



Co wiemy o Wszechświecie?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film \(standardowy\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

Co wiemy o Wszechświecie?

Źródło: dostępny w internecie: https://pl.wikipedia.org/wiki/Teleskop_kosmiczny_Chandra#/media/Plik:Chandra_X-ray_Observatory.jpg [dostęp 16.05.2022 r.].

Czy to nie ciekawe?

Do początku XX wieku cała wiedza o Wszechświecie pochodziła z obserwacji światła widzialnego. Obraz Wszechświata wydał się wtedy stabilny i niezmienny. Wszechświat wypełniony był przez stałe w czasie gwiazdy i planety. Najjaśniejszymi obiektami były Słońce, planety, najbliższe gwiazdy.

Prawdziwa rewolucja nastąpiła w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku, gdy możliwe stały się obserwacje satelitarne we wszystkich zakresach fal elektromagnetycznych: od promieniowania gamma do fal radiowych. Odkrycia z tego okresu zburzyły spokojny obraz Wszechświata. Okazało się, że Wszechświat jest niezwykle dynamiczny. Pojawiły się gigantyczne strugi materii wyrzucane z jąder galaktyk, kwazary – ogromne czarne dziury otoczone dyskami wirującej wokół nich materii, emitujące energię większą niż energia wysyłana przez całą galaktykę, pulsujące gwiazdy neutronowe.

Kolejną rewolucję stanowi odkrycie w 2015 roku fal grawitacyjnych, które niosą informację o obszarach, których nie potrafimy jeszcze dobrze opisać. Są to, na przykład, pierwsze ułamki sekund Wielkiego Wybuchu, zderzenia czarnych dziur, zapadanie się jąder masywnych gwiazd, towarzyszące wybuchom supernowych. Badania fal grawitacyjnych są jeszcze w początkowej fazie, ale uczeni są przekonani, że obraz Wszechświata, wynikający

z badania fal grawitacyjnych powinien wyglądać zupełnie inaczej niż obraz Wszechświat widziany w falach elektromagnetycznych.

Rys. a. Teleskop kosmiczny Chandra pracujący w zakresie promieni rentgenowskich.

Źródło: dostępny w internecie: https://pl.wikipedia.org/wiki/Teleskop_kosmiczny_Chandra#/media/Plik:Chandra_X-ray_Observatory.jpg [dostęp 16.05.2022 r.].

Twoje cele

Pracując z tym materiałem:

- dowiesz się, czym był Wielki Wybuch,
- poznasz kolejne etapy ewolucji wczesnego Wszechświata,
- zrozumiesz, jak powstały pierwsze gwiazdy i galaktyki,
- powiążesz obserwacje obecnego Wszechświata z historią jego powstania.

Przeczytaj

Warto przeczytać

W astronomii wiele zmieniło się za sprawą odkryć Edwina Hubble'a, który w latach dwudziestych XX wieku udowodnił, że niektóre mgławice, obserwowane przez teleskopy rozmyte i rozciągnięte obiekty, to w rzeczywistości olbrzymie układy gwiazdne – galaktyki. Galaktyki, związane siłami grawitacji, zawierają miliardy gwiazd i znajdują się w ogromnych odległościach od naszej galaktyki – Drogi Mlecznej. Kolejne odkrycie Hubble'a dowiodło, że Wszechświat wcale nie jest stabilny i niezmienny. Hubble wykazał, że galaktyki oddalają się od nas z prędkościami wprost proporcjonalnymi do odległości. Prawo Hubble'a wyrażamy wzorem:

$$v = H_0 \cdot r$$

gdzie v jest prędkością oddalania się galaktyki, r – jej odległością, H_0 – stałą Hubble'a. Wartość stałej Hubble'a wynosi $H_0 = 70 \frac{\frac{km}{s}}{Mpc}$. Prędkość ucieczki galaktyki wyrażamy w $\frac{km}{s}$, a odległość od niej w megaparsekach (Mpc). Mpc to jednostka długości używana w astronomii równa $3,3 \cdot 10^6$ lat świetlnych (lub $3,09 \cdot 10^{22}$ m).

Oddalanie się galaktyk nie oznacza, że jesteśmy w środku Wszechświata. Zjawisko to spowodowane jest rozszerzaniem się przestrzeni Wszechświata, która unosi z sobą galaktyki. Można to porównać z rodzynekami w rosnącym, drożdżowym cieście. W miarę powiększania się objętości ciasta, rodzyнки oddalają się od siebie i to tym szybciej, im większa odległość je dzieli.

Odkrycie ucieczki galaktyk dało początek teorii Wielkiego Wybuchu. Skoro galaktyki oddalają się od siebie, dawniej musiały być bliżej siebie. Oznacza to, że Wszechświat miał swój początek.

Przed 13,8 miliarda lat cały Wszechświat mieścił się w niezwykle gęstym i gorącym obszarze o mikroskopijnych rozmiarach, który zaczął się gwałtownie rozszerzać. Podczas rozszerzania się spadała gęstość i temperatura materii Wszechświata. Ten początek nazywamy Wielkim Wybuchem, choć tak naprawdę niewiele ma on wspólnego z prawdziwym wybuchem, na przykład bomby, w którym pod wpływem wysokiego ciśnienia fragmenty wybuchającej bomby rozlatują się na wszystkie strony, przemierzając przestrzeń. Przed Wielkim Wybuchem przestrzeń nie istniała, nie istniał też czas. Przestrzeń, czas i materia powstały właśnie w Wielkim Wybuchu.

Pierwsze 10^{-43} s życia Wszechświata, tak zwana **era Plancka**, to najbardziej tajemniczy okres dziejów Wszechświata. Nie istnieje teoria, która pozwoliłaby go opisać. Przypuszcza

się, że w tej epoce wszystkie oddziaływania: grawitacyjne, silne, słabe i elektromagnetyczne były nierozróżnialne.

Do około 10^{-9} s temperatura jest tak wysoka, że nie mogą istnieć cząstki takie, jak protony, czy neutrony. Ich składniki, czyli **kwarki** tworzą wraz z **gluonami** mieszaninę, zwaną **plazmą kwarkowo-gluonową**. Obecne są też inne cząstki elementarne takie, jak elektrony i neutrino, zwane leptonami. Wszechświat wypełnia wysokoenergetyczne promieniowanie. Nieustannie kosztem energii promieniowania powstają nowe pary cząstka – antycząstka. Jednocześnie zachodzi anihilacja tych par, czyli cząstka i antycząstka znikają, zamieniając się znów na promieniowanie. Procesy te są w równowadze, co oznacza, że materii jest tyle samo co antymaterii.

Do około 10^{-4} s trwa **era hadronowa**. Hadrony to cząstki składające się z kwarków, na przykład protony i neutrony. Gdy temperatura Wszechświata spada do 10^{15} K, możliwe jest już łączenie się kwarków i powstanie hadronów. Początkowo hadrony są cząstkami relatywistycznymi, co oznacza, że poruszają się z prędkościami bliskimi prędkości światła, a ich energia kinetyczna jest wielokrotnie większa od energii spoczynkowej. W zderzeniach ogromna energia kinetyczna może zamieniać się na energię spoczynkową nowych cząstek. Oznacza to, że wyniku zderzeń rodzą się nowe cząstki i antycząstki. Cząstki i antycząstki ulegają anihilacji, czyli znikają, zamieniając się na inne cząstki lub fotony.

Era hadronowa zbliża się do końca po około 10^{-4} s. Energie cząstek są już zbyt niskie, aby mogły powstawać w zderzeniach nowe hadrony. Prawie wszystkie protony i neutrony anihilują, zwiększając liczbę fotonów. Pozostaje nadwyżka materii nad antymaterią. Ta pozostała po wielkiej anihilacji nadwyżka materii to bardzo niewielka część materii początkowego Wszechświata. Szacuje się, że zaledwie kilka na każde dziesięć miliardów protonów nie uległo anihilacji. Z tej niewielkiej nadwyżki zbudowany jest obecnie cały Wszechświat. Fakt, że po wielkiej anihilacji w ogóle coś pozostało jest niewyjaśnioną zagadką nauki.

W temperaturach panujących do tej pory nie mogły istnieć jądra atomowe. Gdyby nawet proton i neutron połączyłyby się, tworząc jądro **deuteru**, w następnej chwili jądro rozpadłoby się w zderzeniu o wielkiej energii.

Dopiero w **erze nukleosyntezy**, która trwała **do 3 minut** życia Wszechświata, **temperatura** zmniejszyła się odpowiednio, aby mogły zacząć powstawać pierwsze lekkie jądra. Najpierw powstawały najmniejsze jądra deuteru. Jądra deuteru dołączały kolejne nukleony i zaczęły powstawać jądra helu, składające się z dwóch protonów i dwóch neutronów. Zauważmy, że taki właśnie proces **syntezy jądrowej**, w wyniku której z jąder wodoru (protonów) powstają jądra helu, zachodzi w naszym Słońcu. Wszechświat w tym czasie przypominał wnętrze Słońca. Na skutek ciągłego rozszerzania Wszechświata temperatura spadała i już po 3 minutach stała się zbyt niska, aby mogła zachodzić nukleosynteza. Protony miały już zbyt

małą energię kinetyczną, aby mogły dostatecznie zbliżyć się do siebie, przewyższając siły odpychania kulombowskiego. Zdążyły jeszcze powstać nieliczne jądra litu i berylu i nukleosynteza ustała.

W pierwszych 3 minutach ustaliła się obfitość helu we Wszechświecie – około 24% masy wodoru stanowił hel, co zgadza się z występowaniem tego pierwiastka w obecnym Wszechświecie.

Zgodność ta stanowi jeden z dowodów na słuszność teorii Wielkiego Wybuchu.

Przez ponad kolejnych **300 tysięcy lat** materia była nieprzezroczysta dla promieniowania elektromagnetycznego. Jądra atomowe i elektrony poruszały się niezależnie od siebie. Jądra nie mogły przyłączyć elektronów z powodu zbyt wysokiej temperatury. Taki stan materii nazywamy **plazmą**. Fotony promieniowania elektromagnetycznego zderzały się z elektronami i jądrami, wymieniając z nimi energię i zmieniając wciąż kierunek ruchu.

Około 380 000 lat po Wielkim Wybuchu temperatura obniżyła się do wartości umożliwiającej **powstanie atomów**. Elektrony przyłączyły się do jąder atomowych i materia stała się przezroczysta dla promieniowania. Fotony miały już zbyt małą energię, aby oddziaływać z atomami. Mówimy, że **promieniowanie oddzieliło się od materii**. Fotony od tej pory mogły bez przeszkód przemierzać Wszechświat, a niektóre z nich możemy rejestrować w detektorach promieniowania mikrofalowego. Nazywamy je **mikrofalowym promieniowaniem tła (lub promieniowaniem reliktowym)**. Fotony promieniowania tła poruszają się we wszystkie strony, żaden kierunek propagacji nie jest wyróżniony. Badanie widma promieniowania tła pozwoliło wyznaczyć temperaturę obecnego Wszechświata. Wynosi ona 2,7K. Istnienie mikrofalowego promieniowania tła zostało przewidziane przez fizyków jako pozostałość po Wielkim Wybuchu jeszcze przed odkryciem tego promieniowania w 1965 roku.

Rys. 1. Mapa mikrofalowego promieniowania tła, pokazująca obraz wczesnego Wszechświata

Źródło: dostępny w internecie: <https://wmap.gsfc.nasa.gov/media/101080/> [dostęp 16.05.2022 r.].

Odkrycie mikrofalowego promieniowania tła stanowi, obok zawartości helu we Wszechświecie, jeden z dowodów na słuszność teorii Wielkiego Wybuchu.

Dopiero po oddzieleniu się promieniowania od materii stało się możliwe formowanie się struktur, takich jak gwiazdy i galaktyki. Dokładne badania promieniowania relikowego, dokonywane za pomocą detektorów umieszczonych na satelitach, pozwoliły wykryć niewielkie **fluktuacje** temperatury promieniowania, dochodzącego z różnych kierunków. Różnice temperatur promieniowania odpowiadają różnicom gęstości materii w momencie oddzielenia się promieniowania od materii 380 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu. Istnienie tych fluktuacji gęstości umożliwiło późniejsze powstawanie gwiazd i galaktyk. Jak to się działo?

Za **powstanie pierwszych gwiazd** odpowiada siła grawitacji, która jest tym większa, im większa jest masa przyciągających się ciał. Niewielkie zagęszczenia materii przyciągały okoliczną materię silniej niż obszary o mniejszej gęstości. Obszary o większej gęstości rosły i przyciągały coraz silniej jeszcze więcej materii. Taki stan nazywamy **niestabilnością grawitacyjną**. Prowadził on do tworzenia się coraz większych skupisk materii, która pod wpływem siły grawitacji zapadała się do środka powstającej gwiazdy. Gęstość i temperatura wnętrza zapadającej się gwiazdy rosła, aż osiągnęła wartość umożliwiającą **syntezę jądrową**. Jądra wodoru zaczęły łączyć się, tworząc jądra helu. Wydzielala się przy tym ogromna energia i temperatura wnętrza nowej gwiazdy gwałtownie zwiększała się, wytwarzając przy tym wielkie ciśnienie, które hamowało dalsze zapadanie się gwiazdy. Pierwsze gwiazdy powstające już około 100 – 200 milionów lat po Wielkim Wybuchu miały ogromne rozmiary, bo gęstość materii Wszechświata była wtedy znacznie większa niż obecnie. Temperatura we wnętrzu pierwszych, masywnych gwiazd była bardzo wysoka i synteza jądrowa w ich wnętrzu przebiegała znacznie szybciej niż w mniejszych gwiazdach, jak na przykład w naszym Słońcu. Gdy wyczerpały się zapasy wodoru w jądrze gwiazdy, jądra helu zaczynały się łączyć w cięższe jądra – węgla i tlenu. Potem powstawały jeszcze cięższe jądra, aż do jąder żelaza. Na tym synteza jądrowa w gwiazdach kończy się, bo tworzenie jeszcze cięższych jąder wymagałoby już dostarczania energii. Jak więc powstały cięższe pierwiastki, jak złoto, czy uran? Powstały one w **wybuchach supernowych**, które wyzwalały energię porównywalną z energią emitowaną przez miliardy gwiazd lub podczas łączenia się dwóch gwiazd neutronowych. Badania nad tym zagadnieniem wciąż trwają i nasza wiedza o powstawaniu ciężkich jąder atomowych zmienia się z roku na rok.

Po ustaniu **syntezy jądrowej** żelazne jądro masywnej gwiazdy w ciągu ułamka sekundy kurczy się, zapadając się w **gwiazdę neutronową** – obiekt o średnicy kilkunastu kilometrów składający się głównie z neutronów. Jeśli wybuchająca gwiazda jest jeszcze bardziej masywna, jej jądro zapada się w czarną dziurę, czyli obszar o tak wielkiej gęstości, że nie może się z niego wydostać nawet światło. Więcej o tych egzotycznych obiektach dowiesz się z e-materiału „Gwiazdy neutronowe i czarne dziury”.

Powstaniu gwiazdy neutronowej lub czarnej dziury towarzyszy gwałtowny wybuch pozostałej materii gwiazdy, podczas którego zostają wytworzone pierwiastki cięższe od żelaza. Wybuch supernowej wzbogaca materię Wszechświata w cięższe pierwiastki. Zaczynają powstawać nowe gwiazdy następnej generacji, które już zawierają niewielką domieszkę cięższych pierwiastków. Należy do nich nasze Słońce.

Siła grawitacji powodowała, że gwiazdy utworzyły większe skupiska – galaktyki. Te łączyły się w jeszcze większe struktury – gromady galaktyk. Największe struktury we Wszechświecie, supergromady galaktyk, składają się z setek lub tysięcy gromad galaktyk. Ich rozmiary dochodzą do setek milionów lat świetlnych. Nie są one rozłożone we Wszechświecie równomiernie. Supergromady galaktyk układają się we włókna rozdzielone pustkami – obszarami prawie pozbawionymi materii, o średnicy od kilkudziesięciu do kilkuset milionów lat świetlnych. Rys. 2. pokazuje mapę Wszechświata w promieniu 1

miliarda lat świetlnych, na której widać supergromady galaktyk ułożone we włókna, otaczające olbrzymie pustki. Ściany skupiają około 60% masy galaktyk, natomiast zajmują jedynie 10% objętości Wszechświata. Więcej o tych zagadnieniach przeczytasz w e-materiale „Na czym polega hierarchiczna struktura Wszechświata?”

Rys. 2. Wszechświat w promieniu 1 miliarda lat świetlnych (307 Mpc) od Ziemi, z czytelną strukturą włókien i rozdzielających je pustek.

Źródło: Richard Powell, dostępny w internecie: https://en.wikiversity.org/wiki/File:Superclusters_atlasoftheuniverse.gif, licencja: CC BY-SA 2.5.

Słowniczek

plazma kwarkowo - glonowa

(ang.: *quark - gluon plasma*) stan materii jądrowej występujący przy wysokich temperaturach i dużej gęstości materii. Jest to mieszanina swobodnych kwarków i gluonów.

deuter

(ang.: *deuterium*) izotop wodoru, którego jądro zawiera jeden proton i jeden neutron.

synteza jądrowa

(ang.: *nucleosynthesis*) powstawanie nowych jąder atomowych w wyniku łączenia się protonów i neutronów lub jąder lżejszych w cięższe. W trakcie syntezy jądrowej wydzielają się energia.

temperatura

(ang.: *temperature*) miara średniej energii kinetycznej cząsteczek w ich bezładnym ruchu.

plazma

(ang.: *plasma*) stan materii występujący w bardzo wysokich temperaturach. Zamiast obojętnych atomów występują dodatnio naładowane jony i ujemne elektrony.

fluktuacje

(ang.: *fluctuations*) przypadkowe, niedające się przewidzieć, odchylenia od wartości średniej jakiejś wielkości.

kwark

(ang.: *quark*) cząstka elementarna, składnik protonów i neutronów.

gluon

(*ang.: gluon*) bezmasowa cząstka elementarna, będąca nośnikiem oddziaływań silnych.

Film (standardowy)

Co wiemy o Wszechświecie?

Obejrzyj film edukacyjny, opowiadający o ewolucji Wszechświata i odpowiedz na pytania.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DokwvfclT>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Na czarnym tle ekranu pojawia się czarna migawka aparatu, złożona z kilkunastu, promieniście rozchodzących się i zakrzywionych, podłużnych elementów. Po chwili migawka zaczyna się otwierać tworząc coraz większy ciemny otwór na środku ekranu, który z czasem odsłania całe pole. Na środku pojawia się tytuł filmu, w postaci białego napisu: Co wiemy o Wszechświecie? Po chwili obraz znika a w jego miejscu, na czarnym tle widoczny jest zbliżający się jasny znak zapytania. Znak ten symbolizuje pytanie, co było przed początkiem Wszechświata? Nie było przestrzeni, materii oraz energii. Nie istniał czas. Po chwili na ekranie widoczna jest jasnoniebieska eksplozja, która symbolizuje Wielki Wybuch. Jasny obszar wybuchu rozszerza się. Po chwili wewnątrz eksplozji zmienia się w jasnoniebieskie błyskawice symbolizujące promieniowanie elektromagnetyczne. Następnie pojawiają się przezroczyste bąbelki i pierwsze lekkie atomy. Atomy widoczne są w postaci niebieskich kulek symbolizujących protony z eliptycznymi orbitami elektronowymi wokół. Drugim rodzajem widocznych atomów są złożone z dwóch protonów i dwóch neutronów jądra helu, wokół których widoczne są dwie orbity elektronowe. Po chwili na ekranie pojawia się obraz przestrzeni kosmicznej. Na czarnym tle widocznych jest wiele jasnych punktów otoczonych poświatami. Są to gwiazdy i odległe galaktyki. Obraz ten symbolizuje Wszechświat w formie, jaką znamy w chwili obecnej. Wszechświat ten opisujemy przy pomocy masy, przestrzeni, energii i czasu. Po chwili na czarnym tle pojawia się jasny, sferyczny punkt w centralnej części ekranu. Wokół punktu widoczny jest rozszerzający się poziomy dysk, który symbolizuje rozszerzający się Wszechświat. Wiek Wszechświata szacowany jest na ponad trzysta miliardów lat. Następnie, na ekranie pojawia się jasny obraz mgławicy gwiazdnej. Obraz przedstawia błękitne i jasnobłękitne, przenikające się wzajemnie obłoki. Na tle obłoków widoczne są jasne

punkty symbolizujące gwiazdy. Po chwili obraz zastąpiony zostaje ilustracją przedstawiającą galaktykę spiralną. Na czarnym tle przestrzeni kosmicznej widoczny jest jasny, wirujący przeciwnie do ruchu wskazówek zegara obłok. W centrum wirującego obłoku widoczny jest jasny punkt, który stanowi centrum galaktyki. Należy zadać pytanie, skąd wiemy, że Wszechświat się rozszerza? Przez wiele lat panował pogląd, że Wszechświat jest statyczny i nieskończony. Wiedzę taką posiadamy dzięki badaniom Edwina Hubble'a. Naukowiec odkrył, że długość promieniowania elektromagnetycznego, emitowanego przez odległe galaktyki wydłuża się ku czerwieni. Sytuacja taka opisana jest poprzez efekt Dopplera, a na jej podstawie można wnioskować, że galaktyki oddalają się od siebie. Na ekranie pojawiają się dwa czarnobiałe zdjęcia. Jedno z nich przedstawia mężczyznę stojącego obok skierowanego w górę teleskopu. Drugie zdjęcie przedstawia portret Edwina Hubble'a, jako mężczyznę w wieku około czterdziestu lat, z blond włosami i charakterystyczną fajką w ustach. Następnie na tle przestrzeni kosmicznej pojawia się grafika przedstawiająca jasną spiralną galaktykę oddalającą się od zdjęcia ludzkiego oka. Skoro galaktyki oddalają się od siebie, to znaczy, że kiedyś musiały znajdować się w jednym punkcie. Na ekranie ponownie pojawia się jasnoniebieska eksplozja, która symbolizuje Wielki Wybuch. Jasny obszar wybuchu rozszerza się. Po chwili wewnątrz eksplozji zmienia się w jasnoniebieskie błyskawice symbolizujące promieniowanie elektromagnetyczne. Na tle jasnoniebieskiego promieniowania elektromagnetycznego pojawia się licznik odczytujący czas. Początkowa wartość na liczniku jest równa zero i szybko rośnie wartości ponad kilku tysięcy. Licznik symbolizuje czas. Następnie u góry i u dołu ekranu pojawia się prostokątna biała siatka, która symbolizuje przestrzeń. Po upływie dziesięć do potęgi minus czterdziestej trzeciej sekundy od Wielkiego Wybuchu, Wszechświat wypełniony jest energią. Temperatura Wszechświata jest ogromna. Na ekranie, pomiędzy siatkami symbolizującymi przestrzeń pojawia się jasnoniebieski obłok. Na tle obłoku widoczne są jasne napisy określające podstawowe rodzaje oddziaływania, grawitacja, elektromagnetyzm, oddziaływanie słabe i oddziaływanie silne. W pierwszych chwilach istnienia Wszechświata, wszystkie te oddziaływania stanowiły jedność. Po chwili na ekranie pojawia się ciemne tło i po lewej stronie niewielki, niebieski obszar. Niebieski obszar symbolizuje Wielki Wybuch. W prawą stronę i w górę oraz w lewą stronę i w dół od jasnego obszaru bieżą niebieskie, rozbieżne linie, które symbolizują rozszerzający się w danym kierunku Wszechświat. U góry widnieje czerwony napis, temperatura maleje. Wzdłuż dolnej, niebieskiej linii biegnie jasna oś podpisana jako czas. Oś czasu skierowana jest w prawo. Obok Wielkiego Wybuchu, w odległości dziesięć do potęgi

minus czterdziestej trzeciej sekundy na osi czasu, pojawia się między niebieskimi liniami, pionowy jasnoniebieski dysk. Pod osią czasu widoczna jest informacja, że do tego czasu nastąpiła unifikacja sił. Po chwili na ekranie ponownie pojawia się jasnoniebieski obłok, pomiędzy siatkami symbolizującymi przestrzeń. Na tle obłoku widoczne są ponownie niebieskie napisy definiujące podstawowe oddziaływania. Wokół obłoku pojawia się ledwo widoczna jasnoniebieska poświata. Po chwili oddziaływanie grawitacyjne oddziela się od pozostałych i znika w lewym i dolnym rogu ekranu. Następnie to samo dzieje się z oddziaływaniem silnym, które znika w prawym i górnym rogu ekranu. Oddziaływanie słabe znika w lewym i górnym rogu ekranu, a oddziaływanie elektromagnetyczne znika w prawym i dolnym rogu. Zniknięcie oddziaływań symbolizuje ich wzajemne oddzielenie. Każde z nich w chwili obecnej posiada swój własny opis. Do unifikacji oddziaływań doszło po upływie dziesięć do potęgi minus trzydziestej czwartej sekundy, po Wielkim Wybuchu. Po chwili na ekranie pojawiają się przezroczyste bąbelki na ciemnoniebieskim tle. Bąbelki symbolizują powstające elementy materii i antymaterii. Ten etap ewolucji Wszechświata nazywany jest kreacją. Powstające elementy materii i antymaterii to kwarki i antykwarki. W tym samym czasie, zderzające się cząstki materii i antymaterii ulegają anihilacji, w wyniku której wytwarzana jest energia. Materia w tym stadium rozwoju Wszechświata jest w postaci plazmy kwarkowo-gluonowej. Po chwili, na ekranie ponownie widoczny jest obraz przedstawiający ewolucję Wszechświata. Obok jasnoniebieskiego wybuchu po lewej stronie i pionowego dysku symbolizującego unifikację sił, pojawia się kolejny pionowy, ciemnoszary dysk podpisany jako kwarki, antykwarki, gluony i fotony. Na osi czasu dysk pojawia się w dziesięć do potęgi minus trzydziestej czwartej sekundy. Na ekranie ponownie pojawiają się przezroczyste bąbelki. Na ich tle pojawiają się niebieskie i czerwone kulki. Kulki te symbolizują protony i neutrony. Powstałe w ciągu dziesięć do potęgi minus piątej sekundy po Wielkim Wybuchu. W tym czasie antymateria zaczyna zanikać. Promieniowanie elektromagnetyczne ma zbyt niską energię, by przenikać przez gęsty Wszechświat. Na ekranie ewolucji Wszechświata pojawia się kolejny pionowy, niebieskoczerwony dysk. Dysk podpisany jest jako protony, neutrony, elektrony i fotony. Na osi czasu dysk ten znajduje się w odległości dziesięć do potęgi minus piątej sekundy od Wielkiego Wybuchu. Po trzech minutach od eksplozji neutrony zaczynają łączyć się z protonami, tworząc jądra pierwszych lekkich pierwiastków chemicznych. Na ekranie pojawiają się niebieskie kulki, które łączą się z kulkami czerwonymi. Po połączeniu powstają jądra helu składające się z dwóch protonów i dwóch neutronów. Pojedyncze protony tworzą jądra wodoru. W tym czasie, przestrzeń Wszechświata zdominowana jest przez

materię a nie energię. Temperatura Wszechświata jest na tyle wysoka, że materia występuje w postaci plazmy, w której jądra atomowe i elektrony poruszają się niezależnie. Na ekranie ewolucji Wszechświata pojawia się kolejny, pionowy dysk. Ma on ciemne tło oraz niebieskie i czerwone punkty symbolizujące pierwsze atomy. Na osi czasu dysk znajduje się w odległości trzech minut od wielkiego wybuchu. Dysk podpisany jest jako protony, jądra helu, elektrony i fotony. Po chwili na ekranie pojawia się animacja, przedstawiająca jaśniejsze tło poruszające się pierwsze atomy. Atomy wodoru składają się z niebieskiego protonu stanowiącego jądro. Wokół protonu widoczna jest szara orbita elektronu. Jądra helu widoczne są w postaci dwóch protonów i dwóch neutronów oraz dwóch orbit elektronowych wokół nich. Ujemnie naładowane elektrycznie elektrony zatrzymywane są na orbitach dodatnio naładowanych elektrycznie jąder atomowych. W tym czasie fotony mają zbyt małą energię, aby oddziaływać ze świeżo powstałymi atomami. Promieniowanie elektromagnetyczne swobodnie przenika materię. Na ekranie ewolucji Wszechświata pojawia się kolejny pionowy dysk. Powierzchnia dysku ma ciemne tło i czerwono niebieskie ślady z szarymi orbitami elektronowymi. Dysk podpisany jest jako atomy. Na osi czasu dysk znajduje się w pozycji trzystu tysięcy lat od Wielkiego Wybuchu. Po chwili na ekranie pojawia się wirujący na czarnym tle niebieski obłok. Obłok zbiega się ku środkowi ekranu i łączy w jasnoniebieski punkt. Obłok symbolizuje jądra wodoru i helu, które łączą się pod wpływem działania grawitacji i tworzą pierwsze gwiazdy a następnie ich skupiska nazywane galaktykami. Na ekranie pojawia się wirujący na czarnym tle, jasny obłok. Obłok symbolizuje galaktykę. Następnie na ekranie pojawia się widok poruszającej się, szaroniebieskiej planety, powstałej na późniejszym etapie ewolucji Wszechświata. Na ekranie ewolucji Wszechświata pojawia się kolejny, pionowy dysk. Dysk jest szary z kilkoma jasnymi obszarami na powierzchni. Jasne obszary symbolizują galaktyki. Na osi czasu dysk ten znajduje się w odległości trzynastu i siedmiu dziesiątych miliarda lat po Wielkim Wybuchu. Po chwili obraz znika, a na ekranie pojawiają się małe, białe sześciany. Sześciany łączą się w jeden element na środku ekranu. Po prawej stronie od białego sześcianu pojawia się biały napis, Ewolucja Wszechświata w czasie. Po chwili na ekranie pojawia się czarna przestrzeń kosmiczna wypełniona jasnymi punktami. Jasne punkty to gwiazdy i odległe galaktyki. Na tym tle pojawia się prostokątny układ współrzędnych o białych osiach. Oś pionowa układu podpisana jest jako wielkość. Oś pozioma układu podpisana jest jako czas. Jeżeli w dowolnym punkcie wszechświata gęstość materii przekroczy wartość krytyczną, to ze względu na oddziaływanie grawitacyjne Wszechświat zacznie się zapadać. W układzie współrzędnych symbolizuje to niebieska funkcja, której

wartość początkowo rośnie od początku układu współrzędnych, a następnie zaczyna maleć. Niebieska funkcja przypomina wygięty w górę łuk. Taki scenariusz ewolucji Wszechświata zakłada, że jest on zamknięty. Jeśli natomiast gęstość materii nie przekroczy wartości krytycznej, to grawitacja nigdy nie zatrzyma ekspansji Wszechświata. Będzie się on rozszerzał w nieskończoność. W układzie współrzędnych pojawiają się dwie nowe funkcje. Jedna z funkcji jest zielona, a druga pomarańczowa. Obie funkcje rosną od początku układu współrzędnych. Pomarańczowa funkcja większa swoją wartość w czasie szybciej niż funkcja zielona. Obie funkcje przypominają rosnący fragment wygiętego w górę łuku. Pomarańczowa i zielona funkcja opisują Wszechświat otwarty. Wszechświat otwarty posiada początek, ale nie ma końca. Po chwili obraz znika. Na białym tle ekranu pojawia się niebieski napis, Fizyka, dziewięćset pięćdziesiąt kapsulek. W lewym i dolnym rogu ekranu widoczne jest logo Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. W środkowej i dolnej części ekranu widoczne jest logo Funduszy Europejskich, Wiedza Edukacja Rozwój. W prawym i dolnym rogu ekranu widoczna jest flaga Unii Europejskiej.

Polecenie 1

Wyjaśnij, dlaczego atomy pojawiły się dopiero po 380 000 lat po Wielkim Wybuchu.

Polecenie 2

Wyjaśnij, czy można odpowiedzieć na pytanie, co było przed Wielkim Wybuchem.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

☐

Hel obecny we Wszechświecie powstał w pierwszych 3 minutach życia Wszechświata oraz we wnętrzu gwiazd.

☐

Hel obecny we Wszechświecie powstał tylko we wnętrzu gwiazd.

☐

Protony i neutrony istniały od czasu, gdy minęło 10^{-4} s od Wielkiego Wybuchu.

☐

Protony i neutrony istniały od zawsze.

Ćwiczenie 2



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

☐

Atomy tworzące złoty łańcuszek powstały we wnętrzu masywnych gwiazd.

☐

Atomy tworzące złoty łańcuszek powstały w wybuchu supernowej.

Ćwiczenie 3



Połącz obiekty z czasem ich powstania:

Gwiazdy	10^{-4} sekundy od Wielkiego Wybuchu
Atomy	więcej niż 100 - 200 milionów lat od Wielkiego Wybuchu
Protony i neutrony	380 tysięcy lat od Wielkiego Wybuchu

Ćwiczenie 4



Uzupełnij zdanie:

Badając promieniowanie reliktowe, możemy uzyskać informacje o Wszechświecie z czasów powstania pierwszych / .

Ćwiczenie 5



Czy teoria Wielkiego Wybuchu jest jedną z wielu równoprawnych hipotez powstania Wszechświata, czy też potwierdzają ją istotne fakty naukowe? Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 6



Mikrofalowe promieniowanie tła dochodzące z każdego kierunku ma jednakową temperaturę 2,7 K. Jednak, gdy wykonać pomiar temperatury promieniowania z bardzo dużą dokładnością, okazuje się, że występują niewielkie fluktuacje temperatury, które odpowiadają fluktuacjom gęstości materii Wszechświata we wczesnej fazie ewolucji. Wyjaśnij, w którym momencie życia Wszechświata rozkład fluktuacji gęstości materii był taki, jak wynika to z badania promieniowania tła.

Ćwiczenie 7



Wyjaśnij, dlaczego niemożliwe byłoby powstanie gwiazd, gdyby we wczesnym Wszechświecie nie istniały niewielkie fluktuacje gęstości materii.

Ćwiczenie 8



Ekspansja Wszechświata oznacza, że zwiększają się odległości między galaktykami i tym samym zwiększa się ich energia potencjalna grawitacji. Wyjaśnij, jak to pogodzić z zasadą zachowania energii w układzie zamkniętym, jakim jest Wszechświat.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Co wiemy o Wszechświecie?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa
programowa:**

Cele kształcenia – wymagania ogólne:

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;

15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;

17) przedstawia wybrane informacje z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki.

III. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:

5) opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata; zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk).

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;

17) przedstawia wybrane informacje z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki;

19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.

IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:

10) opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata; zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk); stosuje do obliczeń prawo Hubble'a.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • 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: 1. omówi, czym był Wielki Wybuch; 2. wymieni kolejne etapy ewolucji wczesnego Wszechświata; 3. wyjaśni, jak powstały pierwsze gwiazdy i galaktyki; 4. powiąże obserwacje obecnego Wszechświata z historią jego powstania.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszernyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały; „Czym jest Wielki Wybuch?”, „Gwiazdy neutronowe i czarne dziury”, „Na czym polega hierarchiczna struktura Wszechświata?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Przed lekcją uczniowie zapoznają się z treścią rozdziałów „Czy to nie ciekawe?” i „Przeczytaj”. Uczniowie wymieniają informacje o Wszechświecie, które wydają im się najciekawsze, zrobiły na nich największe wrażenie. Nauczyciel zachęca, aby uczniowie zgłaszali, czego nie zrozumieli i wyjaśnia te problemy.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie dyskutują, na czym polegał Wielki Wybuch, czy można go porównać do wybuchu bomby? Nauczyciel podkreśla, że nazwa ta nie oznacza wybuchu w sensie potocznym, ale oznacza początek czasu, przestrzeni i materii. Następnie nauczyciel wyjaśnia, że początkowe formy materii nie przypominały tego, co znamy obecnie, ale w trakcie rozszerzania się Wszechświata temperatura spadała i powstawały znane nam formy materii: nukleony, potem jądra atomowe i atomy. Nauczyciel przedstawia kolejne etapy ewolucji Wszechświata. Tłumaczy, na czym polegał stan równowagi termodynamicznej promieniowania i materii przed powstaniem atomów, a następnie wyjaśnia, jak nastąpiło oddzielenie się promieniowania od materii i powstanie mikrofalowego promieniowania tła. Wyjaśnia, jak tworzyły się pierwsze gwiazdy. Uczniowie dyskutują o odpowiedzi na pytanie: Skąd się wzięły różne pierwiastki, znajdujące się we Wszechświecie: od wodoru do uranu? Uczniowie oglądają film edukacyjny, pokazujący ewolucję Wszechświata i odpowiadają na pytania aktywizujące.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w grupach wymieniają fakty świadczące o prawdziwości teorii Wielkiego Wybuchu (zadanie 5 z zestawu ćwiczeń).

Praca domowa:

Zadania z zestawu ćwiczeń 1 – 4 obowiązkowo, jedno z pozostałych zadań do wyboru. Nauczyciel zachęca uczniów, aby samodzielnie znaleźli wyjaśnienia niezrozumiałych terminów, z jakimi się zetknęli na lekcji i zapisali źródła wiadomości. Na kolejnej lekcji nauczyciel weryfikuje znalezione treści. To ważne działanie, mające na celu nauczanie uczniów wyszukiwania źródeł, do których można mieć zaufanie.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium bazowe można wykorzystać na lekcji. Może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.