

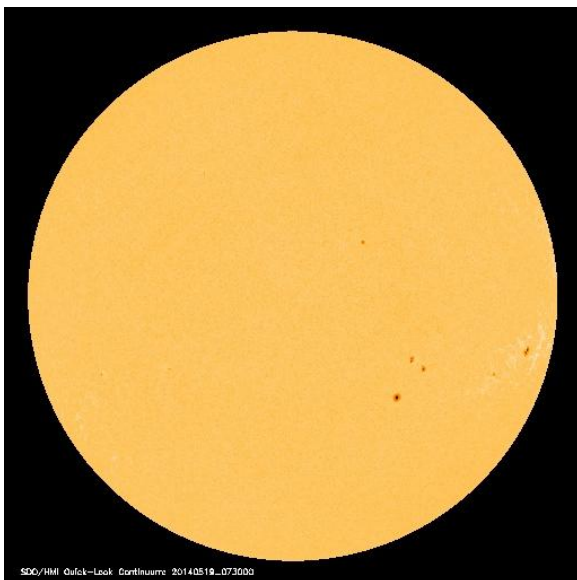
## 12.1 Słońce

Słońce jest potężnym źródłem promieniowania, gdyż jest obiektem bardzo gorącym. Moc promieniowania Słońca to całkowita ilość energii, jaką emituje ono w jednostce czasu we wszystkich kierunkach. Temperatura powierzchni naszej dziennej gwiazdy rzędu 5500 °C znacznie przewyższa charakterystyczną dla Ziemi wartość ok. 15 °C. Im wyższa temperatura, tym bardziej promieniowanie koncentruje się w zakresach fal o coraz mniejszej długości. Większość promieniowania Słońca przypada na zakres widzialny, ale w ogólnej emisji jest też obecne i promieniowanie ultrafioletowe, i podczerwone.

- Jak ma się zakres promieniowania Słońca do zakresu promieniowania Ziemi?
- Promieniowanie Ziemi koncentruje się w zakresie podczerwonym, na długościach fali większych niż zakres widzialny
- Jaka byłaby moc promieniowania Słońca w stosunku do mocy promieniowania Ziemi, *gdyby oba ciała miały powierzchnię o tych samych rozmiarach?*
- Z powodu znacznie wyższej temperatury, Słońce i tak emitowałoby znacznie więcej promieniowania niż Ziemia.

Ogromna moc promieniowania Słońca to skutek zarówno ogromnych rozmiarów, jak i wysokiej temperatury powierzchni.

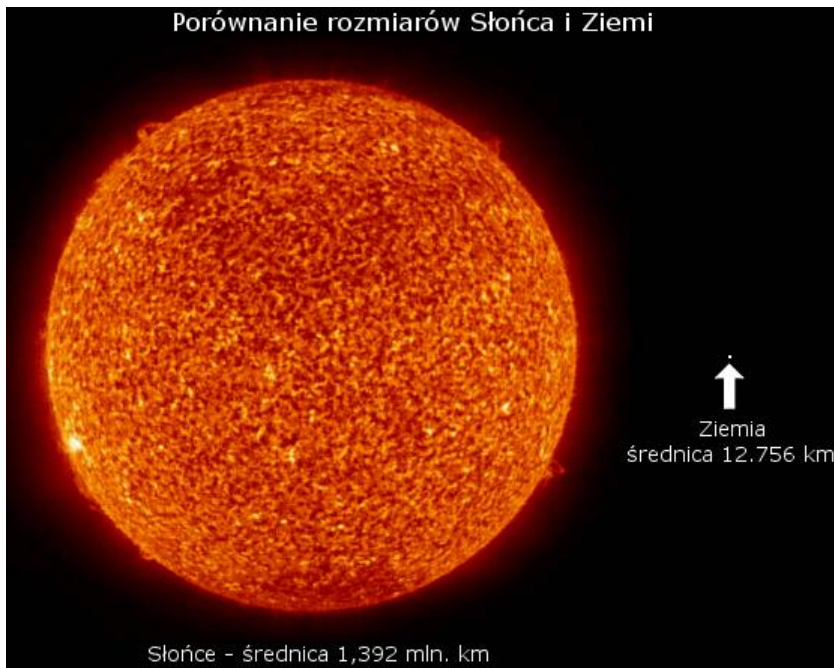
Ziemia i Słońce są w przybliżeniu kuliste. Gdyby zmniejszyć je do rozmiarów kuli bilardowej, byłyby równie gładkie. Kulisty kształt Ziemi może nie wydawać nam się dobrym do opisu, ale to dlatego, że żyjemy przy samej jej powierzchni. Typowy obraz Słońca oglądanego przez teleskop (fot. 12.1) to okrągła tarcza, podobnie jak np. obraz jednakowo oświetlonej kuli trzymanej w wyciągniętej ręce.



Fot. 12.1 Obraz Słońca w zakresie widzialnym. Ciemne plamy (plamy słoneczne) to obszary o niższej temperaturze (ok. 4000 °C zamiast ok. 5500 °C, jak dla pozostałej części powierzchni). Fot. NASA, SOHO.

Rozmiary kuli charakteryzuje jej promień. Pomiary wykonywane w przypadku Ziemi pozwoliły określić jej średni promień na  $6,371 \times 10^6$  m, zaś promień Słońca jest ok. 109 razy większy.

Rys. 12.2 porównuje rozmiary Słońca i Ziemi z zachowaniem skali. Moglibyśmy dla porównania użyć też np. piłki futbolowej (jako Słońca) i łebka szpilki o średnicy niewiele większej niż 1 mm (jako Ziemi). Wewnątrz Słońca zmieściłoby się ponad milion kul ziemskich. Na niebie wydaje nam się stosunkowo małe, ale to tylko z powodu ogromnej odległości, ok. 24 000 razy przewyższającej promień Ziemi.



Rys. 12.2 Porównanie rozmiarów Słońca i Ziemi (z zachowaniem skali). Warto pamiętać, że na tego typu ilustracjach skala odległości nigdy nie jest zachowana; Ziemię powinniśmy w tej skali odsunąć na odległość prawie 4 metrów! Średnia odległość Ziemi od Słońca to ok. 150 mln km (wartość określana też jako jednostka astronomiczna, 1 j.a.).

## 12.2 Co skrywa wewnątrz Słońca?

Jasna powierzchnia Słońca nazywana jest **fotosferą**. To nie jest ściśle określona, ale nieco „rozmyta” warstwa o grubości prawie 500 km (co stanowi zaledwie 0,07% promienia, wynoszącego 696 000 km), poniżej której nie sięga już bezpośrednio nasze widzenie. Słońce w kierunku centrum stopniowo staje się coraz bardziej gorące i gęste: od ok.  $1 \text{ kg/m}^3$  w fotosferze do ok.  $1,5 \times 10^5 \text{ kg/m}^3$  w środku. Żeby lepiej uświadomić sobie obie wielkości, zauważmy, że gęstość w fotosferze jest porównywalna z gęstością ziemskiej atmosfery na poziomie morza, natomiast w jądrze około 150 razy przewyższa gęstość wody.

Materia w środku Słońca ma gęstość taką, jaką miałyby masa dorosłego człowieka upchnięta do półlitrowego kufła! Można by przypuszczać, że będzie to materia w stanie stałym, ale tak

nie jest. Dzieje się tak dlatego, że temperatura we wnętrzu Słońca to ok. 15 milionów stopni. W tych warunkach materiał pozostaje płynny i można opisywać go jako gęsty, bardzo gorący gaz.

W Układzie Słonecznym warunki zbliżające się w tym kierunku spotykamy w centrum Jowisza; jednak z wartościami temperatury na poziomie 20 tysięcy stopni Celsjusza i gęstości 20 razy większej niż woda, nie są to tak ekstremalne obszary jak centrum Słońca.

Temperatura we wnętrzu Słońca powinna się utrzymywać na zbliżonym poziomie, aby zapewniać odpowiedni strumień promieniowania. Gdyby wewnątrz Słońca miało się ochłodzić, ochłodziłaby się i jego powierzchnia, a tym samym Ziemia nie byłaby już przez Słońce równie intensywnie ogrzewana, co groziłoby jej zamrożeniem. Ciepło (energię) we wnętrzu Słońca zapewniają reakcje termojądrowe, o których powiemy więcej nieco dalej.

Gdy przewracasz kartki tej książki, korzystasz z energii uzyskanej dzięki posiłkom. Rośliny wzrastają, korzystając z energii słonecznej (w procesie fotosyntezy), zamieniając dwutlenek węgla w tlen (uwalniany do powietrza) i węgiel (wykorzystywany do budowy tkanek). Spożywając mięso, korzystasz z efektów procesu odżywiania zwierząt – ostatecznie znów bazującym na pokarmie roślinnym i energii słonecznej. Prawie całe życie na Ziemi opiera się na przetworzonej energii Słońca. Dotyczy to też działalności człowieka: węgiel i ropa naftowa to przetworzone w sposób naturalny skamieniałe szczątki roślin i zwierząt, jedynie niewielki procent energii z której korzystamy nauczyliśmy się wytwarzać „sztucznie”, w reaktorach jądrowych. Jak więc Słońce wytwarza energię?

W rzeczywistości energii nie da się z niczego wytworzyć ani całkowicie zniszczyć. W trakcie fuzji (syntezy) jądrowej Słońce zmienia niewielką część zgromadzonej w jądrach atomowych energii w energię promieniowania. Synteza jądrowa to proces odmienny od reakcji chemicznych. Podczas reakcji chemicznych oddziałują zewnętrzne powłoki atomów, fuzja jądrowa to oddziaływanie pomiędzy ich jądrami.

Znamy przeszło 100 pierwiastków, każdy z nich określa specyficzny rodzaj atomów. Atomy mają różne masy. Najmniejszą ma atom wodoru, kolejnym zaś jest atom helu. Atomy danego pierwiastka nie muszą mieć dokładnie tej samej masy, ale mówiąc najprościej: hel jest pierwiastkiem bardziej masywnym niż wodór, a jeszcze masywniejszy jest węgiel i tak dalej. W tym kontekście używamy najczęściej określenia „cięższy” i „lżejszy” niż „bardziej masywny” i „mniej masywny”. Dla przykładu powiemy, że hel jest lżejszy od węgla, a wodór jest najlżejszym pierwiastkiem. Około 73% masy Słońca stanowi wodór, prawie cała pozostała część to hel. Skład ten bardzo odbiega od ziemskiego.

W reakcjach chemicznych atomy są przyłączane bądź oddzielane od innych atomów. W fuzji jądrowej, lżejsze pierwiastki zamieniane są w cięższe poprzez przyłączenie (fuzję) innego jądra atomowego, z wydzieleniem pewnej energii. W przypadku Słońca, synteza jądrowa zamienia wodór w hel (w rzeczywistości odbywa się to w kilku pośrednich etapach). Choć wodoru nie brakuje w całym wnętrzu Słońca, reakcje jądrowe ograniczone są do obszaru jądra. Dzieje się tak dlatego, że dopiero dostatecznie wysoka temperatura może zainicjować reakcje syntezy, minimalną wartością jest ok. 10 milionów stopni.

W jądrze Słońca temperatura po raz pierwszy przekroczyła 10 milionów stopni około 4,6 miliarda lat temu, w momencie narodzin gwiazdy. Tak wysoka temperatura to wynik kontrakcji (kurczenia się) obłoku materii międzygwiazdowej. Synteza stała się źródłem energii, a co za tym idzie – ciśnienia promieniowania, które na tym etapie zahamowało dalszą kontrakcję. Jednocześnie temperatura mogła już być utrzymana na stałym poziomie. Tak więc to synteza jądrowa podtrzymuje proces świecenia Słońca.

Produkcja pierwiastków jeszcze cięższych z helu również przebiega z wydzielaniem energii. Jednak do tego procesu wymagana jest jeszcze wyższa temperatura, obecnie wewnątrz Słońca nie jest obszarem, w którym odgrywałby on znaczącą rolę. Na dzień dzisiejszy to wodór stanowi słoneczne paliwo.

Jądro Słońca jest ogromnym zbiornikiem wodoru, a energia wydzielana przy syntezie helu równie wielka, co sprawia, że przez bardzo długi czas (mierzony w miliardach lat) Słońce może podtrzymywać swoje świecenie zanim zabraknie mu paliwa. Jednak zasoby wodoru w jądrze są systematycznie wykorzystywane i rośnie udział helu w składzie wnętrza. W końcu paliwo wodorowe wyczerpie się, a Słońce czeka szereg znaczących zmian. Jednym ze skutków będzie zniszczenie życia na Ziemi, jednak do tego etapu pozostało nam jeszcze sporo czasu (wg aktualnych ocen nastąpi to dopiero za ok. miliard lat).

### 12.3 Gwiazdy

Patrząc na niebo w pogodną i ciemną noc gołym okiem, moglibyśmy doliczyć się kilku tysięcy gwiazd. Znacznie więcej moglibyśmy dostrzec przez lornetkę lub teleskop. Niestety nie jesteśmy w stanie ocenić na pierwszy rzut oka dystansu dzielącego nas od gwiazd. Pomiar sugerują szeroki zakres odległości. Najbliższa po Słońcu gwiazda, Proxima Centauri, oddalona jest 266 tysięcy razy dalej niż Słońce, zaś najodleglejsze widoczne gołym okiem gwiazdy mogą być nawet 2000 razy dalej!

Co wiemy o ich fizycznej naturze? Gwiazdy mają kształt zbliżony do kuli i rozmiary od ok. 1% promienia Słońca do około 1000 słonecznych promieni. Gwiazdy są dla nas punktami z powodu ogromnej dzielącej nas od nich odległości. Tylko w pojedynczych przypadkach, za pomocą największych teleskopów, udaje nam się zauważyć i zmierzyć bezpośrednio rozmiary gwiazd.

Gwiazdy świecą z tego samego powodu co Słońce – mają powierzchnie rozgrzane do temperatur w zakresie od ok. 2 000 do ponad 40 000 °C. Mogą więc być zarówno gorętsze, jak i chłodniejsze od Słońca. Wszystkie zamieniają (lub kiedyś to robiły) część energii jądrowej na światło. Masywniejsze od Słońca gwiazdy mogą w swych wnętrzach dokonywać syntezy jąder cięższych od helu. Gorące i olbrzymie gwiazdy mogą promieniować tysiące, a nawet miliony razy jaśniej niż Słońce, a wydają się nam słabe tylko dlatego, że ich odległość jest ogromna. To tak jak świeca trzymana w dłoni będzie się wydawać jaśniejsza od dalekich fajerwerków.

Różnice w temperaturach powierzchniowych gwiazd możemy zauważyć gołym okiem, zwracając uwagę na ich barwy: chłodniejsze świecą czerwonym blaskiem, najgorętsze – niebieskawym.

Skąd bierze się taka różnorodność gwiazd? Są dwa zasadnicze powody. Po pierwsze, gwiazdy żyją – rodzą się, dojrzewają, starzeją się i umierają. Niektóre cechy pojawiają się i zmieniają w trakcie ich ewolucji. Po drugie, powstają gwiazdy o różnych masach i nieco różniącym się składzie chemicznym.

Nasze Słońce to przeciętna gwiazda w średnim wieku, wraz z setkami miliardów innych słońc okrążająca centrum naszej Galaktyki – Drogi Mlecznej.