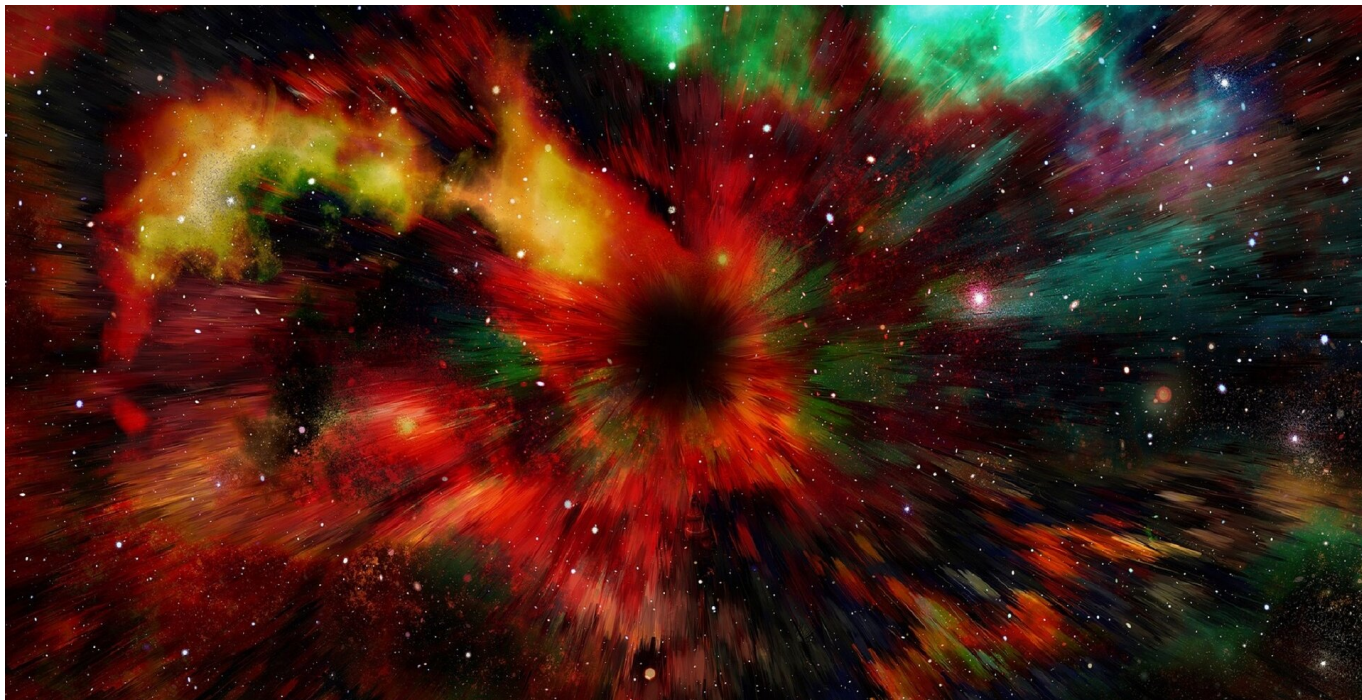
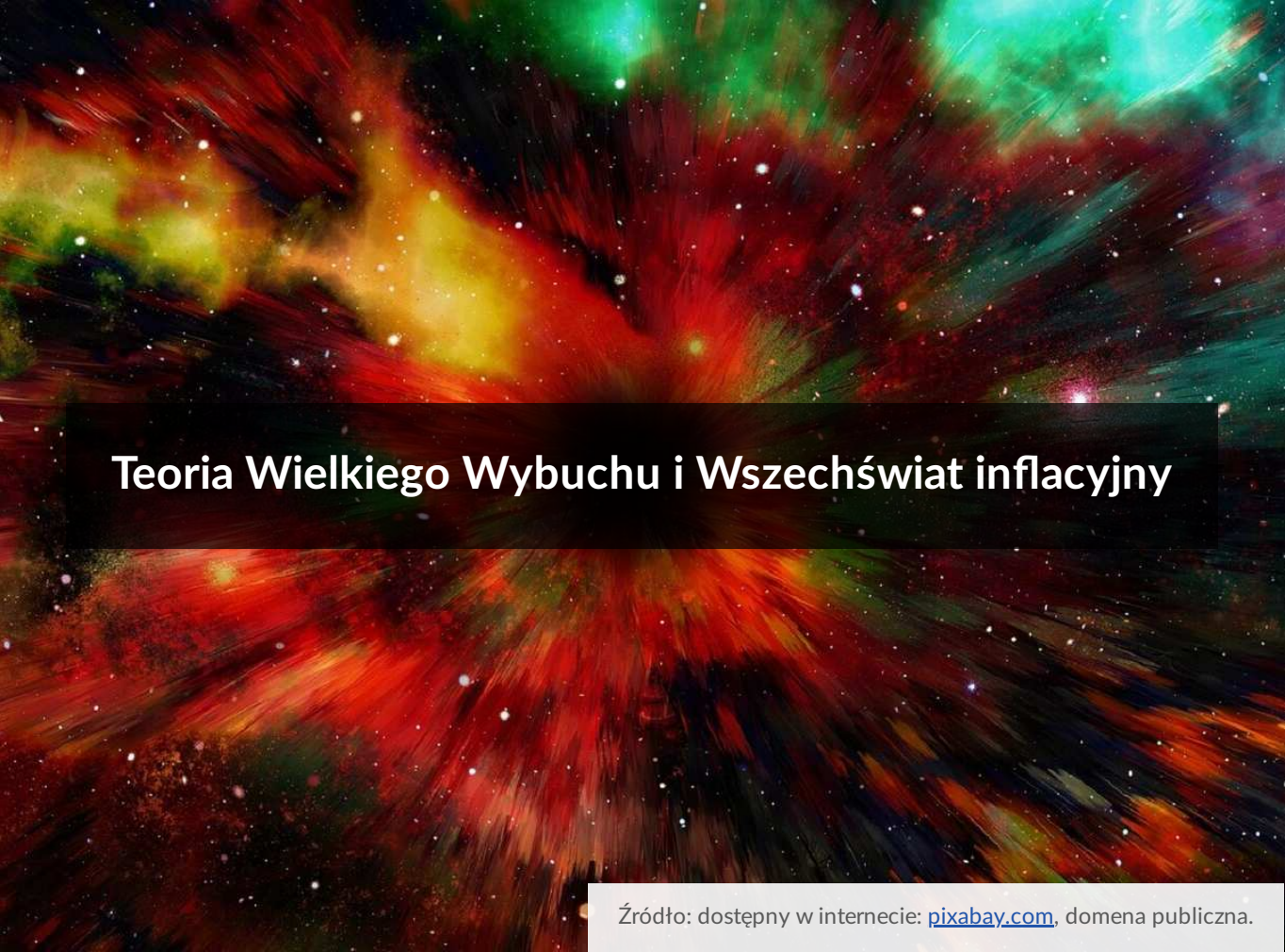




Teoria Wielkiego Wybuchu i Wszechświat inflacyjny

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Teoria Wielkiego Wybuchu i Wszechświat inflacyjny

Źródło: dostępny w internecie: pixabay.com, domena publiczna.

Na pewno zdarzyło Ci się przynajmniej raz w życiu spojrzeć w niebo i zastanowić nad jego bezgraniczną przestrzenią. A może do zastanowienia się nad ogromem i różnorodnością otaczającego nas Wszechświata skłonił Cię film lub przeczytana książka? Nie jesteś sam. To zagadnienie nurtowało ludzi od początków cywilizacji. Pragnienie poznania i zrozumienia Wszechświata stało się siłą napędową postępu w nauce – astronomii, kosmologii, fizyce, ale także czynnikiem generującym teorie filozoficzne. Jak ewoluowały teorie na temat powstania Wszechświata?

Twoje cele

- Omówisz obecnie obowiązujące poglądy na temat początków Wszechświata.
- Omówisz etapy rozwoju Wszechświata według koncepcji Wielkiego Wybuchu.
- Wyjaśnisz, o czym mówi teoria inflacyjna.

Przeczytaj

Stacjonarny model Wszechświata

W połowie XVI wieku Mikołaj Kopernik w swym dziele *O obrotach ciał niebieskich* (*De revolutionibus orbium coelestium*, 1543) przedstawił **teorię heliocentryczną**, która zburzyła powszechne w owym czasie poglądy i przekonania o wyjątkowości Ziemi we Wszechświecie. Teoria ta stała się dla innych uczonych punktem wyjścia do podjęcia prób odpowiedzi na pytanie, czy Wszechświat jest przestrzennie skończony czy nie, czy istnienie Wszechświata jest ograniczone w czasie, wreszcie, czy Wszechświat podlega zmianom (ewoluuje), czy może trwa w niezmiennym stanie. W 1576 roku, a więc nieco ponad 30 lat od ogłoszenia dzieła Kopernika, angielski matematyk i astronom Thomas Digges, przetłumaczył i opublikował kosmologiczną jego część, wzbogaconą o własną teorią nieskończonego Wszechświata, w którym nieruchome gwiazdy rozmieszczone są w różnych odległościach od Słońca.

Stacjonarny model Wszechświata, oparty na zasadzie kopernikańskiej, zakładał, że Wszechświat jest izotropowy (taki sam we wszystkich kierunkach) i jednorodny (taki sam we wszystkich miejscach), niezależnie nie tylko od położenia obserwatora, ale i od czasu, w którym prowadzone są obserwacje. Model ten uważany był za obowiązujący praktycznie aż do początków XX wieku. Wtedy jednak zdarzyło się coś, co zmieniło poglądy uczonych na temat genezy i ewolucji Wszechświata. W 1912 roku amerykański astronom Vesto Slipher odkrył, że prawie wszystkie, jak je nazywał, „mgławice spiralne” (czyli galaktyki spiralne) oddalają się od Ziemi z prędkością 3,6 mln km/h. Dziesięć lat później Aleksander Friedmann,



Schemat Wszechświata według Thomasa Diggesa (1576)

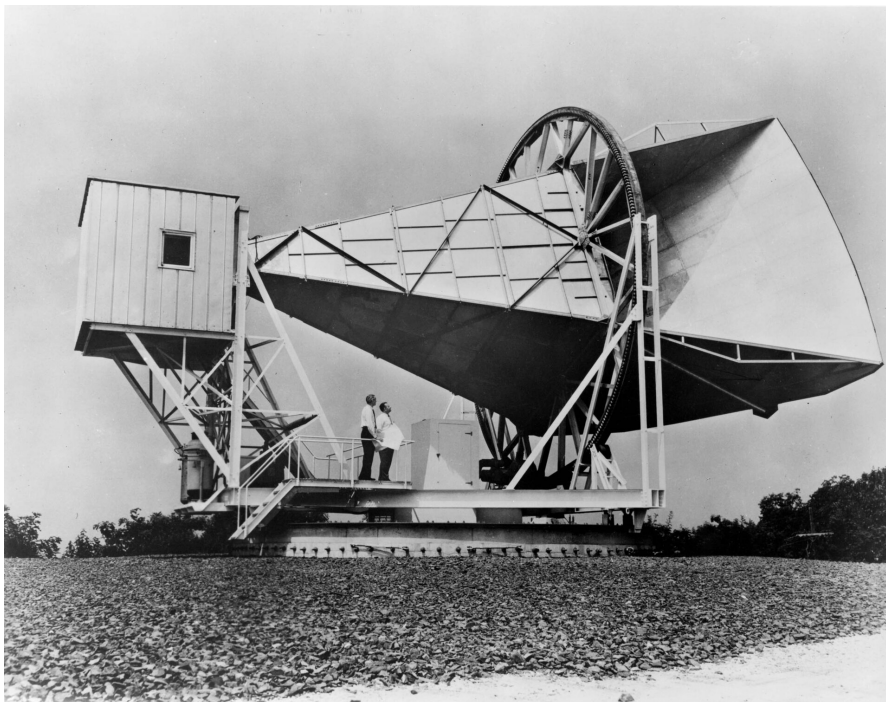
Źródło: dostępny w internecie:

commons.wikimedia.org, licencja: CC BY 4.0.

rosyjski kosmolog i matematyk, a kilka lat później belgijski fizyk Georges Lemaître, niezależnie dowodzili, że Wszechświat może się rozszerzać, konstruując opisujące ten proces równania. Skoro jednak Wszechświat podlega ekspansji, to znaczy, że w przeszłości cała jego masa musiała być skupiona w jednym, pierwotnym punkcie, a to z kolei oznacza, że Wszechświat ma swój początek. Dowodów na poparcie tej śmiałej, jak na owe czasy, tezy dostarczył w 1929 roku amerykański astronom Edwin Hubble. Odkrył on i obliczył zależność między odległością dzielącą galaktyki a prędkością, z jaką się od siebie oddalają, znaną dziś jako **prawo Hubble’a**. Stworzona formuła w sposób matematyczny opisuje zjawisko „ucieczki galaktyk”. Prędkość oddalania się galaktyk można bowiem ustalić na podstawie obserwowanego przesunięcia obserwowanego widma galaktyk ku czerwieni, przy czym im większa prędkość ucieczki danej galaktyki, tym przesunięcie jej widma ku czerwieni jest większe (aby zrozumieć zasadę, przypomnij sobie założenia prawa Dopplera). Zaobserwowana prawidłowość dostarczyła dowodów będących podstawą stworzenia **teorii Wielkiego Wybuchu**. Termin „Wielki Wybuch”, który dziś jest powszechnie rozpoznawalną nazwą teorii, został ironicznie użyty przez astrofizyka Freda Hoyle’a, jej zadeklarowanego krytyka, w audycji radiowej w 1965 roku.

Prawidłowość stwierdzoną przez Hubble’a wykorzystali Alan Guth, Andrzej Linde, Paul Steinhardt i Andreas Albrecht. W 1980 roku opracowali oni inflacyjny model Wszechświata będący rozszerzeniem dotychczasowego modelu Wielkiego Wybuchu.

Przez wiele lat toczyły się zawzięte dyskusje, nie tylko na forum naukowym, ale także w mediach, między zwolennikami kosmologii stanu stacjonarnego a zwolennikami koncepcji rozszerzającego się Wszechświata. Dyskusje ucichły w połowie lat 60. XX wieku. Wtedy to amerykańscy uczeni Arno Penzias i Robert Wilson odkryli dowody potwierdzające istnienie eksplozji w postaci echa, jakim jest **mikrofalowe promieniowanie tła**, to samo, które Georges Lemaître i inni teoretycy teorii uznali za wystarczający dowód Wielkiego Wybuchu sprzed wielu miliardów lat. Obecnie teoria Wielkiego Wybuchu jest uznawana za najbardziej prawdopodobną, choć, co należy przyznać, istnieją także teorie alternatywne, negujące fakt takiego początku Wszechświata.



Antena tubowa, przy pomocy której Penzias i Wilson dokonali odkrycia mikrofalowego promieniowania tła.

Źródło: domena publiczna.

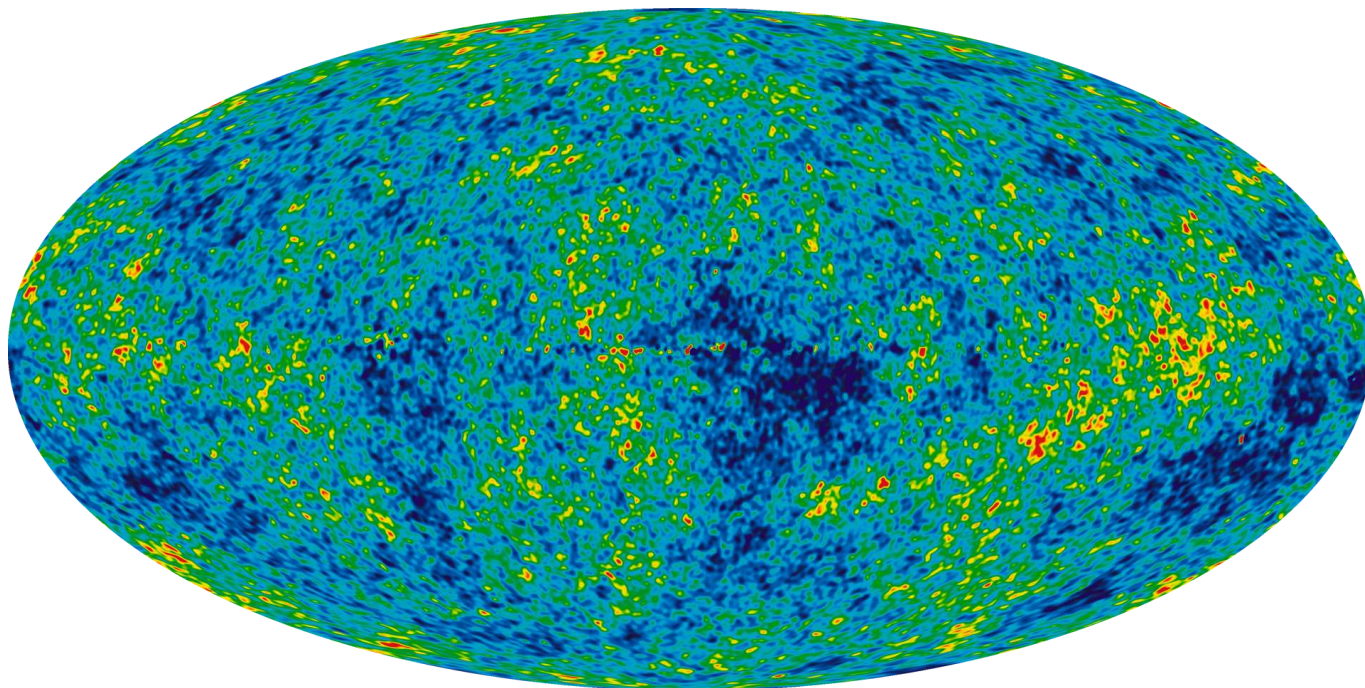
Teoria Wielkiego Wybuchu

Co właściwie zdarzyło się 13,82 mld lat temu (dane z misji Planck z 2013 roku, 13,77 mld lat wg danych sondy WMAP), kiedy to zdaniem uczonych nastąpił Wielki Wybuch? Jedno jest pewne, Wielki Wybuch nie był eksplozją w powszechnym rozumieniu tego terminu. Na początku nie było czasu, przestrzeni ani grawitacji, a cały obecny Wszechświat skupiony był w obiekcie o nieskończenie małych rozmiarach, nazywanym „pierwotnym atomem”, a później „osobliwością”. Wielki Wybuch zainicjował więc powstanie czasoprzestrzeni i rozwój znanego nam kosmosu. Co było impulsem, który do tego doprowadził, tego jeszcze nie rozumiemy, ponieważ wszystkie równania opisujące ten fenomen dotyczą stanu od 10^{-43} sekundy jego zaistnienia. Do objaśnienia stanu Wszechświata w czasie wcześniejszym ($t = 0-10^{-43}$ s), nazywanym **erą Plancka**, naukowcy próbują wykorzystać teorię kwantów, gdyż nie może on być opisany za pomocą równań klasycznej, ogólnej teorii względności Alberta Einsteina. Przyjmuje się, że w najwcześniejszym stadium rozwoju Wszechświat był wypełniony energią i materią o wielkiej gęstości, ogromnej temperaturze i ciśnieniu. Ciągłe jeszcze nie potrafimy jednak precyzyjnie opisać zjawisk, które wtedy występowały. Być może umożliwi to kwantowa teoria grawitacji, nad stworzeniem której pracują fizycy.

Druga faza formowania się Wszechświata, zwana wielką unifikacją, rozpoczęła się, kiedy gęstość materii wynosiła 10^{92} g/cm³, a jej temperatura 10^{32} °K ($t = 10^{-43}$ s). Zaczęły wtedy obowiązywać prawa uznawanej powszechnie ogólnej teorii względności. Na początku owej ery wszystkie oddziaływania elementarne między cząstkami, poza grawitacyjnym, były zbliżone i symetryczne. Jednak w 10^{-35} s od Wielkiego Wybuchu, kiedy temperatura spadła do 10^{28} °K, symetria została zaburzona. W efekcie nastąpiła emisja wielkiej ilości energii. W chwili, gdy gęstość materii wynosiła 10^{74} g/cm³, a temperatura 10^{27} °K ($t = 10^{-34}$ s), rozpoczęła się era **inflacji kosmologicznej**. Uwolniona energia spowodowała w czasie od 10^{-35} do 10^{-33} sekundy od Wielkiego Wybuchu gwałtowne przyspieszenie ekspansji Wszechświata i zmniejszenie pierwotnych różnic w jego gęstości. Od 10^{-33} sekundy ekspansja zwolniła, postępował także proces zmniejszania gęstości i obniżania temperatury. Początkowo występowały wszystkie typy [kwarków](#) i odpowiadających im ilościowo antykwarków (**era kwarkowa**). Wraz ze spadkiem temperatury lżejsze kwarki łączyły się w [hadrony](#), cięższe rozpadały się (**era hadronowa** trwająca do ok. 10^{-4} s). W czasie od 10^{-4} s do 10 sekund od wybuchu głównym składnikiem materii Wszechświata były [leptony](#) – elektrony, neutrino (**era leptonowa**). Rozpadające się neutrony utworzyły z protonami stabilne jądra – [deuteru](#), z nich izotopu helu-³He, a następnie izotopu helu-⁴He. Wtedy to powstały międzygalaktyczne obłoki helowe. Ten okres nazywany jest niekiedy **erą nukleosyntezy**. W tym jakże krótkim okresie ekspansji powstała cała materia obecna we Wszechświecie. Proces ten nie zakończył rozwoju Wszechświata, ale dalsze przemiany zachodziły już w znacznie wolniejszym tempie.

W długim okresie od 10 sekund do 380 tys. lat od Wielkiego Wybuchu, określanym jako era promieniowania, Wszechświat wypełniały oddziałujące na siebie cząstki – były to głównie [fotony](#), którym w niewielkiej ilości towarzyszyły protony i neutrony, natomiast zawartość helu była minimalna. Temperatura promieniowania stopniowo zrównała się z temperaturą materii, Wszechświat był wypełniony zjonizowanymi gazami i całkowicie nieprzejrzysty. Po upływie około 10 tys. lat we Wszechświecie zaczęła dominować energia związana z materią. Po około 300 tys. lat od Wielkiego Wybuchu protony połączyły się trwale z elektronami w atomy, a poruszające się swobodnie fotony uwolniły promieniowanie tła, którego odkrycie w XX w. stało się koronnym dowodem potwierdzającym prawdziwość teorii Wielkiego Wybuchu. Wszechświat wypełniał w miarę jednorodny obłok wodoru z domieszką helu.

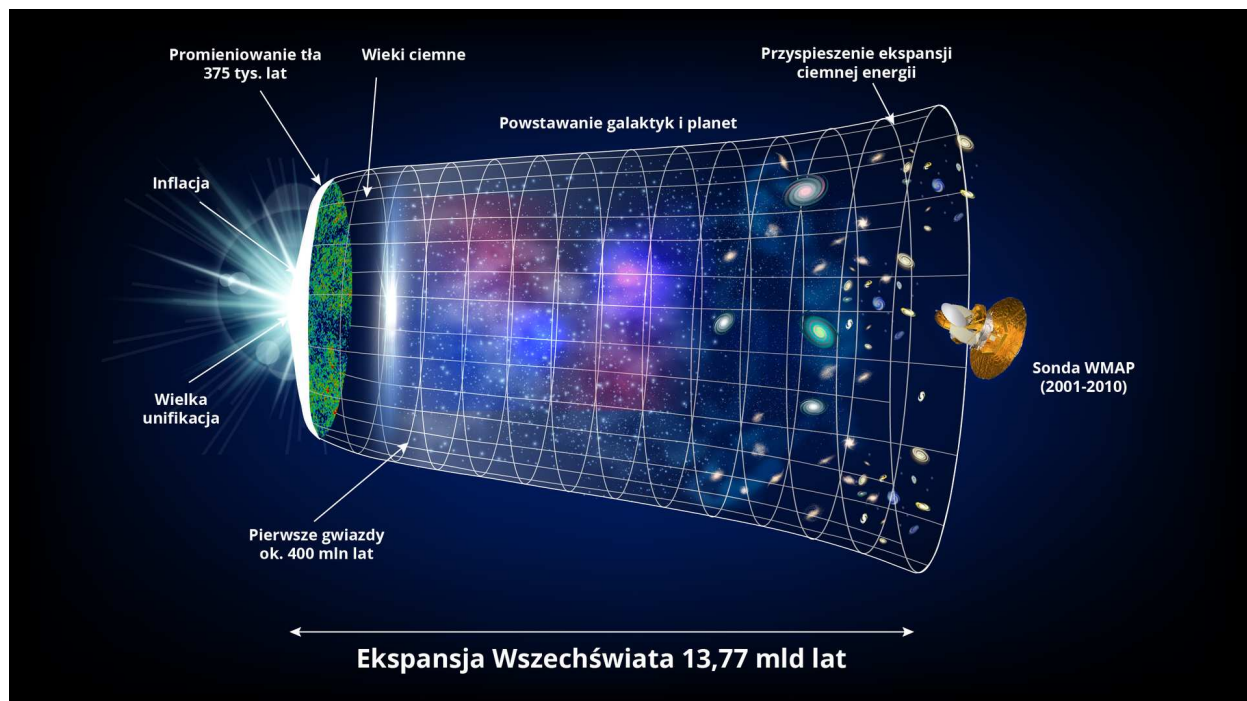
W rozwoju Wszechświata rozpoczęła się **era gwiazdowa**, zwana też galaktyczną, która trwa od ok. 390 tys. lat do dzisiaj.



Mikrofalowe promieniowanie tła zarejestrowane przez sondę WMAP w 2010 roku

Źródło: domena publiczna.

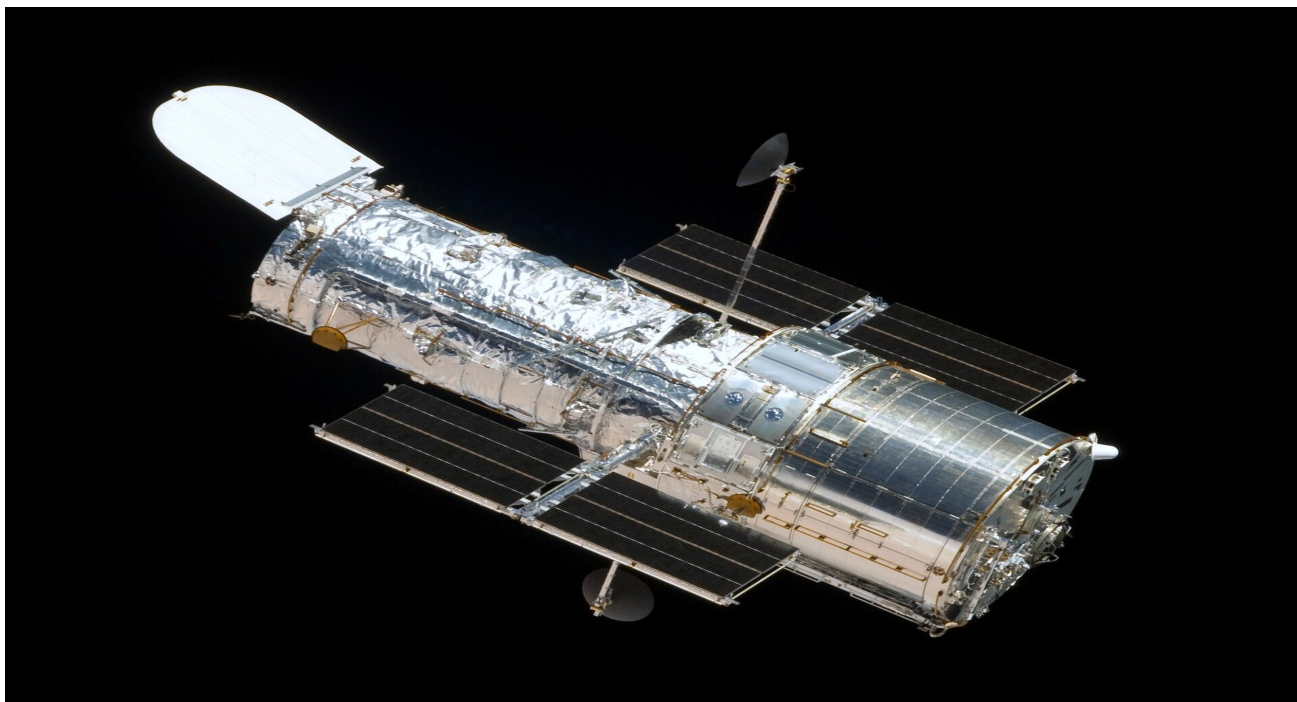
Rozwój Wszechświata od uwolnienia promieniowania tła do pojawienia się pierwszych gwiazd (mniej więcej 100 mln lat od Wielkiego Wybuchu) określany jest jako **epoka ciemności** (wieki ciemne), ze względu na obecność niezjonizowanego wodoru. W tym czasie formowały się pierwsze galaktyki, jednak szczegółowy proces ich tworzenia nie jest do końca wyjaśniony, choć powstało wiele opisujących go teoretycznych modeli. Podstawowe znaczenie miała w tym procesie siła grawitacji, powodująca zagęszczanie gazowych obłoków, między którymi powstawała kosmiczna próżnia o znacznie mniejszej gęstości materii. Zapadanie się obłoków gazowych prowadziło do powstania pierwszych gwiazd, o ogromnej masie. W końcowym etapie ich ewolucji powstały w nich jądra ciężkich pierwiastków, m.in. węgla, tlenu, krzemu, siarki, żelaza. Każde kolejne pokolenie gwiazd zawiera ich coraz większą ilość (Słońce jest gwiazdą drugiej lub trzeciej generacji i zawiera 1-2% pierwiastków ciężkich). Podczas wybuchu supernowych materia międzygwiazdowa jest zasilana w pierwiastki ciężkie, a proces ten trwa do chwili obecnej.



Uproszczony schemat ewolucji Wszechświata zgodny z modelem Wielkiego Wybuchu (opracowanie NASA na podstawie pomiarów sondy WMAP)

Źródło: NASA, WMAP Science Team, domena publiczna.

Model Wielkiego Wybuchu opisujący powstanie i ewolucję Wszechświata jest w znacznej części modelem teoretycznym, wymagającym obserwacyjnego potwierdzenia założeń. Stało się to możliwe dzięki długoletnim pomiarom prowadzonym od początku XX w., ale także znaczącemu postępowi w badaniach kosmologicznych od końca lat 90. XX w. Szczególne znaczenie miał w tym względzie rozwój technologii teleskopów oraz doskonalenie metod analizy danych satelitarnych i kosmicznych. Od 1990 roku na orbicie pracuje Kosmiczny Teleskop Hubble'a. Obserwacje przeprowadzone przy jego pomocy pozwoliły naukowcom na stwierdzenie przyspieszenia rozszerzania Wszechświata (co przeczyło dotychczasowej tezie o spowalnianiu tego procesu pod wpływem grawitacji).



Kosmiczny Teleskop Hubble'a

Źródło: dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, domena publiczna.

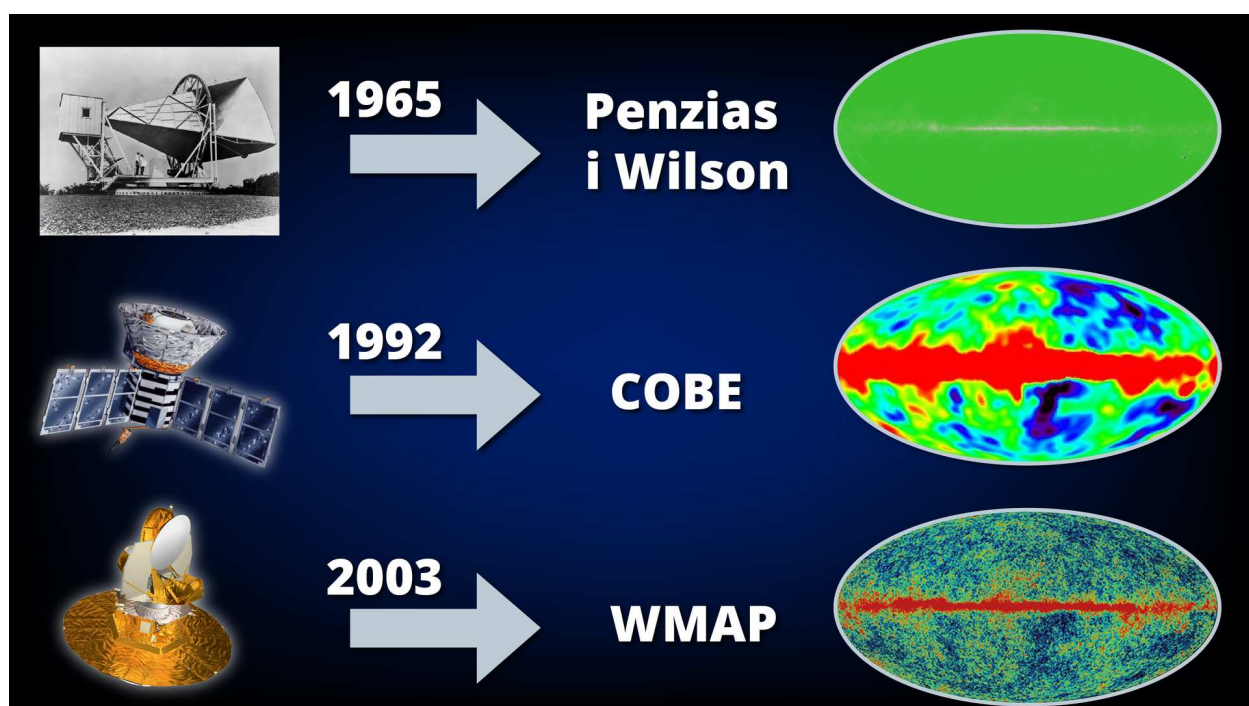


Galaktyka spiralna Messier 100 w gwiazdozborze Warkocza Bereniki – zdjęcie z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a.

Źródło: NASA, ESA, dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, licencja: CC BY 4.0.

Pierwszym sztucznym satelitą zbudowanym w celu prowadzenia badań kosmologicznych był satelita COBE (Cosmic Background Explorer), wprowadzony na

orbitę przez NASA w 1989 roku i wyposażony m.in. w przyrządy do detekcji nieregularności mikrofalowego promieniowania tła. Jego następczynią była sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), wyniesiona w kosmos w 2001 roku, której zadaniem były pomiary temperatury promieniowania relikтового (prowadzone do 2010 roku). W 2009 roku pomiary [anizotropii](#) kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła rozpoczął satelita Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) Planck. Ich wyniki wskazują m.in., że wiek Wszechświata szacowany jest na 13,82 miliarda lat, a w jego skład wchodzi 4,9% [materii barionowej](#), 26,8% hipotetycznej ciemnej materii i 68,3% [ciemnej energii](#).



Postęp w badaniach nad promieniowaniem reliktowym: 1. dane Penziasa i Wilsona uzyskane za pomocą anteny tubowej, 2. dane zebrane przez sondę COBE, 3. dane zebrane przez sondę WMAP

Źródło: dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, licencja: CC BY-SA 3.0.

Dzięki badaniom prowadzonym od dziesięcioleci kosmolodzy dysponują dziś dokładnymi pomiarami wielu parametrów modelu Wielkiego Wybuchu, pozwalającymi na zweryfikowanie podstawowych założeń modelu. Oto niektóre z przykładów.

- Ciągłe rozszerzanie Wszechświata – świadczy o tym zaobserwowane przez Edwina Hubble’a w 1929 roku astronomiczne zjawisko przesunięcia światła niemal wszystkich galaktyk ku czerwieni, przy czym im większa odległość do danej galaktyki, tym przesunięcie jej widma ku dłuższym falom jest większe;

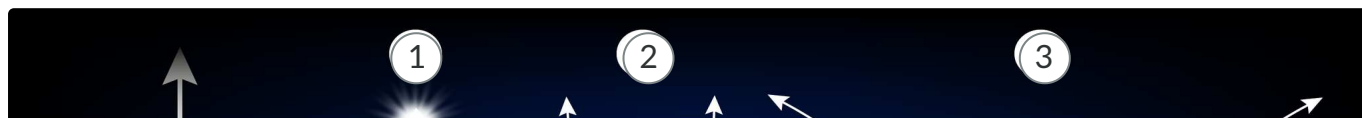
zjawisko to jest znane pod nazwą „ucieczki galaktyk”; współcześnie prowadzone obserwacje wskazują, że ekspansja Wszechświata wydaje się przyspieszać.

- Skład chemiczny Wszechświata – pod względem wagowym 74% stanowi wodór (z tego jeden na sto tysięcy atomów występuje w formie deuteru), 24% hel, na pozostałe pierwiastki przypada 2%; przedstawiony skład chemiczny określony został w latach 60. XX w. przez Peeblesa i Wagnera, a następnie potwierdzony przez wiele zespołów badawczych.
- Temperatura kosmicznego promieniowania tła zmieniała się w przeszłości w ściśle określony sposób – badania prowadzone na przełomie XX i XXI w. dotyczące wielkości i zmian temperatury promieniowania tła dostarczyły wyników zgodnych z przewidywaniami teoretycznego modelu Wielkiego Wybuchu.
- Obiekty kosmiczne, w tym galaktyki, powstają w różnych etapach rozwoju Wszechświata i podlegają ewolucji – zmienia się m.in. ich liczba, skład chemiczny i jasność – w pierwszej dekadzie XXI w., dzięki obserwacjom prowadzonym z orbity okołoziemskiej, uzyskano dowody potwierdzające ewolucję struktury rozkładu materii w wielkich skalach i stwierdzono, że pierwsze galaktyki i gwiazdy powstały kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu.

Chociaż model ewolucji Wszechświata określany mianem Wielkiego Wybuchu jest obecnie uznawany za najbardziej prawdopodobny, istnieją alternatywne teorie podważające jego zasadność. Jedną z nich jest teoria Wielkiego Odbicia zakładająca występowanie naprzemiennych (oscylacyjnych) procesów ekspansji i kurczenia się Wszechświata rozdzielonych tzw. Wielkim Odbiciem. W tym kontekście Wielki Wybuch interpretowany jest jako jeden z kolejnych etapów rozwoju Wszechświata (odbicie) będący wynikiem zniszczenia poprzednio istniejącego.

Podobnie podzielone są opinie badaczy dotyczące przyszłości Wszechświata. Niektórzy z nich widzą przyszłość Wszechświata jako Wielkie Rozdarcie. Koncepcja ta, sformułowana przez Roberta Caldwell, zakłada, że wskutek ciągłego rozszerzania Wszechświata wszystko, począwszy od gwiazd i galaktyk do atomów i cząstek elementarnych, a nawet czasoprzestrzeni, ulegnie rozerwaniu. Hipoteza opiera się przede wszystkim na nie do końca poznanej ciemnej energii występującej we Wszechświecie. Jeśli gęstość ciemnej energii jest stała, Wszechświat przetrwa, jeżeli

jednak będzie wzrastała bez ograniczeń, może przewyższyć wszystkie siły, które utrzymują Wszechświat w spójności.



1

Wszechświat zamknięty

Rozszerza się do momentu, kiedy grawitacja powoduje zatrzymanie i odwrócenie kosmologicznej ekspansji Wszechświata, co oznacza, że Wszechświat zacznie się kurczyć, osiągając kolaps.

2

Wszechświat płaski

Rozszerza się do momentu, kiedy grawitacja powoduje zatrzymanie ekspansji, ale rozkład i gęstość materii we Wszechświecie uniemożliwia kolaps; Wszechświat będzie się rozszerzał w nieskończoność.

3

Wszechświat otwarty

We Wszechświecie nie ma wystarczającej ilości materii, aby odwrócić kosmologiczną ekspansję, co oznacza, że Wszechświat będzie się rozszerzał, a jego kres nastąpi w wyniku osiągnięcia stanu termicznej równowagi (śmierć cieplna Wszechświata, Wielki Chłód).

Schematy przedstawienie możliwych scenariuszy ewolucji Wszechświata

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Z kolei teoria Wielkiego Kolapsu, powiązana z teorią Wielkiego Odbicia, zakłada, że proces rozszerzania się Wszechświata nie będzie przebiegać wiecznie. Pod wpływem rosnącej grawitacji, której towarzyszy wzrost temperatury i gęstości, rozpocznie się bowiem proces przeciwny – kurczenia się Wszechświata. Będzie on polegał na zbliżaniu i łączeniu galaktyk, scalaniu ich z gwiazdami i planetami. Ogromna grawitacja spowoduje także zespolenie atomów, które rozpadną się na nukleony (protony i neutrony), a te z kolei na kwarki. Wielki Kolaps stanowi więc odwrócenie procesu Wielkiego Wybuchu, gdyż w jego wyniku Wszechświat powróci do stanu osobliwości o skrajnie wysokiej gęstości i temperaturze.

Słownik

anizotropia

zależność właściwości fizycznych ciała od kierunku, w którym się je bada

ciemna energia

energia wypełniająca całą przestrzeń kosmiczną, która wywiera na nią ujemne ciśnienie, przyspieszając tempo rozszerzania się Wszechświata

ciemna materia

hipotetyczna materia nieemitująca i nieodbijająca promieniowania elektromagnetycznego; jej istnienie zdradzają jedynie wywierane przez nią efekty grawitacyjne

deuter

izotop wodoru, składający się z protonu i neutronu w jądrze oraz z elektronu na jego powłoce

foton

cząstka elementarna z grupy bozonów, będąca nośnikiem oddziaływań elektromagnetycznych; nie posiada ładunku elektrycznego ani momentu magnetycznego, jego masa spoczynkowa jest zerowa; wykazuje dualizm korpuskularno-falowy, więc równocześnie ma cechy cząstki i fali elektromagnetycznej

hadrony

grupa silnie oddziałujących cząstek elementarnych składających się z kwarków lub gluonów

kwark

cząstka elementarna, fermion; istnieje sześć rodzajów kwarków oraz sześć rodzajów antykwarków

lepton

cząstka elementarna; leptony to grupa 12 cząstek elementarnych (6 cząstek i 6 antycząstek); zaliczają się do niej: elektron, mion, taon, neutrino elektronowe, neutrino mionowe, neutrino taonowe oraz odpowiadające im antycząstki: pozyton (antyelektron), antymion, antytaon i antyneutrino będące fermionami

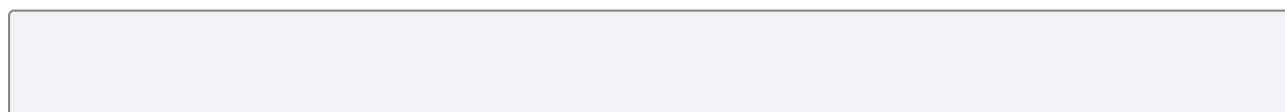
materia barionowa

materia wchodząca w skład gwiazd i czarnych dziur

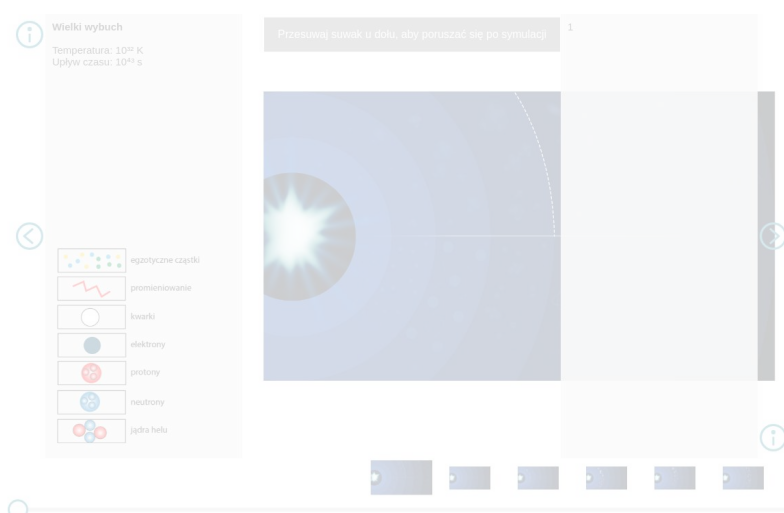
Symulacja interaktywna

Polecenie 1

Niewątpliwym sukcesem współczesnej nauki jest próba odpowiedzi na pytanie „gdzie jest początek naszego istnienia?”. Dzięki tej wiedzy możesz cofnąć się wirtualnie około 13,7 miliarda lat do Wielkiego Wybuchu. Możesz powołać do istnienia czasoprzestrzeń i rozpocząć kreację Wszechświata oraz poznać etapy jego powstawania.



Symulacja 1



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D18oIU2fm>

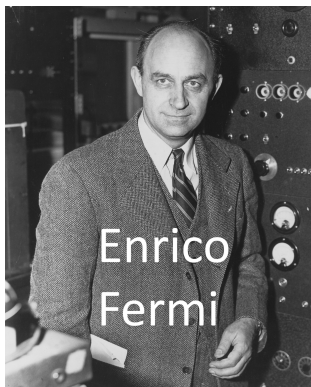
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

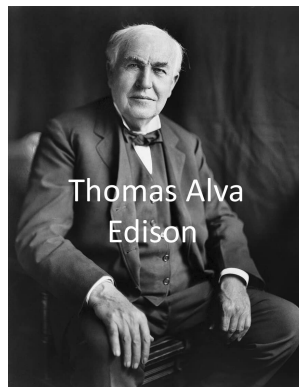
Ćwiczenie 1



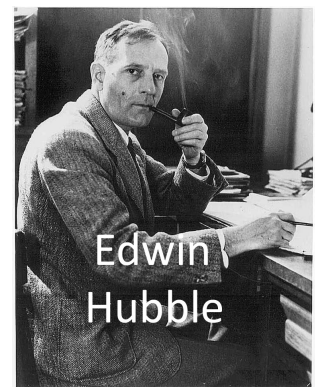
Zdjęcia poniżej przedstawiają wybitnych naukowców. Zaznacz zdjęcie badacza, który sformułował podwaliny teorii Wielkiego Wybuchu.



Enrico
Fermi

☐

Thomas Alva
Edison

☐

Edwin
Hubble

☐

Ćwiczenie 2



Dokończ zdanie.

Powszechnie uznana dziś teoria powstania i ewolucji Wszechświata zakłada, że:

☐

Wszechświat powstał wskutek Wielkiego Wybuchu – nieskończenie gęstego i gorącego punktu, nieustannie się rozszerza.

☐

Wszechświat powstał wskutek Wielkiego Wybuchu – nieskończenie gęstego i gorącego punktu, ale natychmiast zaczął się kurczyć pod wpływem grawitacji, powracając do stanu początkowego.

☐

Wszechświat powstał wskutek Wielkiego Wybuchu – nieskończenie gęstego i gorącego punktu, jest statyczny, trwa w stałym, niezmiennym stanie i nie podlega ekspansji.

Ćwiczenie 3



Uporządkuj w kolejności od najstarszego do najmłodszego etapy powstawania Wszechświata.

era gwiazdowa



era inflacji



Wielki Wybuch



era nukleosyntezy



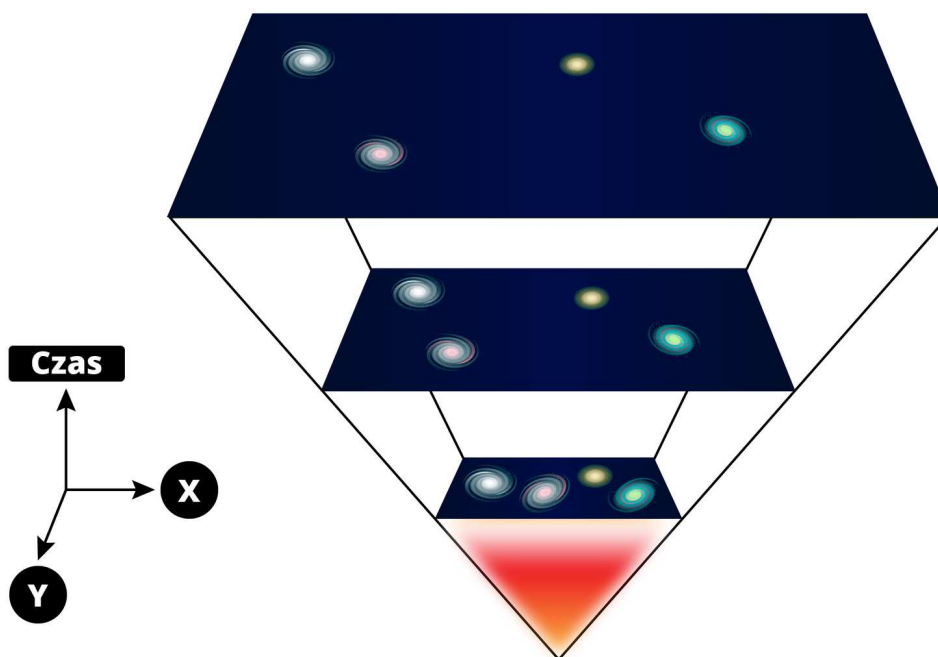
era Plancka



Ćwiczenie 4



Przeanalizuj rysunek prezentujący jedną z teorii powstania i ewolucji Wszechświata, opisz przedstawiony proces.



Ćwiczenie 5



Oceń, czy poniższe stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Dowodem na prawdziwość teorii Wielkiego Wybuchu jest wyłącznie odkrycie mikrofalowego promieniowania tła.	☐	☐
Wielkie Rozdarcie i Wielki Kolaps to koncepcje kosmologiczne wyjaśniające koniec Wszechświata.	☐	☐
Badania naukowe wskazują, że ciągłe rozszerzanie się Wszechświata, przy stałej gęstości ciemnej energii, spowoduje jego rozerwanie.	☐	☐
Główną galaktyką Wszechświata jest Droga Mleczna.	☐	☐

Ćwiczenie 6



Uzupełnij tekst odpowiednimi wyrazami znajdującymi się w ramkach poniżej.

Po Wielkim Wybuchu nieskończenie gorąca i gęsta drobina zaczęła się i . Drobne cząstki elementarne zaczęły się ze sobą łączyć, tworząc atomy i . Chociaż Wszechświat wciąż się rozszerzał i rozszerza się nadal, hel i wodór zebrały się w olbrzymie , z których ostatecznie powstały , a w nich narodziły się pierwsze . Po Wielkim Wybuchu wystąpił krótki okres , czyli , której standardowa teoria nie przewiduje. W krótkim okresie ekspansji powstała cała materia Wszechświata, a rozmiary obserwowanego Wszechświata do rozmiarów przewidzianych dla tego momentu przez teorię standardową. była niezwykle zjawiskiem, ponieważ trwała niewyobrażalnie .

- Inflacja wodoru zmniejszać rozszerzać gwiazdy helu gwiazdy
- galaktyki Wielki Wybuch obłoki gazowe Wielkiego Wybuchu krótko
- gwałtowna ekspansja inflacji stygnąć długo wzrosły

Ćwiczenie 7



Rozstrzygnij, której ery dotyczy konkretny opis.

Najwcześniejsza faza rozwoju Wszechświata. Domniemywa się, że wówczas Wszechświat był wypełniony energią i materią o wielkiej gęstości, ogromnej temperaturze i ciśnieniu.

W tej fazie nastąpiła wielka i przyspieszona ekspansja Wszechświata. Koniec tej fazy charakteryzuje się spadkiem temperatury i gęstości.

Podczas tej ery powstała cała materia znajdująca się we Wszechświecie, po zakończeniu tej fazy dalsze przemiany związane z rozwojem Wszechświata zwolniły.

era kwarkowa

era nukleosyntezy

era gwiazdowa

era leptonowa

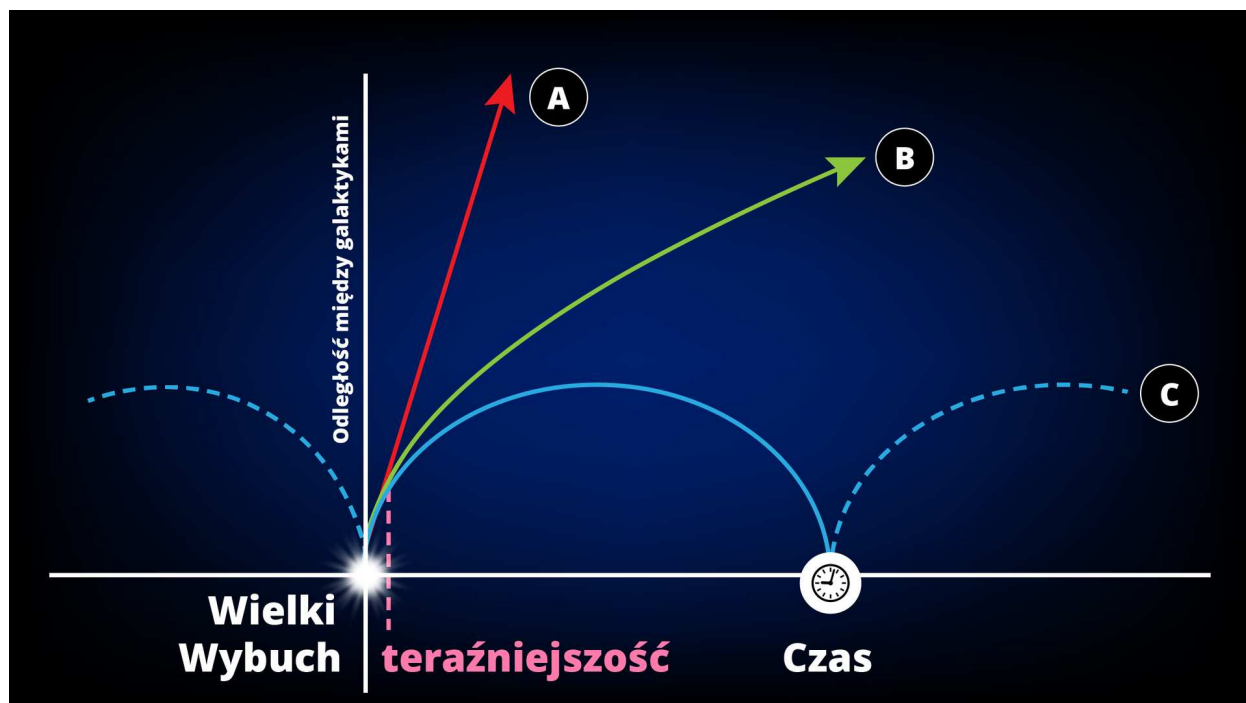
era inflacji kosmologicznej

era Plancka

Ćwiczenie 8



Wykres przedstawia trzy warianty: A, B, C ewolucji Wszechświata. Przeanalizuj je i określ (dla każdego wariantu), jak przebiega proces ewolucji Wszechświata. Skorzystaj z różnych źródeł informacji.



Dla nauczyciela

SCENARIUSZ LEKCJI

Imię i nazwisko autora: Włodzimierz Juśkiewicz

Przedmiot: geografia

Temat zajęć: Teoria Wielkiego Wybuchu i Wszechświat inflacyjny

Grupa docelowa: III etap edukacyjny, liceum/technikum, zakres podstawowy, klasa I

Podstawa programowa

II. Ziemia we Wszechświecie: Ziemia jako planeta, następstwa ruchów Ziemi, ciała niebieskie, Układ Słoneczny, budowa Wszechświata.

Uczeń:

4) charakteryzuje budowę Wszechświata oraz stan jego poznania.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,
- kompetencje cyfrowe,
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne

Uczeń:

- omawia teorię Wielkiego Wybuchu i inflacyjną,
- analizuje zalety i problemy teorii inflacyjnej będącej uzupełnieniem teorii Wielkiego Wybuchu,
- omawia ewolucję Wszechświata.

Strategie i metody nauczania: pokaz, burza mózgów, dyskusja, praca z komputerem, praca z e-materiałem, praca z materiałami źródłowymi

Formy zajęć: praca indywidualna, praca w grupach

Środki dydaktyczne: e-materiał, komputer, rzutnik, plansze astronomiczne, encyklopedia astronomiczna

Materiały pomocnicze

Lamża Ł., *Wszechświat krok po kroku*, Copernicus Center Press, Kraków 2019.

Rybka E., *Astronomia ogólna*, PWN, Warszawa 1978.

PRZEBIEG LEKCJI

Faza wprowadzająca

- Nauczyciel omawia odkrycie prawa Hubble'a z 1929 r., zgodnie z którym galaktyki oddalają się od Drogi Mlecznej, a ich prędkość jest wprost proporcjonalna do odległości od Galaktyki. Nauczyciel może wprowadzić wzór – prawo Hubble'a, gdzie:

v – prędkość oddalania się galaktyki, H – stała Hubble'a, d – odległość galaktyki od Drogi Mlecznej. Stała Hubble'a jest trudna do obliczenia. Pojawiają się coraz

dokładniejsze wyniki obserwacji astronomicznych zmieniające jej wartość. Wyniki z 2013 r. sugerują wartość stałej Hubble'a:

$$H = 67,15 \frac{km}{s \times Mpc} \text{ gdzie } pc \approx 3,2616 \text{ lat świetlnych.}$$

- Nauczyciel sugeruje, że skoro galaktyki się od siebie oddalają, to prawdopodobnie w jakimś momencie znajdowały się obok siebie – był to początek Wszechświata. Jeśli obliczymy czas, jaki upłynął od tego momentu, poznamy orientacyjny wiek Wszechświata. Do tego celu stosuje się prawo Hubble'a.
- Wprowadzenie do tematu. Burza mózgów, dyskusja: co wiemy o początkach Wszechświata? Nauczyciel pełni funkcję koordynatora, kieruje dyskusją, naprowadza. Uczniowie powinni przypomnieć, co wiedzą o początkach Wszechświata, opierając się na wiadomościach zdobytych w szkole oraz innych źródłach.
- Podanie i wyświetlenie na tablicy tematu lekcji, przedstawienie celów lekcji.

Faza realizacyjna

- Nauczyciel podkreśla, że pojęcie prawdy w fizyce jest względne – w każdym stuleciu pojawiają się nowe „prawdy”, w następnych stuleciach obalane. Jednak wszystkie opierają się na podstawach naukowych. Nauczyciel wyjaśnia, że obok najbardziej znanej teorii powstania Wszechświata, tj. Wielkiego Wybuchu, pojawiają się inne, uzupełniające, np. teoria inflacyjna.
- Nauczyciel prosi o zapoznanie się z e-materiałem wyjaśniającym teorię Wielkiego Wybuchu i teorię inflacyjną, jej zalety i problemy z nią związane. Prosi także o zapoznanie się z ewolucją Wszechświata. Uczniowie zapoznają się z symulacją interaktywną.
- Nauczyciel dzieli uczniów na 8 zespołów. Ich zadaniem jest przygotowanie za pomocą infografik opisu poszczególnych etapów ewolucji Wszechświata.
- Uczniowie prezentują rezultaty pracy, nauczyciel czuwa nad poprawnością wypowiedzi uczniów.

Faza podsumowująca

- Uczniowie wykonują wskazane przez nauczyciela ćwiczenia z sekcji „Sprawdź się”, ochotnicy prezentują odpowiedzi.
- Nauczyciel ocenia pracę uczniów podczas zajęć, biorąc pod uwagę ich zaangażowanie i możliwości.
- Przypomnienie celów zajęć.

Praca domowa

- Wykonanie ćwiczenia 7 i 8 z sekcji „Sprawdź się”.
- Wykonanie notatki w zeszycie na temat rozwoju badań Wszechświata, które wpłynęły na jego zróżnicowane postrzeganie.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Symulacja może zostać wykorzystana przy omawianiu tematu dotyczącego [kosmologicznych modeli Wszechświata](#) (zakres podstawowy: II. 4, II. 5).