

Władysław Błasiak

# SŁOŃCE i MY



Ryszard Chmiel, *Wschód Słońca*

## Wstęp

1. Kosmiczna karuzela
2. Słońce na szkolnym boisku
3. Słońce na linie
4. Moc Słońca
5. Słońce i woda
6. Moc Słońca i moc człowieka
7. Autostrada fotonów
8. Ile waży cień?
9. Czy zawsze będzie Słońce?
10. Apetyt na słoneczną energię

## Wstęp

Prażę się w słońcu, gałgan stary...  
Leżę, wyciągam się i ziewam...

Słońce mi grzeje stare gnaty  
I mądry, siwy łeb kudłaty...  
A w mądrym łbie, jak wiosną las,  
Szumi i szumi mędrsze wino,  
A wieczne myśli płyną, płyną,  
Jak czas...

Sokrates tańczący (fragment)  
Julian Tuwim

Ministerstwo Edukacji Narodowej we współpracy ze szkołami wyższymi i Centralnym Ośrodkiem Doskonalenia Nauczycieli w Warszawie organizuje ogólnopolskie Fora Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych. Umożliwiają one nauczycielom wszystkich typów szkół wymianę doświadczeń z zakresu teorii oraz praktyki edukacji przyrodniczej. Dotychczas odbyło się osiem takich spotkań, zorganizowanych przez: Uniwersytet Wrocławski (2000), Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (2001), Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (2002), Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu (2003), Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie (2004), Uniwersytet Śląski w Sosnowcu (2005), Akademię Świętokrzyską w Kielcach (2006) oraz Uniwersytet Gdański (2007).

Kolejne IX Forum Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych odbędzie się w Akademii Pedagogicznej w Krakowie. Celem tegorocznego Forum NPP jest wskazanie niezwyklej roli Słońca w powstaniu i podtrzymywaniu życia na Ziemi. Zapraszamy na wykłady, pokazy oraz dyskusje na temat najważniejszych praw przyrody opisujących i wyjaśniających różnorakie zjawiska związane z naszą najbliższą gwiazdą oraz integrujących nauczanie geografii, biologii, fizyki, chemii oraz przyrody. Program Forum przewiduje także wyjazdy terenowe w okolice Krakowa. Podczas Forum zostaną ogłoszone wyniki konkursu fotograficznego dla uczniów i nauczycieli przedmiotów przyrodniczych. Uczestnicy Forum będą mieli możliwość zapoznania się z najnowszą ofertą wydawnictw edukacyjnych oraz producentów środków dydaktycznych.

Minęły czasy, kiedy Słońce było Bogiem. Dziś wiemy, że jest zwyczajną gwiazdą, podobną do większości z 200 miliardów gwiazd w naszej Galaktyce. Mimo to jest dla nas nadzwyczajnie ważne, bo jest gwiazdą, która ma ogromny wpływ na Ziemię. Z roku na rok poznajemy jego kolejne tajemnice. Wiążemy z nim coraz większą nadzieję na zaspokojenie wzrastającego apetytu na energię.

W 2007 roku obchodzono po raz pierwszy Międzynarodowy Dzień Słońca. Dzięki Europejskiej Agencji Kosmicznej (European Space Agency) i NASA (National Aeronautics and Space Administration), każdego roku, w dniu 18 marca, będziemy mieć Międzynarodowy Dzień Słońca. Ma to na celu upowszechnianie wiedzy o Słońcu, jego wpływie na Ziemię, jej jonosferę i magnetosferę oraz na nas i życie przyszłych pokoleń.

Mam nadzieję, że krakowskie spotkanie nauczycieli przedmiotów przyrodniczych, we wrześniu 2008 roku, na konferencji zatytułowanej „SŁOŃCE i MY” – będzie dobrą okazją do kontynuowania refleksji na temat naszej gwiazdy. Kierujemy nasze nadzieje ku Słońcu. Nie zamierzamy jednak popełniać błędu Ikara.

Proste opowiadania, zatytułowane „Słońce i my”, kieruję do uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych oraz nauczycieli przedmiotów przyrodniczych. Słońce – to kapitalny motyw integrujący nauczanie. „Lekcje o Słońcu” to pretekst do zaprezentowania praw przyrody rządzących światem, dzięki którym możemy opisywać, wyjaśniać oraz przewidywać ważne dla nas zjawiska przyrodnicze. W każdym opowiadaniu staram się ukazać słonecznego olbrzyma z różnej perspektywy i w różnej skali tak, aby jego gigantyczna postać mogła się zmieścić pod horyzontem naszej wyobraźni.

Dziękuję wszystkim, którzy namówili mnie do sfinalizowania prostych opowiadań o Słońcu oraz przekazali szereg rad o charakterze merytorycznym i dydaktycznym, co istotnie ułatwiło trudne zadanie elementaryzacji wiedzy o Słońcu i jego wpływie na nasze życie. Szczególnie gorąco dziękuję pani Zofii Kuklińskiej z CODN w Warszawie, Marii Fiałkowskiej, Katarzynie Bajan, Danucie Turkiewicz, Romanowi Roškowi z Zakładu Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki Akademii Pedagogicznej w Krakowie, panu Pawłowi Presiowi z Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego, sąsiadowi Zbigniewowi Pacurze, mojej żonie Wacławie oraz synowi Pawłowi.

Władysław Błasiak

# 1. KOSMICZNA KARUZELA

Obracamy się jak na rożnie,  
Wystawieni na wielki ogień.  
Krażymy wokół Słońca.  
Czyż jest coś bardziej romantycznego,  
Bardziej ekscytującego?

Richard P. Feynman (cytat z książki „Sześć łatwych kawałków”)

Ziemia wraz z nami, porusza się z ogromną prędkością dookoła Słońca. Średnią wartość tej prędkości można obliczyć ze wzoru:

$$V_z = 2 \cdot \pi \cdot R / T$$

gdzie:  $R \approx 149\,600\,000$  km (średnia odległość Ziemi od Słońca),

$T = 1$  rok  $\approx 365 \frac{1}{4}$  dnia =  $31\,557\,600$  s.

Łatwo obliczyć, że

$$V_z \approx 30 \text{ km/s} \approx 107\,000 \text{ km/h.}$$

W ciągu zaledwie najbliższych 10 sekund, każdy z nas przebędzie razem z Ziemią dookoła Słońca długą drogę, równą odległości z Warszawy do Stołecznego Królewskiego Miasta Krakowa.

Ziemia nieustannie „spada” na Słońce z wartością przyspieszenia około 77 km/godzinę<sup>2</sup>. Dzięki ruchowi obiegowemu, to „wieczne spadanie”, nie powoduje jednak zmiany średniej odległości Ziemi od Słońca.

Nasze Słońce nie jest nieruchome, i nie jest centrum Wszechświata, wbrew temu, co sądził Mikołaj Kopernik.

**A w środku wszystkich ciał ma swą siedzibę Słońce. (...)  
Wszak nie bez słuszności niektórzy nazywają go latarnią świata,  
inni jego rozumem,  
jeszcze inni władcą".**

Mikołaj Kopernik

Słońce porusza się dookoła centrum Galaktyki, zwanej Drogą Mleczną. Odległość Słońca od środka Galaktyki wynosi około 30 000 lat świetlnych. Jeden rok świetlny to odległość, którą przebywa światło w próżni w czasie jednego roku. Wynosi ona około  $9,46 \cdot 10^{12}$  km. Odległość Słońca od środka Galaktyki ocenia się na około  $2,84 \cdot 10^{17}$  m. Okres obrotu Galaktyki wynosi około  $2,3 \cdot 10^8$  lat. Łatwo obliczyć,

że wartość prędkości (szybkość) Słońca, w jego ruchu wokół środka Galaktyki jest równa:

$$V_s \approx 250 \text{ km/s} \approx 900\,000 \text{ km/h.}$$

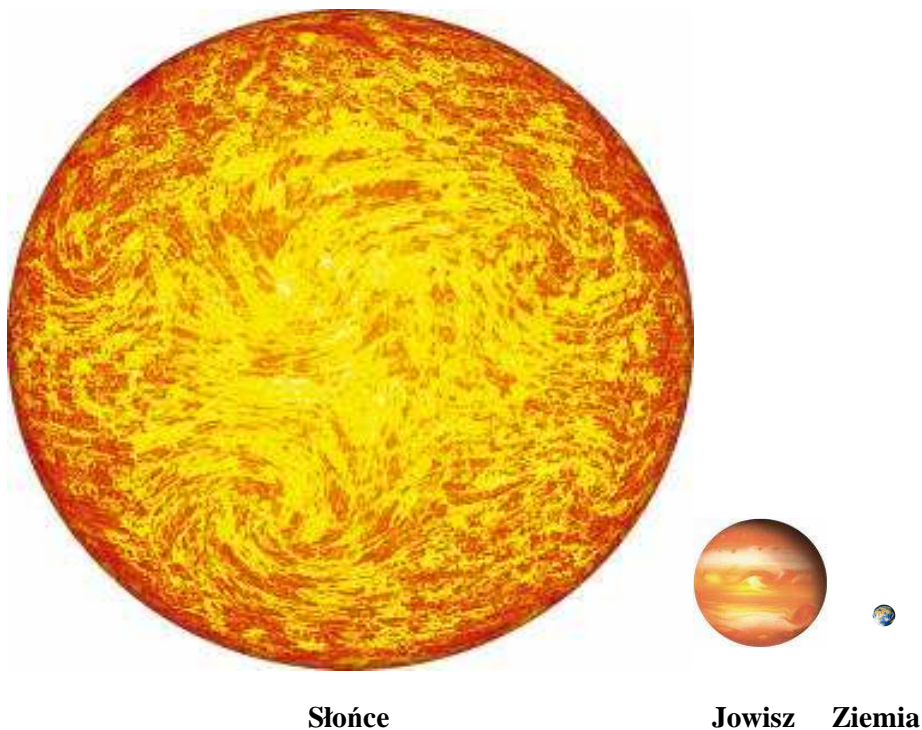
To nieprawdopodobne. Towarzysząc Słońcu, przebywamy razem z nim olbrzymie odległości, wirując na tej niezwyklej kosmicznej karuzeli. Podróżując z taką szybkością okrążylibyśmy Ziemię w czasie zaledwie około 3 minut. Dystans równy odległości z Krakowa do Torunia pokonalibyśmy w czasie niewiele dłuższym od jednej sekundy.

**Czy potraficie Państwo wyjaśnić uczniom, dlaczego poruszając się z prędkością o tak dużej wartości, nie musimy zapinać pasów bezpieczeństwa?**

Na zakończenie proponuję porównanie oszacowanych wyżej prędkości z innymi prędkościami w przyrodzie.

- Prędkość światła w próżni to nieco powyżej 1 000 000 000 km/godz.
- Prędkość ucieczki obiektu materialnego z powierzchni Słońca wynosi około 2 200 000 km/godz.
- Prędkość, którą trzeba nadać ciału, aby opuściło Ziemię (II prędkość kosmiczna), wynosi około 40 000 km/godz.
- Najszybszy ssak, gepard, rozwija prędkość dochodzącą do około 120 km/godz.
- Krew w żyłach szanownego Czytelnika, w pobliżu serca, płynie średnio z prędkością około 2 km/godz.
- Paznokcie u naszych rąk rosną z prędkością około 0,000 000 005 km/godz.

## 2. SŁOŃCE NA SZKOLNYM BOISKU



Wszystkie dni stają się takie same wtedy,  
kiedy ludzie przestają dostrzegać to wszystko,  
czym obdarowuje ich los,  
podczas gdy słońce wędruje po niebie.

Paulo Coelho, *Alchemik*

Promień Słońca wynosi  $R_S = 696\,260\,000$  m. To prawie dwa razy więcej, niż odległość z Ziemi do Księżyca. Promień Słońca jest około 109 razy większy od promienia Ziemi. Objętość Słońca jest około 1 300 000 razy większa od objętości Ziemi.

Powierzchnia Słońca jest około 12 000 razy większa od powierzchni Ziemi. Gdyby tyle razy zwiększyć powierzchnię mojej łazienki, **wówczas** byłaby ona tak duża, jak powierzchnia Rynku w Stołecznym Królewskim Mieście Krakowie.



Gdyby nasz Układ Słoneczny został pomniejszony 150 miliardów razy, wówczas Słońce byłoby kulą o średnicy około 1 cm. Przybliżone odległości poszczególnych planet w tej skali podano niżej.

Planeta	Odległość od Słońca (w metrach) Skala 1: 150 000 000 000
Merkury	0,4
Wenus	0,7
Ziemia	1,0
Mars	1,5
Jowisz	5,2
Saturn	10
Uran	19
Neptun	30

W skali 1 : 150 000 000 000 cały Układ Słoneczny zmieściłby się na boisku szkolnym. W tej skali najbliższa od Słońca gwiazda (*Proxima Centauri*) byłaby w odległości porównywalnej z odległością Kraków-Warszawa (około 270 km), a centrum naszej Galaktyki, zwanej Drogą Mleczną, znalazłoby się w odległości około pięć razy większej od odległości z Ziemi do Księżyca.

### 3. SŁOŃCE NA LINIE

Podziwiając potęgę rozumu ludzkiego  
warto przez chwilę pomyśleć z zachwytem o przyrodzie,  
która w pełni umiała zrealizować tę tak prostą,  
a przez to elegancką zasadę,  
jaką jest prawo powszechnego ciążenia.

Richard P. Feynman

Słońce trzyma naszą Ziemię na uwięzi dzięki sile oddziaływania grawitacyjnego. Uniwersalna siła grawitacyjna działa pomiędzy wszystkimi obiektami materialnymi. Jej wartość można obliczyć korzystając z prawa powszechnego ciążenia, sformułowanego przez Izaaka Newtona w jego słynnym dziele zatytułowanym „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” w 1687 roku. Wartość siły przyciągania grawitacyjnego dwóch ciał jest wprost proporcjonalna do iloczynu ich mas oraz odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gdzie:  $m_1$  oraz  $m_2$  – masy kul (o gęstościach będących jedynie funkcją promienia kuli),  
 $r$  – odległość pomiędzy środkami kul ( $r$  jest większe od sumy promieni kul),  
 $G = 6,67428 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  – uniwersalna stała grawitacji.

Czy siła oddziaływania grawitacyjnego jest duża, czy mała? - Odpowiedź zależy od tego, z czym ją będziemy porównywać.

Wartość siły oddziaływania grawitacyjnego Czytelnika o masie 40 kg z osobą o takiej samej masie, stojącą w odległości 1 m, wynosi około **0,0000001 N**. To kilka miliardów razy mniej w porównaniu z wartością ciężaru ciała.



Ta tabliczka czekolady przyciągana jest przez Ziemię siłą o wartości około 1 N.







### Ile energii Słońca płynie w kierunku Ziemi?

Aby oszacować energię płynącą do Ziemi od Słońca w jednostce czasu ( $P_z$ ), należy moc Słońca ( $P$ ) pomnożyć przez pole powierzchni koła o promieniu  $R_z$  (promień Ziemi) i podzielić przez pole powierzchni kuli o promieniu  $R$  (odległość Ziemi od Słońca). Czytelnika proszę o uzasadnienie takiego sposobu rozumowania.

$$P_z = P \cdot \pi R_z^2 / 4 \pi R^2$$

Dla  $R = 149,6 \cdot 10^9$  m oraz  $R_z = 6,37 \cdot 10^9$  m, mamy:

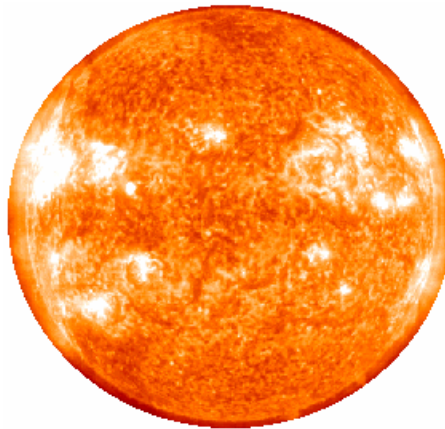
$$P_z = 1,7 \cdot 10^{17} \text{ W} = 170 \text{ 000 TW},$$

„T” stanowi skrót od stosowanego przedrostka jednostek miar. Tera (gr. teras – potwór) oznacza mnożnik  $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$  (bilion).

To olbrzymia energia. Szacuje się, że całkowity pobór mocy elektrycznej i grzewczej na świecie wynosi obecnie około 13,5 TW. Od Słońca płynie w naszą stronę znacznie więcej energii. Czy potrafimy po nią sięgnąć? O nadziei i planach wykorzystania energii słonecznej napiszemy w opowiadaniu zatytułowanym: „Apetyt na słoneczną energię”.

**Zawsze niech będzie  
Zawsze niech będzie  
Zawsze niech będzie  
Zawsze niech będę**

*Fragment słów piosenki  
Tamary Miansarowej*



**słońce!  
niebo!  
mama!  
ja!**

## 5. SŁOŃCE I WODA

...Było już po pierwszej i istotnie słoneczne światło zaczęło zmniejszać się.

– Naprawdę będzie noc? – spytał faraon Pentuera.

– Będzie, lecz bardzo krótko...

– Gdzież podzieje się słońce?

– Ukryje się za księżyc...

– Muszę przywrócić do łaski mędrców, którzy badają gwiazdy...

...

...I stała się rzecz okropna: w miarę jak głos mówił, słońce traciło blask. A wraz z ostatnim słowem zrobiło się ciemno jak w nocy. Na niebie zaiskrzyły się gwiazdy, a zamiast słońca stał czarny krąg otoczony obrączką płomieni...

...Wtem na żółte wzgórza libijskie padł złowrogi cień i z błyskawiczną szybkością zakrył Memfis, Nil i pałacowe ogrody. Noc ogarnęła ziemię, a na niebie ukazała się czarna jak węgiel kula, otoczona wieńcem płomieni...

Fragmenty z rozdziału XVI „Faraona”, Bolesława Prusa.

Często słyszymy, że „ilość energii emitowanej przez Słońce jest ogromna”. Co to znaczy, że coś jest ogromne?

Postaramy się porównać tę energię z energią potrzebną do doprowadzenia do wrzenia wszystkich zasobów wody na Ziemi.

### Ile wody jest na Ziemi?

Każdy z nas powinien opanować umiejętność szacowania różnych wielkości, ponieważ w życiu najczęściej potrzebna jest znajomość wartości przybliżonych. Woda zgromadzona jest w rzekach, lodach, morzach, atmosferze oraz oceanach. Wody powierzchniowe pokrywają aż około 71% powierzchni Ziemi. Ich średnia głębokość  $h = 3\,800$  m. W pierwszym przybliżeniu możemy założyć, że całkowita masa wody na Ziemi wynosi:

$$m = 4 \cdot \Pi \cdot R_z^2 \cdot k \cdot h \cdot \rho,$$

gdzie:  $R_z$  – promień Ziemi,

$\rho$  – gęstość wody.

$k = 0,71$

### Ile energii emituje Słońce w czasie jednej sekundy?

W poprzednim opowiadaniu oszacowaliśmy moc Słońca:

$$P = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot K,$$

gdzie:  $K$  – wartość stałej słonecznej,

$R$  – odległość Ziemi od Słońca.

**Wyobraźmy sobie, że Słońce skierowało nagle całą swoją energię w stronę Ziemi. Ile czasu zajęłoby Słońcu doprowadzenie do wrzenia wody na naszej planecie?**

Potrzebny czas  $t$  można oszacować, korzystając z równania bilansu cieplnego:

$$P \cdot t = m \cdot c_w \cdot \Delta T$$

gdzie:  $c_w$  – ciepło właściwe wody,

$\Delta T$  – różnica pomiędzy temperaturą wrzenia wody, a jej średnią temperaturą.

Stąd

$$t = k \cdot R_z^2 \cdot h \cdot \rho \cdot c_w \cdot \Delta T / R^2 \cdot K$$

Przyjmując  $\Delta T = 80^\circ \text{C}$ , otrzymujemy czas  $t$  równy około 1 sekundy. To zadziwiające. Energia emitowana przez Słońce w czasie zaledwie jednej sekundy, mogłaby doprowadzić do temperatury wrzenia całą zawartość wody na Ziemi. To niewyobrażalnie duża energia.

Na szczęście, skierowanie całej energii emitowanej przez Słońce w naszą stronę, jest niemożliwe.

## 6. MOC SŁOŃCA I MOC CZŁOWIEKA

**Bóg jest radością,  
dlatego przed swój dom wystawił słońce.**

Św. Franciszek z Asyżu

Moc Słońca wynosi  $P = 3,85 \cdot 10^{26}$  W. Jest ona niewyobrażalnie wielka w porównaniu z mocą osoby czytającej teraz to zdanie.

Inaczej to jednak wygląda, jeśli zechcemy się posłużyć pojęciem mocy właściwej  $P_m$ , czyli mocy przypadającej na jednostkę masy, np. jeden kilogram masy. Masa Słońca  $m = 2 \cdot 10^{30}$  kg.

$$P_m = P/m$$

Moc właściwa Słońca wynosi około **0,0002 W/kg**.

Moc człowieka zależy od jego aktywności. Średnią wartość mocy szacuje się na około **200 W**. To moc porównywalna z mocą dużej żarówki elektrycznej. Maksymalna moc mojego samochodu jest równa około 70 000 W.

Moc właściwa człowieka o masie 50kg wynosi około **4 W/kg**. To zadziwiające. Twoja moc właściwa, drogi Czytelniku, jest około 20 000 razy większa od mocy właściwej Słońca! Mam nadzieję, że nie narzekasz na brak mocy.

Przysłowie perskie powiada:

„Przyznanie się do niewiedzy – to wiedza; a do niemocy – moc”.

Moc właściwa istot ciepłokrwistych jest tym większa im mniejsze są ich rozmiary. Gdybyś drogi Czytelniku był 100 razy mniejszy (taki, jak krasnoludek), wówczas Twoja moc właściwa wynosiłaby kilkaset watów/kg. Niżej przytoczę argumenty uzasadniające słuszność powyższego stwierdzenia.

Energia uzyskana ze wszystkich naszych posiłków, zostaje przetworzona w chemicznej maszynierii komórek ciała na różne inne formy energii, między innymi na energię sprężystości mięśni, energię kinetyczną ciała i energię kinetyczną krwi poruszającej się w długich „korytarzach tętnic i żył”, na energię elektryczną impulsów biegnących w przewodach układu nerwowego, energię akustyczną oraz na energię wewnętrzną, związaną z budową i rozbudową organizmu, podtrzymywaniem stałej temperatury ciała oraz wszystkich procesów w nim zachodzących.

Aby żyć, trzeba jeść. Okazuje się, że na 10 kromek zjedzonego chleba, aż 9 z nich jest przeznaczane na „luksus” stałocieplności, polegający na komforcie utrzymania przez organizm stałej, zazwyczaj wyższej od otoczenia temperatury ciała. Jeśli jakieś ciało ma temperaturę wyższą od temperatury otoczenia, wówczas traci energię. Te straty trzeba ciągle uzupełniać. W bilansie energetycznym obowiązuje prosta zasada. Jeśli chcesz przetrwać na dłuższą metę, to ilość energii straconej musi być równa ilości ener-

gii uzyskanej. Póki żyjemy mamy przewagę nad Słońcem, które nieustannie trwoni swoją energię.

W takiej sytuacji, łatwo skonstruować uproszczony model równowagi energetycznej organizmu stałocieplnego, w którym (w grubym przybliżeniu) można założyć, że energia uzyskana z pożywienia jest równa energii straconej, czyli ciepłu oddanemu do otoczenia.

$$E_{\text{pobrana}} = E_{\text{tracona}}$$

Jeśli podzielimy to równanie przez czas (np. 24 godziny) wówczas otrzymamy:

$$P_{\text{pobrana}} = P_{\text{tracona}}$$

**Moc właściwa** człowieka  $P_w$  jest równa:

$$P_w = P_{\text{pobrana}}/m$$

Stąd

$$P_{\text{pobrana}} = P_w \cdot \rho \cdot V,$$

gdzie:  $\rho$  – gęstość ciała,  $V$  – objętość ciała.

**Energia stracona** w jednostce czasu (przy stałej różnicy temperatur pomiędzy ciałem i otoczeniem) jest proporcjonalna do wielkości powierzchni ciała.

$$P_{\text{tracona}} = \alpha \cdot S \cdot \Delta T$$

gdzie:  $S$  – powierzchnia ciała,

$\Delta T$  – różnica temperatury ciała i otoczenia,

$\alpha$  – stała.

Gdyby Czytelnik miał kształt sześcianu o boku  $X$ , wówczas:  $V = X^3$ ,  $S = 6 \cdot X^2$ . Porównując energię traconą z energią pobraną, otrzymujemy:

$$P_w = C / X,$$

gdzie  $C$  jest wartością stałą.



Przy stałej różnicy temperatur ciała i otoczenia, moc właściwa istoty stałocieplnej jest hiperboliczną funkcją parametru opisującego jej wielkość.

Gdybyś drogi Czytelniku, był 100 razy mniejszy, wówczas Twoja moc właściwa byłaby około 100 razy większa niż obecnie. Masa zjedanego w czasie doby pożywienia musiałaby być wówczas większa od masy Twojego ciała. Słowo „smacznego” miałoby inny sens. Dziwny jest ten świat, którym rządzą prawa przyrody.

## 7. AUTOSTRADA FOTONÓW

Bo nie jest światło, by pod korcem stało,  
Ani sól ziemi do przypraw kuchennych,  
Bo piękno na to jest, by zachwycało  
Do pracy – praca, by się zmartwychwstało.

Cyprian Kamil Norwid

Nasze Słońce emituje bardzo szerokie spektrum fal elektromagnetycznych, od długich fal radiowych do krótkiego promieniowania rentgenowskiego. Około połowę energii wysyła w obszarze widzialnym i bliskiej podczerwieni. Znając wartość stałej słonecznej  $K$  oraz odległość Ziemia-Słońce –  $R$ , można oszacować liczbę fotonów emitowanych przez Słońce w czasie  $\Delta t = 1$  s.

Dla uproszczenia rozważań założymy, że Słońce emituje energię w postaci monochromatycznego światła żółtego. Jeśli przez  $E_C$  oznaczymy energię emitowaną przez Słońce w czasie  $\Delta t$ , a przez  $E_f$  energię jednego fotonu, to liczba fotonów  $N$  emitowanych w czasie  $\Delta t$ , wyniesie:

$$N = E_C / E_f .$$

Całkowitą energię  $E_C$  (patrz poprzednie opowiadania), można obliczyć zapisać tak:

$$E_C = 4 \pi R^2 K \cdot \Delta t$$

Zgodnie ze wzorem Plancka, energia jednego fotonu wynosi:

$$E_f = h f = h c / \lambda ,$$

gdzie:  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J s  
 $c = 3 \cdot 10^8$  m / s  
 $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  m.

Całkowita liczba fotonów emitowanych przez Słońce w czasie  $\Delta t$  jest równa:

$$N = 4 \pi R^2 \cdot K \cdot \lambda \cdot \Delta t / h c ,$$

Korzystając z podanych wyżej wartości ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  m jest długością fali dla światła żółtego) otrzymujemy niewyobrażalnie dużą liczbę fotonów dla  $\Delta t = 1$  s (emitowanych w czasie jednej sekundy):

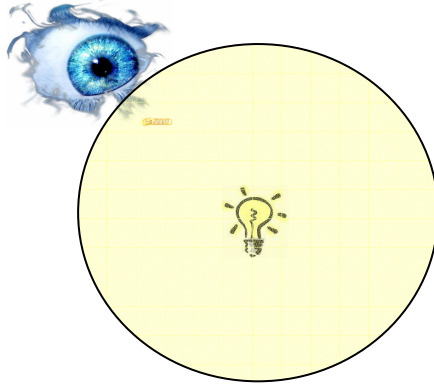
$$N \approx 1000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{45} .$$

Powiecie pewnie, że Słońce może sobie pozwolić na taką rozrzutność, bo ono jest wielkie. Okazuje się jednak, że mała żaróweczka o mocy **3,5 W** także wysyła sporo fotonów. Mam nadzieję, że łatwo oszacujecie liczbę  $N_z$  fotonów emitowanych



przez taką żaróweczkę w czasie jednej sekundy (pamiętajcie, że sprawność żaróweczki wynosi około 4%). Powinniście otrzymać wynik  $N_2 \approx 100\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{17}$ .

Jeśli stoję w odległości 10 m od takiej żaróweczki, wówczas do mojego oka wpada w czasie jednej sekundy ponad **miliard** fotonów (mam duże oczy o średnicy źrenicy równej 6 mm). Pięciokrotne zmniejszenie średnicy źrenicy powoduje dwudziestopięciokrotne zmniejszenie liczby fotonów.



Okazuje się, że oko ludzkie reaguje także na bardzo małą liczbę fotonów. Na wywołanie wrażenia świetlnego wystarczy zaledwie kilku fotonów w czasie 0,1 s.

Dziwny jest ten świat. Żyjemy zanurzeni w świecie pełnym małych tajemniczych obiektów. Ze Słońcem łączy nas zatłoczona autostrada fotonów. Fotony niosą informację o naszej najbliższej gwiazdzie. Każdy z nich dociera do nas w czasie około 8 minut.

## 8. ILE WAŻY CIEŃ?

*Świeci Słońce.  
Nie chcę iść na spacer,  
bo muszę ciągnąć za sobą cień.  
Mój 3 letni wnuczek*

**Prawdziwy cień nigdy nie wyprzedza swojego właściciela.  
Bardzo mały człowiek może rzucać bardzo długi cień.  
Kto w cudzym cieniu siedzi, sam cienia nie daje.  
Nawet białe róże rzucają czarny cień.**

Wiemy już, że światło jest strumieniem fotonów poruszających się nieustannie ze stałą prędkością  $c = 300\,000$  km/s. Energia jednego fotonu wynosi  $E_f = h \cdot \nu$ , a jego pęd  $\mathbf{p}_f = h \cdot \mathbf{v} / c$ .

Ciśnienie padającego światła spowodowane jest tym, że każdy foton podczas zderzenia z napotkanym obiektem przekazuje mu swój pęd. Ciśnienie strumienia fotonów, na powierzchnię  $S$ , ustawioną do niego prostopadle, wyniesie:

$$\mathbf{p} = \mathbf{F}_{sr} / S,$$

gdzie  $F_{sr}$  jest wartością średniej siły wywieranej przez fotony w czasie  $\Delta t$ .

Z II zasady dynamiki Newtona wiemy, że:

$$\mathbf{F}_{sr} \Delta t = \Delta \mathbf{p}$$

gdzie  $\Delta \mathbf{p}$  jest całkowitym pędem przekazany przez fotony padające na powierzchnię  $S$  w czasie  $\Delta t$ .

Jeżeli w jednostkowym czasie, na jednostkową powierzchnię pada  $N$  fotonów, wówczas na powierzchnię  $S$  w czasie  $\Delta t$  padnie  $N S \Delta t$  fotonów. Każdy z nich przekaze powierzchni  $S$  odpowiedni pęd, w zależności od rodzaju zderzenia. Załóżmy, że fotony są monochromatyczne. Pochłonięty foton przekaze pęd o wartości  $\mathbf{p}_f = h \cdot \mathbf{v} / c$ , a odbity  $2\mathbf{p}_f = 2h \cdot \mathbf{v} / c$ . Dla współczynnika odbicia światła  $\rho$  ( $0 \leq \rho \leq 1$ ) od powierzchni ciała  $\rho N S \Delta t$  fotonów ulegnie odbiciu, a  $(1-\rho) N S \Delta t$  ulegnie pochłonięciu. Wynika stąd, że

$$\Delta \mathbf{p} = \rho N S \Delta t \cdot 2h \cdot \mathbf{v} / c + (1-\rho) N S \Delta t \cdot h \cdot \mathbf{v} / c$$

oraz

$$F_{sr} = \rho N S \cdot 2h \cdot v / c + (1-\rho) N S \cdot h \cdot v / c.$$

Ciśnienie wyniesie

$$p = \rho N \cdot 2h \cdot v / c + (1-\rho) N \cdot h \cdot v / c,$$

czyli

$$p = [1 + \rho] N h \cdot v / c$$

Wyrażenie  $N \cdot h \cdot v$  oznacza całkowitą energię  $E_j$  fotonów padających na jednostkową powierzchnię w jednostkowym czasie. Ostatecznie, mamy:

$$p = [1 + \rho] E_j / c$$

Maksymalne ciśnienie światła wyniesie  $2 E_j / c$ . Dla światła słonecznego  $E_j$  jest równe wartości stałej słonecznej  $K = 1366 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Ciśnienie światła słonecznego na powierzchnię odbijającą wynosi około  $10^{-5} \text{ N}/\text{m}^2$ . Ciśnienie światła bardzo silnych laserów jest mniej więcej milion razy większe.

Aby oszacować wartość siły  $F_s$  działającej na powierzchnię  $S$  (ustawioną prostopadle do padających promieni), należy pomnożyć ostatnie równanie przez  $S$ . Otrzymujemy wówczas:

$$F_s = [1 + \rho] S \cdot E_j / c,$$

Czy światło Słońca przeszkadza ludziom ciągnąć cień w jego stronę? Czy promienie słoneczne działają na nas siłą? Tak. Ta siła jest jednak niewielka. Jej wartość wynosi około  $10^{-5} \text{ N}$ . Gdyby Czytelnik był 1000 razy wyższy, (taki jak Guliwer), wówczas światło wywierałoby na niego siłę około 10N.

Aby zrównoważyć ciężar tabliczki czekolady siłą fotonów, należałoby na nią skierować od dołu światło znacznie przewyższające moc wszystkich żarówek zainstalowanych w Krakowie.

Inżynierowie z NASA pracują nad nowatorskim napędem statków kosmicznych, które rozwijałyby ogromne „żagle”, by wykorzystać ciśnienie promieniowania słonecznego. Program uzyskał romantyczną nazwę: „Solar Sail”.

Nacisk wywierany przez światło słoneczne na Ziemię jest bardzo duży. Wynosi około **1 000 000 000 N**. To olbrzymia siła, większa od ciężaru wszystkich samochodów osobowych będących własnością mieszkańców Warszawy. W porównaniu z siłą przyciągania grawitacyjnego Ziemi i Słońca jest ona jednak bardzo mała, bo wynosi zaledwie około 0,000000000000003 jej wartości.

## 9. KRÓTKA HISTORIA SŁOŃCA

Co to będzie, kiedy zgaśnie nasze słońce?  
Przecież świeci nam przykładowie tyle lat.  
Jak my wtedy powiążemy koniec z końcem?  
Co się stanie? To pytanie dręczy nas.

Kabaret TEY

Ktoś, kto wie jak trudno przepowiedzieć pogodę za kilka dni, pytanie o losy Słońca za miliony lat może uznać za niepokorne. Okazuje się jednak, że nasza wiedza na temat przebiegu procesów zachodzących na Słońcu jest całkiem spora i na jej podstawie możemy przewidywać jego przyszłość.

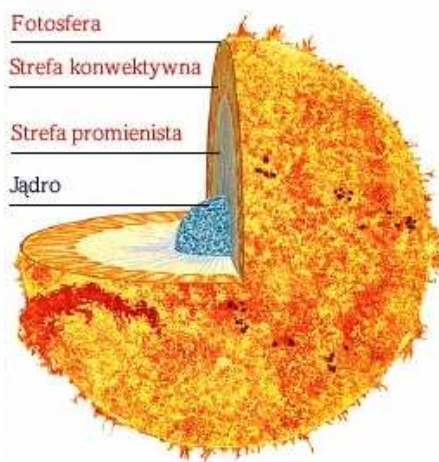
### ✚ Narodziny

Wszystko zaczęło się niewinnie od oddziaływań grawitacyjnych, dzięki którym mogły się do siebie zbliżać maleńkie cząstki kosmicznego pyłu. Na początku bardzo wolno, a z upływem czasu coraz szybciej. Po trwającym kilkadziesiąt milionów lat okresie kurczenia się obłoku międzygwiazdowego, materia była już tak bardzo zagęszczona, a temperatura wewnątrz tak duża, że rozpoczęła się produkcja energii jądrowej. Słońce zaczęło swój żywot.

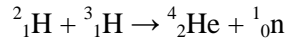
### ✚ Życie

Aktualnie nasze Słońce jest w średnim wieku (jak na wiek tego typu gwiazd). Liczy sobie około 5 miliardów lat.

Prawie cała energia Słońca produkowana jest w kuli o promieniu równym jednej czwartej promienia Słońca, stanowiącej zaledwie 1,5% całkowitej objętości Słońca.



Energia słoneczna wytwarzana jest w wyniku syntezy jąder wodoru w jądra helu. Te reakcje zwane termojądrowymi są źródłem energii słonecznej. Niżej przytaczam przykład jednej z możliwych reakcji termojądrowych.



W powyższej reakcji dwóch izotopów wodoru, deuteru i trytu powstaje jądro helu oraz neutron. Suma mas składników przed reakcją wynosi 5,030151  $\mu$  ( $\mu$  jest jednostką masy atomowej równą 1/12 masy atomu węgla  ${}^{12}\text{C}$ ;  $\mu = 1,66 \mu \cdot 10^{-27}$  kg). Suma mas składników po reakcji jest mniejsza i wynosi równa 5,011269  $\mu$ . Różnica mas  $\Delta m = 0,018882 \mu$ . Ilość wyzwolonej energii  $E = \Delta m \cdot c^2$ . Łatwo obliczyć, że wyniku powstania kilograma jąder helu uzyskuje się około  $118 \cdot 10^8$  kWh energii. Tyle energii można uzyskać ze spalania około 20 000 000 węgla.

**„W czasie jednej sekundy Słońce zmniejsza swoją masę o około 4 miliony ton.** Gdyby Czytelnik o masie 30 kg chciał się odchudzić o 1 kg, w takim samym tempie jak nasze Słońce, wówczas musiałoby to trwać ponad 500 miliardów lat. To czas około 30 razy dłuższy od aktualnego wieku Wszechświata”.

Przez najbliższe wieki Słońce będzie prowadzić w miarę spokojny żywot, lecz już po upływie około 1 miliarda lat jego temperatura wzrośnie o kilka procent, co spowoduje wyparowanie ziemskich oceanów. Miejmy nadzieję, że ludzkość zdąży przenieść się wcześniej na Marsa, lub na jakąś inną chłodniejszą planetę.

Słońce stanie się bardzo stare za około 6 miliardów lat, kiedy wyczerpie się zapas wodoru, który jest źródłem jego energii.

### **Pieśń o słońcu niewyczerpanym**

Twój wzrok utkwiony w duszy,  
jakby słońce skłonię na liściu,  
bogaci jego kwitnienie przeźroczystą tonią dobroci  
i skupia w swoim promieniu  
– lecz popatrz, Mistrzu,  
cóż stanie się z liściem i słońcem?  
– wieczór nadchodzi.

1944, Karol Wojtyła (Jan Paweł II)

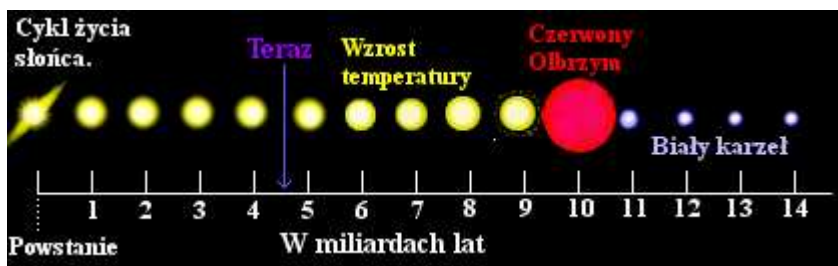
### **✚ Śmierć**

Kiedy nasze Słońce wyczerpie zapasy wodoru, wówczas ustaną reakcje termojądrowe zachodzące w jego wnętrzu. Gorące jądro zacznie powoli stygnąć. Ciśnienie wnętrza się zmniejszy i osłabnie siła równoważąca grawitację. Materia słoneczna zacznie się zagęszczać w kierunku środka. To spowoduje wzrost temperatury i ponownie zaczną przebiegać reakcje termojądrowe, tym razem w warstwie otaczającej kurczące się jądro starego Słońca. Słońce zmieni barwę na czerwoną i zacznie się rozdymać wielokrotnie zwiększając swoją objętość, „połykając” planetę Merkury. Na Ziemi zapanują piekielne temperatury. Zaczną się topić skały. Twój potomkowie

będą zmuszeni szukać ojczyzny na bardziej odległych planetach. Taki **czerwony olbrzym**, będzie świecić aż do wypalenia się ostatnich resztek paliwa.

Po upływie miliarda lat nastąpi gwałtowne „zapalenie się” helu znajdującego się w samym środku czerwonego olbrzyma. Hel zacznie przekształcać się w węgiel i tlen, co dostarczy Słońcu kolejnych porcji energii. Słońce odrzuci w daleką przestrzeń swe zewnętrzne warstwy, odsłaniając nagie jądro. Powstanie biały karzeł wielkości porównywalnej z naszą Ziemią, o ogromnej gęstości materii. Kiedy ustaną wszelkie reakcje termojądrowe, samotny biały karzeł zastygnie na zawsze w pustej i chłodnej przestrzeni kosmicznej.

Na poniższym schemacie przedstawiono w sposób obrazowy cykle życia naszej najbliższej gwiazdy.



Gdyby życie Wszechświata chciał przedstawić w skali 24 godzin i przyjąć, że Wszechświat powstał o północy, wówczas moglibyśmy powiedzieć, że nasze Słońce zaczęło żywot dopiero około godz. 16:00. Wkrótce potem powstała Ziemia.

Gdyby życie Ziemi przedstawić w skali 24 godzin, wówczas ważniejsze wydarzenia z jej historii, można byłoby przedstawić bardzo w dużym przybliżeniu), w następujący sposób.

- ok. godz. 0<sup>00</sup> – powstanie Ziemi
- ok. godz. 8<sup>00</sup> – pojawiają się pierwsze prymitywne istoty żywe.
- ok. 16<sup>00</sup> – zaczynają pojawiać się rośliny.
- ok. godz. 21<sup>00</sup> – pojawiają się pierwsze zwierzęta.
- ok. godz. 23<sup>00</sup> – pojawiają się dinozaury.
- ok. 23<sup>50</sup> – pojawia się człowiek.
- ok. godz. 23<sup>58</sup> – mózg człowieka potraja swoją objętość.
- ok. kilka /10 000 części sekundy przed północą – przychodzi na świat sympatyczna osoba czytająca teraz to opowiadanie.

\*\*\*

Ziemska przygoda *Homo sapiens* jest niezwykle krótkim epizodem w porównaniu z historią Słońca.

## 10. APETYT NA SŁONECZNĄ ENERGIĘ

**Pewnego dnia zaprzęgniemy do pracy przypląwy i odpływy,  
uwięzimy promienie Słońca.**

Thomas Alva Edison

Każda czynność wymaga energii. Czytając ten artykuł korzystamy z energii dostarczonej organizmowi podczas posiłku. Jeśli Czytelnik wypił dzisiaj np. szklanekę gorącego mleka, to znaczy, że teraz wykorzystuje część zawartej w nim energii. Tę energię mleko uzyskało od krowy. Krowa czerpała energię zapewne od jakiejś zielonej rośliny. Roślina pozyskała ją w procesie fotosyntezy od promieni słonecznych, a te przyniosły ją od Słońca. Mleko zostało jeszcze podgrzane kosztem energii elektrycznej. Energia elektryczna została wyprodukowana kosztem energii węgla kamiennego. Węgiel powstał ze szczątków roślin, które rosły przed milionami lat. Te pozyskały ją od Słońca. Przy poszukiwaniu pierwotnego źródła energii, prawie wszystkie drogi prowadzą do Słońca.

Niektóre z powszechnie stosowanych źródeł energii, takie jak np. węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny, pozyskały energię od Słońca przed milionami lat. Korzystanie z nich jest dla społeczeństw gwarantem rosnącego dobrobytu, ale także stwarza wiele zagrożeń dla środowiska, takich jak efekt cieplarniany czy kwaśne deszcze. Zapasy tych źródeł są jednak skończone i wystarczą jeszcze z trudem naszym dzieciom. Co będzie potem? Czy ludzie potrafią ograniczyć zużycie energii? Czy będą w stanie wyrzec się korzystania z samochodów, samolotów, kuchennych robotów i wielu innych dobrodziejstw cywilizacji. To bardzo mało prawdopodobne. Gdzie powinniśmy poszukiwać nowych źródeł energii?

Jedną z kandydatek jest energia jądrowa, która nie pochodzi od Słońca. Przyjmijmy, że roczne zapotrzebowanie na energię w Polsce, w niedalekiej przyszłości wyniesie około  $10^{12}$  kWh. Elektrownia atomowa średniej wielkości produkuje w czasie jednego roku energię około  $10^{10}$  kWh. Okazuje się, że gdybyśmy chcieli pokryć całkowite potrzeby energetyczne Polski kosztem energii jądrowej, wówczas musielibyśmy mieć w kraju około 100 elektrowni atomowych średniej mocy. To kilka elektrowni atomowych w jednym województwie.



