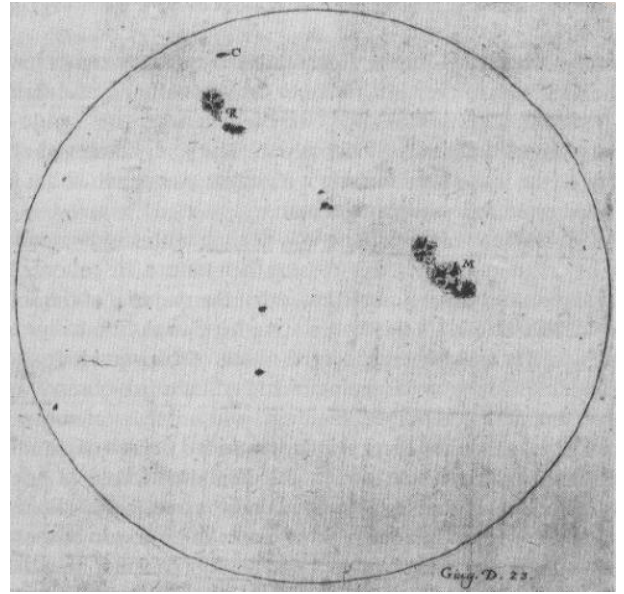


Wstęp do Fizyki Słońca

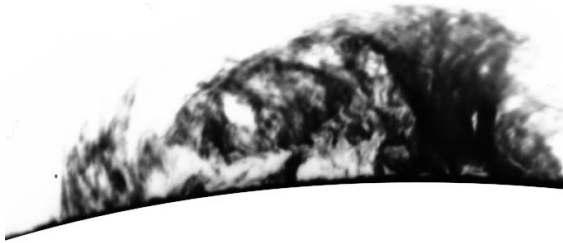
lista 4

1. Na zamieszczonym obok rysunku z początku XVII wieku widoczne są plamy słoneczne. Oszacuj rozmiar dwóch największych grup plam. Czy mogły być one widoczne gołym okiem?



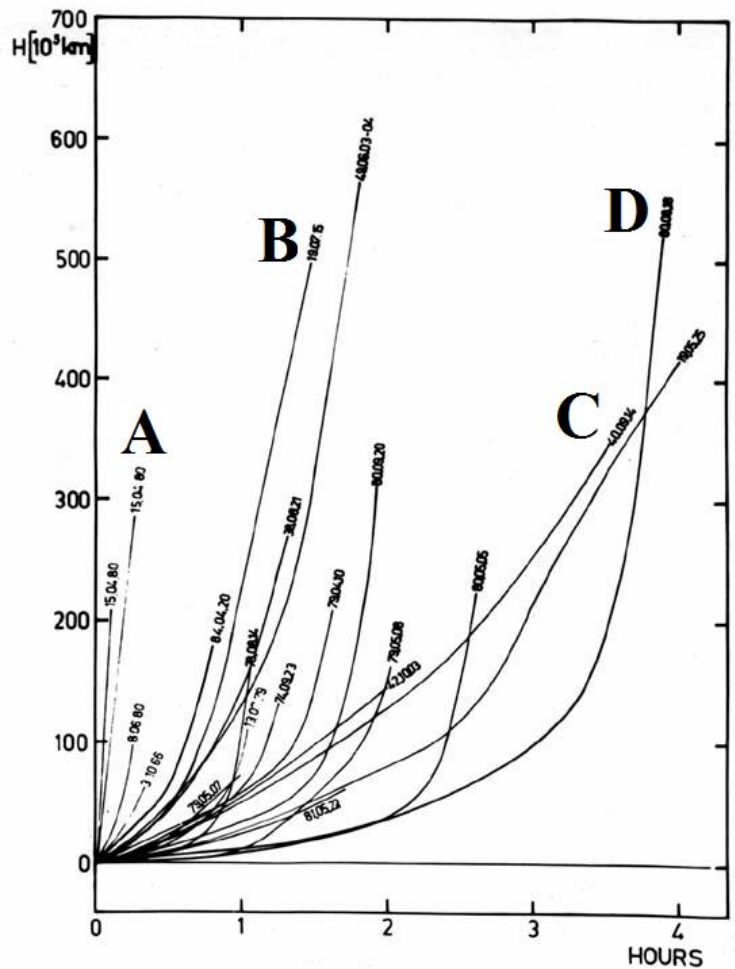
2. Oszacuj objętość protuberancji przedstawionej na zdjęciu poniżej i oblicz jej masę. Rozmiary fizyczne protuberancji:
 długość 300 000 km
 wysokość 100 000 km
 grubość 10 000 km

Należy przyjąć, że protuberancja wypełniona jest materia chromosferyczną. Jaką energię trzeba użyć, aby taką masę rozpędzić do prędkości 400 km/s?



3. Protuberancja słoneczna widoczna w pobliżu równika Słońca nad zachodnim brzegiem tarczy emituje promieniowanie linii H α wodoru ($\lambda_{lab}=656.28$ nm) jako obserwowane na długości fali $\lambda_{obs}=656.88$ nm. Oblicz, jak jest horyzontalna prędkości tej protuberancji względem powierzchni Słońca. Przyjmij promień Słońca $R=696\,000$ km i okres obrotu na równiku $P=25.38$ dni.

4. Na podstawie zamieszczonego obok wykresu zmian w czasie wysokości protuberancji erupcyjnych nad powierzchnią Słońca, wyznacz prędkości początkowe i końcowe protuberancji oznaczonych literami: A, B, C i D. Czy protuberancje osiągnęły prędkość ucieczki? Wysokość jest wyrażona w 10^3 km.

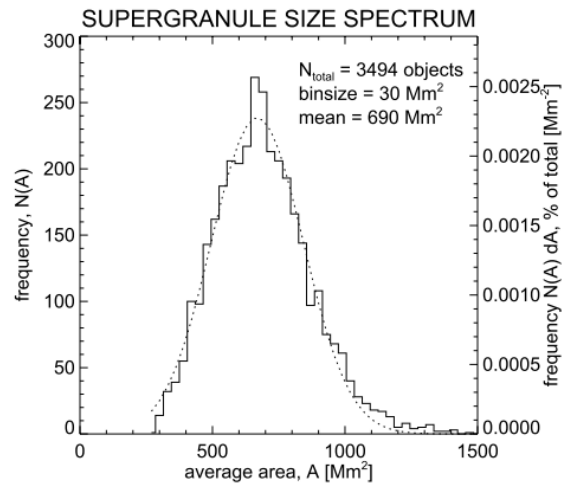


Przy odczycie danych z wykresu pomocne może być to narzędzie: <https://automeris.io/v4/>

5. Korzystając z danych zawartych w tabeli, oblicz β magnetyczną dla czterech podanych tam obszarów. Wycegnij wnioski.

Parameter	Photosphere	Cool corona	Hot corona	Outer corona
Electron density n_e (cm^{-3})	2×10^{17}	1×10^9	1×10^9	1×10^7
Temperature T (K)	5×10^3	1×10^6	3×10^6	1×10^6
Pressure p (dyne cm^{-2})	1.4×10^5	0.3	0.9	0.02
Magnetic field B (G)	500	10	10	0.1

6. Z histogramu znajdującego się obok, odczytaj powierzchnię supergranul (minimalną, typową oraz maksymalną). O ile typowa powierzchnia supergranul jest większa od powierzchni granul? Uwaga: na wykresie błędnie podane są jednostki powierzchni supergranul, zamiast Mm^2 powinny być Mkm^2 .



7. [temat do krótkiej prezentacji] Do czego służy i jak działa algorytm PM-NAFE? podstawowe źródło: <http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/SDO/Pm-nafe/Algorithm/0-info.htm> (oraz wspomniany na tej stronie artykuł) Prezentacja musi być ilustrowana przykładowymi obrazami i filmami.

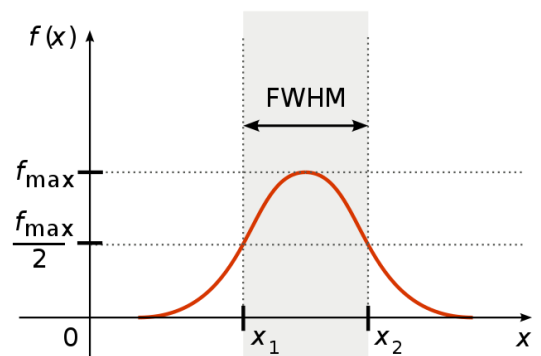
8. Ruchy termiczne atomów w gazie oraz ruchy turbulენტne gazu powodują poszerzenie dopplerowskie linii widmowych. Wielkość tego poszerzenia, wyrażona szerokością połówkową linii (full width at half maximum, FWHM, patrz rys. obok), opisuje wzór:

$$FWHM = \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\left(\frac{2kT}{m} + v_{turb}^2\right) \ln(2)}$$

gdzie λ to środkowa długość fali linii, c to prędkość światła, k to stała Boltzmann, T to temperatura gazu, m to masa atomów, v_{turb} to prędkość ruchów turbulენტnych. Korzystając z tego równania, oblicz dla linii wodorowej $H\alpha$:

- FWHM wynikające tylko z ruchów termicznych atomów wodoru (przyjmij T równą temperaturze efektywnej)
- FWHM wynikające z połączonego efektu ruchów termicznych atomów wodoru oraz turbulencji wywołanej ruchem plazmy w granulach (przyjmij v_{turb} równą prędkości plazmy w granulach).

Ile wynosi iloraz v_{turb} do $2kT/m$? Jaka jest względna zmiana FWHM po uwzględnieniu turbulencji? Czy turbulencja daje istotny wkład do FWHM w fotosferze słonecznej?



9. Duży rozbłysk słoneczny wystąpił w obszarze korony, gdzie pole magnetyczne miało początkowo wartość 0.03 T. Rozbłysk ten wyzwolił w ciągu 1 godziny 10^{25} J energii. Odpowiedz na następujące pytania:

- Jaka była gęstość energii magnetycznej w obszarze przed początkiem rozbłysku?
- Jaka minimalna objętość jest wymagana, aby dostarczyć energii magnetycznej do zasilenia tego rozbłysku?
- Zakładając dla uproszczenia, że ta objętość ma kształt sześcianu, porównaj długość boku tego sześcianu z typowym rozmiarem dużego rozbłysku.
- Wyciągnij wnioski, odnosząc się do ogólnego założenia, że energia magnetyczna jest źródłem rozbłysków słonecznych.

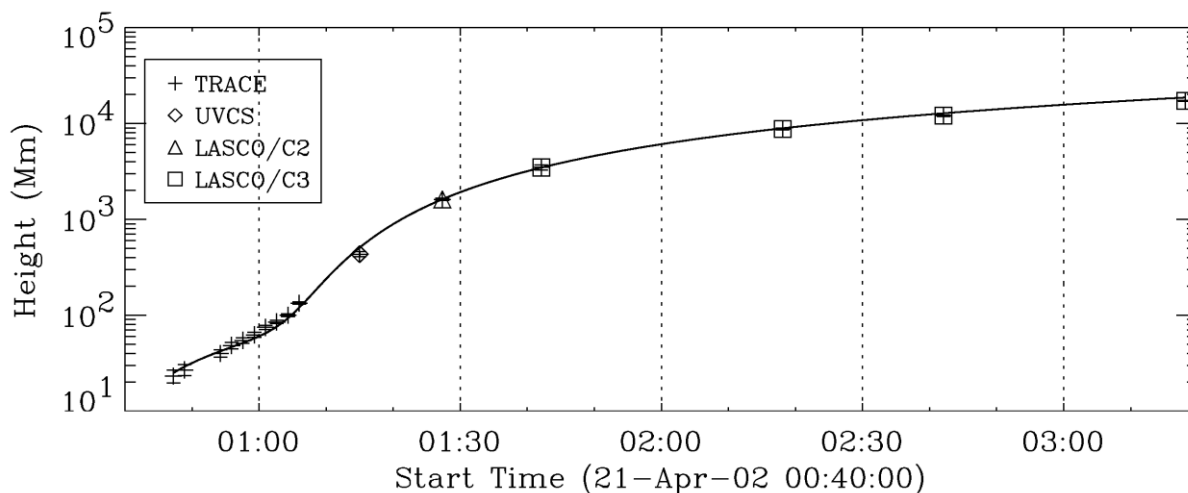
10. Przyjmijmy, że jeden wyrzut CME występuje średnio raz na dobę oraz że typowy CME ma masę 10^{13} kg. Oszacuj roczną utratę masy Słońca w wyniku wyrzutów CME. Porównaj ten wynik z roczną utratą masy wynikającą z wiatru słonecznego. Wyraż to porównanie jako iloraz obu utrat masy.

11. Przyjmij, że prędkość CME skierowanego do Ziemi wynosiła 500 km/s, a jego masa 10^{13} kg.

- Oszacuj energię kinetyczną tego CME i porównaj ją z energią wydzieloną w dużym rozbłysku (wyraż porównanie jako iloraz obu energii).
- Oszacuj czas dolotu CME do Ziemi.
- Omów krótko jakie mogą być skutki „zderzenia” CME z Ziemią.

12. Na rysunku poniżej przedstawiony jest wykres zmian wysokości CME nad powierzchnią Słońca. Jak zmienia się prędkość i przyspieszenie tego CME w czasie? Co może być przyczyną tych zmian? Należy wykonać wykresy $v(t)$ i $a(t)$ dla tych samych przedziałów czasu.

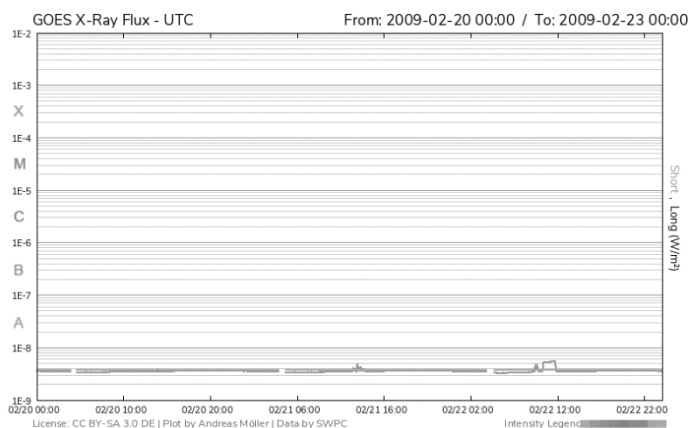
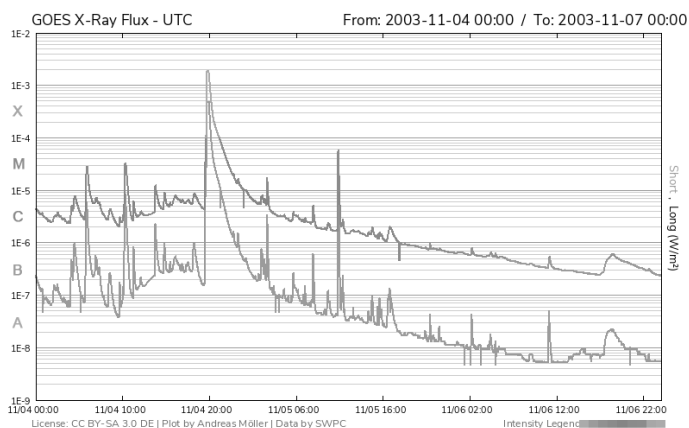
Przy odczycie danych z wykresu pomocne może być to narzędzie: <https://automeris.io/v4/>. Narzędzie umożliwia wskazanie, że oś wykresu zwiera czas lub jest logarytmiczna. Po wyciągnięciu danych liczbowych z wykresu, do ich analizy można wykorzystać odpowiednie oprogramowanie, np. Gnuplot.



13. Najsilniejszy zarejestrowany dotychczas rozbłysk oszacowany został na klasę rentgenowską X40+. Miał miejsce 4.11.2003. Krzywa blasku dla tego zjawiska, zmierzona przez satelity GOES, przedstawiona jest na wykresie poniżej (po lewej). Górna krzywa to strumień dla przedziału 1–8 Å, dolna dla 0.5 – 4 Å. Klasę rozbłysku określa się na podstawie strumienia w maksimum blasku zarejestrowanym w kanale 1–8 Å. Dla przykładu rozbłysk klasy C4.4 ma w maksimum blasku strumień $4 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$.

Więcej o klasach rozbłysków na <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/what-are-solar-flares.html>

- Wyraż klasę X40 w jednostkach W/m^2 .
- Co oznacza, że klasa tego rozbłysku jest szacowana na X40+? Podpowiedź: obejrzyj dokładnie krzywą blasku około maksimum rozbłysku. Najlepiej wyświetlić ten wykres dla węższego przedziału czasu korzystając z narzędzia na <https://www.polarlicht-vorhersage.de/goes-archive>
- Oszacuj energię wyemitowaną przez ten rozbłysk w przedziale 1–8 Å w ciągu pierwszych 10 godzin jego trwania. Wykorzystaj podane powyżej narzędzie do dokładniejszego odczytania potrzebnych danych z wykresu.
- W czasie bardzo niskiej aktywności słonecznej w 2009 roku, strumień rentgenowski Słońca spadał do poziomu $5 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$ (w przedziale 1–8 Å). Ten poziom można przyjąć jako emisję spokojnej, nierozbłyskowej korony słonecznej. Ile czasu musiałaby świecić cała spokojna korona, aby wyemitować tyle samo energii, co powyższy rozbłysk w ciągu pierwszych 10 godzin jego trwania.
- Przykładowy okres bardzo niskiej emisji rentgenowskiej z 2009 roku przedstawia wykres poniżej (po prawej). Dane pochodzą z pomiarów satelitów GOES. Dlaczego krzywa blasku jest płaska i nie jest na poziomie wspomnianych $5 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$?



14. Pomiędzy minimum a maksimum aktywności Słońca zmianie ulega strumień emitowanego przez nie promieniowania. Wielkość tej zmiany zależy od rozważanego zakresu fal elektromagnetycznych. Jak duża jest ta zmiana w poszczególnych zakresach? W dyskusji należy skorzystać z wykresu(-ów) pokazującego tę zmianę. Wykresy tego typu można znaleźć w Internecie na hasło „spectral variability sun”, np.:

https://www.researchgate.net/figure/The-solar-spectrum-black-curve-is-highly-variable-green-curve-the-spectral_fig1_231892911.

Pomocna może być też ta praca:

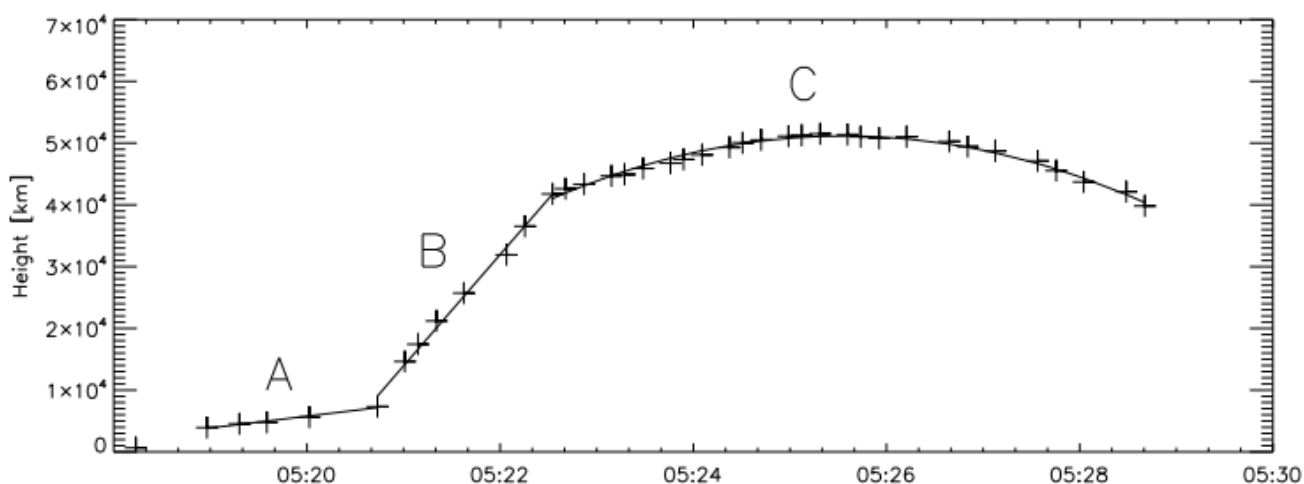
https://www.researchgate.net/publication/359765680_Solar-Cycle_Variability_Results_from_the_Solar_Radiation_and_Climate_Experiment_SORCE_Mission

Rozwiązane należy przedstawić w formie slajdów.

15. Poniższy wykres przedstawia zmianę wysokości erupcji zaobserwowanej 14.07.2004 roku przez satelitę TRACE w promieniowaniu EUV. Jest to przykład erupcji nieudanej (failed eruption), czyli takiej, która po zainicjowaniu szybkiego znoszenia się (odcinek B na wykresie), po pewnym czasie ulega zwolnieniu i zatrzymaniu (odcinek C) na skutek działania pewnych czynników. Nie dochodzi tu do ucieczki materii z korony, tak, jak to ma miejsce w przypadku erupcji udanych, które przechodzą w CME. Oblicz prędkość i przyspieszenie dla omawianej erupcji (dla odcinków A, B i C). Mając wyznaczone przyspieszenie dla odcinka C, przedyskutuj czy czynnikiem hamującym erupcję mogła być grawitacja Słońca. Jeśli nie, to jakie inne czynniki mogły tu działać?

Przy odczycie danych z wykresu pomocne może być to narzędzie: <https://automeris.io/v4/>. Narzędzie umożliwia wskazanie, że oś wykresie zwiera czas. Po wyciągnięciu danych liczbowy z wykresu, do ich analizy można wykorzystać odpowiednie oprogramowanie, np. Gnuplot.

Film pokazujący ewolucję erupcji: https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1007%2Fs11207-011-9750-5/MediaObjects/11207_2011_9750_MOESM1_ESM.avi (Mrozek 2011).



16. [temat do krótkiej prezentacji] Obserwacje Słońca na falach radiowych. Dlaczego warto je prowadzić? Jakich instrumentów się używa? Jakie zjawiska są obserwowane? Jak wyglądają przykładowe dane?
17. [temat do krótkiej prezentacji] Obserwacje Słońca w wysokich energiach (daleki ultrafiolet, promieniowanie X). Dlaczego warto je prowadzić? Jakich instrumentów się używa? Jakie zjawiska są obserwowane? Jak wyglądają przykładowe dane? Prezentację proszę oprzeć na obserwatoriach satelitarnych SDO, Hinode i Solar Orbiter.
18. [temat do krótkiej prezentacji] Pogoda kosmiczna na egzoplanetach. Jak aktywność typu słonecznego może określać warunki panujące na egzoplanetach, na przykładzie układu TRAPPIST-1. W prezentacji należy się skupić na możliwości utrzymania atmosfery przez egzoplanety poddawane działaniu czynników takich jak wiatr gwiazdowy. Podstawowe źródła:

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1708010115>

<https://youtu.be/cVO02Abfs84> (w opisie filmu linki do dwóch publikacji z 2023 r.)

uzupełniająco jako ogólny wstęp: https://en.wikipedia.org/wiki/TRAPPIST-1#Potential_planetary_atmospheres