

Początek wszystkiego - Wielki Wybuch



## Początek wszystkiego - Wielki Wybuch

Źródło: Alex Andrews, dostępny w internecie: Pexels.com, licencja: CC BY 3.0.

## Wielki Wybuch – początek wszystkiego

Według starożytnych Greków, na początku był chaos, rozległa pustka, z której zrodziła się bogini Gaja i stworzyła kosmos. Czy rzeczywiście na początku była pustka? W jaki sposób powstał Wszechświat? Jak powstały atomy, planety? Gdzie był początek wszystkiego i jak wyglądał? Jedną z propozycji odpowiedzi na to pytanie daje [teoria Wielkiego Wybuchu](#).

### Twoje cele

- zapoznasz się z opisem powstania Wszechświata;
- przeanalizujesz teorię Wielkiego Wybuchu;
- wykorzystasz umiejętności przeliczania jednostek.

## Przeczytaj

Już w starożytności ludzie interesowali się kosmosem, jednak przełom w jego badaniu nastąpił dopiero na początku XX wieku, kiedy Albert Einstein [albert ainsztajn] ogłosił teorię względności. Astronomowie – Georges Lemaître [żorż lymetr] pochodzący z Belgii i Edwin Hubble [edłyn habyl] z Kalifornii w Stanach Zjednoczonych, pracowali równolegle nad badaniami dotyczącymi ewolucji Wszechświata. Hubble wykonywał obserwacje na jednym z największych ówczesnie teleskopów. Ich badania doprowadziły do wniosku, że

Wszechświat ciągle się rozszerza i opisania tego zjawiska za pomocą zależności matematycznej. Zależność ta została nazwana prawem Hubble'a (od 2018 roku jest to prawo Hubble'a-Lemaître'a).

Amerykański astronom odkrył, że promieniowanie elektromagnetyczne docierające z odległych galaktyk jest przesunięte w stronę światła czerwonego, czyli posiada mniejsze częstotliwości – zjawisko to nazywane jest **redshift** [redszyft]. Odnosząc to do **zjawiska Dopplera** [dople], stwierdził, że galaktyki oddalają się od siebie. Opracowanie Lemaître'a było tylko teoretyczne, ale całkowicie zgodne z obserwacjami Hubble'a. Prawo Hubble'a-Lemaître'a stwierdza, że galaktyki oddalają się od siebie z prędkością proporcjonalną do odległości między nimi:

$$v = H_0 \cdot r,$$

gdzie:

$H_0$  – stała Hubble'a ( $H_0 \approx 70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$ ),

$r$  – odległość.

Z prawa Hubble'a-Lemaître'a można oszacować wiek Wszechświata oraz jego wielkość.

Zastosowania prawa Hubble'a-Lemaître'a zaprezentowane są w przykładach poniżej.

### Przykład 1

Galaktyka JADES-GS-z13-0 (Karzeł Tukana) oddalona jest o około 13,6 miliarda lat świetlnych od Słońca. Z jaką prędkością oddala się zgodnie z prawem Hubble'a-Lemaître'a?

### Rozwiązanie

13,6 miliarda lat świetlnych, czyli  $13,6 \cdot 10^9$  ly, zamieniamy na parseki:

1 pc – 3,26 ly,

$x - 13,6 \cdot 10^9$  ly,

$$x = \frac{1 \text{ pc} \cdot 13,6 \cdot 10^9 \text{ ly}}{3,26 \text{ ly}} = 4,17 \cdot 10^9 \text{ pc} = 4,17 \text{ Gpc} - \text{jest to nasza odległość } r.$$

Dalej obliczamy prędkość z prawa Hubble'a-Lemaître'a:

$$v = H_0 \cdot r,$$

$$v = 70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \cdot 4,17 \text{ Gpc} = 292 \cdot 10^3 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Galaktyka Karzeł Tukana oddala się z prędkością  $292 \cdot 10^3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

## Przykład 2

Na podstawie prawa Hubble'a–Lemaître'a oszacuj wiek Wszechświata.

### Rozwiązanie

Aktualnie uznaje się, że stała Hubble wynosi około  $60 - 75 \frac{\text{km}}{\text{s}\cdot\text{Mpc}}$  z dokładnością do 10%.

Do obliczeń używamy wartości  $70 \frac{\text{km}}{\text{s}\cdot\text{Mpc}}$ , znajdującej się w publikacji „Wybrane wzory i stałe fizykochemiczne” wydanej przez CKE na egzamin maturalny od 2023 roku. Do obliczeń wykorzystujemy też znajomość jednostki parsek:

$$1 \text{ pc} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m},$$

a wielokrotności sprowadzamy do jednostki podstawowej (kilo =  $10^3$ , mega =  $10^6$ ):

$$H_0 = 70 \frac{\text{km}}{\text{s}\cdot\text{Mpc}} = 70 \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ s}\cdot 10^6 \cdot 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}} = 22,68 \cdot 10^{-19} \frac{1}{\text{s}}.$$

Jednostka  $\frac{1}{\text{s}}$  oznacza, że stała Hubble'a jest wyrażana przez odwrotność czasu, a zatem:

$$t = \frac{1}{H_0},$$

$$t = \frac{1}{22,68 \cdot 10^{-19} \frac{1}{\text{s}}} = 0,0441 \cdot 10^{19} \text{ s} = 4,41 \cdot 10^{17} \text{ s}.$$

Rok to w przybliżeniu 365 dni. Każdy dzień to 24 godziny, każda godzina to 60 minut i każda minuta to 60 sekund, a zatem:

$$1 \text{ rok} = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 31536000 \text{ s} = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ s}.$$

Obliczamy finalnie wiek Wszechświata w latach:

$$1 \text{ rok} = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ s},$$

$$t = 4,41 \cdot 10^{17} \text{ s},$$

$$t = \frac{1 \text{ rok} \cdot 4,41 \cdot 10^{17} \text{ s}}{3,1536 \cdot 10^7 \text{ s}} = 1,398 \cdot 10^{10} \text{ lat} \approx 14 \cdot 10^9 \text{ lat}.$$

Wiek Wszechświata oszacowany ze stałej Hubble'a wynosi około 14 miliardów lat.

## Przykład 3

Czy stała Hubble'a zmienia się z wiekiem Wszechświata?

### Rozwiązanie

W poprzednim przykładzie udowodniliśmy, że wiek Wszechświata jest odwrotnością stałej Hubble'a:

$$t = \frac{1}{H_0}.$$

Oznacza to, że stała Hubble'a jest także odwrotnością czasu:

$$H_0 = \frac{1}{t}.$$

Jeżeli czas czyli wiek Wszechświata zwiększa się, to rośnie mianownik w tej zależności, a zatem jej wynik czyli stała Hubble'a maleje.

W drugiej połowie XX wieku astronomowie Robert Woodrow Wilson [robert łudroł łylson], Arno Penzias [ano pencias] i Robert Dicke [robert dyk] odkryli kosmiczne promieniowanie mikrofalowe tła, co potwierdziło, że Wszechświat powstał w wyniku Wielkiego Wybuchu i ciągle się rozszerza; promieniowanie to jest pozostałością po Wielkim Wybuchu i wykrywalne jest w całym Wszechświecie. Naukowcy za swoje odkrycie otrzymali w 1978 roku Nagrodę Nobla.

Z prawa Hubble'a-Lemaître'a wyliczyć można, że około 14 miliardów lat temu cała materia Wszechświata była gęsto upakowana i dopiero od tego czasu Wszechświat zaczął się rozszerzać, a odległości między cząstkami zaczęły się zwiększać.



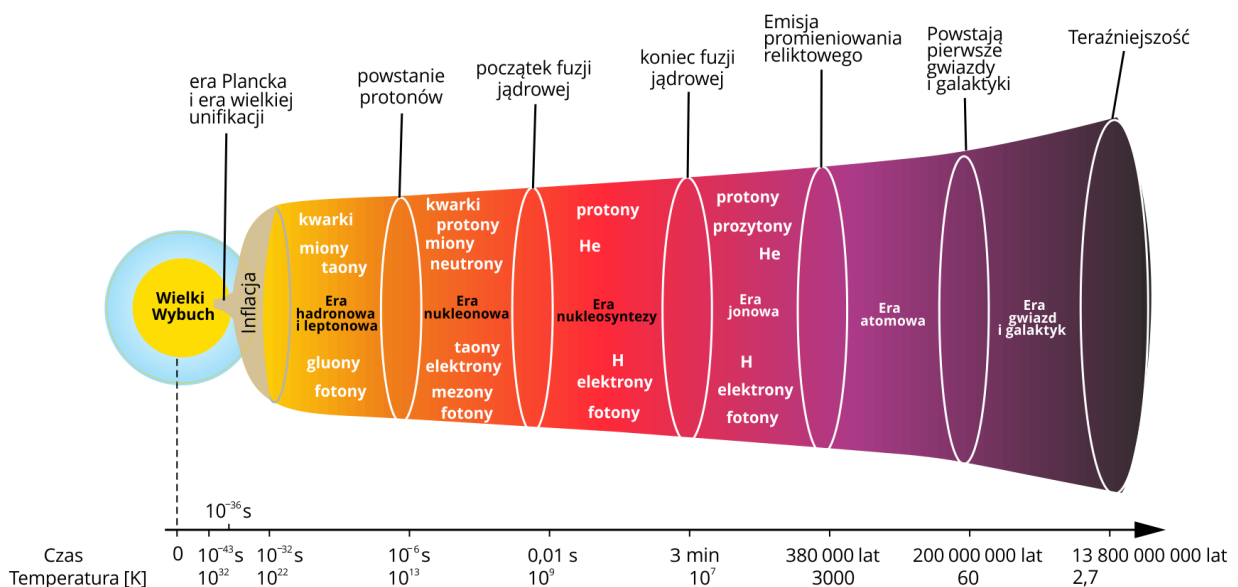
Robert Woodrow Wilson i Arno Penzias w Bell Labs, w tle sześciometrowa antena służąca do odbierania sygnałów w ich badaniach

Źródło: dostępny w internecie: Wikipedia.org, domena publiczna.

Nie wiemy, co działo się przed Wielkim Wybuchem, ale założenia teoretyczne pozwalają stwierdzić, że około  $10^{-43}$  sekundy Wszechświat był niewyobrażalnie gorącymi cząstkami związanymi ze sobą energią. Oznacza to, że wszystko znajdowało się wtedy skupione obok siebie. Twór ten zwany jest osobliwością – posiadał on bardzo dużą gęstość i temperaturę setek kwintylionów kelwinów (rzędu  $10^{32}$  K). Wszechświat w bardzo krótkim czasie rzędu  $10^{-35}$  sekundy powiększył się, co jest nazywane inflacją kosmologiczną, by następnie rozszerzać się coraz bardziej i bardziej, ochładzając się przy tym. Wbrew nazwie nie był to

jednak wybuch materii, a nagłe rozszerzanie się przestrzeni, w której ta materia się znajdowała.

W czasie rozszerzania się Wszechświata, poza temperaturą malała też gęstość i energia. W ciągu części sekundy zaczęły tworzyć się protony i neutrony w tak zwanej erze nukleonowej. Po niej nastąpiła era nukleosyntezy, w której następowały fuzje termojądrowe, by następnie przejść w erę jonową. Dopiero ponad 300 tysięcy lat później zaczęła się era atomowa, która trwała prawie 300 milionów lat, wtedy zaczynają powstawać pierwsze gwiazdy. Temperatura spadła wtedy do około 3000 K, a Wszechświat stał się przezroczysty dla światła widzialnego i promieniowania. Po niej nastąpiła era gwiazd i galaktyk, która trwa do dzisiaj. W jej trakcie, około 300 milionów lat po Wielkim Wybuchu, dominującą rolę przejęło oddziaływanie grawitacyjne, które zatrzymało związane skupiska materii. W czasie rozwoju Wszechświata poza oddziaływaniami grawitacyjnym powstały elektromagnetyzm i oddziaływania jądrowe. W czasie kosmicznej inflacji siły te były częścią jednego ogólnego oddziaływania. Po Wielkim Wybuchu siły te rozdzieliły się na aktualnie znane oddziaływania.



### Chronologia Wszechświata

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Co do przyszłości Wszechświata badania naukowców cały czas trwają. Aktualne obserwacje coraz szybszego rozszerzania się Wszechświata skutkują wnioskiem, że jego część przechodzi poza tzw. horyzont zdarzeń, czyli będzie poza naszym zasięgiem. Ostateczny wynik rozrastania się Wszechświata nie jest jednak znany i pozostaje przedmiotem badań.

## Wielki Wybuch i ekspansja Wszechświata

14 miliardów lat temu

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1RZuyp0ByzKs>

Wielki Wybuch i ekspansja Wszechświata

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do Wielkiego Wybuchu i ekspansji wszechświata.

### Polecenie 1

Dlaczego zakłada się, że osobliwość z której powstał Wszechświat miała nieskończoną gęstość?  
Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

### Polecenie 2

Czy odległość między Księżycem a Ziemią wzrasta, skoro Wszechświat się rozszerza?  
Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

### Polecenie 3

Jak nazywało się oddziaływanie, z którego wydzieliły się oddziaływanie elektromagnetyczne i jądrowe słabe? Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Sprawdź się

### Ćwiczenie 1

Zaznacz dwie poprawne odpowiedzi.

Kto opracował prawo opisujące wprost proporcjonalną zależność prędkości oddalania się galaktyk do odległości między nimi?

Albert Einstein.

Georges Lemaître.

Wszyscy wymienieni.

Edwin Hubble.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 2

Pogrupuj zdania na prawdziwe i fałszywe.

Prawdziwe

Stała Hubble'a rośnie z wiekiem Wszechświata.

Za pomocą prawa Hubble'a-Lemaître'a można określić wiek Wszechświata.

Fałszywe

Prędkość oddalania się galaktyk jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi.

Prędkość oddalania się galaktyk jest wprost proporcjonalna do odległości między nimi.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 3

Oblicz prędkość oddalania się hipotetycznej galaktyki GA-18-22, odległej od Ziemi o 6 Mpc.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 4

Uzupełnij zdania właściwymi sformułowaniami:

Możemy zaobserwować, że Wszechświat się . Obserwujemy, że galaktyki . Przed Wielkim Wybuchem wszystko znajdowało się w jednym miejscu i miało  temperaturę. Od czasu Wielkiego Wybuchu temperatura .

rośnie

zmniejsza się

oddalają się od siebie

rozszerza

znikomą

ogromną

zbliżają się do siebie

zmniejsza

Zródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 5

Ułóż wzór opisujący prawo Hubble'a-Lemaître'a.

=   $r$    $\cdot$    $v$   +   $s$    $t$   -   $H_0$

Zródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 6

Ułóż w kolejności od wydarzenia najnowszego do najstarszego.

era atomowa

fuzja termojądrowa

Wielki Wybuch

inflacja kosmiczna

era gwiazd

era nukleonowa

Zródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 7

Oblicz prędkości oddalania się galaktyk odległych od Ziemi o:

A.  $3,5 \cdot 10^6$  pc,

B.  $10^9$  pc,

C. 163 ly.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 8

Zaznacz dwa zdania prawdziwe.

Gluony powstały dopiero w erze atomowej.

W erze atomowej powstały głównie wodór, hel, związki tlenu.

Gwiazdy i galaktyki powstały w erze gwiazd.

Wielki Wybuch trwał bardzo małe ułamki sekund.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Słownik

### efekt Dopplera

zjawisko polegające na rejestracji przez obserwatora innej częstotliwości fali, niż jest emitowana przez jej źródło, gdy źródło i obserwator poruszają się względem siebie.

### redshift

przesunięcie ku czerwieni; zjawisko polegające na obserwowaniu przesunięcia w stronę większych długości fali linii widmowych promieniowania elektromagnetycznego.

## teoria Wielkiego Wybuchu

teoria, zgodnie z którą w chwili Wielkiego Wybuchu rozpoczęła się ekspansja Wszechświata.

## Bibliografia

Sagnowska B., Szot-Gawlik D., Godlewska M., Rozenbajgier M., Rozenbajgier R., 2017, *Świat fizyki*, Warszawa, WSiP

## Notatki