

# Astrolabium

Konkurs astronomiczny

## Nasze aktywne Słońce



Szkoła średnia  
Klasy I-V  
Doświadczenie konkursowe 2

Rok 2024

### Słońce jako gwiazda

Słońce – jedna z kilkuset miliardów gwiazd w naszej Galaktyce, Drodze Mlecznej – jest ogromną i gorącą kulą gazu składającą się głównie z wodoru i helu, w której wnętrzu zachodzą reakcje termojądrowe. W ich wyniku wodór przekształca się w hel, uwalniając przy tym ogromne ilości energii. Ta energia w postaci promieniowania dociera po tysiącach lat do Ziemi jako światło i ciepło, umożliwiając istnienie życia na naszej planecie. Bez Słońca nie byłoby obiegu wody w przyrodzie, fotosyntezy, a więc i życia w znanej nam formie.

### Aktywność Słońca

Słońce nie jest jednak całkowicie spokojną gwiazdą. Co około 11 lat jego aktywność wzrasta, a na powierzchni pojawiają się ciemniejsze obszary zwane plamami słonecznymi. Są one wynikiem zmian w globalnej konfiguracji słonecznych pól magnetycznych. W okolicy plam często dochodzi do rozbłysków słonecznych, czyli gwałtownych procesów prowadzących do przemian słonecznej energii magnetycznej w inne formy energii, w których uwalniane są ogromne ilości promieniowania elektromagnetycznego i naładowanych cząstek. Liczne plamy i rozbłyski to typowe oznaki podwyższonej aktywności Słońca.

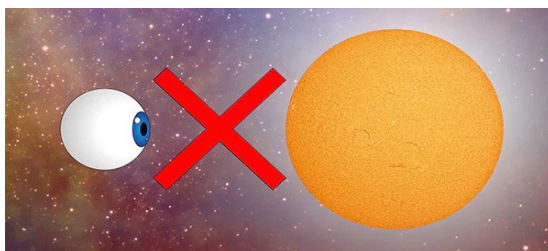
### Plamy słoneczne

Temperatura powierzchni Słońca wynosi około 5 i pół tysiąca stopni Celsjusza. Plamy słoneczne to wizualnie ciemniejsze miejsca na powierzchni Słońca, które są nieco chłodniejsze niż reszta jego powierzchni. Nie oznacza to wcale, że są one zimne i czarne – są też gorące i jasne, ale widzimy je jako ciemne przez kontrast z jaśniejszą powierzchnią Słońca, czyli fotosferą. W obszarze plamy pole magnetyczne Słońca jest lokalnie silniejsze, co sprawia, że ciepło nie może łatwo się tam przemieszczać (silne pole magnetyczne tłumi przewodzenie cieplne i zaburza transport energii z wnętrza Słońca na jego powierzchnię).

Plamy często występują w charakterystycznych grupach. Gdy Słońce jest bardziej aktywne, pojawia się więcej plam i ich grup. Zdarza się, że grupy i plamy są tak liczne i duże, że można je zobaczyć nawet nieuzbrojonym okiem, bez instrumentów optycznych. Dzięki temu odkryto je na długo przed wynalezieniem teleskopu. Już starożytni astronomowie, głównie w Chinach i Grecji, obserwowali ciemne „kropki” na tarczy Słońca gołym okiem, prawdopodobnie podczas wschodu lub zachodu Słońca, gdy było ono nisko nad horyzontem i miało mniejszą jasność. Uwaga, ze względów bezpieczeństwa nie próbuj samodzielnie powtarzać takich obserwacji!

Aktualny stan aktywności Słońca, która przejawia się zmienną liczbą plam i ich grup, określa m.in. **Liczba Wolfa (R)**, opracowana w 1849 roku przez szwajcarskiego astronoma i matematyka Rudolfa Wolfa.

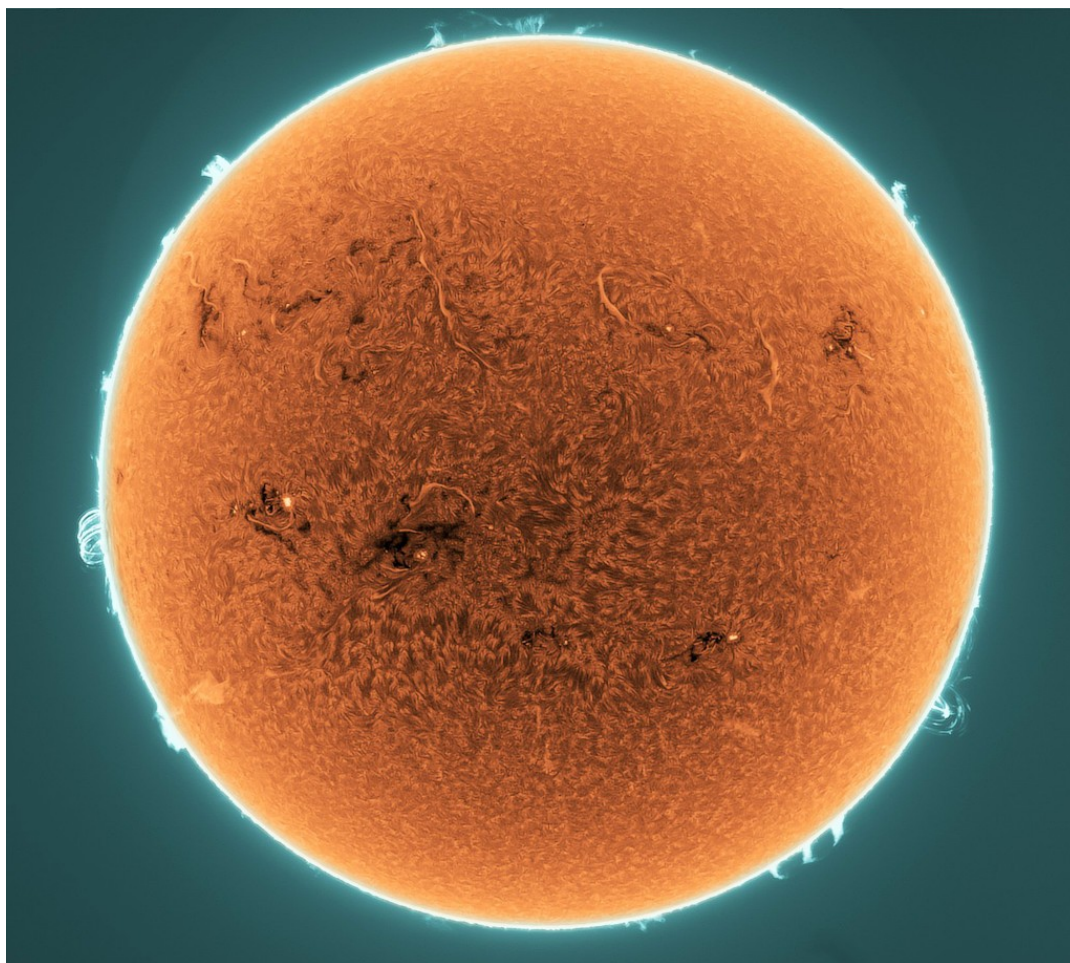
**UWAGA!** Nigdy nie patrz na Słońce przez lupę, lornetkę, lunetę lub teleskop. Może to poważnie uszkodzić Twój wzrok i doprowadzić do ślepoty! Bezpieczne dla oczu obserwacje tarczy Słońca przez instrumenty możliwe są tylko przy zastosowaniu specjalnych filtrów słonecznych, które chronią nasz wzrok, osłabiając przechodzące przez nie światło Słońca nawet kilkaset tysięcy razy!



## Słoneczny obszar aktywny AR3664 z 10 maja 2024 roku



Rysunek 1. Duże plamy słoneczne i ich grupa z 10 maja 2024 r. na zbliżeniu. Źródło: NASA/Franco Fantasia & Guisepe Conzo.



Rysunek 2. Słońce obserwowane 15 maja 2024 w paśmie emisji wodoru. Tarcza Słońca nie jest jednolita, widać na niej plamy i gaz o różnej temperaturze, który jest w ciągłym ruchu, a także liczne obszary aktywne i poskręcane włókna słoneczne. Ponad brzegiem tarczy Słońca widoczne są też wyrzuty rozgrzanego gazu nad jego powierzchnię. Źródło: APOD.pl<sup>1</sup>, Steen Søndergaard.

### **Koronalne wyrzuty masy**

Innym ważnym zjawiskiem wynikającym z aktywności Słońca i istnienia na nim obszarów aktywnych są koronalne wyrzuty masy (ang. *Coronal Mass Ejections*, CME), czyli silnie namagnesowane obłoki gorącej słonecznej plazmy wyrzucane w przestrzeń kosmiczną w czasie rozbłysków słonecznych. CME mogą osiągać prędkości nawet kilku milionów kilometrów na godzinę i, jeśli tylko są skierowane w stronę Ziemi, docierać do naszej planety w ciągu kilku dni.

### **Wpływ aktywności słonecznej na Ziemię i cywilizację**

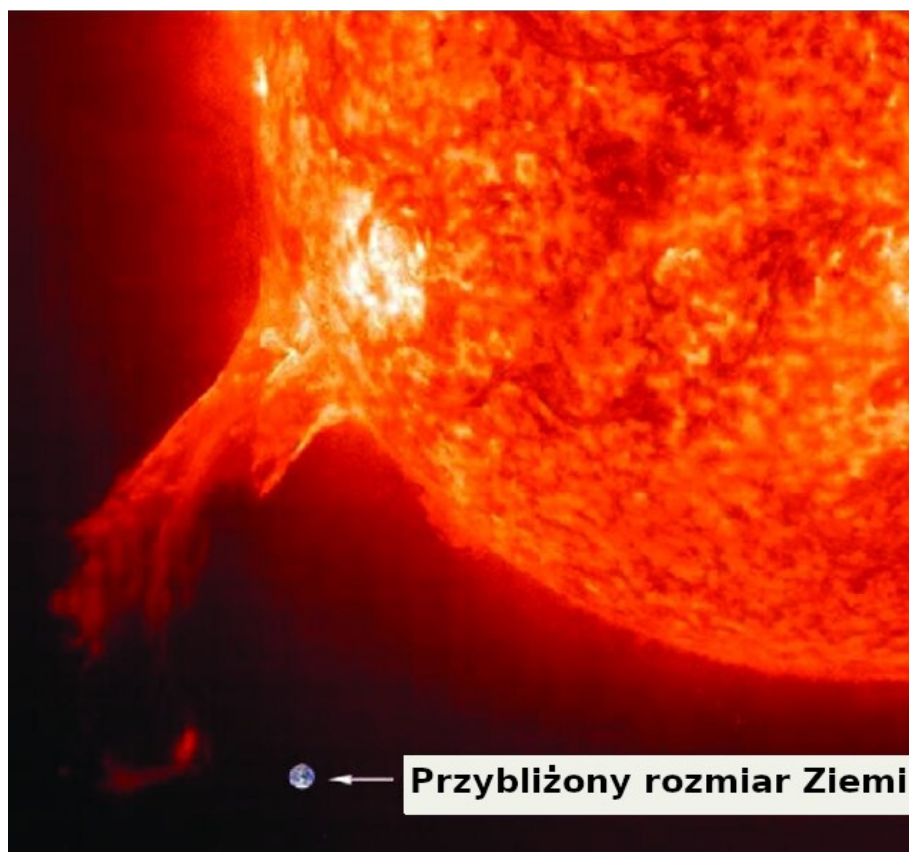
Rozbłyski i związane z nimi koronalne wyrzuty masy mogą mieć istotny wpływ na życie i technologie używane na Ziemi. Wyrzucane przez Słońce, naładowane elektrycznie

<sup>1</sup> <http://apod.pl/apod/ap240615.html>



cząstki wchodzą w interakcję z ziemskim polem magnetycznym, powodując tzw. burze geomagnetyczne. Te mogą z kolei wywoływać zjawisko zorzy polarnej, które powstaje, gdy naładowane cząstki zderzają się z molekułami ziemskiej atmosfery, najczęściej ponad ziemskimi biegunami. Silne burze geomagnetyczne mogą też zakłócać działanie satelitów komunikacyjnych, w tym systemów GPS. W skrajnych przypadkach powodują nawet uszkodzenia sieci energetycznych i elementów elektrowni, co skutkuje przerwami w dostawie prądu. W przeszłości zdarzały się burze geomagnetyczne, które powodowały tzw. *blackout* (pełną przerwę w dostawie energii elektrycznej na dużym obszarze) trwający do kilku dni, najczęściej w Kanadzie.

Zdarza się, że słoneczne wyrzuty materii uszkodzają satelity pogodowe, telewizyjne i te zapewniające bezprzewodowy internet satelitarny lub powodują, że spadają one na niższe orbity. W 2022 roku 40 satelitów Starlink zostało w ten sposób zniszczonych przez aktywność Słońca. Docierające do Ziemi koronalne wyrzuty masy mogą też prowadzić do zakłóceń w komunikacji radiowej, przez co odwoływane są loty samolotów cywilnych.



Rysunek 3. Porównanie wielkości koronalnego wyrzutu masy i Ziemi. Źródło: JPL/NASA.

Cząstki napływające ze Słońca stwarzają również zagrożenie dla zdrowia i życia astronautów. Z tego powodu, gdy wiadomo, że aktywność Słońca jest znacznie podwyższona, astronauta przebywający na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej mogą chronić się w lepiej zabezpieczonych częściach Stacji, takich jak moduły z dodatkowymi osłonami. Co ciekawe, silna burza słoneczna z 1972 roku zbiegła się

w czasie z programem księżycowym Apollo. Dwie misje załogowe szczęśliwie odbyły się jednak w kwietniu (Apollo 16) i grudniu (Apollo 17), podczas gdy Słońce było najbardziej aktywne w sierpniu 1972 r. W tym czasie astronauty byliby narażeni na promieniowanie o mocy wystarczającej do wywołania choroby popromiennej.

## 25. cykl słoneczny

Aktywność Słońca wyraźnie rośnie w cyklach, czyli regularnych odstępach czasu, które trwają zwykle 11 lat. Cykl słoneczny to okres, w którym poziom aktywności Słońca zmienia się: od niskiej aktywności (tak zwanego minimum słonecznego) do wysokiej aktywności (maksimum słonecznego) i z powrotem do niskiej. W każdym z cykli obserwuje się zwykle zwiększoną liczbę plam, rozbłysków i koronalnych wyrzutów masy, czyli zjawisk związanych z aktywnością Słońca.

Obecnie trwa 25. cykl słoneczny, który rozpoczął się w 2019 roku. Maksimum aktywności Słońca związane z tym cyklem miało miejsce z końcem 2024 roku, ale Słońce jest nadal bardzo aktywne, zatem i w najbliższych miesiącach, a być może i latach, możemy się spodziewać kolejnych zórz polarnych – także tych widocznych w Polsce. Naukowcy, w tym astronomowie z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie we współpracy ze specjalistami z NASA, uważnie śledzą zmieniającą się w czasie aktywność Słońca, aby móc coraz lepiej przewidywać występowanie największych rozbłysków słonecznych. Badają też czasy ich przybywania w okolice Ziemi oraz możliwy wpływ na ziemską technologię i bezpieczeństwo lotów kosmicznych.

### Cel doświadczenia

Celem ćwiczenia jest szczegółowe zapoznanie się z tematyką aktywności Słońca. Uczniowie dowiadują się, czym są rozbłyski, plamy i koronalne wyrzuty masy. Porównują wielkość największej widocznej na zdjęciu plamy słonecznej z rozmiarem Ziemi, lepiej zapoznając się dzięki temu z różnicą wielkości między Ziemią a Słońcem. Samodzielnie obliczają liczbę Wolfa i analizują wykresy zmienności aktywności Słońca w czasie. Oceniają, jak wpływ aktywności słonecznej może zmienić ich codzienne życie i jak zagraża całej cywilizacji.

### Opis wykonania doświadczenia

1. Przejdź na stronę: <https://puzzlefactory.pl/pl/puzzle/graj/edukacja/605790-plamy-s%C5%82oneczne#6x8> i ułóż znajdujące się na niej puzzle przedstawiające słoneczny obszar aktywny – grupę plam o oznaczeniu AR 3664 z 13 maja 2024 (autorem zdjęcia jest [Marco Meniero](#), pochodzi ono z serwisu APOD.pl). Ta duża grupa plam wywołała liczne zorze polarne na Ziemi. Ta sama grupa pokazana jest na Rysunku 1, w dniach 10-13 maja przesunęła się jednak na obserwowanej tarczy Słońca, bo samo Słońce, podobnie jak Ziemia, obraca się wokół własnej osi, dzięki czemu dzień po dniu widzimy inną jego część.

2. Grupy plam to plamy słoneczne leżące blisko siebie. Większe i bardziej rozwinięte plamy często mają ciemniejsze centrum (tzw. *umbra*) otoczone jaśniejszym obszarem (*penumbra*). Spójrz na znajdujący się poniżej obraz Słońca (Rysunek 4). Zarejestrowała go 10 sierpnia 2024 roku należąca do NASA sonda SDO. Kilka dni później do Ziemi dotarły natadowane cząstki wywołując zorze polarne widoczne z różnych miejsc w Polsce. Zobacz, gdzie na tarczy Słońca znajdują się ciemniejsze miejsca związane z tworzącymi się wówczas obszarami aktywnymi (plamy). Przejdź na stronę *Schematu klasyfikacji plam* ([www.mimuw.edu.pl/~szczuka/DM/zad2/node6.html](http://www.mimuw.edu.pl/~szczuka/DM/zad2/node6.html)) i zapoznaj się z różnymi typami plam słonecznych i ich grup. Obejrzyj ponownie obraz Słońca i zaznacz widoczne plamy oraz grupy. Policz je i spróbuj przypisać im kodowe opisy zgodnie z instrukcją na stronie.

3. Korzystając z poniższego wzoru wyznacz liczbę Wolfa R dla:

a) tarczy Słońca z 10 sierpnia 2024 r. (Rysunek 4)

b) aktualnego widoku tarczy Słońca w dniu, gdy wykonujesz to doświadczenie (do znalezienia pod adresem <https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>, należy przejść do zakładki „The Sun now”, a następnie przewinąć stronę w dół i policzyć plamy i grupy na zdjęciu Słońca oznaczonym jako „HMI Intensitygram”. Uwaga, jeśli obraz Słońca z danego dnia nie jest dostępny na stronie sdo.gsfc, spróbuj znaleźć podobny aktualny obraz tarczy Słońca na stronie [www.spaceweather.com/](http://www.spaceweather.com/), po lewej stronie.

c) tarczy Słońca z 5 stycznia 2020 roku. Aby przejść do archiwum zdjęć Słońca, na stronie [www.spaceweather.com/](http://www.spaceweather.com/) (po prawej) wybierz datę za pomocą wyszukiwarki pod czerwonym napisem „Archives”.

$$R=(10g+p)\cdot k$$

Gdzie: g – liczba widocznych grup plam słonecznych

p – liczba wszystkich plam

k – współczynnik umożliwiający porównanie wyników zliczeń uzyskanych przez różnych obserwatorów posługujących się różnymi instrumentami, dla uproszczenia w tym ćwiczeniu można przyjąć  $k=1$ .

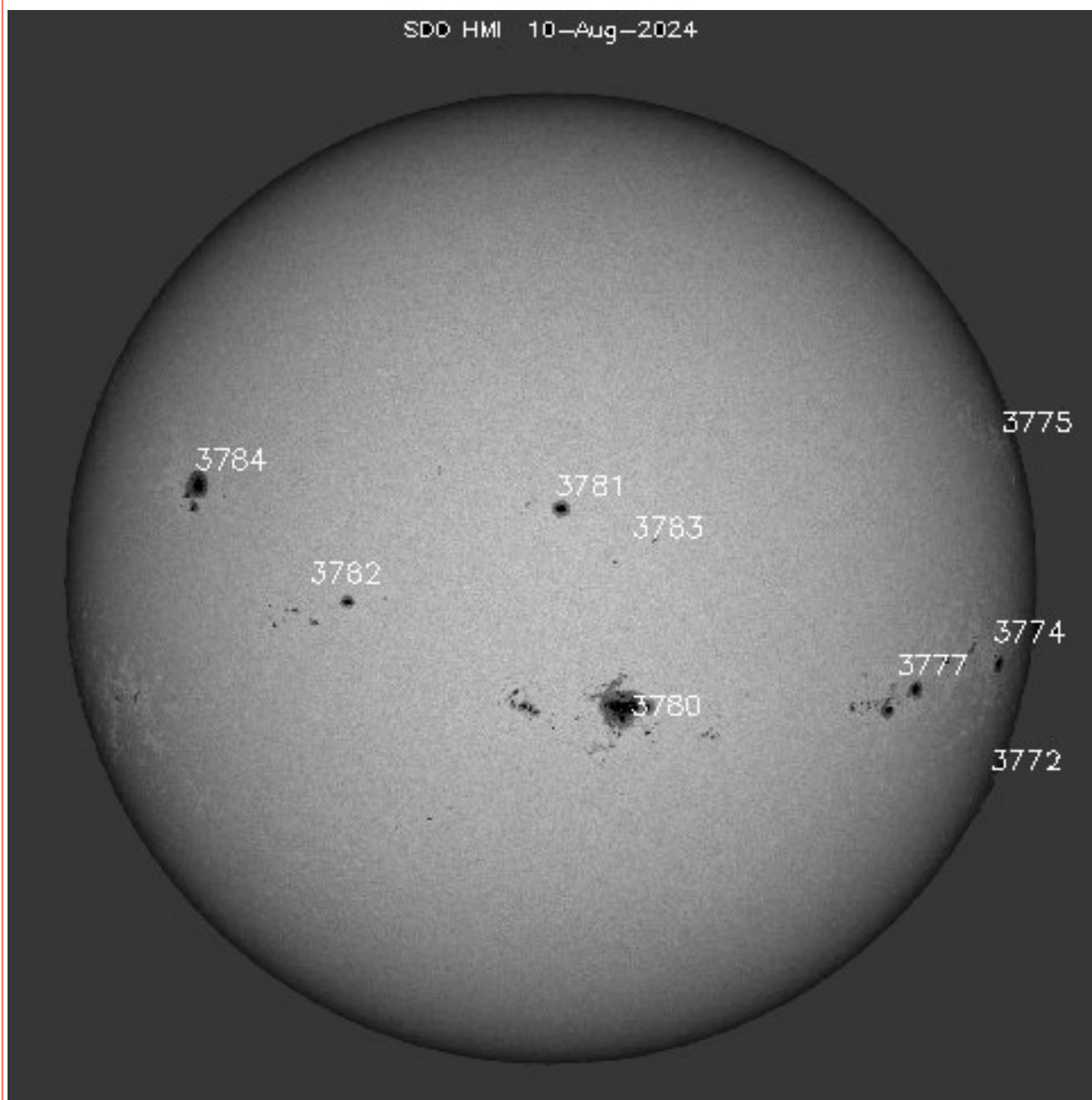
Pamiętaj, że liczba Wolfa jest wskaźnikiem aktualnej aktywności słonecznej. O czym świadczą otrzymane przez Ciebie wyniki? Jeśli masz możliwość, przy pomocy archiwum [www.spaceweather.com/](http://www.spaceweather.com/) wyznacz zmienność liczby Wolfa w czasie, począwszy od 2020 roku aż do grudnia 2024 roku. Dla uproszczenia obliczeń zliczaj plamy i grupy tylko dwa razy w danym miesiącu, np. 1 i 15 dnia każdego miesiąca. Dane przedstaw w postaci wykresu (dni i miesiące na osi poziomej, liczba Wolfa na osi pionowej). Co Twoim zdaniem wynika z tak skonstruowanego wykresu zmienności Słońca dla lat 2020-2024?

4. **Obliczenie rzeczywistego rozmiaru plamy:** przy pomocy linijki zmierz średnicę w mm największej widocznej na Rysunku 4 plamy. Tym samym sposobem zmierz średnicę Słońca na tym zdjęciu. Korzystając z poniższej zależności oblicz rzeczywisty rozmiar plamy:

$$\text{rzeczywista średnica plamy} = \frac{\text{średnica plamy na zdjęciu w mm}}{\text{średnica Słońca na zdjęciu w mm}} \times 1392700 \text{ km}$$

gdzie wartość 1 392 700 km to rzeczywista średnica Słońca.

Uwaga, jeśli największa Twoim zdaniem plama znacznie odbiega kształtem od koła, zmierz jej rozmiar w najszerszym i najwęższym miejscu, a następnie uśrednij (zsumuj, po czym podziel przez dwa) tak otrzymane wyniki.



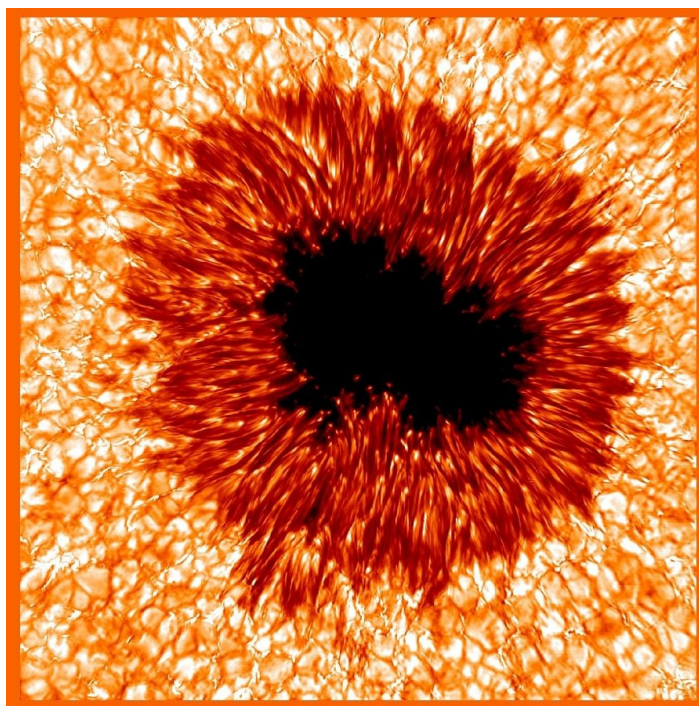
Rysunek 4. Plamy i ich grupy, 10 sierpnia 2024 r. (NOAA)



5. **Porównanie rozmiaru największej plamy ze średnicą Ziemi:** korzystając z książek lub źródeł internetowych, sprawdź wartość średnicy kuli ziemskiej w kilometrach. Zanotuj ją. Aby dowiedzieć się, ile razy największa plama słoneczna na zdjęciu z 10 sierpnia 2024 r. (zmierzona w punkcie 4) jest większa od Ziemi, wyznacz wartość  $S$  według wzoru:

$$S = \frac{\text{rzeczywista średnica plamy w km}}{\text{średnica Ziemi w km}}$$

Ile razy ta plama słoneczna była większa od Ziemi – ile naszych planet zmieściłoby się wewnątrz niej? Pytanie to ma „głębszy” sens, bo plamy słoneczne w rzeczywistości nie są płaskie – mają strukturę trójwymiarową i stanowią zagłębienia na tarczy Słońca.



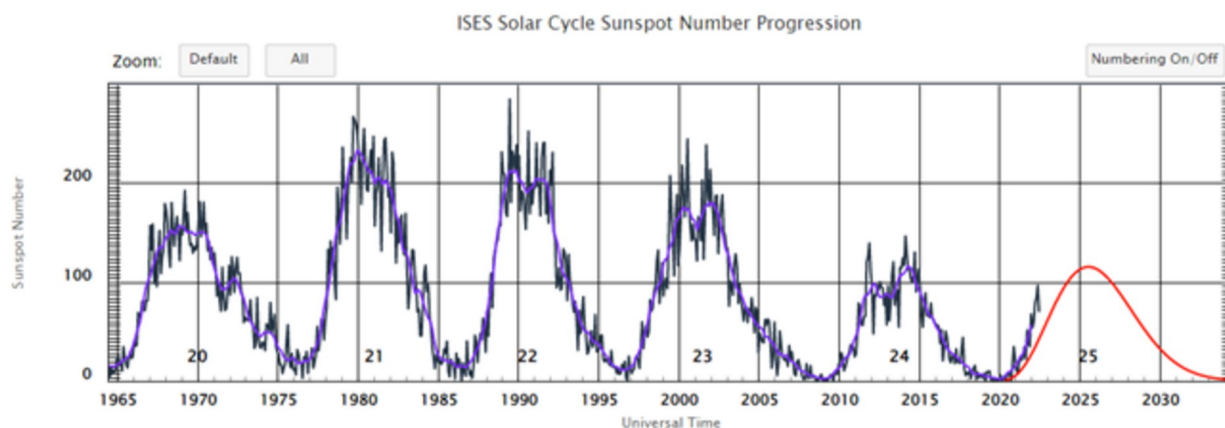
Rysunek 5. Zbliżenie na strukturę 3D plamy słonecznej (National Solar Observatory)

6. Obejrzyj film „[Astronarium](#)” [Odcinek 6: Aktywność słoneczna](#), aby usystematyzować informacje o Słońcu i jego aktywności, które wynosisz z tego Doświadczenia.



## Do przemyślenia i sprawdzenia

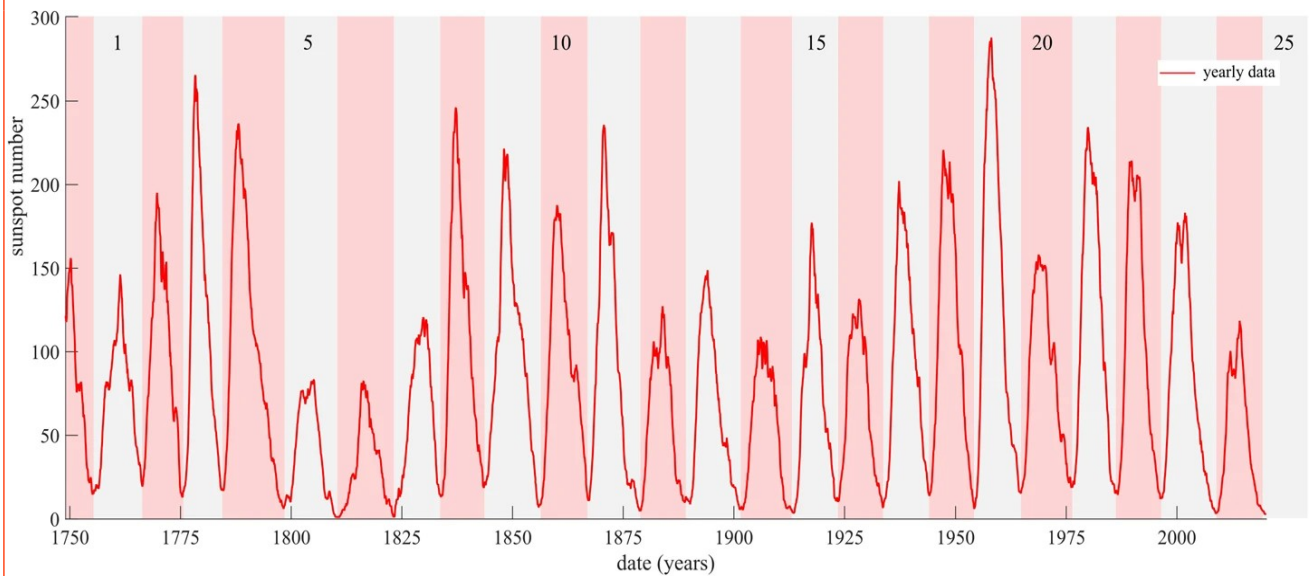
1. Przyjrzyj się ilustracjom 3 i 4. Czy plamy i koronalne wyrzuty masy są duże w porównaniu z Ziemią? Dlaczego koronalne wyrzuty masy nie są w stanie spalić Ziemi? Pod jakim warunkiem mogą one do niej dotrzeć? Czy rysunek wiernie zachowuje wszystkie rozmiary i odległości?
2. Korzystając z danych używanych w punktach 4 i 5 oblicz, ile planet o średnicy Ziemi zmieściłoby się na odcinku, który odpowiada rzeczywistej średnicy Słońca. Czy potrafisz również obliczyć, ile planet wielkości Ziemi zmieściłoby się w wydrążonej kuli o rozmiarach Słońca? Jeśli nie, sprawdź te dane w Internecie.
3. Dzienna liczba plam słonecznych wzrasta i maleje w cyklach trwających około 11 lat (jest to wartość średnia, cykle trwały dotąd od 9 do ponad 13 lat). Poniżej zamieszczono wykres wartości tej liczby dla poszczególnych miesięcy różnych lat, czyli rzeczywiste dane pomiarowe (kolor ciemnogrnatowy) dla kilku poprzednich cykli aktywności Słońca. Na osi poziomej podane są lata, na pionowej – liczba plam. Kolorem czerwonym oznaczono przewidywania modelu aktywności Słońca dla obecnie trwającego cyklu 25. Z wykresu odczytaj, kiedy według tego modelu Słońce będzie (lub było) najbardziej aktywne w 25 cyklu. Odczytaj też, kiedy Słońce było najbardziej aktywne w cyklu 24., bazując na danych pomiarowych – zliczeniach plam.



Rysunek 6. Zmienna liczba plam słonecznych w czasie dla kilku dekad.

4. Na stronie obok zamieszczono wykres prezentujący zliczenia plam słonecznych od 1750 do 2024 roku. Na jego podstawie spróbuj ocenić, czy poza jedenastoletnią zmiennością w aktywności Słońca, mierzonej ilością plam obserwowanych w danym przedziale czasu, może zachodzić jakaś inna zmienność. Jeśli tak, to w jakiej skali czasowej Twoim zdaniem się uwidacznia? Sprawdź w dostępnych źródłach naukowych lub popularnonaukowych, jaki

wyróżniony okres w historii klimatu Ziemi przypisuje się latom 1790-1830. Sprawdź, co oznaczają pojęcia minimum Maundera oraz minimum Spörera.



Rysunek 7. Zmienna liczba plam słonecznych w czasie dla ostatnich stuleci (<https://link.springer.com/article/10.1007/s11207-020-01760-7>).

5\*2. *Ćwiczenie dodatkowe.* Cząstki doływające do Ziemi ze Słońca mogą uszkodzić, zniszczyć lub tymczasowo wyłączyć różne urządzenia i technologie – nie tylko satelitarne, ale również te działające na powierzchni Ziemi. Zastanów się, których z nich (np. Internet kablowy, Internet satelitarny, telefonia komórkowa, energia elektryczna, pompy wody i gazu, telewizja, radio, nawigacja GPS, satelitarne dane pogodowe) Tobie i Twojej rodzinie brakowałoby najbardziej. Zastanów się, jak moglibyście poradzić sobie ze skutkami ich dłuższego braku (trwającego ponad tydzień) lub krótszego wyłączenia (do 2 dni). Jak Polska jako kraj powinna przygotować się na ewentualne skutki takich zdarzeń? Jakie decyzje podejmiesz, będąc na miejscu prezydenta dużego polskiego miasta, aby złagodzić skutki braku energii elektrycznej i sieci trwającego ponad dwa dni?

<sup>2</sup> Zadanie dodatkowe – dla chętnych.