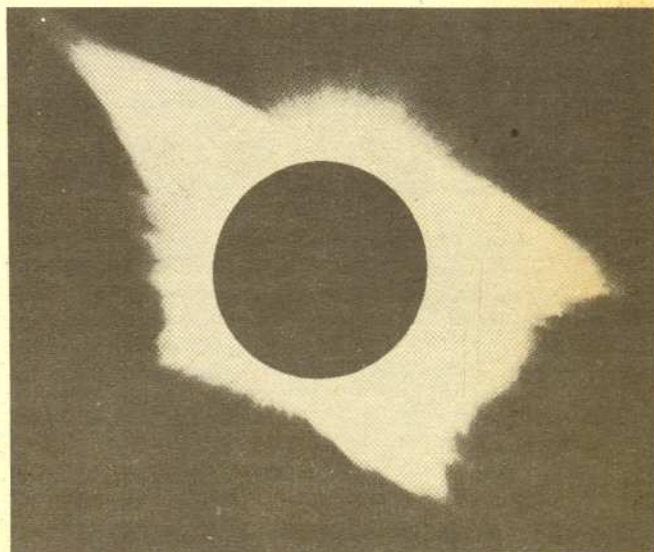
Linie widmowe wodoru serii Balmera odpowiadają przejściom między poziomem drugim a wyższymi. Oznacza się je literą H z indeksem, którym są kolejne litery greckiego alfabetu. I tak linię odpowiadającą przejściu elektronu ze stanu 2-na 3 oznaczamy H_{α} , linia H_{β} powstaje przy przejściu 2 \rightarrow 4, H_{γ} - 2 \rightarrow 5, itd.

postrzeżoną czerwoną otoczkę. Swą barwę zawdzięcza dużej intensywności wodorowej linii H_{α} o długości fali 6562,8 Å (a więc w czerwonej części widma). Natomiast postrzeżenie, czyli niejednorodność tej otoczki wiąże się ściśle z mechanizmem powodującym, że chromosfera jest gorętsza od fotosfery. Pod powierzchnią i w fotosferze materia znajduje się w ciągłym, bardzo gwałtownym ruchu, który może być źródłem fal mechanicznych. W efekcie część energii może być przeniesiona spod powierzchni do atmosfery w postaci fal. Tam energia fal jest zamieniana na energię termiczną, co powoduje wzrost temperatury gazu. Proces ten jest szczególnie wydajny, gdy zachodzi w obecności pola magnetycznego. Generowane wówczas tzw. fale hydromagnetyczne są odpowiedzialne w głównej mierze za wzrost temperatury i występowanie gorącej chromosfery i korony w atmosferach gwiazdowych.



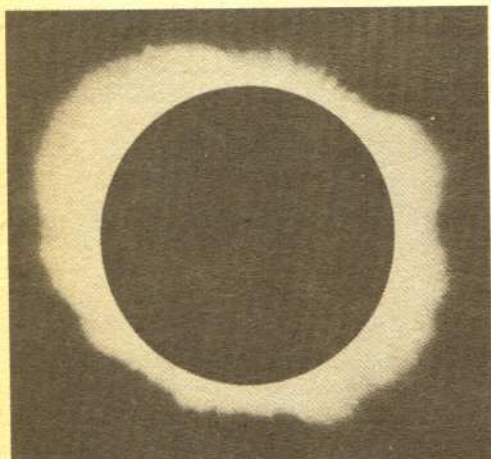
Koronograf jest przyrządem umożliwiającym obserwacje korony słonecznej dzięki wyeliminowaniu światła tarczy słonecznej za pomocą wypolerowanego stożka odbijającego promieniowanie na boki (patrz rysunek). Średnica stożka, tzw. sztucznego Księżyca, jest taka, że do ekranu dociera światło pochodzące wyłącznie z korony.

Warstwą leżącą jeszcze wyżej, obejmującą również układ planetarny, jest korona związana ze Słońcem przez pole magnetyczne. Świeci ona przede wszystkim rozproszonym promieniowaniem słonecznym. Koronę tworzy niezwykle rozrzedzony, silnie zjonizowany gaz, osiągający temperaturę 1—3 milionów stopni. Do czasu skonstruowania koronografu jej obserwacje można było prowadzić wyłącznie podczas całkowitych zaćmień Słońca — obecnie zaś każdego pogodnego dnia. Bardzo bogaty materiał obserwacyjny dostarcza wielu cennych wiadomości o kształcie i zmianach całej korony, a także o procesach zachodzących lokalnie. Grubość tej warstwy nie jest stale taka sama — bardzo silnie reaguje na zmiany aktywności Słońca. Podczas maksimum jest najbardziej rozbudowana (patrz fot. 2).



Fot. 2

Wiele strug białawej na tle czarnego nieba materii, rozciągających się od powierzchni Słońca do odległości $0,5-10R_{\odot}$, tworzy strukturę wysoce asymetryczną. Zwiększone strumienie cząstek uciekają wzdłuż linii sił pola magnetycznego tworząc wiatr słoneczny. W okresie minimum aktywności ilość strug maleje, a korona osiąga największy stopień symetrii (fot. 3). Przypomina pierścień o niewielkiej grubości otaczający Słońce. W skrajnym przypadku może w ogóle zanikać. Co prawda, współcześnie nie zdarzało się to jeszcze, jednak nasi przodkowie oglądali takie zjawisko. Z XVIII-wiecznych relacji wiadomo, że przez pewien czas, dziś wiemy, iż miało to miejsce podczas zaniku aktywności, Słońce nie miało korony. Jej pozostałość tworzyła, widoczny podczas zaćmienia, cienki pierścień wokół Księżyca.



Fot. 3

Szczególnie interesującym zjawiskiem występującym w koronie są protuberancje. Wszyscy chyba znają te jasne obłoki gazu wznoszące się ponad powierzchnię Słońca. Są przecież bardzo wdzięcznym tematem wielu fotografii, a także filmów popularno-naukowych przedstawiających ich ewolucję. Zwykle pojawiają

się w stosunkowo niewielkiej (w porównaniu z rozmiarami korony) odległości od powierzchni Słońca. Zdarzają się jednak i takie, które sięgają wysokości porównywalnych z promieniem naszej gwiazdy. Przykładem może być fotografia 4. Protuberancje mogą przybierać różne kształty. Tworzą jasne pętle, łuki czy też arkady. Formy, jakie przyjmują, zależą od kształtu lokalnego pola magnetycznego przenikającego atmosferę. Również pole decyduje o powstaniu i ewolucji protuberancji.



Fot. 4

Poznaliśmy już najważniejsze przejawy słonecznej aktywności oraz obszary atmosfery, w których zjawiska te występują. Wiemy, że swe istnienie zawdzięczają jednemu tylko czynnikowi — polu magnetycznemu. Aby zrozumieć naturę tych zjawisk i ich różnorodność, musimy wiedzieć coś o oddziaływaniu pola magnetycznego z plazmą: jakie efekty może pole wywołać w zjonizowanej materii, a także w jaki sposób gaz wpływa na pole. Znajomość tych efektów pozwala nam nie tylko wyjaśnić obserwowane w atmosferze Słońca zjawiska, lecz także wysnuć pewne wnioski na temat przypuszczalnego zachowania się pola magnetycznego w głębi otoczki. Jego przecież nie możemy zobaczyć, a właśnie tam zachodzą procesy decydujące o aktywności magnetycznej razem ze wszystkimi jej przejawami.



Zadania

Redaguje dr Rafał SZTENCEL

M 448. Niech k oznacza liczbę dzielników liczby n . Udowodnić, że $k^2 < 4n$.

Rozwiązanie na str. 13

M 449. Na kwadratowej tabliczce o wymiarach 25×25 napisano liczby naturalne: $1, 2, \dots, 25$ w taki sposób, że w żadnym wierszu nie powtarza się żadna liczba, a ponadto na polach symetrycznych względem głównej przekątnej znajduje się ta sama liczba. Wykazać, że liczby na głównej przekątnej są różne.

Rozwiązanie na str. 10

M 450. Dane są pierwiastki a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 wielomianu $x^5 - px^4 + qx^3 - rx^2 + sx - t$. Obliczyć współczynniki p, q, r, s, t używając nie więcej niż 10 dodawań i nie więcej niż 10 mnożeń.

Rozwiązanie na str. 13

Redaguje mgr Rafał STAROŃSKI

F 206. Stacja kosmiczna ma kształt pierścienia o masie $M = 3 \cdot 10^7$ kg i promieniu $R = 500$ m. W środku pierścienia znajduje się laboratorium w kształcie cylindra o długości $l = 50$ m prostopadłego do płaszczyzny pierścienia (rysunek). Zaproponowano, by winda, która ma łączyć poszczególne poziomy laboratoria, poruszała się tylko pod wpływem przyciągania grawitacyjnego pierścienia. Wyznaczyć okres ruchu takiej windy.

Rozwiązanie na str. 11

F 207. Niezidentyfikowany obiekt o masie m oddala się od stacji kosmicznej o masie M . Gdy odległość obiektu od stacji była równa d , prędkość względna miała wartość v i skierowana była wzdłuż prostej łączącej obiekt i stację. Na jaką maksymalną odległość obiekt może oddalić się od stacji? Dla jakiej prędkości v będzie się oddalał do nieskończoności? Zakładamy, że obiekt i stacja nie mają własnego napędu.

Rozwiązanie na str. 3

