

## 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 takich 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*.

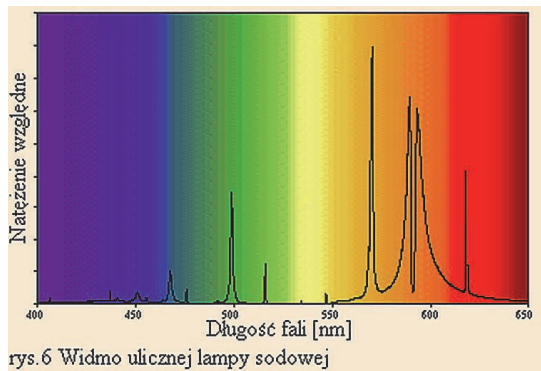
Odkrycie tego promieniowania zawdzięczamy początkom lotów kosmicznych. Dwóch inżynierów, A. Penzias i R. W. Wilson, odpowiedzialnych za łączność z satelitami - balonami starało się pozbyć uporczywego szumu, który przeszkadzał w komunikacji. Nie pomogło kręcenie antenami – szum nadchodził ze wszystkich 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 mikrofałe) 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.



**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*<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> 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:

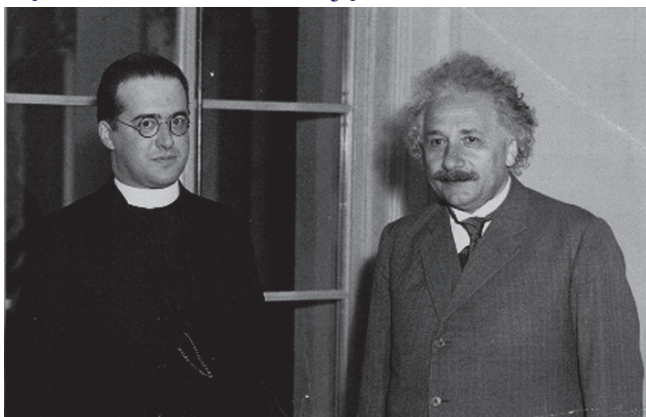
„Jeśli Wszechświat zaczął się od pojedynczego atomu, pojęcia przestrzeni i czasu nie miały żadnego sensu; nabrały one sensu dopiero wówczas, kiedy początkowy atom podzielił się na dostateczną liczbę atomów. Jeśli to rozumowanie jest poprawne, początek Wszechświata miał miejsce nieco przed początkiem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

Podobnie jak odkrycie fal elektromagnetycznych przyszło po teorii Maxwella, tak odkrycie Hubble’a przyszło po drugiej epokowej teorii Einsteina<sup>11</sup> - 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 Newtona<sup>12</sup>.

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  $\Lambda$ , „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.**

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> 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](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/gen-rel35.ppt)