



Model rozszerzania się Wszechświata

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna \(schemat\)](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Model rozszerzania się Wszechświata

Źródło: dostępny w internecie: <https://esahubble.org/images/heic0706a/> [dostęp 15.05.2022 r.].

Czy to nie ciekawe?

Na zdjęciu poniżej, z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, widzimy odległe galaktyki, z których każda zawiera miliardy gwiazd. Galaktyki oddalają się od nas z prędkościami tym większymi, im bardziej są oddalone. Czyżbyśmy byli w samym środku Wszechświata? Oczywiście, że nie! Ucieczka galaktyk spowodowana jest rozszerzaniem się przestrzeni Wszechświata, która unosi z sobą galaktyki. Czy Wszechświat będzie wiecznie się rozszerzał, czy może po pewnym czasie znów zacznie się kurczyć? Od czego to zależy? Odpowiedzi szukaj w tym e-materiale.



Gromada galaktyk MACSJ0717.5 + 3745.

Źródło: dostępny w internecie: <https://esahubble.org/images/heic1523b/> [dostęp 20.05.2022 r.].

Twoje cele

- dowiesz się, czym jest ucieczka galaktyk;
- poznasz prawo Hubble'a;
- dowiesz się, czego dotyczy teoria Wielkiego Wybuchu;
- przeanalizujesz wpływ grawitacji na ekspansję Wszechświata i jego dalsze losy.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Od dawna astronomowie obserwowali przez teleskopy rozmyte i rozciągle obiekty, zwane mgławicami. Bardzo długo sądzono, że są to obłoki gazu, znajdujące się wewnątrz Drogi Mlecznej. Dopiero w pierwszej połowie XX wieku amerykański astronom Edwin Hubble udowodnił, że te mgławice, to w rzeczywistości olbrzymie układy gwiazdne – galaktyki – znajdujące się daleko od Drogi Mlecznej.

Hubble odkrył, że galaktyki oddalają się od nas, i to tym szybciej, im bardziej są oddalone. Oddalanie się galaktyk tłumaczymy rozszerzaniem się przestrzeni Wszechświata, która unosi z sobą galaktyki. Można to porównać z kropkami na nadmuchiwanym baloniku. Od każdej kropki pozostałe oddalają się tym szybciej, im większa odległość je dzieli.

Prawo Hubble’a wyrażamy wzorem:

$$v = H_0 \cdot r$$

gdzie v jest prędkością oddalania się galaktyki, r – jej odległością od obserwatora, H_0 – stałą Hubble’a. Wartość stałej Hubble’a wynosi $H_0 = 70$ (km/s)/Mpc. Prędkość ucieczki galaktyki wyrażamy w 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 $3,086 \cdot 10^{22}$ m).

Odkrycie Hubble’a potwierdziło przewidywania ogłoszonej kilka lat wcześniej przez Alberta Einsteina Ogólnej Teorii Względności, która wyjaśnia zjawisko grawitacji zakrzywieniem się przestrzeni wokół każdego ciała posiadającego masę. Z rozwiązań równań Ogólnej Teorii Względności wynika, że przestrzeń Wszechświata może się rozszerzać, co było zaskakujące nawet dla samego Einsteina. Przecież ludzie od zawsze wierzyli, że Wszechświat jest statyczny i niezmienny.

Odkrycie ucieczki galaktyk było początkiem powstania teorii Wielkiego Wybuchu. Opisuje ona początek Wszechświata, jako bardzo mały, ale niezwykle gęsty i gorący obszar, który **około 14 miliardów lat temu zaczął rozszerzać się**, w wyniku czego **gęstość** i **temperatura** spadała. Stopniowo powstawały gwiazdy, a potem galaktyki, których oddalanie się obecnie obserwujemy, jako przejaw ciągłego rozszerzania się przestrzeni Wszechświata.

Nasuwa się pytanie, czy Wszechświat będzie rozszerzał się bez końca. Okazuje się, że dla przyszłości Wszechświata istotna jest **gęstość materii** w nim zawartej, ponieważ wszystkie ciała we Wszechświecie przyciągają się siłami grawitacyjnymi. Grawitacja spowalnia tempo ekspansji. W zależności od wartości średniej gęstości Wszechświata, rozróżniamy modele Wszechświata zamkniętego i otwartego.

Model Wszechświata zamkniętego

Jeżeli gęstość materii ρ we Wszechświecie jest dostatecznie duża, to rozszerzanie się Wszechświata będzie stopniowo zwalniało. W końcu grawitacyjne przyciąganie się materii spowoduje zatrzymanie ekspansji, po czym nastąpi zapadanie się Wszechświata. Przestrzeń Wszechświata zacznie się kurczyć, a gęstość materii i temperatura będą rosły. W końcu Wszechświat zapadnie się do nieskończenie małych rozmiarów, a gęstość i temperatura wzrosną nieskończenie. Dzieje Wszechświata zakończą się Wielkim Kolapsem, czyli procesem odwrotnym do Wielkiego Wybuchu. Taki model ewolucji Wszechświata nazywamy modelem Wszechświata zamkniętego.

Model zamknięty ewolucji Wszechświata można porównać do kamienia wyrzuconego pionowo do góry. Kamień lecąc do góry zwalnia za sprawą siły grawitacji, a jego energia kinetyczna zamienia się na energię potencjalną grawitacji. W końcu zatrzymuje się i zaczyna spadać. Znowu rośnie jego prędkość i energia kinetyczna, a maleje energia potencjalna.

Model Wszechświat otwartego

Jeżeli jednak gęstość materii jest mała, mniejsza lub równa tak zwanej gęstości krytycznej ρ_{kryt} , to siły grawitacji będą na tyle małe, że nigdy nie zdołają powstrzymać ekspansji. Wszechświat będzie się rozszerzał w nieskończoność, choć z coraz mniejszą prędkością. Temperatura będzie stale się obniżać, a różnice temperatur i gęstości materii w końcu wyrównają się. Ustaną wszelkie procesy i nastąpi śmierć cieplna Wszechświata. Jest to model Wszechświata otwartego, który ma tylko początek, ale nie ma końca.

Gdy sięgniemy do naszej analogi z kamieniem wyrzuconym w górę z powierzchni Ziemi, to model otwarty można porównać z kamieniem wyrzuconym z tak dużą prędkością, że opuści Ziemię i będzie oddalał się w kosmos, choć z coraz mniejszą prędkością.

Na Rys. 1. przedstawiono opisane modele Wszechświata. Na osi poziomej odłożono czas. Jak widać, chwila obecna zaznaczona jest na samym początku wykresu, gdzie poszczególne krzywe niewiele się różnią. Oznacza to, że Wszechświat jest na początku swojej historii i jego obserwowana ekspansja jest bardzo podobna dla różnych modeli dalszych jego losów.

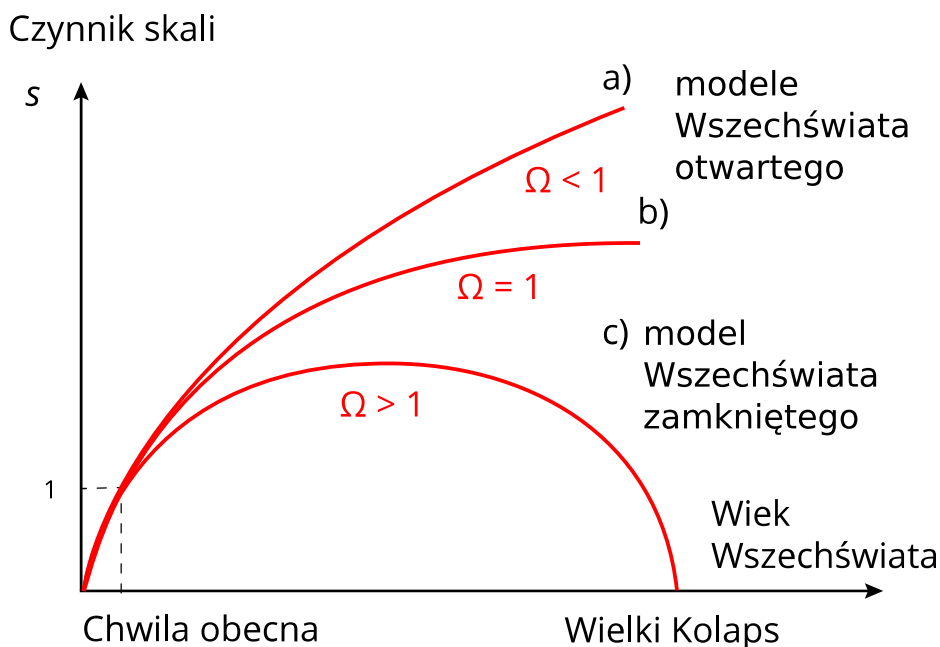
Na osi pionowej odłożono czynnik skali, czyli wielokrotność obecnego rozmiaru Wszechświata, w chwili obecnej równy 1.

Wielkość Ω to parametr gęstości, czyli stosunek gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej ($\Omega = \frac{\rho}{\rho_{kryt}}$).

Krzywa c) przedstawia losy Wszechświata zamkniętego, w którym gęstość materii jest większa od gęstości krytycznej ($\Omega > 1$). Po okresie zwiększania się rozmiarów Wszechświata, nastąpi zapadanie się i Wielki Kolaps.

Krzywa b) odpowiada granicznej gęstości Wszechświata ($\Omega = 1$). To Wszechświat otwarty, który rozszerza się z prędkością malejącą z czasem do zera.

Krzywa a) przedstawia losy Wszechświata otwartego, który rozszerza się w nieskończoność z coraz mniejszą prędkością.



Rys. 1. Modele Wszechświata; a) i b) Wszechświat otwarty, c) Wszechświat zamknięty. Oś pionowa – czynnik skali, czyli wielokrotność obecnego rozmiaru Wszechświata, oś pozioma – czas od Wielkiego Wybuchu (jednostki umowne), parametr Ω – stosunek gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej.

Gęstość krytyczna, od której zależy przyszłość Wszechświata, wynosi

$\rho_{kryt} = 9,7 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Odpowiada to 6 atomom wodoru w jednym metrze sześciennym.

A jaka jest rzeczywista gęstość Wszechświata?

Gdy uwzględnimy masę wszystkich widzialnych gwiazd, gęstość Wszechświata stanowi mniej niż 1% gęstości krytycznej. Jednak odkryto inne nieświecące, a więc niewidoczne formy materii. Jest to **ciemna materia**, a jej obecność w każdej galaktyce potwierdza obserwacja ruchu gwiazd wokół środków masy galaktyk, podobnego do ruchu Ziemi dookoła Słońca. Ciemną materię mogą tworzyć nieznane jeszcze hipotetyczne cząstki elementarne, a także czarne dziury. Wedle najnowszych ocen materia świecąca i ciemna materia daje razem około 30% gęstości krytycznej.

Dane uzyskane z badania [promieniowania relikтового](#) wskazują, że parametr gęstości Ω , czyli stosunek gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej, jest bliski jedności. Oznacza to, że gęstość Wszechświata jest praktycznie równa gęstości krytycznej. Brakujące, obok świecącej i ciemnej materii, około 70% gęstości Wszechświata przypisuje się **ciemnej energii** – czynnikowi powodującemu odpychanie obiektów Wszechświata

i przyspieszanie ekspansji. Przyspieszanie ekspansji Wszechświata jest faktem potwierdzonym obserwacjami.

W 2011 roku trzech uczonych, Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt i Adam G. Riess, otrzymało nagrodę Nobla za wykazanie, że od około 6-7 mld lat **ekspansja Wszechświata przyspiesza**. Wniosek ten wyprowadzili z obserwacji odległych supernowych typu Ia, które pełnią w astronomii rolę tak zwanych świec standardowych, czyli umożliwiają wyznaczanie odległości od nich. Każdy wybuch tego rodzaju wyzwala jednakową energię i osiąga w przybliżeniu taką samą jasność absolutną. Jasność obserwowana zmniejsza się wraz z odległością. Porównując zaobserwowaną jasność supernowej z jasnością absolutną można określić, w jakiej odległości od nas nastąpiła eksplozja. Naukowcy sprawdzili, z jaką prędkością oddalają się od nas supernowe w naszym bliższym otoczeniu, a z jaką te bardziej odległe. Porównując te prędkości stwierdzili, że odległe supernowe znajdują się dalej niż przewidują modele ekspansji Wszechświata, co oznacza, że **tempo rozszerzania się Wszechświata przyspiesza**. Nieznana jest przyczyna tego zjawiska. Tajemnicze oddziaływanie powodujące przyspieszanie ekspansji to właśnie **ciemna energia**. Nie znamy natury ciemnej energii. Wiadomo jednak, że stanowi ona aż 70 procent całkowitej energii Wszechświata.

Słowniczek

Gęstość

(ang. *density*) stosunek masy ciała do jego objętości.

Promieniowanie reliktowe

mikrofalowe promieniowanie tła (ang. *cosmic microwave background*), które jest pozostałością po wczesnych etapach ewolucji Wszechświata.

Temperatura

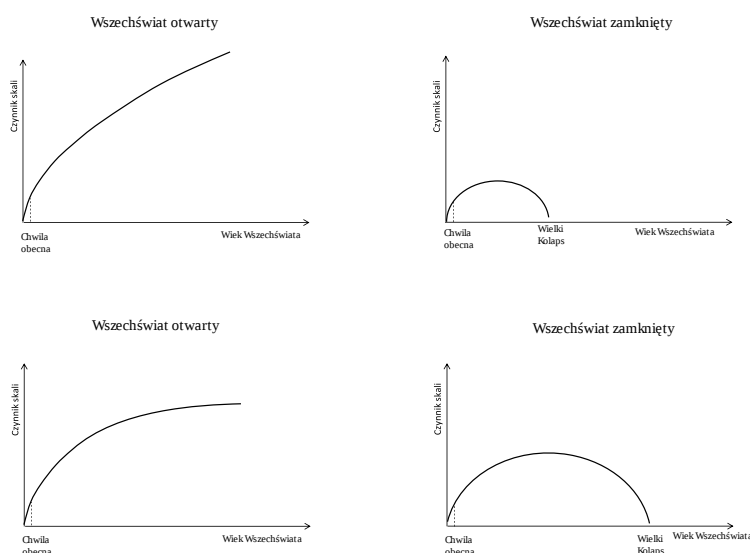
(ang. *temperature*) miara średniej energii kinetycznej cząsteczek w ich bezładnym ruchu.

Grafika interaktywna (schemat)

Model rozszerzania się Wszechświata

Ekspansja Wszechświata jest hamowana przez siłę grawitacji. Im większa jest gęstość Wszechświata, tym silniejsze jest to hamowanie. Obejrzyj grafikę interaktywną, aby sprawdzić, jak gęstość Wszechświata ρ wpływa na jego losy.

Należy jednak pamiętać, że na tempo ekspansji wpływa też ciemna energia, która przeciwdziała hamującej sile grawitacji.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Polecenie 1

Wyjaśnij, dlaczego im większą gęstość ma Wszechświat, tym większy jest hamujący wpływ grawitacji na jego ekspansję.

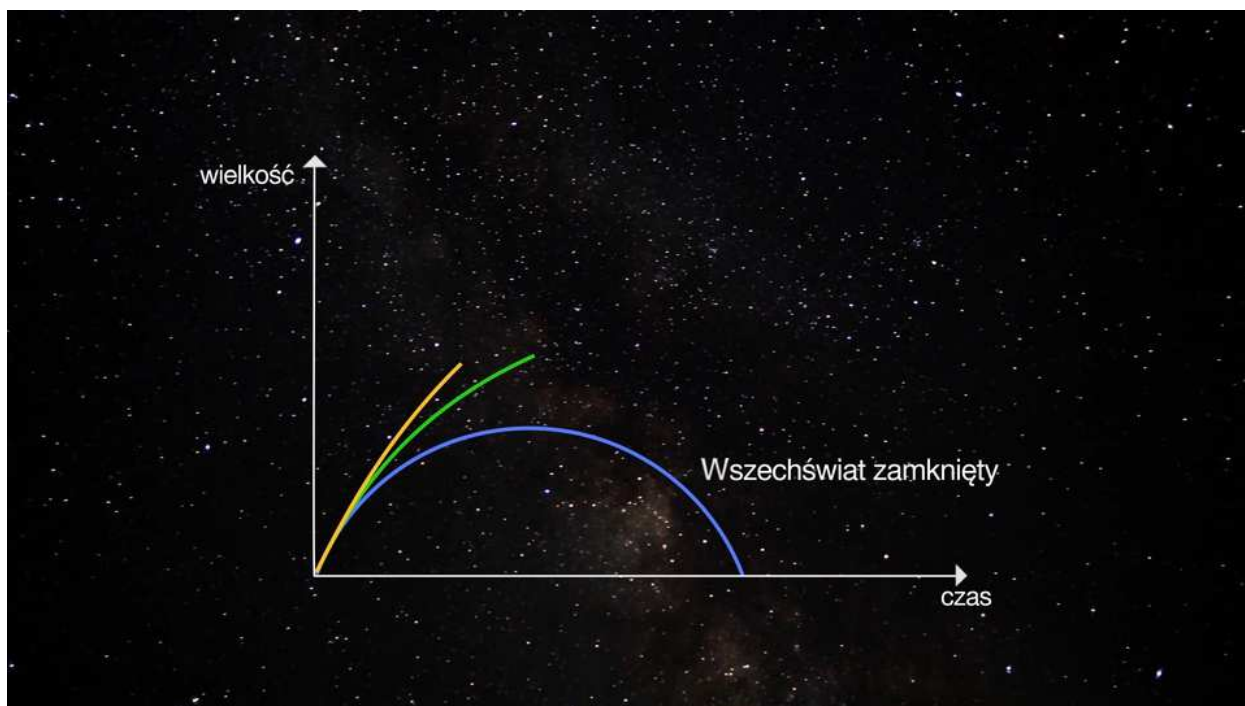
Polecenie 2

We Wszechświecie o zbyt małej lub zbyt dużej gęstości nie mogłyby powstać gwiazdy, a więc i życie. Dlaczego istnienie gwiazd jest niezbędne dla powstania i podtrzymania życia?

Animacja

Modele rozszerzania się Wszechświata

Obejrzyj animację pokazującą różne modele rozszerzania się Wszechświata, a następnie wykonaj polecenia znajdujące się poniżej.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RPETxkA987A6b>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Animacja przedstawia wykresy przebiegu rozwoju Wszechświata w zależności od jego gęstości. Rozpoczyna ją slajd tytułowy, na którym zaprezentowano wielkimi literami tytuł: "EWOLUCJA WSZECHŚWIATA W CZASIE". W animacji przedstawiono na tle czarnego nieba wypełnionego gwiazdami, prostokątny układ współrzędnych narysowany białą kreską. Na jego pionowej osi oznaczono wielkość Wszechświata, a na poziomej – czas. W układ współrzędnych wrysowywano niebieski wykres dla przypadku, gdy gęstość materii we Wszechświecie jest większa od gęstości krytycznej. Wykres najpierw rośnie, a następnie spada tworząc łuk przypominający pół okręgu. W tym przypadku Wszechświat najpierw będzie się rozszerzał, a potem kurczył. Model ten jest modelem Wszechświata zamkniętego i zakończy się Wielkim Kolapsem. W układ współrzędnych następnie wrysowywano zielony i żółty wykres dla przypadku, gdy gęstość materii we Wszechświecie jest odpowiednio równa i mniejsza od gęstości krytycznej. Oba te wykresy cały czas rosną, ale pierwszy z nich rośnie coraz wolniej asymptotycznie dążąc do pewnej określonej wielkości. W obu tych przypadkach Wszechświat cały czas będzie się rozszerzał. Modele te są modelami Wszechświata otwartego.

Polecenie 1

Dopasuj nazwy modeli Wszechświata do jego gęstości porównanej z gęstością krytyczną (ρ_{kryt}).

Gęstość Wszechświata (ρ)	Nazwa modelu
$\rho < \rho_{kryt}$	
$\rho = \rho_{kryt}$	
$\rho > \rho_{kryt}$	

- zamknięty
- otwarty
- zamknięty
- otwarty
- otwarty
- zamknięty

Polecenie 2

Uzupełnij zdanie właściwymi wyrażeniami.

Jeśli przyciągające oddziaływania między obiektami materialnymi będą zbyt , Wszechświat nigdy się nie skończy.

- silne
- grawitacyjne
- odpychające
- słabe

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

☐

Ekspansja Wszechświata jest hamowana przez siły grawitacji, a przyspieszana przez ciemną energię.

☐

Im większa jest gęstość Wszechświata, tym szybciej się on rozszerza.

☐

Im mniejsza jest gęstość Wszechświata, tym szybciej się on rozszerza.

☐

Ekspansja Wszechświata jest hamowana przez ciemną energię, a przyspieszana przez siły grawitacji.

Ćwiczenie 2



Uzupełnij zdanie właściwymi wyrażeniami.

Galaktyki (oddalają się / przybliżają się) z prędkościami (odwrotnie / wprost) proporcjonalnymi do odległości od nas.

Ćwiczenie 3



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

☐

Galaktyki oddalają się od nas z prędkościami wprost proporcjonalnymi do odległości, ponieważ przestrzeń Wszechświata rozszerza się unosząc galaktyki.

☐

Galaktyki oddalają się od nas z prędkościami wprost proporcjonalnymi do odległości, ponieważ gwiazdy w galaktykach wytwarzają napędzającą je energię.

☐

Galaktyki oddalają się od nas z prędkościami wprost proporcjonalnymi do odległości, ponieważ znajdujemy się w środku Wszechświata.

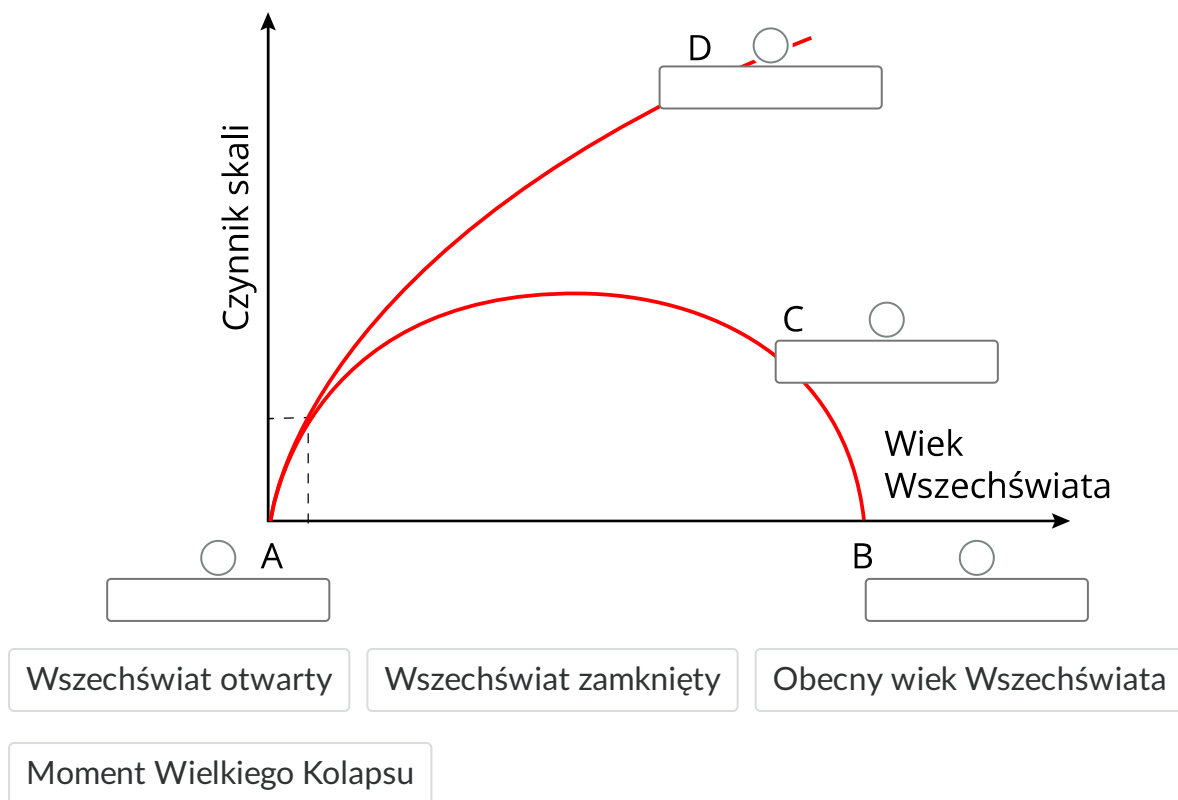
☐

Galaktyki oddalają się od nas z prędkościami wprost proporcjonalnymi do odległości, z powodu zasady zachowania pędu.

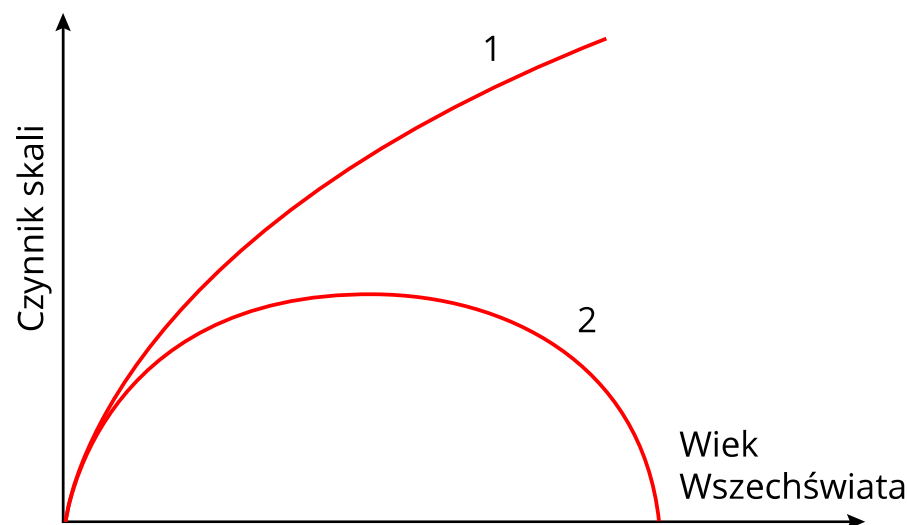
Ćwiczenie 4



Rysunek przedstawia dwa modele ewolucji Wszechświata. Wstaw podpisy we właściwe miejsca na rysunku.



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



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

Rysunek przedstawia dwa modele ewolucji Wszechświata. Uzupełnij tabelę informującą, który z tych modeli zrealizowałby się w przypadku podanych wartości stosunku gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej, Ω .

Wartość Ω	Numer modelu Wszechświata na rysunku
$\Omega = 1,5$	
$\Omega = 0,5$	

Ćwiczenie 6



Dwa punkty A i B leżą w odległości r na elastycznej gumie. Guma jest rozciągana.

Wykaż, że prędkość, z jaką oddalają się od siebie punkty, jest wprost proporcjonalna do odległości r .



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

Ćwiczenie 7



Zakładając, że dysponujemy dowolnie silnymi teleskopami, wyjaśnij, czy możliwa jest obserwacja galaktyk, które w momencie wystąpienia promieniowania znajdowały się dalej niż 14 miliardów lat świetlnych od Ziemi.

Ćwiczenie 8



W jakiej odległości od Ziemi znajdowała się galaktyka w momencie wystania promieniowania, jeśli wyznaczono jej prędkość ucieczki wynoszącą $v = 0,5c$, gdzie $c = 300\,000$ km/s jest prędkością światła. Wyraż odpowiedź w latach świetlnych, podając dwie cyfry znaczące.

Odpowiedź: $r =$ $\cdot 10$ lat świetlnych.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Model rozszerzania się Wszechświata
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. 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: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 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:	Zalecenia 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: • wyjaśni, czym jest ucieczka galaktyk; • zastosuje prawo Hubble’a do rozwiązywania zadań; • opíše teorię Wielkiego Wybuchu; • przeanalizuje wpływ grawitacji na ekspansję Wszechświata i jego dalsze losy.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	monitor interaktywny lub komputer z rzutnikiem albo tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Jak powstał Wszechświat?”, „Co nazywamy Wielkim Wybuchem?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie – zgodnie z treścią części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Wyjaśnienie, czym są galaktyki oraz jak odległe galaktyki poruszają się względem Ziemi.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel wyjaśnia prawo Hubble’a i stawia problem znaczenia zjawiska ucieczki galaktyk. Czy oznacza to, że jesteśmy w środku Wszechświata? Uczniowie w grupach rozwiązują zadanie 6 z zestawu ćwiczeń, które pokazuje związek prawa Hubble’a z rozszerzaniem się Wszechświata i (z pomocą nauczyciela) właściwie interpretują prawo Hubble’a, jako przejaw ekspansji Wszechświata. Nauczyciel objaśnia wpływ gęstości Wszechświata na szybkość ekspansji. Wyświetla animację, pokazującą różne modele ekspansji Wszechświata i omawia je, zadając uczniom pytania sprawdzające zrozumienie problemu. Uczniowie oglądają grafikę interaktywną i odpowiadają na pytania aktywizujące.	

Faza podsumowująca:

Uczniowie w grupach rozwiązują zadania 7 i 8 z zestawu ćwiczeń, a następnie dyskutują odpowiedzi na forum klasy.

Praca domowa:

Dwa zadania do wyboru z zestawu ćwiczeń (spośród nie rozwiązanych).

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedia można wykorzystać na lekcji. Mogą też być użyte przez uczniów po lekcji, do powtórzenia i utrwalenia materiału.