

Rozdział V. Budowa i powstanie Wszechświata

5.1. Gwiazdne odległości

Sondy Voyager, po 35 latach lotu dotarły do granic *heliosfery*; dotarcie do najbliższej gwiazdy o nazwie Proxima Centauri zajęłoby im ponad 70 tys. lat. Ten czerwony karzeł znajduje się w odległości (zaledwie) 4,2 lat świetlnych od Ziemi. Jego rozmiary to około 1/7 rozmiarów Słońca, masa - 1/8 masy Słońca, ale gęstość materii w tej gwiazdzie jest 40 razy większa niż w Słońcu.

Pomimo, iż Proxima Centauri jest najbliżej Ziemi, nie jest najjaśniejsza na niebie. Obserwowana jasność gwiazdy zależy bowiem od dwóch czynników: mocy promieniowania gwiazdy oraz jej odległości od obserwatora. Jasność gwiazdy, od czasów starożytnych Greków zapisuje się w jednostkach zwanych **wielkościami gwiazdowymi** (*magnitudo*), choć w rzeczywistości nie ma to nic wspólnego z rozmiarami gwiazdy. Ptolemeusz podzielił gwiazdy widoczne na niebie na sześć grup - najjaśniejsze zaliczając do grupy pierwszej, najślabsze zaś do ostatniej. Dopiero w XIX wieku wprowadzono pojęcie uściślające definicję *magnitudo*. Zauważono, że jeżeli dwie gwiazdy różnią się od siebie o wartość 1 *magnitudo*, to stosunek natężeń ich światła docierającego do Ziemi wynosi około 2,5.

Gwiazdą dobrze widoczną w Polsce latem, o *magnitudo* +1*m*, jest *Deneb*¹, łeb Łabędzia na fot. 4.5, jedna z największych we Wszechświecie². Jasność Gwiazdy Polarnej jest prawie dwa i pół razy mniejsza i wynosi +2*m*. Okiem „nieuzbrojonym”, w pogodną noc, bez lamp ulicznych jesteśmy w stanie dojrzeć gwiazdy aż do jasności +6.

Jeżeli względna jasność obiektu astronomicznego jest większa niż gwiazdy o *magnitudo* +1*m* to przypisujemy jej liczby mniejsze od zera. I tak Syriusz, najjaśniejsza gwiazda na niebie, widoczna w Polsce jedynie latem i nisko nad horyzontem ma jasność względną -1,5*m*, Jowisz i Mars, w okresie największego zbliżenia do Ziemi mają jasność -2,8*m* a Wenus aż - 4,4*m*. Dokładniejsze przeliczenie³ pokazuje, że Wenus w swej najjaśniejszej konfiguracji⁴ jest ponad cztery razy jaśniejsza niż dużo większy od niej Jowisz.

Jak możemy wywnioskować, jasność względna gwiazdy nie musi odpowiadać jej jasności *absolutnej*. Jasność obserwowana zależy od jasności *absolutnej* i od odległości gwiazdy od Ziemi. Syriusz, o średnicy jedynie 1,7 razy większej niż Słońce wydaje się dużo jaśniejszy niż ogromny *Deneb*, gdyż jest dużo bliżej (8,6 lat świetlnych) niż ten drugi (1500 lat świetlnych). Dodatkowo powierzchnia *Deneb* jest dużo gorętsza (8500 K) niż Słońca (5800 K). Zgodnie więc z prawem Plancka, zob. 2.5b, *Deneb* wydaje się dużo bielszy niż Słońce.

Z tych powodów astronomowie wprowadzili pojęcie jasności *absolutnej*, to jest jakby obserwowanej z tej samej odległości. *Deneb* w tej skali ma jasność -7 a nasze Słońce jedynie +4,5. Oznacza to, że z porównywalnej odległości *Deneb* jest 40 tysięcy razy⁵ jaśniejszy. Najjaśniejsza gwiazda w skali absolutnej według encyklopedii internetowych, η *Carinae* widoczna na niebie południowym, jest kilka milionów razy jaśniejsza od Słońca, ale może w każdej chwili wybuchnąć, jako *supernowa*, zob. fot. 4.16.

Taką gwiazdę *supernową* obserwował Kepler w 1604 roku, inną, w konstelacji Kraba astronomowie chińscy i Indianie w Meksyku w 1054 roku. Gwiazdy też nie są wieczne...

¹ Dokładna jasność względna gwiazdy *Deneb* to +1,25

² Średnica *Deneba* to ponad 110 średnic Słońca

³ Stosunek *I* jasności względnych wyliczamy jak $I = 2,512^{(4,4-2,8)} = 4,4$

⁴ Najjaśniejsza „konfiguracja” nie oznacza dla Wenus największego zbliżenia do Ziemi; w trakcie zbliżenia jest ona w *nowiu*, zob. fot. 4.14a, czyli jest niewidoczna.

⁵ Zgodnie z obliczeniem $I = 2,512^{11,5} = 39800$

5.2. Narodziny i śmierć gwiazdy

Dziś wiemy, że gwiazdy, podobnie jak ludzie, rodzą się żyją i umierają. Skala czasowa w jakiej się to odbywa jest jednak zdecydowanie dłuższa. Gwiazdy powstały w pierwszych milionach lat istnienia Wszechświata, wskutek grawitacyjnej kondensacji wodoru (z domieszką helu) powstałych w Wielkim Wybuchu. Również dziś gwiazdy rodzą się z obłoków międzygwiazdowych, które są pozostałością po innych, kończących swój żywot gwiazdach. Mamy tutaj do czynienia ze swego rodzaju „recyclingiem” – z materii pozostałej po „starej” gwiazdzie powstaje młoda gwiazda.

Gwiazdy powstają z obłoków międzygwiazdowych, które nierównomiernie rozłożone są w Galaktyce. Aby gwiazda miała szansę się uformować, obłok z jakiegoś powodu, np. poprzez wybuch pobliskiej gwiazdy supernowej, musi zacząć się kurczyć. W miarę kurczenia się obłoku zostaje wyemitowane promieniowanie, które początkowo w całości opuszcza obłok w postaci promieniowania podczerwonego. Etap ten nazywany jest *protogwiazdą*. Gdy obłok jest na tyle gęsty, że promieniowanie nie jest w stanie całkowicie go opuścić, zaczyna on sam świecić. Jeśli temperatura wewnątrz gwiazdy będzie na tyle wysoka, iż rozpoczną się reakcje *termojądrowe*, gwiazda rozpocznie swój cykl życiowy.



Fot. 5.1. Obłok materii międzygwiazdowej - obszar formowania się gwiazd z pobliżu ρ -Ophiuchi⁶

Mechanizmem napędowym gwiazd są reakcje termojądrowe. We wnętrzu każdej gwiazdy znajduje się najgorętszy fragment – jądro. W przypadku Słońca, temperatura w jądrze wynosi około 15 milionów K, co powoduje, że atomy wodoru na skutek reakcji termojądrowych przekształcają się w atomy helu, według ciągu reakcji. Pierwsza z nich to synteza ciężkiego izotopu wodoru, deuteru, zawierającego w jądrze jeden proton i jeden neutron, według schematu



W reakcji tej powstają dodatnie elektrony (pozytony) e^+ i neutrino, unoszące nadmiar energii. Pozytony anihilują z elektronami a ich masa zamienia się w energię kwantów gamma (γ).

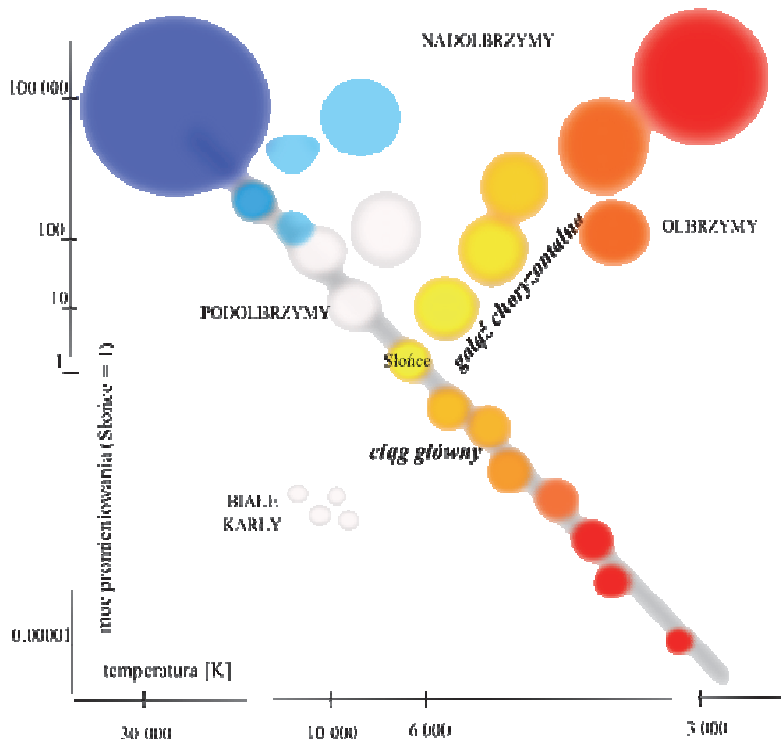
W kolejnym etapie jądro deuteru zderza się z jądrem zwykłego wodoru i powstaje lekki izotop helu ${}^3\text{He}$



Jądro helu „zwykłego”, ${}^4\text{He}$ może powstać na kilka sposobów ale we wszystkich reakcjach *wydziela się energia*. Słońce to mega-kocioł, w którym wodór spalany jest (termojądrowo) na hel – w ciągu sekundy spalane jest 600 milionów ton wodoru. Słońce znajduje się mniej więcej w połowie swego cyklu życia - w jądrze Słońca wodór stanowi już tylko 1/3 masy.

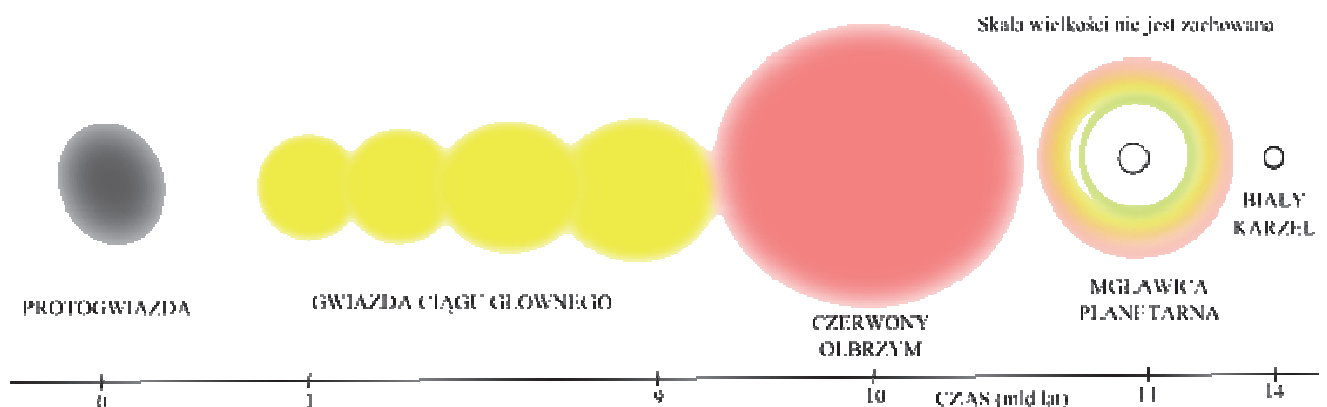
⁶ <http://it.wikipedia.org/wiki/File:RhoOph.jpg>; http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rho_Ophiuchi.jpg

Systematykę gwiazd w dużej mierze zawdzięczamy wieloletnim obserwacjom, które na początku XX wieku prowadziły na Uniwersytecie w Harvardzie kobiety - astronomowie. Annie Jump Cannon zdołała skatalogować 400 tysięcy (!) gwiazd, badając za pomocą klisz fotograficznych ich widma. Okazało się, że między widmem (czyli kolorem gwiazdy) a jej jasnością można zauważyć ścisłe zależności. Obserwacje z Harvardu pozwoliły w 1912 roku E. Hertzsprungowi i H.N. Russellowi na skonstruowanie diagramu nazwanego ich imieniem.



Fot. 5.2. (a) Diagram Hertzsprunga – Russella przedstawia zależność mocy promieniowania gwiazdy od jej temperatury; zwróć uwagę, że obie skale nie są liniowe – rosną w sposób względny, tak jak obserwowana jasność gwiazdy w skali Ptolemeusza; podobnie względna (i odwrócona) jest skala temperatury; w ten sposób najgorętsze i najjaśniejsze gwiazdy znajdują się w lewym górnym rogu diagramu; **(b)** historyczny teleskop z Harvardu, na którym dzięki pracowności Henrietty Swan Leavitt zostały zebrane dane, leżące u podstaw diagramu H-R, znajduje się obecnie w Obserwatorium UMK.

Diagram H-R jest klasyfikacją gwiazd, a jednocześnie ich „linią życia” – gwiazdy ewoluują poruszając się po liniach diagramu. Masa początkowa protogwiazdy ma bezpośredni wpływ na dalszy los gwiazdy. Najmasywniejsze gwiazdy tzw. nadolbrzymy o masie przewyższającej 10 $M_{\odot}$ (czyt. 10 mas Słońca) żyją najkrócej, nie więcej niż 100 milionów lat. Nasze Słońce należy do karłów – jest gwiazdą o stosunkowo niewielkiej masie, które starzeją się powoli. W tej chwili Słońce znajduje się prawie mniej więcej w połowie swojego życia – powinno dożyć wieku 10 mld lat, zob. ryc. 5.2 a.



Ryc. 5.3. Schemat przebiegu ewolucji w przypadku gwiazd o masie Słońca

Aby w jądrze gwiazdy mogły zajść dalsze reakcje musi zostać osiągnięta dużo wyższa temperatura. Helowe jądro, które nie jest w stanie „zapalić” kolejnych reakcji zacznie się kurczyć. Wodorowa otoczka znajdująca się wokół jądra ogrzewa się na skutek kurczenia jądra, a to powoduje oddalanie się otoczki od jądra - tworząc tzw. *czernego olbrzyma*. W kolejnym etapie jądro gwiazdy zostanie odsłonięte, a wokół niego będzie widoczna tzw. *mgławica planetarna*. We wnętrzu mgławicy świeci tzw. biały karzeł - gwiazda o rozmiarach kilkunastu tysięcy km (przekształcone w procesie kurczenia jądro słoneczne, zob. fot. 4.16.)

W przypadku gwiazd o masie nieco większej niż 1 M $\odot$, po wypaleniu się helu następuje częściowa zapaść gwiazdy. W warunkach zwiększonej gęstości możliwe są dalsze reakcje termojądrowe, w szczególności synteza jąder węgla z trzech jąder helu. Proces jest dwustopniowy i możliwy jedynie dzięki nietypowemu układowi poziomów energii powstających jąder⁷



W gwiazdach o masie przekraczającej 8 M $\odot$ możliwa jest cała seria dalszych reakcji termojądrowych, prowadzących do syntezy jąder tlenu, neonu, krzemu i siarki. Końcowym etapem nukleosyntezy jest żelazo ${}^{56}\text{Fe}$. Gwiazda kończy życie wybuchem *supernowej* zaś jej jądro przeistacza się w tzw. *gwiazdę neutronową* o rozmiarach kilkunastu kilometrów.

Gwiazda neutronowa zaś umożliwia syntezę cięższych pierwiastków, do uranu włącznie. Pięć miliardów lat temu lub więcej w miejscu Słońca świeciła gwiazda o masie 8-10 M $\odot$. Zakończyła swój żywot wybuchami, a z pozostałej materii powstał Układ Słoneczny. Słońce to gwiazda z re-cyklingu!

Najbardziej masywne gwiazdy – około 10 M $\odot$ ewoluują podobnie, tylko że szybciej, natomiast w końcowym etapie ewolucji powstaje *czarna dziura*.

5.3. Mieszkańcy Mlecznej Drogi

Galileusz za pomocą swojej lunety zauważył, że widoczna na niebie w pogodną noc smuga, jasna droga zbudowana jest z pojedynczych gwiazd. Układ Słoneczny jest jednym z elementów tego układu gwiazdowego nazwanego Galaktyką, czyli Mleczną Drogą⁸. Galaktyka jest czymś w rodzaju wyspy w kosmosie, składającej się z setek miliardów gwiazd.

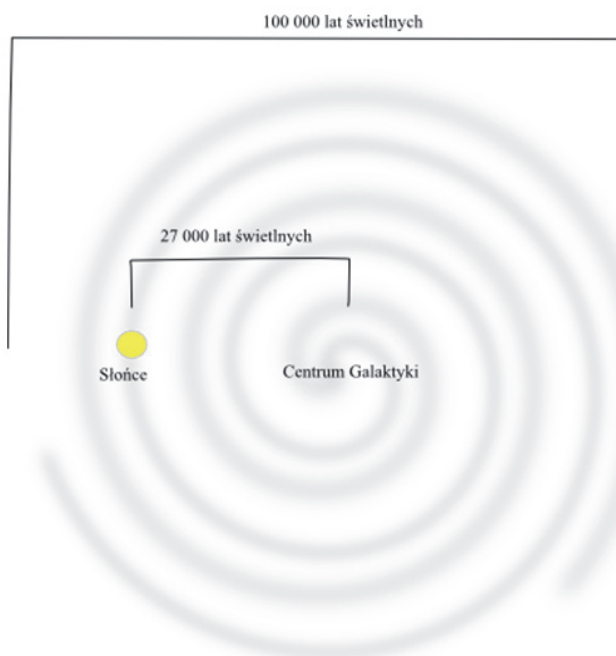
Rozmiar Galaktyki jest tak duży że nawet światło, przy założeniu przejścia bez przeszkód z jednego krańca na drugi, potrzebuje około 100 tys. lat. Słońce znajduje się na peryferiach Drogi Mlecznej, 27 tys. lat świetlnych od centrum. Galaktyka składa się ze zgrubienia centralnego (centrum Galaktyki) oraz ramion spiralnych (patrz schemat Ryc. 5,4) i poprzeczki. W środku Galaktyki „żeruje” zapewne czarna dziura, pochłaniając okoliczną materię. Mieszkanie na peryferiach ma swoje zalety – nie dociera do nas zabójcze, wysoko-energetyczne promieniowanie gamma, które powstaje w centrum Galaktyki.

Droga Mleczna razem z około 35 innymi galaktykami tworzy tzw. *Grupę Lokalną*, czyli zbiór galaktyk położonych stosunkowo blisko siebie i grawitacyjnie ze sobą związanych. Od najbliższej z nich, galaktyki Andromedy, fot. 4.5c dzieli nas 2,5 miliona lat świetlnych. A ile galaktyk mamy we Wszechświecie?

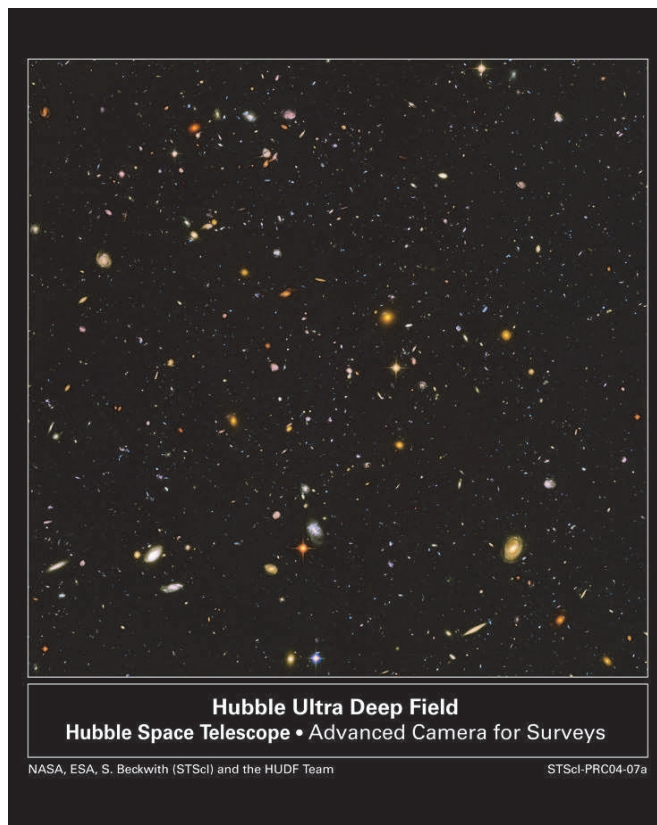
⁷ Gdyby nie ten specyficzny układ poziomów energii jąder ${}^8\text{Be}$ i ${}^{12}\text{C}$, synteza węgla byłaby niemożliwa, a przez to cała chemia organiczna, podstawa życia.

⁸ pisana wielką literą dla odróżnienia jej od innych galaktyk

Kosmiczny teleskop Hubble'a krążący od 1990 roku po orbicie okołoziemskiej wykonał zdjęcie najdalszych zakątków Wszechświata⁹. W 2003 roku, przez kilka miesięcy teleskop obserwował niewielki fragment nieba w gwiazdozbiorze Pieca (niebo południowe). Obserwowany obszar obejmował kąt 3', w porównaniu do całego nieba jest 12,7 miliona razy mniejszy! Ku wielkiemu zdziwieniu oszacowano, iż na ostatecznym zdjęciu na tym małym fragmencie nieba zaobserwowano około 10 tysięcy galaktyk! Niektóre z nich świecą na czerwono, co świadczy, że się od nas oddalają z zawrotnymi prędkościami. Wszechświat się rozszerza!



Ryc. 5.4. Schemat przedstawiający Droгę Mleczną oraz miejsce, w którym znajduje się w niej Słońce. Obok: odległe galaktyki na zdjęciu z teleskopu Hubble'a.



Teleskop Hubble'a nie jest wcale największy z używanych przez astronomów. Jego unikalną zaletą jest natomiast praca w warunkach braku atmosfery – gwiazdy w nim nie „migoczą”, jak na Ziemi. Teleskop ten nazwano na cześć Edwina P. Hubble'a, który kontynuując prace kobiet –astronomów z Harvardu obserwował odległe gwiazdy zmienne typu *cefeid*. Z tych obserwacji wywnioskował, że Wszechświat się rozszerza: im galaktyki dalej od nas, tym szybciej uciekają. Wszechświat puchnie we wszystkich kierunkach, jak drożdżowe ciasto przed wypiekiem.

Pomiar obserwowanej jasności *cefeid* pozwala na określenie ich odległości (*cefeidy* mają podobną jasność *absolutną*). Z kolei szybkość ucieczki gwiazd możemy wyliczyć z efektu *Dopplera* – przesunięcia ich widma ku czerwieni.

Efekt Dopplera obserwujemy, gdy nadjeżdża (i oddala się) karetka pogotowia na sygnale. Gdy się zbliża, dźwięk jej syreny wydaje się być wyższy (tzn. o wyższej częstotliwości), niż gdy się oddala. Dla uciekających gwiazd oznacza to przesunięcie ich linii widmowych (wodoru, helu itd.) w kierunku dłuższych długości fali. Bardzo odległe galaktyki, ledwie widoczne na zdjęciach teleskopem Hubble'a są ciemno-czerwone.

⁹ (ang.) Hubble Ultra Deep Field

5.4. „Na początku...”

W odróżnieniu od Galileusza ze staczającymi się po równi kulkami, albo nawet Newtona z planetami krążącymi dookoła Słońca, nie wszystkie hipotezy można sprawdzić za pomocą *powtarzalnych* doświadczeń. Jednym z takim problemów jest ewolucja biologiczna (nie potrafimy odtworzyć w laboratorium ewolucji np. od pra-płaza do szympansa). Innym – początek Wszechświata. Nie potrafimy ponownie „puścić” Wszechświat od początku i patrzeć, jak się rozwija. Jednakże nagromadzenie dowodów doświadczalnych, tak astronomicznych jak w zakresie cząstek elementarnych, fizyki jądrowej i atomowej jest tak duże, że parafrazując słowa Bł. Jana Pawła II o ewolucji biologicznej możemy stwierdzić: „początek Wszechświata nie jest już jedynie hipotezą, ale zasługuje na miano *teorii naukowej*”.

Danymi doświadczalnymi, którymi dysponujemy, jest przede wszystkim stwierdzenie z 1929 roku astronoma amerykańskiego Edwina Hubble’a o rozszerzaniu się Wszechświata. Na podstawie obserwacji gwiazd zmiennych (cefeid) w innych galaktykach stwierdził, że widmo światła tych gwiazd wykazuje przesunięcie ku czerwieni (ang. *redshift*), które jest wprost proporcjonalne do odległości tej galaktyki od Ziemi. Innymi słowy, im galaktyka dalsza, tym szybciej się od nas oddala, niezależnie, z której strony Wszechświata się znajduje.

Według obecnych oszacowań wiek Wszechświata wynosi $13,75 \pm 0,11$ mld lat. Wiek Wszechświata oceniany jest na podstawie licznych obserwacji – odległości najdalszych galaktyk, stygnięcia najstarszych gwiazd czy wreszcie „promieniowania tła”. Istnienie Układu Słonecznego, przypominamy, to ostatnie 1/3 wieku Wszechświata. Wiek Wszechświata to nadal „oszacowanie” – brak nam „skamieniałości” z samego jego początku. Pierwszym „odciskiem”, do dziś obecnym, jest *mikrofalowe promieniowanie tła*.

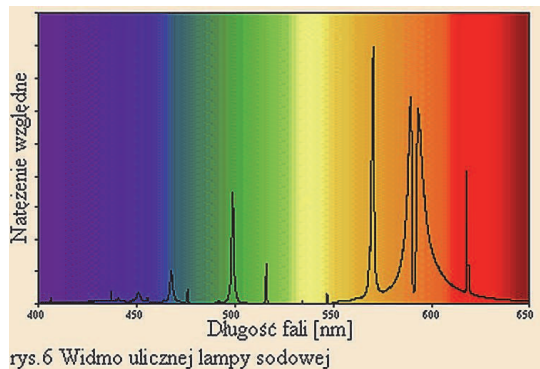
Odkrycie tego promieniowania zawdzięczamy początkom lotów kosmicznych. Dwóch inżynierów, A. Penzias i R. W. Wilson, odpowiedzialnych za łączność z satelitami - balonami starało się pozbyć uporczywego szumu, który przeszkadzał w komunikacji. Nie pomogło kręcenie antenami – szum nadchodził ze wszystkich stron Kosmosu i niezależnie od pory dnia. Po konsultacjach z astronomami, Penzias i Wilson uświadomili sobie (1965 r.), że szum nie pochodził z określonego punktu w przestrzeni – on pochodził z określonego punktu w *historii* Wszechświata, 300 tys. lat po jego powstaniu. Ale zacznijmy od początku!



Fot. 5.5. Fale radiowe (i mikrofae) są ważnym źródłem informacji o Wszechświecie; Słońce jest silnym źródłem fal radiowych, podobnie Jowisz; w dalekim kosmosie dzięki falom radiowym potrafimy zidentyfikować cząsteczki H_2 a także skomplikowane związki organiczne, jak C_2H_5OH ; na zdjęciu teleskop radiowy o średnicy 32 m w Centrum Astronomii UMK w Piwnicach koło Torunia (foto S. Krawczyk). Radiowy szum, jak w odbiorniku TV, pochodzi, częściowo, z początku Wszechświata.

Na podstawie naszej wiedzy z fizyki jądrowej i atomowej potrafimy wyobrazić sobie początki Wszechświata. Co było przed powstaniem atomów wodoru? Na pewno w gorącym, początkowym Wszechświecie, w którym „rządziły” energie mega-elektronowoltów, atomy wodoru (i helu) nie posiadały elektronów (przypominamy wartość energii jonizacji atomu wodoru 13,6 eV). Atomy utworzyły się dopiero, gdy rozszerzający się Wszechświat trochę

ostygł; wzbudzone elektrony w atomach zaczęły emitować światło. Niestety, kosmos nadal był ciemny, bo to promieniowanie było w materii uwięzione. Jedne atomy promieniowanie emitowały a sąsiednie natychmiast pochłaniały - Wszechświat był zbyt gęsty. Dopiero, gdy jego gęstość spadła, promieniowanie (o temperaturze ok. 10 tys. K, czyli energii około 1 eV) wydostało się z materii. Wszechświat się rozświetlił!



rys.6 Widmo ulicznej lampy sodowej

Fot. 5.6. Zjawisko uwięzienia promieniowania na przykładzie ulicznej (żółtej) lampy sodowej; w lampach tych panuje stosunkowo wysokie ciśnienie, więc linie widmowe są bardzo poszerzone; co więcej, w zakresie fal pomarańczowych, gdzie lampa powinna najsilniej świecić, obserwujemy ciemny prążek („dziura” w widmie); w podobny sposób było uwięzione światło w gęstym, początkowym okresie Wszechświata (widmo PAP Słupsk, materiały GK)

Promieniowanie uwolnione z materii zaczęło „wędrować” po Wszechświecie i razem z nim stygnąć. Z początkowych długości fali, może np. $0,73 \mu$, światło „rozszerzyło się” do dziś obserwowanych $\lambda=7,35 \text{ cm}$; temperatura promieniowania (zgodnie z prawem Plancka) z jakiś 10 tys. K w momencie ucieczki spadła do obserwowanych dziś 2,73 K. Promieniowanie mikrofalowe tła jest więc pierwszą „fotografią” Wszechświata dla nas dostępną. Fotografia ta pochodzi z momentu ok. 300 tys. lat po początku Wszechświata.



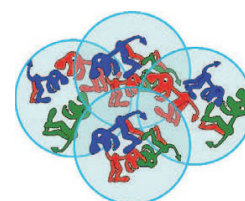
a)



b)

Fot. 5.7. a) Biblijne oddzielenie światłości od ciemności wg Księgi Rodzaju, w wyobraźni artysty z XII wieku, mozaika na sklepieniu Katedry Św. Marka w Wenecji; **b)** jeszcze jedno wyobrażenie Stworzenia, z pochodzącej z tego samego okresu ale innego kręgu kulturowego (Normanowie), Katedra w Monreale na Sycylii (Materiały katedr)

Pozostałą część historii Wszechświata, od samego początku, musimy sobie wyobrazić, na podstawie naszej wiedzy doświadczalnej i teoretycznej o fizyce i astrofizyce. Przed powstaniem jąder wodoru i helu musiały istnieć swobodne kwarki i to nie tylko w „zwykłym” zapachu, *up* i *down* ale w początkowym momencie (zapewne przez 10^{-9} s) właśnie te najcięższe *top* i *bottom*, zob. rozdział III. W ciągu 0,01 s (zapewne) powstały protony i neutrony, a w ciągu pierwszych trzech minut jądra wodoru i helu.



Minęły miliony lat, zanim powstały pierwsze gwiazdy a z nich mgławice, galaktyki, układy lokalne galaktyk itd. Jak pisał Stanisław Lem w „Bajkach Robotów”, przez nieuwagę Kłapacjusza zniknęły natomiast *pćmy* i *murkwie*¹⁰.

¹⁰ To, oczywiście, jest literacki żart znakomitego polskiego pisarza.

Wszystkie dane wskazują więc, że Wszechświat miał swój początek; Anglicy nazwali go nieco ironicznie „Big Bang”. Twórca tej idei w 1927 roku, G. Lemaître, kanonik katedry w Malinas w Belgii (jak Kopernik - we Fromborku) tak pisał:

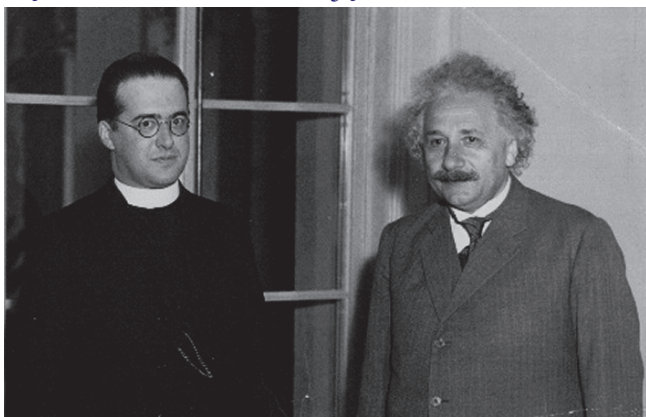
„Jeśli Wszechświat zaczął się od pojedynczego atomu, pojęcia przestrzeni i czasu nie miały żadnego sensu; nabrały one sensu dopiero wówczas, kiedy początkowy atom podzielił się na dostateczną liczbę atomów. Jeśli to rozumowanie jest poprawne, początek Wszechświata miał miejsce nieco przed początkiem czasu i przestrzeni”

Podobnie jak odkrycie fal elektromagnetycznych przyszło po teorii Maxwella, tak odkrycie Hubble’a przyszło po drugiej epokowej teorii Einsteina¹¹ - ogólnej teorii względności. Sformułował ją w 1916 roku, pisząc równanie jeszcze krótsze niż Maxwell, ale zawierające, wg profesora M. Hellera, jedyne polskiego uczonego w Papieskiej Akademii Nauk w Rzymie, dziesięć tysięcy składników. Potrafimy na dziś zrozumieć 4-5 z tych składników. Równanie ogólnej teorii względności operuje uogólnieniem wektorów, tzw. tensorami

$$\mathbf{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \mathbf{g}_{\mu\nu} \mathbf{R} + \mathbf{g}_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} \mathbf{T}_{\mu\nu} \quad (5.5)$$

W równaniu tym $\mathbf{R}_{\mu\nu}$, $\mathbf{g}_{\mu\nu}$ i $\mathbf{R}$ opisują *geometrię* czasoprzestrzeni, a $\mathbf{T}_{\mu\nu}$ oddziaływania fizyczne (siły, w tym grawitację). W najprostszym przypadku równanie Einsteina sprowadza się do równania grawitacji Newtona¹².

Już sam Einstein zorientował się, że jego równanie prowadzi do rozwiązań „niestabilnych”. Innymi słowy, Wszechświat nie mógłby istnieć! Jeszcze inaczej, istniałby, ale tylko przez krótką chwilę, po później zapadłby się lub rozleciał na wszystkie strony. Aby temu zapobiec, Einstein wprowadził do równania (5.5) tzw. czynnik kosmologiczny Λ , „zapobiegający” niestabilności Wszechświata. Upłynęło prawie sto lat, zanim przekonaliśmy się, że Einstein miał rację.



Fot. 5.8. Kiedy w 1935 roku G. Lemaître odwiedził Pinceton, Albert Einstein po jego wykładzie wykrzyknął: „-To jest najpiękniejsze i wiarygodne wyjaśnienie Stworzenia, o jakim kiedykolwiek słyszałem” (Źródło: Wikipedia)

Dowodem na słuszność teorii wielkiego wybuchu jest obserwowanie oddalających się galaktyk, mikrofalowego promieniowania tła, czy też względny procentowy udział lekkich pierwiastków

Wiek Wszechświata szacuje się na $1,39 \cdot 10^{10} \pm 2\%$ lat, czyli około 14 miliardów lat. Tyle czasu istnieje pojęcie czasu, przestrzeni i materii. To, co było wcześniej jest jak na razie wielką tajemnicą.

¹¹ Pierwszą teorią była szczególna teoria względności mówiąca, że mierzona prędkość światła nie zależy od tego, czy obserwator porusza się względem źródła czy nie. Prędkość światła jest stała, dla wszystkich układów poruszających się ruchem jednostajnym. Konsekwencją tej teorii jest równoważność masy i energii a także np. znaczne wydłużanie się czasu życia cząstek poruszających się z prędkościami bliskimi prędkości światła.

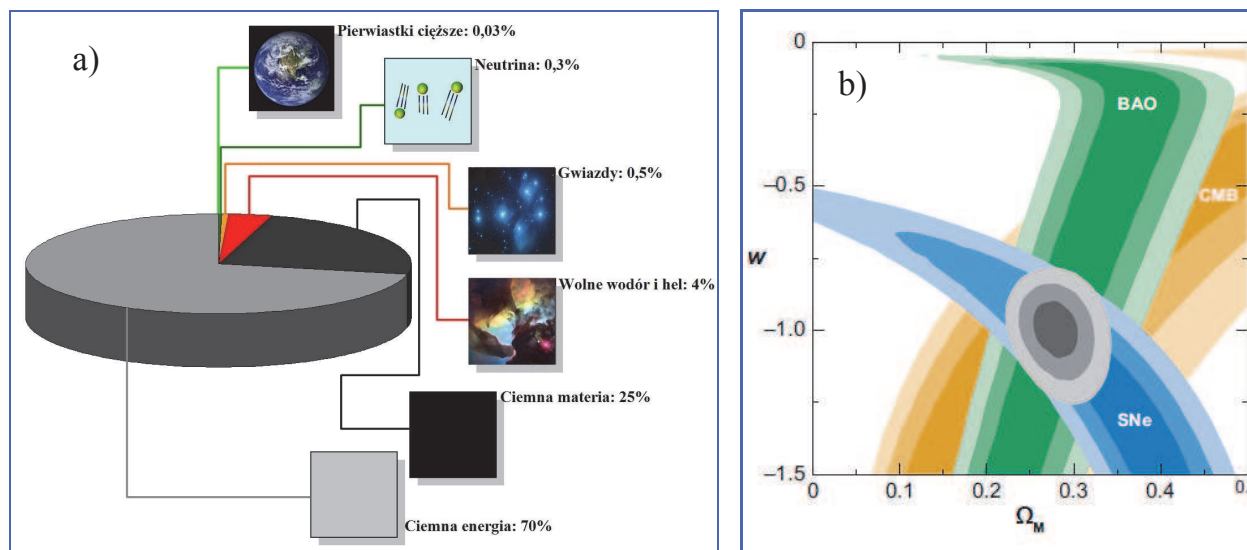
¹² Więcej o rozwiązaniach szczególnych równania (5.5) znajdzie Czytelnik na plakacie dydaktycznym „*E pur si muove*” w Projekcie EU „Physics is Fun” http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/gen-rel35.ppt

5.5. Czy już wszystko wiemy?

Jak zwykle, gdy się już nam wydaje, że wszystko wiemy, w ciszy fromborskiej pustelni lub obserwatoriów gdzieś na antypodach, ktoś robi obliczenia lub patrzy w gwiazdy. Z oceny jasności bardzo, bardzo odległych gwiazd supernowych okazało się, tak około 1998 roku¹³, że prędkość oddalania się galaktyk nie była w historii Wszechświata stała – raz Wszechświat rozszerzał się szybciej, raz wolniej. Jakby niewidzialna siła ścisnęła go jak piłkę. Ponieważ mówimy o obiekcie rozmiarów¹⁴ 10^{27} m, zawierającym tyle gwiazd, ile atomów zawiera mol gazu (10^{23}), działające „siły”(?) muszą być *kosmologiczne*.

Obliczenia wykonane na różne sposoby pokazują, że we wszystkich „kanałach” obserwacji – świetle widzialnym, podczerwonym, w zakresie promieniowania gamma, przez obserwację neutronów itd. widzimy jedynie małą część materii istniejącej we Wszechświecie i oddziałującej grawitacyjnie. Pozostałą część nazwali kosmologowie „ciemną materią” – jest jej około 5 razy więcej niż materii widzialnej. Ale, jeśli Wszechświat przyspiesza swoją ekspansję, musi istnieć jeszcze 3 razy więcej „ciemnej energii” napędzającej to dodatkowe rozszerzanie się.

Sumarycznie, widoczna nam materia stanowi jedynie 4% całego Wszechświata, ciemna materia stanowi 25% a ciemna energia około 70%, zob. ryc. 5.9a. Z różnych danych – pomiarów mikrofalowego promieniowania tła kosmologicznego, z pomiarów oscylacji barionów we Wszechświecie i z pomiarów jasności supernowych, możemy ustalić parametry ciemnej energii, ryc. 5.9b, mimo że jej natury nie rozumiemy. Bez wątpienia czeka nas w tej kwestii wiele niespodzianek.



Ryc. 5.9. Dwa głosy w dyskusji nt. jednej z największych zagadek nauki na dziś: ciemnej energii i ciemnej materii: **a)** widzialna materia (czerwono-zielony wycinek koła na diagramie) stanowi zaledwie 4% całego Wszechświata¹⁵; **b)** różne oszacowania, z jasności supernowych (SNe), z promieniowania tła (CMB), gęstości barionów (BAO) wskazują na wartość $w = -1$ dla ciemnej energii; na osi x – gęstość Wszechświata¹⁶.

¹³ Za odkrycie przyspieszającego rozszerzania się Wszechświata S. Perlmutter, A. Riess i B.P. Schmidt otrzymali Nagrodę Nobla w 2011 roku w dziedzinie fizyki.

¹⁴ Tyle wynosi obecna średnica Wszechświata, zakładając, że najodleglejsze widoczne dla nas obszary, odległe o 13,7 mld lat świetlnych, w „międzyczasie” oddaliły się jeszcze bardziej.

¹⁵ „Nature”, Volume 448(7151), 19 July 2007, pp 245-248

¹⁶ J. A. Frieman, M. S. Turner, D. Huterer, *Dark Energy and the Accelerating Universe*, Rev. Astro. Astrophys. 46 (2008) 385

Wszystkie te rozważania pokazują, jak daleko w głąb świata kwantów, kwarków i na krańce Wszechświata potrafimy zajrzeć. Z drugiej strony, zasada nieoznaczoności Heisenberga w świecie kwantów i Einsteina ograniczona prędkość światła w świecie kosmologii nakładają na nasze poznanie *fizyczne* granice. Jeszcze raz zacytujemy Mikołaja Kopernika i jego dzieło: „[...] cały świat się obraca, którego granic nie znamy, *ani ich nawet znać nie możemy*”



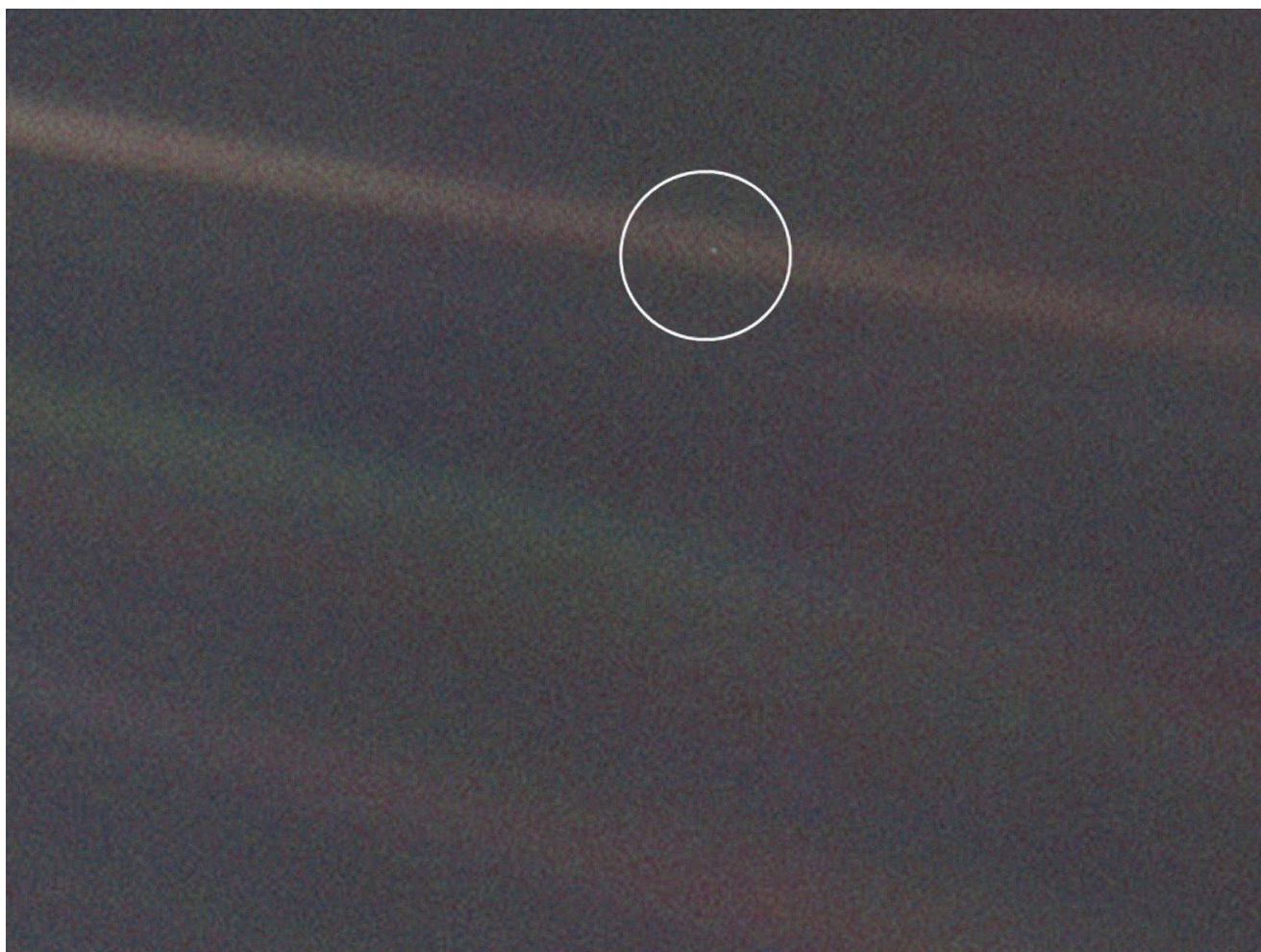
Ryc. 5.10. Ilustracja (pozornej) naiwnych przekonań średniowiecznych uczonych, że Wszechświat kończy się „sferą gwiazd stałych” – sam Kopernik o niej jeszcze pisał. Dziś, od czasów Einsteina wiemy, że nie możemy zajrzeć w głąb Wszechświata poza odległość, jaką światło przebyło przez 13,7 mld lat. Rozumiał to Kopernik pisząc: „[...] że cały świat się obraca, którego granic nie znamy, *ani ich nawet znać nie możemy*”.

Na zakończenie

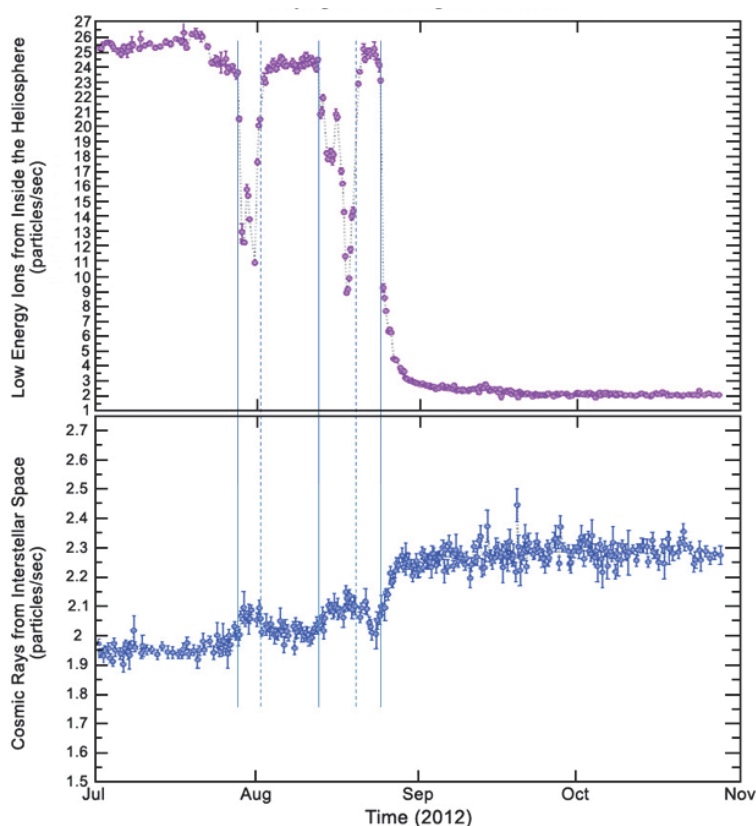
Astronomia pozwala przewidzieć, co nas czeka w przyszłości, przynajmniej w skali kosmicznej. Najbliższa przyszłość nie wydaje się specjalnie burzliwa. Za 12 tysięcy lat biegun północy osi obrotu Ziemi w swej powolnej wędrówce po stożku przesunie się tak, że gwiazdą polarną będzie bardzo jasna Vega. Wówczas lato w Europie będzie przypadać w styczniu...

Raz na 66 milionów lat możemy spodziewać się upadku gigantycznego meteorytu, takiego jak spowodował wyginięcie dinozaurów. Tu należy wykazać się czujnością, bo ostatni taki upadek miał miejsce 65 milionów lat temu...

Gorzej będzie w dalszej przyszłości. Za 4 miliardy lat zacznie przygasać Słońce. Jeszcze wcześniej, za jakieś 3 miliardy lat może dojść do zderzenia naszej Galaktyki z mgławicą Andromedy. Jak pokazują modele matematyczne, kolizja ta może mieć dramatyczny przebieg. Na szczęście, nie powinniśmy ucierpieć...



Fot. 5.12. Bye-bye Earth! Niebieska kropczeczka to ostatnie zdjęcie Ziemi z pokładu „Voyagera 1”, z odległości 6,4 mld km. Ziemia, na złożeniu 60 zdjęć o wysokiej rozdzielczości, zajmuje 0,12 piksela. „Voyager 1” od czerwca 2012 rejestruje wzrost promieniowania kosmicznego, przed którym nas, na Ziemi, chroni „wiatr słoneczny” (Źródło NASA)



Fot. 5.13. Wzrost promieniowania kosmicznego (niebieskie punkty na wykresie) i spadek natężenia niskoenergetycznych jonów pochodzących z wnętrza Układu Słonecznego zarejestrowany przez sondę Voyager 1 od września 2012 roku (Źródło NASA)

