



Czy Wszechświat będzie trwać wiecznie?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna \(multimedium zastępcze\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Czy Wszechświat będzie trwać wiecznie?

Czy to nie ciekawe ?

Wszechświat miał początek. Narodził się z mikroskopijnego pęcherzyka o ekstremalnie wielkiej gęstości i temperaturze. Pęcherzyk w momencie, który nazywamy Wielkim Wybuchem, zaczął gwałtownie rozszerzać się, w wyniku czego zmniejszała się gęstość i temperatura materii. Stopniowo powstawały gwiazdy, planety i galaktyki. Dalsze rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata obserwujemy jako ucieczkę galaktyk. Czy rozszerzanie się Wszechświata będzie trwało wiecznie? A może Wszechświat będzie miał swój koniec? Od czego to zależy? Odpowiedzi szukaj w tym e-materiale.



Gromada galaktyk MACSJ0717.5 + 3745.

Twoje cele

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

Przeczytaj

Warto przeczytać

Galaktyki to olbrzymie układy gwiazdne, zawierające od 10^7 do 10^{12} gwiazd, związane siłami grawitacji.



Rys 1. Galaktyka spiralna NGC 691, sfotografowana przez teleskop Hubble'a. (Źródło: NASA)

Galaktyki oddalają się od nas z prędkościami wprost proporcjonalnymi do odległości. Jest to przejaw rozszerzania się przestrzeni Wszechświata, która unosi z sobą galaktyki.

Prawo to, nazwane [prawem Hubble'a-Lemaître'a](#) (dawniej: [prawem Hubble'a](#)) na cześć ich odkrywców, wyrażamy wzorem:

$$v = H_0 \cdot r$$

gdzie v jest prędkością oddalania się galaktyki, r jej odległością, a 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).

Odkrycie Hubble'a i Lemaître'a potwierdziło przewidywania Ogólnej Teorii Względności Alberta Einsteina, 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.

Odkrycie ucieczki galaktyk było początkiem powstania teorii **Wielkiego Wybuchu**. Opisuje ona początek Wszechświata, jako bardzo mały, ale niezwykle gęsty i gorący obszar, który **około 13,8 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, co właściwie się rozszerza? Czy z czasem zwiększa się objętość Ziemi, Układu Słonecznego, Drogi Mlecznej? Odpowiedź jest inna. Planety, gwiazdy, a także galaktyki są zbyt silnie związane siłami grawitacji, aby rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata mogły wpływać na ich rozmiary. Natomiast grawitacyjne przyciąganie się odległych galaktyk jest już na tyle słabe, że mogą być one unoszone przez rozszerzającą się przestrzeń Wszechświata i dlatego obserwujemy oddalanie się galaktyk od siebie. Grawitacja ma jednak wpływ na rozszerzanie się Wszechświata – spowalnia tempo ekspansji. Siła grawitacji jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między przyciągającymi się ciałami. Choć szybko zmniejsza się wraz z odległością, nigdy nie stanie się równa zero. Dlatego wszystkie ciała we Wszechświecie przyciągają się siłami grawitacyjnymi. Ich rola jest tym większa, im większa jest **gęstość materii** Wszechświata.

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 siły grawitacji skutecznie spowalniają tempo rozszerzania się Wszechświata. W końcu grawitacja spowoduje zatrzymanie ekspansji, po czym nastąpi zapadanie się Wszechświata. Jego przestrzeń zacznie się kurczyć, a gęstość materii i temperatura będą rosnąć. 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 ewolucji Wszechświata zamkniętego 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 Wszechświata otwartego

Jeżeli jednak gęstość materii jest mała, mniejsza lub równa tak zwanej gęstości krytycznej ρ_{kryt} , to siły grawitacji będą na tyle słabe, 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,

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 i czarnych dziur, 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. Wedle najnowszych ocen materia świecąca i ciemna materia dają razem około 30% gęstości krytycznej.

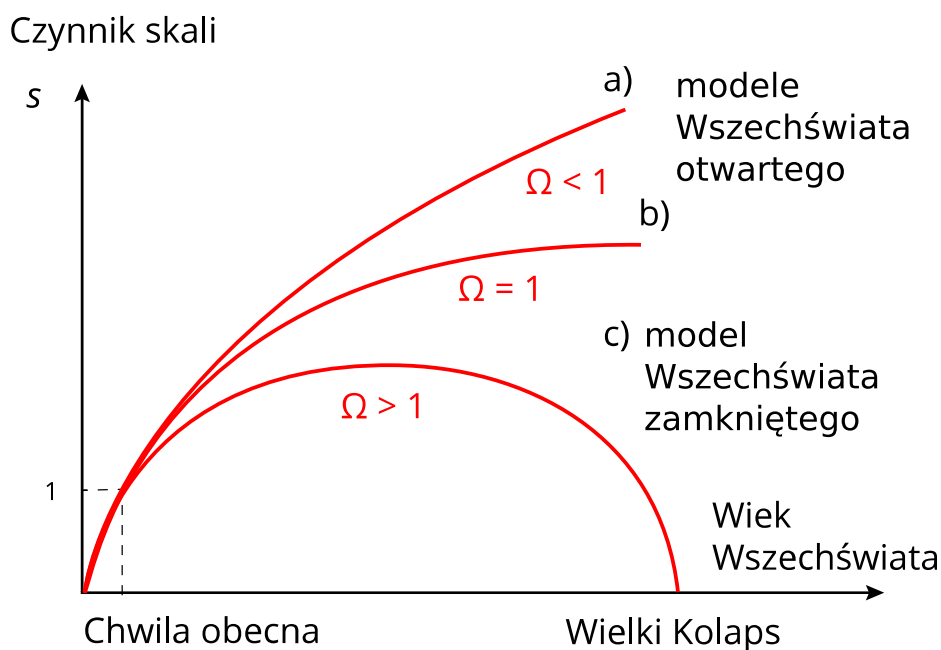
Dane uzyskane z badania [promieniowania reliktowego](#) wskazują, że parametr gęstości Ω , czyli stosunek gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej, jest bliski jedności. Oznacza to, że gęstość Wszechświata jest praktycznie równa gęstości krytycznej. Brakujące, obok świecącej i ciemnej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

Na Rys. 2. przedstawiono opisane modele Wszechświata. Na osi poziomej odłożono czas. Jaki 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).

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 do zera, gdy czas dąży do nieskończoności.

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



Rys. 2. 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 omega - stosunek gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej.

W opisanych modelach ewolucji Wszechświata przyjęto założenie, że na rozszerzanie się Wszechświata wpływa tylko grawitacja, która hamuje ekspansję. Jednak 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 wzrasta. Nieznana jest przyczyna tego zjawiska. Tajemnicze oddziaływanie powodujące odpychanie obiektów Wszechświata i przyspieszanie ekspansji nazwano **ciemną energią**. Nie znamy natury ciemnej energii. Wiadomo jednak, że stanowi ona ponad 70 procent całkowitej energii Wszechświata.

Czy można z całą pewnością odpowiedzieć na pytanie, czy Wszechświat będzie trwał wiecznie? W świetle obecnej wiedzy wiele wskazuje na to, że odpowiedź jest twierdząca. Odkrycie przyspieszenia ekspansji przemawia za tym, że do Wielkiego Kolapsu nigdy nie dojdzie. Musimy jednak pamiętać, że postęp wiedzy w dziedzinie kosmologii i astrofizyki jest tak szybki, że pogląd na przyszłość Wszechświata może zmienić się w obliczu

przyszłych odkryć. Warto śledzić najnowsze doniesienia, dostępne w Internecie na stronach instytucji naukowych. Na pewno czeka nas jeszcze wiele niespodzianek.

Słowniczek

temperatura

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

gęstość

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

Megaparsek (Mpc)

(*ang.: megaparsec*) jednostka długości używana w astronomii, równa $3,3 \cdot 10^{10}$ lat świetlnych (lub $3,086 \cdot 10^{22}$ m). Jeden megaparsek to milion parseków ($1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$).

Prawo Hubble'a-Lemaître'a

(*ang.: Hubble-Lemaître law*) dawniej nazywane prawem Hubble'a. W październiku 2018 roku Międzynarodowa Unia Astronomiczna zadecydowała w głosowaniu o zmianie nazwy prawa Hubble'a na prawo Hubble'a-Lemaître'a, uznając w ten sposób wkład Georges'a Lemaître'a.

promieniowanie reliktowe lub mikrofalowe promieniowanie tła

(*ang.: cosmic microwave background*) promieniowanie mikrofalowe wypełniające jednorodnie Wszechświat, które jest pozostałością po wczesnych etapach ewolucji.

supernowa typu Ia

(*ang.: type Ia supernova*) gdy końcowa postać ewolucji niewielkiej gwiazdy, biały karzeł, ściąga na siebie materię z towarzyszącej gwiazdy i jego masa przekroczy graniczną wartość (ok. 1,44 masy Słońca), następuje gwałtowna eksplozja jądrowa, w której cała gwiazda ulega zniszczeniu, wyzwalając energię odpowiadającą granicznej masie gwiazdy.

jasność obserwowana

(*ang.: magnitude*) „jasność” gwiazdy obserwowana z Ziemi. Zależy od mocy promieniowania (jasności) gwiazdy i jej odległości od Ziemi. W fizyce odpowiada jej natężenie oświetlenia wyrażone w luksach [lx]. W astronomii tradycyjnie jasność obserwowana wyrażana jest w wielkościach gwiazdowych (magnitudo).

jasność absolutna

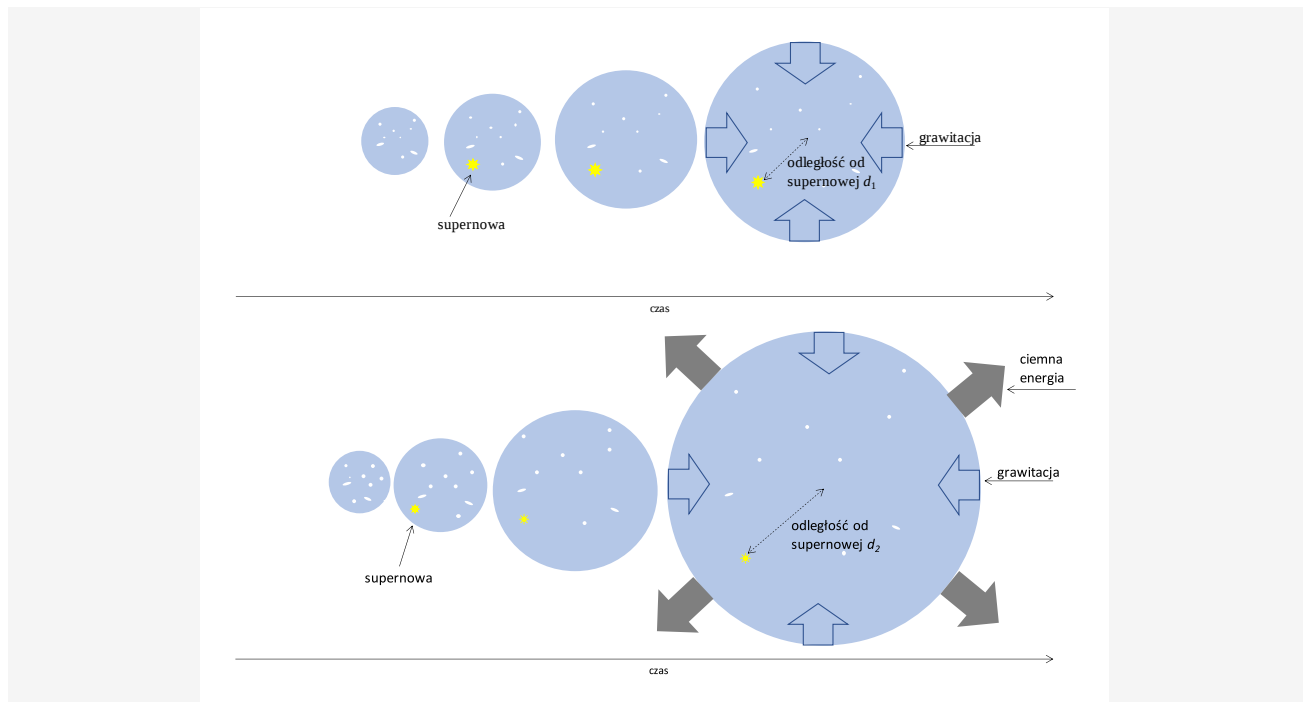
(*ang.: intrinsic luminosity*) jasność obserwowana, jaką miałaby gwiazda obserwowana z odległości 10 parseków.

Grafika interaktywna (multimedium zastępcze)

Czy Wszechświat będzie trwał wiecznie?

Polecenie 1

Obejrzyj grafikę interaktywną, ilustrującą przyspieszenie ekspansji Wszechświata.



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

Polecenie 2

Wyjaśnij, dlaczego symbolicznie przedstawiony na rysunkach Wszechświat powiększył się, a obiekty takie jak gwiazdy i galaktyki zachowały swoją początkową wielkość.

Polecenie 3

Wyjaśnij, z jakich obserwacji wynika wniosek o przyspieszeniu ekspansji Wszechświata.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij zdanie:

Im / jest gęstość materii Wszechświata, tym większy jest hamujący wpływ grawitacji na jego ekspansję.

Ćwiczenie 2



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

☐

Ekspansja Wszechświata przyspiesza z powodu działania grawitacji.

☐

Na skutek rozszerzania się przestrzeni Wszechświata zwiększają się rozmiary galaktyk.

☐

Na skutek rozszerzania się przestrzeni Wszechświata zwiększają się odległości między galaktykami.

☐

Ekspansja Wszechświata przyspiesza pomimo działania grawitacji.

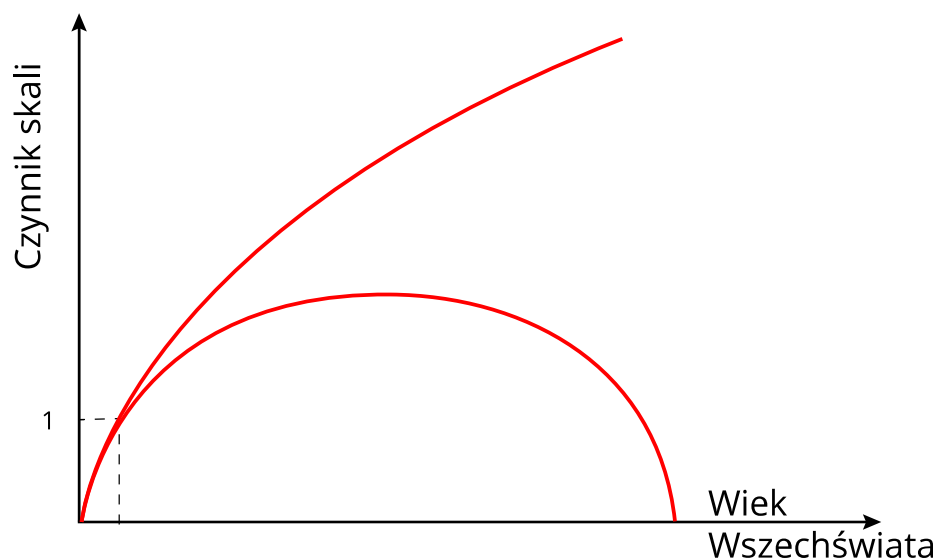
☐

Galaktyki oddalają się od siebie z prędkościami wprost proporcjonalnymi do dzielącej je odległości.

Ćwiczenie 3



Rysunek poniżej przedstawia dwa modele ewolucji Wszechświata: Wszechświat otwarty, rozszerzający się bez końca i Wszechświat zamknięty, który zakończy się Wielkim kolapsem. Wyjaśnij, czy obserwowana ekspansja Wszechświata może rozstrzygnąć, który z modeli jest realizowany.



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

Ćwiczenie 4

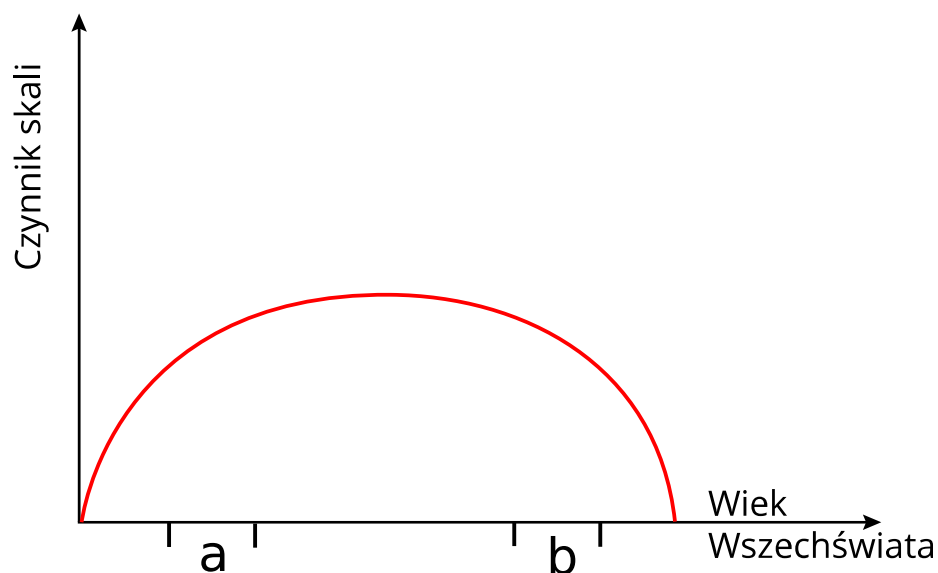


Rysunek poniżej przedstawia jeden z modeli ewolucji Wszechświata. Uzupełnij zdania:

W tym modelu stosunek gęstości materii we Wszechświecie do gęstości krytycznej Ω , spełnia warunek: Ω 1.

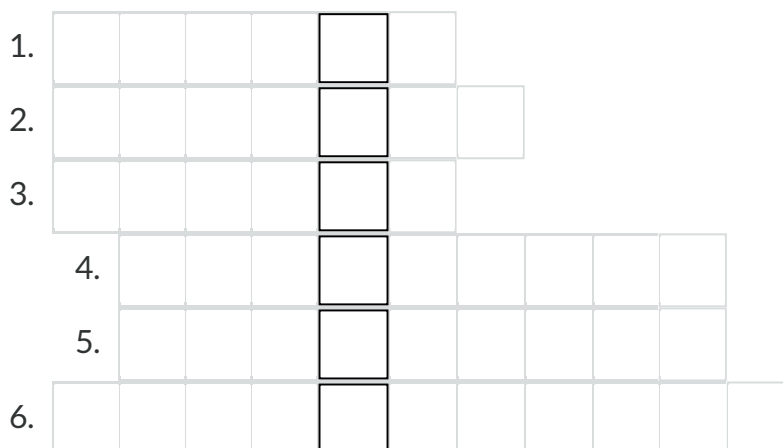
Zakres wykresu oznaczony literą a pokazuje Wszechświat / .

Zakres wykresu oznaczony literą b pokazuje Wszechświat / .



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

Ćwiczenie 5



1. ... Wybuch zapoczątkował życie Wszechświata.
2. Parametr, od którego zależy przyszłość Wszechświata.
3. Odkrywca ucieczki galaktyk.
4. Olbrzymi układ gwiazdny związany siłami grawitacji.
5. Inaczej rozszerzanie się.
6. Od około 6-7 mld lat ekspansja Wszechświata ...

Ćwiczenie 6



Zakładając, że nie ogranicza nas sprawność teleskopów wyjaśnij, czy możliwa jest obserwacja obiektów znajdujących się dowolnie daleko od Ziemi.

Ćwiczenie 7



Z jaką prędkością oddalają się od siebie galaktyki, oddległe o 5 miliardów lat świetlnych? Wyraż tę prędkość przez prędkość światła $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

$v =$ c

Ćwiczenie 8



Wyznaczono prędkość ucieczki odległej galaktyki $v = 0,8c$, gdzie $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ jest prędkością światła. Korzystając z prawa Hubble'a, oblicz odległość do tej galaktyki w latach świetlnych. Wyjaśnij, czy w momencie rejestracji jej promieniowania odległość do galaktyki jest mniejsza, większa, czy równa obliczonej wartości.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Czy Wszechświat będzie trwał wiecznie?
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:	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. opíše, czym jest ucieczka galaktyk; 2. omówi prawo Hubble’a; 3. wyjaśni, czym jest teoria Wielkiego Wybuchu; 4. przeanalizuje wpływ grawitacji na ekspansję Wszechświata i jego dalsze losy.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-observacyjna (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?”, „Model rozszerzania się Wszechświata”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie, zgodnie z treścią w 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 dyskutują problem ucieczki galaktyk i z pomocą nauczyciela właściwie interpretują prawo Hubble'a, jako przejaw ekspansji Wszechświata. Uczniowie dyskutują problem, czy ekspansja Wszechświata wpływa na rozmiary obiektów takich, jak planety, gwiazdy i galaktyki. Nauczyciel objaśnia wpływ gęstości Wszechświata na szybkość ekspansji. Wyświetla Rys. 1, pokazujący różne modele ekspansji Wszechświata i omawia je, zadając uczniom pytania sprawdzające zrozumienie problemu. Nauczyciel wyjaśnia odkrycie zjawiska przyspieszenia ekspansji Wszechświata. Uczniowie oglądają grafikę interaktywną i odpowiadają na pytania aktywizujące.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w grupach rozwiązują zadania 6 i 8 z zestawu ćwiczeń, a następnie dyskutują odpowiedzi na forum klasy.

Praca domowa:

Dwa zadania do wyboru z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Grafikę interaktywną można wykorzystać na lekcji. Może też być wykorzystana przez uczniów po lekcji, do powtórzenia i utrwalenia materiału.