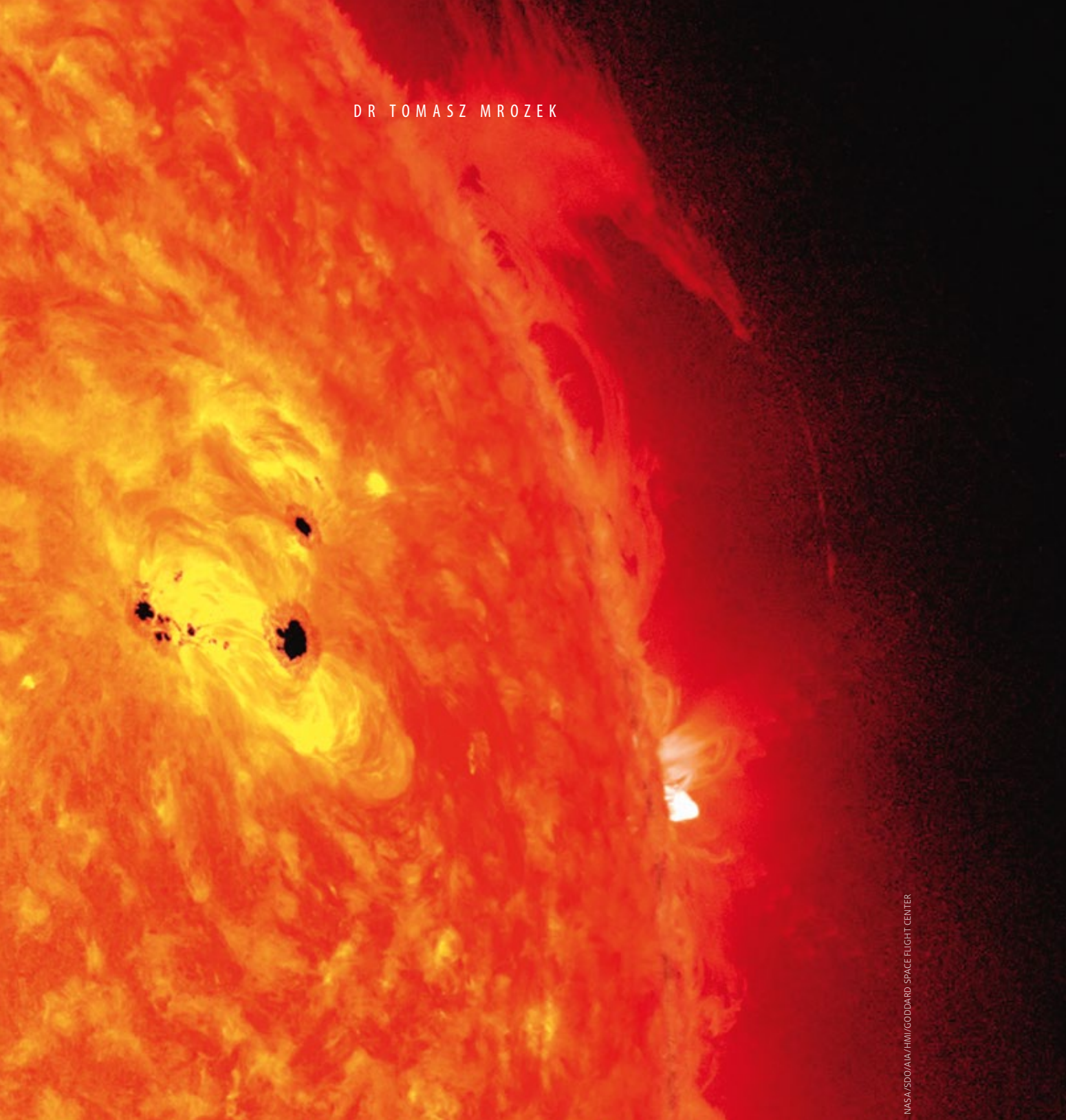


CZEKANIE NA PLAMĘ



NASA/SOHO/AIA/HMI/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER

Główną atrakcją dla astronomów w ciągu dnia jest obserwacja plam słonecznych. Dlaczego akurat teraz wypatrują ich szczególnie uważnie?

**Dr Tomasz Mrozek**

jest astrofizykiem, pracuje w Zakładzie Fizyki Słońca CBK. Specjalizuje się w badaniu aktywności słonecznej.
 tomasz.mrozek@uwr.edu.pl

dr Tomasz Mrozek

Centrum Badań Kosmicznych
 Polska Akademia Nauk, Wrocław

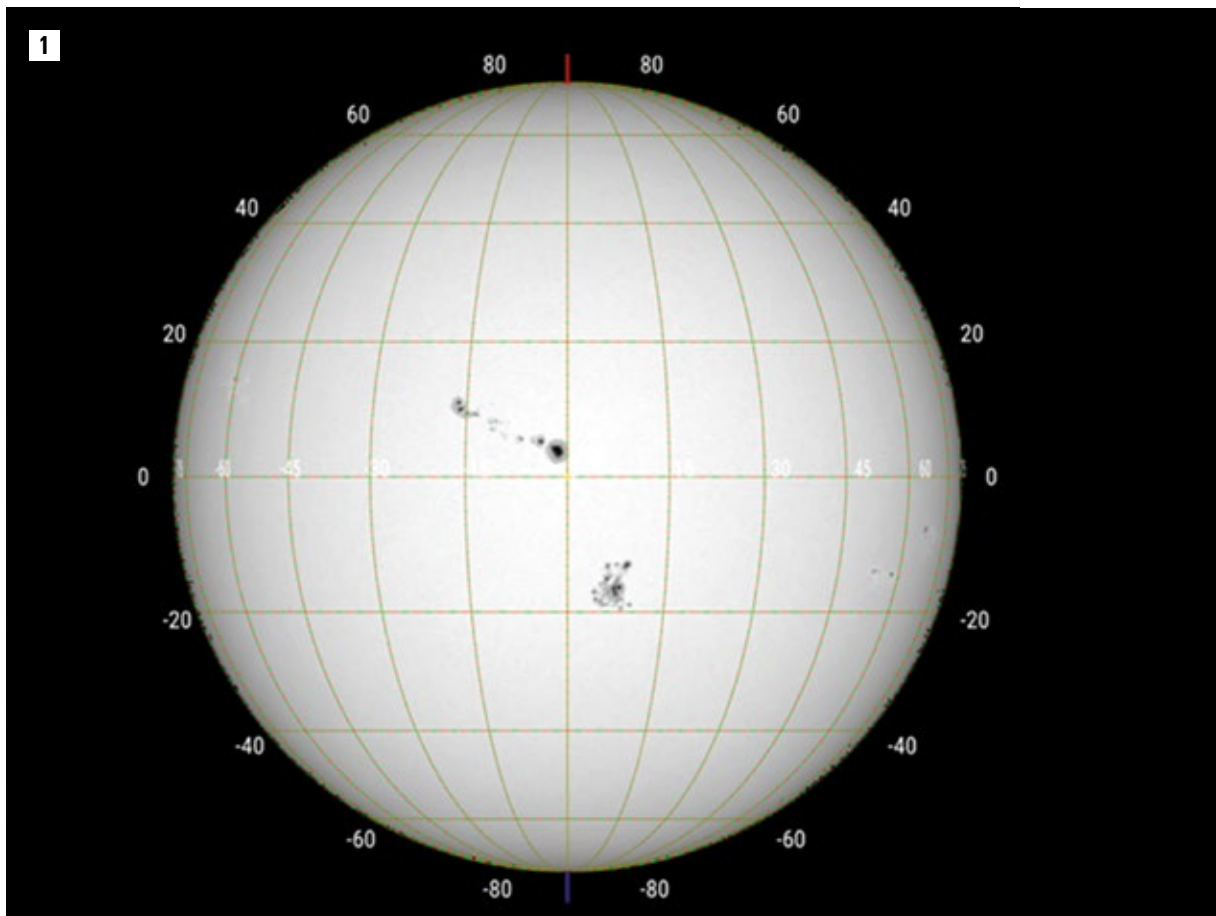
Wkrótkim dziele „Sidereus Nuncius”, opublikowanym 13 marca 1610 r., Galileusz opisał odkrycia dokonane w ciągu kilku tygodni obserwacji nieba nocnego za pomocą nowego wynalazku – lunety. Góry na Księżycu, mnogość nieobserwowanych wcześniej gwiazd, księżyc Jowisza, fazy Wenus. Rzeczy, które współcześnie są dla nas oczywiste, wtedy spowodowały eksplozję w umysłach, co doprowadziło do narodzin nowożytnej nauki i zniszczenia porządku świata fizycznego, jaki został ustalony przez Arystotelesa prawie 2 tys. lat wcześniej.

Niedopatrzenie

Galileusz przeoczył jednak co najmniej jeden obiekt, czy też – jak powiedzielibyśmy współcześnie – nie

opublikował wyników jego obserwacji. Prawie rok po publikacji „Sidereus Nuncius”, 9 marca 1611 r. o świcie, holenderski astronom Johannes Fabricius skierował swoją lunetę na Słońce i zauważył na nim kilka ciemnych punktów. Zawołał swojego ojca Davida Fabriciusa i razem z nim kontynuował obserwacje mimo bólu, jaki sprawiało patrzenie w Słońce coraz wyżej wznoszące się nad horyzont (szybko zresztą zrezygnowali z lunety – zamienili ją na sposób patrzenia na *camera obscura*). Zauważyli, że plamy widoczne na Słońcu zdają się przyczepione do jego powierzchni i zmieniają położenie zgodnie z obrotem gwiazdy wokół własnej osi. Wyniki swoich obserwacji opublikowali zaledwie trzy miesiące później w dziele „De Maculis in Sole Observatis, et Apparente earum cum Sole Conversione Narratio” („Rzecz o plamach widocznych na Słońcu i ich pozornej rotacji ze Słońcem”).

W ten sposób stali się odkrywcami plam na Słońcu – niezależnie od tego, czy w rzeczywistości ktoś zobaczył je wcześniej. Nie tylko w świecie naukowym za odkrywcę jest bowiem uważany ten, kto pierwszy je wyjawia światu. Dziś wiemy, że obserwacje plam na Słońcu bez użycia lunety były dokonywane na całym świecie od co najmniej 2 tys. lat! Te historyczne obserwacje są nieczęste, ponieważ plamy widoczne dla oka nieuzbrojonego pojawiają się stosunkowo rzad-



DR TOMASZ MROZEK

ko. Mimo to obserwacji przedteleskopowych jest na tyle dużo i obejmują na tyle szeroki przedział czasu, że możemy zidentyfikować okresy, w których doniesień o plamach na Słońcu jest więcej.

Większa liczba i większe plamy oznaczają wysoką aktywność Słońca. W związku z tym te historyczne obserwacje, wykonane bez użycia teleskopu, są dla nas niezwykle ważną informacją o okresach wyjątkowo wysokiej aktywności Słońca, jakie miały miejsce w przeszłości. Dlaczego? Bo ma to niewątpliwie związek z warunkami panującymi na Ziemi. Ale o tym za chwilę.

Ruch

Źródeł aktywności słonecznej należy szukać głęboko wewnątrz Słońca. Około 0,7 promienia Słońca od jego centrum znajduje się tachoklina, czyli obszar, w którym Słońce przestaje obracać się jak bryła sztywna. Od tego miejsca aż do powierzchni Słońce rotuje najszybciej w okolicach równika, a im bliżej biegunów, tym rotacja jest wolniejsza. Efekt ten nazywamy rotacją różnicową i jest kluczowy z punktu widzenia wzmocnienia pola magnetycznego. Drugi rodzaj ruchu, jaki pojawia się od tachokliny do powierzchni, to pionowe przemieszczanie gazu związanego z konwekcją – mechanizmem transportu energii, który dominuje w ze-

wnętrznych warstwach Słońca. Mechanizm ten działa dokładnie tak jak w garnku z zupą postawionym na palniku. Podgrzewane dolne warstwy cieczy unoszą się, wypływają na powierzchnię, oddają ciepło i jako chłodniejsze wracają na dół. Możemy to zobaczyć, obserwując ruch np. kawałków marchewki albo ziemniaków w zupie. Warzywa podnoszą się z dna, wypływają na powierzchnię i wracają na dół, niesione przez bąble ogrzanego płynu. W warstwie konwekcyjnej Słońca rolę marchewki odgrywa pole magnetyczne wzmocnione w obszarze tachokliny, które wraz z gorącym gazem wypływa na „powierzchnię”, czyli fotosferę – najniższą warstwę atmosfery słonecznej. W miejscach

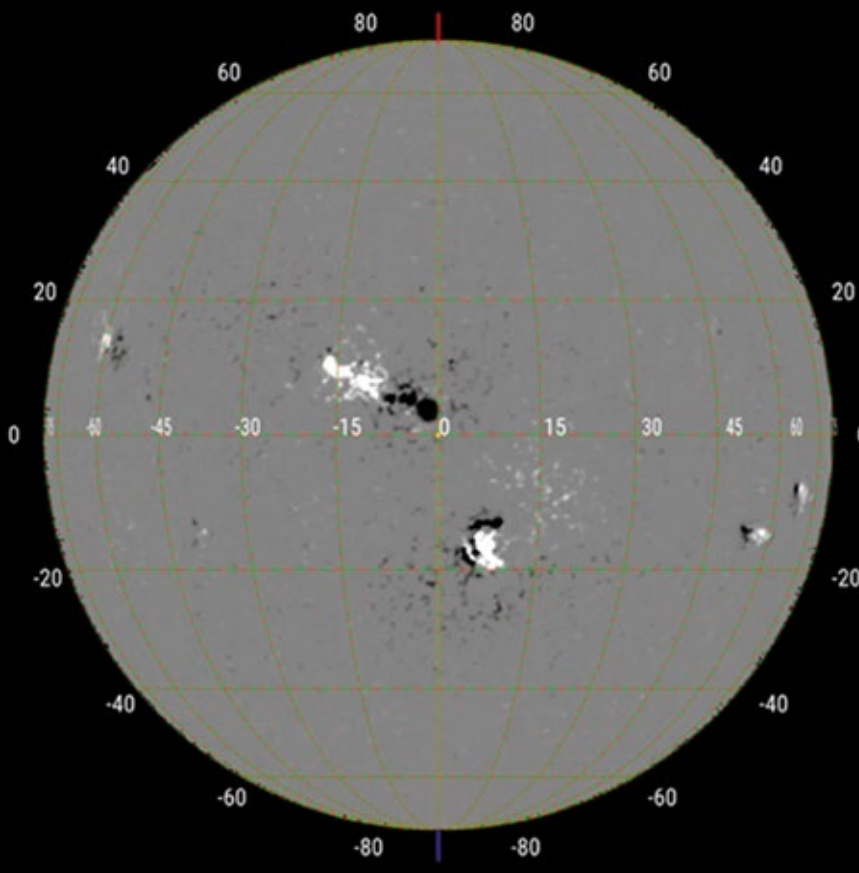
Nie rób tego samodzielnie!

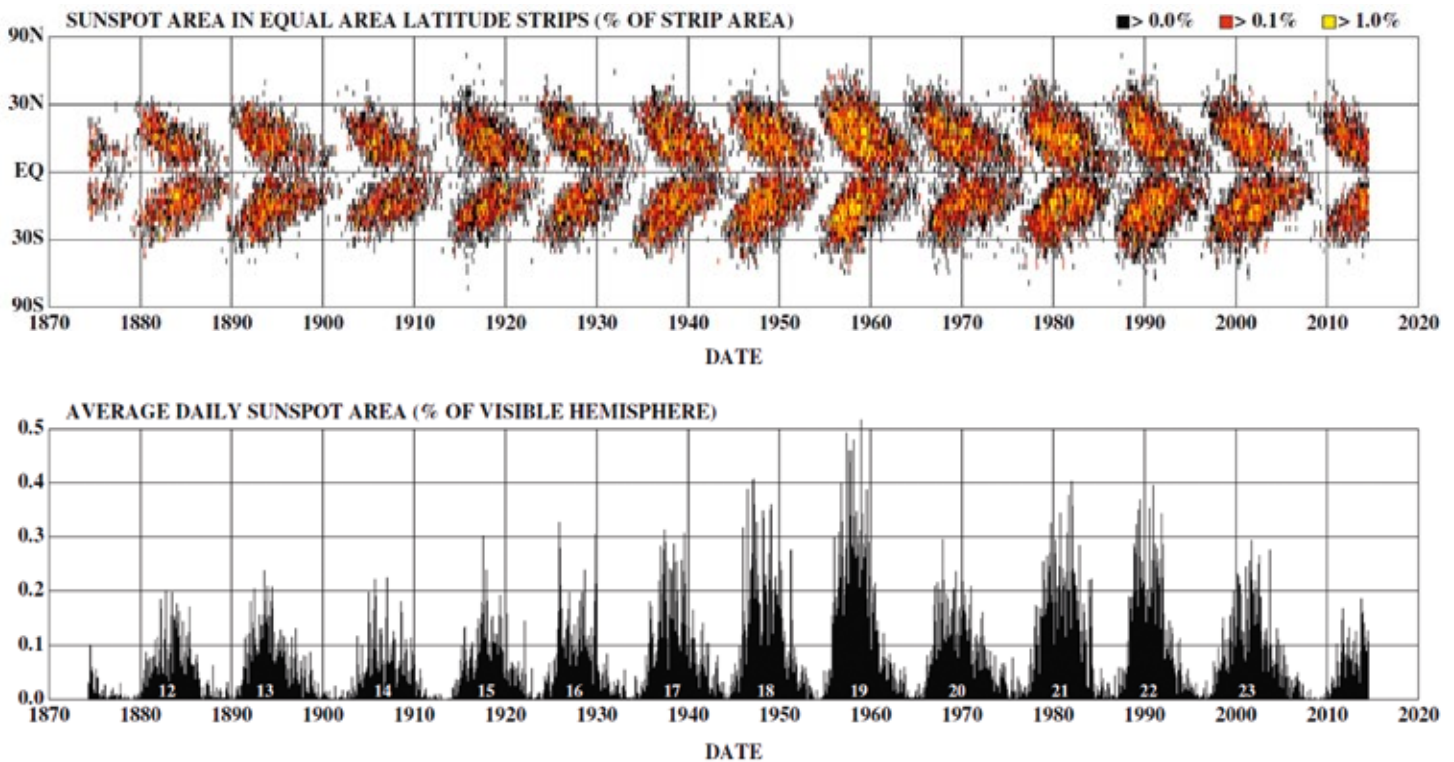
Nawet wschodzące Słońce świeci bardzo mocnym światłem, a współczesne, nawet najtańsze, lunety dużo lepiej zbierają światło niż instrument, którego używał Johannes Fabricius. Próba spojżenia na Słońce w ciągu paru sekund prowadzi do podniesienia temperatury oka do kilkudziesięciu stopni Celsjusza, co skutkuje jego „ugotowaniem” i trwałą utratą wzroku.

Fot. 1.
Fotosfera Słońca z plamami. Pole magnetyczne zmierzone w fotosferze w tym samym momencie

Fot. 2.
Jasne obszary to bieguny północne (dodatnie, linie „wychodzą” ze Słońca), a ciemne – południowe (ujemne, linie „wchodzą” do wnętrza Słońca). Na oba zdjęcia nałożona została siatka współrzędnych heliograficznych (biegun północny jest u góry, zachód – po prawej). Wyraźnie widzimy tu magnetyczny charakter obszarów związanych z plamami.

2





Górny diagram przedstawia szerokości heliograficzne, na których pojawiały się plamy słoneczne w latach 1874–2014. Jest to tzw. wykres motylkowy (ang. butterfly diagram). Dolny diagram prezentuje zmienność aktywności Słońca mierzoną powierzchnią plam słonecznych obserwowanych w tym samym okresie (Hathaway 2015).

wplywu pola magnetycznego pojawiają się ciemne plamy, które są o 1000–1500 kelwinów chłodniejsze od otoczenia. Spowodowane jest to tym, że obecne w plamach silne pole magnetyczne ogranicza wypływ gorącego gazu z wewnętrznych warstw Słońca.

W obrębie danej grupy plam daje się wyraźnie zauważyć bieguny magnetyczne, które wykazują ciekawą właściwość: w danym cyklu aktywności bieguny obszarów plam na danej półkuli Słońca ustawiają się zawsze w tym samym porządku względem kierunku rotacji Słońca (kierunek wschód-zachód). Dla przykładu w kończącym się cyklu aktywności na półkuli północnej bieguny magnetyczne obszarów plam ustawały się tak, że nieco bardziej na zachód wysunięty był biegun południowy, a północny „podążał” za nim. Na półkuli południowej sytuacja była odwrotna – bardziej na zachód „wystawał” biegun północny, a południowy był za nim.

Poziom aktywności Słońca mierzymy, zliczając plamy (p) i grupy plam (g) według wzoru, jaki w XIX w.

podał Rudolf Wolf, gdzie R oznacza liczbę Wolfa, a k jest współczynnikiem przypisywanym danemu obserwatorowi. Współcześnie posługujemy się także innymi miarami aktywności, np. sumaryczną powierzchnią plam widocznych na tarczy słonecznej danego dnia. Niezależnie od miary, jakiej użyjemy, dana wartość zmienia się w cyklu 11-letnim. Co ciekawe, kolejne cykle wykazują odwrócenie polaryzacji (kolejności, w jakiej ustawiają się w kierunku wschód-zachód) biegunów magnetycznych obszarów plam. Na przykład jeśli w danym cyklu aktywności na półkuli północnej pola magnetyczne obszarów plam układały się tak, że biegun południowy był wysunięty bardziej na zachód niż biegun północny, to w następnym cyklu aktywności sytuacja się odwraca i na zachód wysunięty będzie biegun północny. Stąd często mówimy o cyklu 22-letnim, jako że dopiero po takim czasie na danej półkuli słonecznej powtarza się taka sama konfiguracja biegunowości w obszarach plam.

Kolejna ciekawa zmienność obserwowana w każdym cyklu aktywności słonecznej polega na tym, że na początku kolejnego cyklu plamy są widoczne na wyższych szerokościach heliograficznych (bliżej biegunów słonecznych) niż plamy, które pojawiają się w dalszej części cyklu. Można powiedzieć, że wraz z wiekiem cyklu plamy „schodzą” coraz bliżej równika.

Cykliczność

Znając charakterystyki poszczególnych faz cyklu aktywności słonecznej, możemy rozpoznać, kiedy

Podgrzewane dolne warstwy cieczy wypływają na powierzchnię, oddają ciepło i jako chłodniejsze wracają na dół. Możemy to zobaczyć, obserwując ruch np. ziemniaków w zupie.

DR TOMASZ MROZEK

na tarczy słonecznej pojawiają się plamy zwiastujące kolejny cykl aktywności. Kiedy dany cykl zanika, zaczynamy wypatrywać obszarów, które pojawiają się na dużych szerokościach heliograficznych. Zwykle będą to niewielkie pojedyncze plamy lub grupy bardzo małych plam. Oprócz miejsca, w którym taki nowy cykl daje o sobie znać, ważna jest polaryzacja pola magnetycznego w obszarze plam, która na danej półkuli powinna być odwrotna do polaryzacji zanikającego cyklu. Jeśli uda się nam zarejestrować taki obszar, to stwierdzamy, że zaczynają pojawiać się plamy nowego cyklu. Obecnie znajdujemy się w fazie schyłkowej cyklu 24. Wszyscy wyczekujemy kolejnego i próbujemy zarejestrować plamy, które go zwiastują.

Pierwszy obszar, który bez wątplenia należy do nowego cyklu, pojawił się na południowej półkuli Słońca 9 kwietnia 2018 r. Znaleźliśmy go na dużej szerokości heliograficznej. Miał polaryzację pola magnetycznego przeciwną do obszarów poprzedniego cyklu. Mimo swojego krótkiego kilkunastogodzinnego życia ten obszar „wyprodukował” także rozbłysk, a więc stał się pełnoprawnym obszarem aktywnym. Rejestracja tego zjawiska była możliwa dzięki temu, że obecnie Słońce obserwujemy za pomocą wielu zaawansowanych obserwatoriów, które są umieszczone także w kosmosie. Jednym z nich jest satelita Solar Dynamics Obserwatory (SDO), który wyposażony jest w instrument Atmospheric Imaging Assembly (AIA). AIA to tak naprawdę zestaw czterech teleskopów, które jednocześnie obserwują Słońce w kilku filtrach pozwalających śledzić całą rozpiętość zjawisk aktywnych w atmosferze słonecznej. AIA generuje obrazy całej tarczy Słońca z ogromną szczegółowością przestrzenną (piksel obrazu ma rozmiar 0,6 s łuku, czyli około 400 km na powierzchni Słońca) oraz czasową, bo zdjęcia są wykonywane co 12 s. Daje to ogromny strumień danych, sięgający 1,5 terabajtów na dobę! Wszystkie te obserwacje są dostępne pod adresem <https://helioviewer.org/>. Można również zainstalować na swoim komputerze aplikację jhelioviewer (do pobrania <http://www.jhelioviewer.org/>), która pozwala przeglądać obserwacje z AIA. Oznacza to, że każdy może śledzić aktywność Słońca, jej zmiany, bogactwo zjawisk aktywnych i szukać oznak nowego cyklu, siedząc wygodnie we własnym fotelu. Odkrywanie oznak nowego cyklu, a może i całkiem nowych zjawisk jest dziś naprawdę w zasięgu każdego uważnego obserwatora. Wystarczy tylko być cierpliwym i uważnym, a potem... szybkim jak Fabricius w ogłaszaniu swojego odkrycia.

Nadzieje

Dlaczego tak bardzo wypatrujemy nowego cyklu? Bo nie wiemy, czy się pojawi! Może to brzmieć jak żart, zważywszy, że kolejne cykle pojawiają się regular-

nie od 1874 r. Jednak nie zawsze tak było. Ponadto poszczególne cykle różnią się liczbą plam i ich powierzchnią, liczbą silnych rozbłysków i innych zjawisk aktywnych. Cykl 23. zakończył się najgłębszym minimum, jakie obserwowaliśmy od 100 lat, kiedy to przez wiele miesięcy na tarczy słonecznej nie dawało się zobaczyć żadnej plamy. Następujący po nim cykl 24. był najsłabszy spośród kilku ostatnich, a jego schyłek, który właśnie obserwujemy, wskazuje, że czeka nas kolejne głębokie minimum. Czekamy na cykl 25., wypatrujemy go, ale nie jesteśmy pewni, jaki będzie ani czy w ogóle się pojawi. Każdy cykl jest inny, a w drugiej połowie XVII w. plam na Słońcu nie było prawie wcale...

Większa liczba i większe plamy oznaczają wysoką aktywność Słońca, co ma niewątpliwy związek z warunkami panującymi na Ziemi.

Pewnie nie przejmowalibyśmy się tym, gdyby nie źródła historyczne, z których wynika, że w okresie praktycznie całkowitego zaniku aktywności słonecznej w drugiej połowie XVII w. zimy były wyjątkowo srogie. Wiemy, że regularnie zamarzała Tamiza, na której lodowej powierzchni urządzano targowiska. Zamarzała także Zatoka Fińska, dzięki czemu przez kilka miesięcy w roku można było przejechać konno z Tallina do Helsinek, zatrzymując się po drodze (na środku morza!) na popas w ustawianych wtedy karczmach. Z drugiej strony w IX, X i XI w. wykonano wiele obserwacji plam nieuzbrojonym okiem, co oznacza, że poziom aktywności musiał być odpowiednio wyższy. W źródłach historycznych z tego okresu możemy przeczytać o uprawach winorośli w Polsce i zasiedleniu Grenlandii przez Wikingów, co wskazuje na okres łagodniejszego klimatu, jaki panował wtedy na półkuli północnej.

Związki między aktywnością Słońca a średnimi temperaturami na Ziemi niewątpliwie istnieją, choć dopiero zaczynamy je poznawać. Możliwe, że najbliższy cykl aktywności – a może jego brak – pozwoli nam choć odrobinę poznać związki Słońca i ziemskiego klimatu.

TOMASZ MROZEK

Chcesz wiedzieć więcej?

Hathaway D.H. (2015). *Living Rev. Solar Phys.*, 12

Pulkkinen T. (2007). *Living Rev. Sol. Phys.* 4:1. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2007-1>

Schwenn R. (2006). *Living Rev. Sol. Phys.* 3:2. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2006-2>

Vaquero J.M. (2007). *Advances in Space Res.* 40, 929, <https://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0702/0702068.pdf>