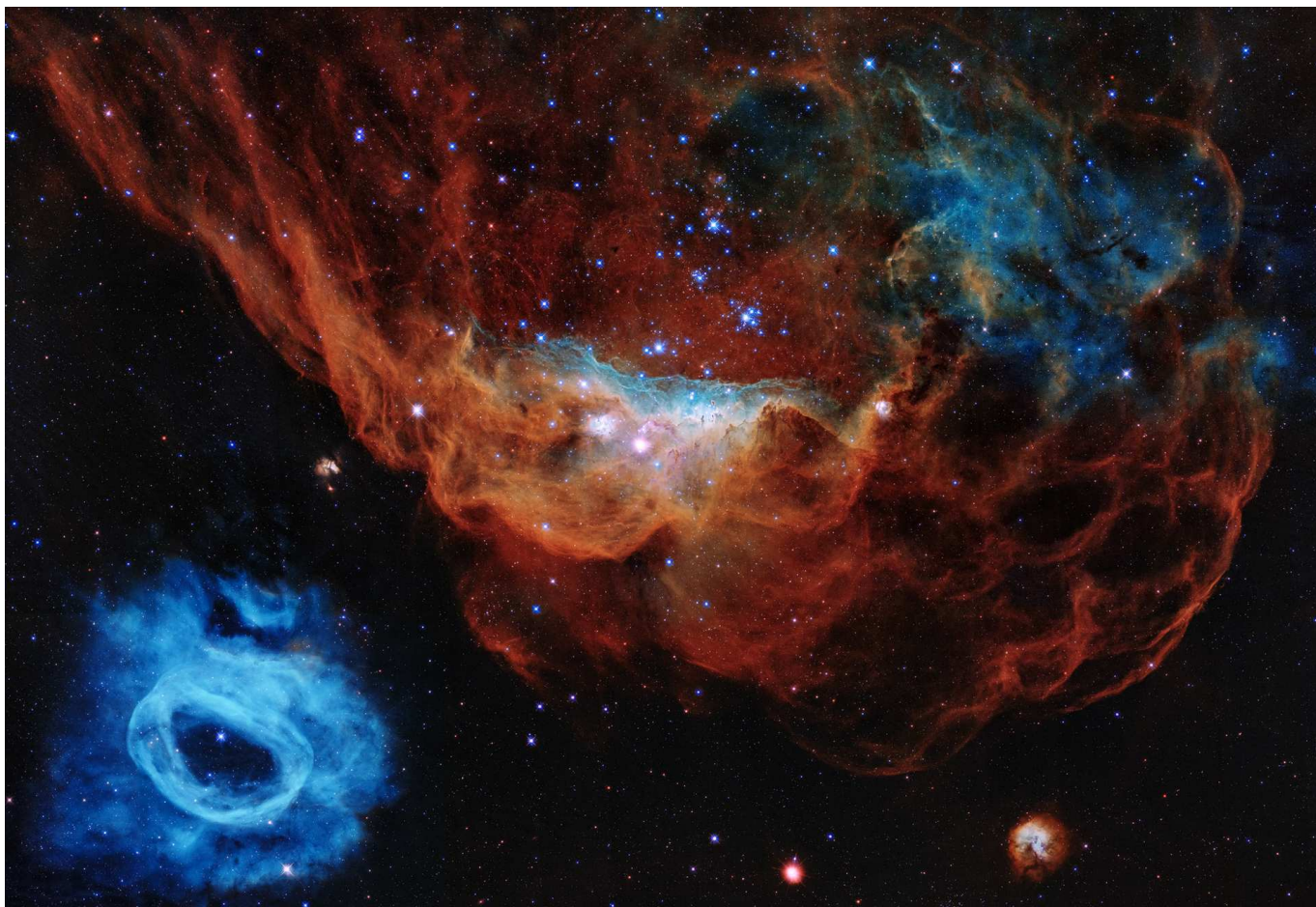




Co wiemy o ucieczce galaktyk?

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

Co wiemy o ucieczce galaktyk?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/stsci-h-p2016a-m-2000x1374.png> [dostęp 19.05.2022 r.].

Czy to nie ciekawe?

Odkrycie galaktyk, olbrzymich skupisk zawierających miliardy gwiazd, a także stwierdzenie, że oddalają się one od siebie, zburzyło obraz statycznego i wiecznego Wszechświata. Przez wieki ludzie wierzyli, że Wszechświat jest stały i niezmienny. Obserwując niewielki skrawek Wszechświata, obejmujący Układ Słoneczny i najbliższe gwiazdy, nie można było dostrzec, że w rzeczywistości Wszechświat ulega ekspansji. Zauważyliśmy to dopiero, gdy stała się możliwa obserwacja odległych galaktyk i analiza ich promieniowania, pozwalająca wyznaczyć prędkości ucieczki. Na czym polega ta analiza i co z niej wynikło, dowiesz się z tego e-materiału.

Rys. a. Galaktyka M101 oddalona o 25 milionów lat świetlnych, sfotografowana przez teleskop Hubble'a.

Źródło: dostępny w internecie: <https://hubblesite.org/contents/media/images/2006/10/1865-Image.html> [dostęp 19.05.2022 r.].

Twoje cele

- dowiesz się, czym są galaktyki i na czym polega ucieczka galaktyk,
- zrozumiesz, jak wyznacza się prędkość ucieczki galaktyki,
- poznasz prawo Hubble'a,

- zrozumiesz zasadę kopernikańską,
- przeanalizujesz związek między powiększaniem się długości fali promieniowania elektromagnetycznego a rozszerzaniem przestrzeni Wszechświata.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Od dawna astronomowie obserwowali przez teleskopy rozmyte i rozciągnięte 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 niektóre z tych mgławic to w rzeczywistości olbrzymie układy gwiazdne – galaktyki – znajdujące się bardzo daleko od Drogi Mlecznej. Galaktyki, związane siłami grawitacji, zawierają miliardy gwiazd. Gwiazdy poruszają się po orbitach eliptycznych wokół środka masy galaktyki. Nasze Słońce wraz z całym układem planetarnym należy do galaktyki zwanej Drogą Mleczną. Ma ona kształt wielkiego, płaskiego dysku. Oczywiście Drogi Mlecznej nie możemy ujrzeć z zewnątrz. Widzimy ją jako jasny pas na nocnym niebie, usiany gwiazdami. Możemy jednak przekonać się, jak wygląda galaktyka bardzo podobna pod względem budowy i wielkości do Drogi Mlecznej. To Galaktyka Andromedy – jedna z najbliższych sąsiadek Drogi Mlecznej (Rys. 1.). Na zdjęciu widzimy wygięte spiralnie ramiona, świadczące o wirowym ruchu galaktyki.



Rys. 1. Galaktyka Andromedy, podobnie jak Droga Mleczna, jest typową galaktyką spiralną. Zdjęcie: NASA/JPL-Caltech.

Źródło: dostępny w internecie: https://www.nasa.gov/mission_pages/galex/pia15416.html [dostęp 19.05.2022 r.].

Hubble odkrył, że **obserwowane galaktyki oddalają się od siebie, i to tym szybciej, im bardziej są oddalone.**

Jak Hubble mógł zmierzyć prędkość ucieczki galaktyk? Posłużył się znanym zjawiskiem dotyczącym rozchodzenia się fal, zwanym zjawiskiem Dopplera. Gdy stoimy przy drodze, możemy po dźwięku poznać, że samochód właśnie nas mija. Dźwięk zbliżającego się samochodu jest wyższy, a w momencie mijania staje się niższy. Tłumaczymy to tym, że długość fali wysyłanej z oddalającego się źródła staje się większa, a częstotliwość mniejsza, więc słyszymy niższy dźwięk. Natomiast długość fali ze źródła zbliżającego się jest mniejsza, a częstotliwość większa i słyszymy dźwięk wyższy.

Podobnie jest ze światłem, które jest **falą elektromagnetyczną**. Widmo światła obejmuje wszystkie barwy tęczy: od światła czerwonego o największej długości fali do światła fioletowego o najmniejszej długości fali. Atomy każdego pierwiastka, na przykład wodoru, wysyłają światło o określonej długości fal, czyli określonej barwie. Promieniowanie dochodzące z oddalającej się galaktyki wykazuje tak zwane **przesunięcie do czerwieni**, czyli do fal o większej długości. Zjawisko to ilustruje Rys. 2. Górna część (Rys. 2a.) pokazuje widmo światła emitowanego przez atomy wodoru – są to 4 linie o barwach: fioletowej, niebieskiej, zielonej i czerwonej. Na dolnej części (Rys. 2b.) widzimy widmo wodoru pochodzące z odległej galaktyki. Widmo wodoru ma taki sam układ linii widmowych, ale wszystkie linie przesunięte są w kierunku fal dłuższych. Linia, która była podczas emisji niebieska, ma teraz barwę zieloną, a zielona – pomarańczową. Linia czerwona w ogóle nie jest widoczna, bo przesunęła się do podczerwieni. Im większe obserwujemy przesunięcie ku czerwieni, tym szybciej galaktyka, będąca źródłem promieniowania, oddala się od nas.



Rys. 2. a) Widmo światła emitowanego przez atomy wodoru; b) Widmo wodoru emitowane w galaktyce oddalającej się z wielką prędkością, a obserwowane na Ziemi.

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

Niemal wszystkie galaktyki (z wyjątkiem kilku najbliższych) oddalają się od nas. Czyżby to znaczyło, że jesteśmy w środku Wszechświata? Oczywiście, że nie! 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. Tak więc żadna z galaktyk nie stanowi środka Wszechświata. Można też powiedzieć, że środek Wszechświata mógłby równie dobrze znaleźć się w każdym punkcie.

Prawo Hubble'a wyrażamy wzorem:

$$v = H_0 r,$$

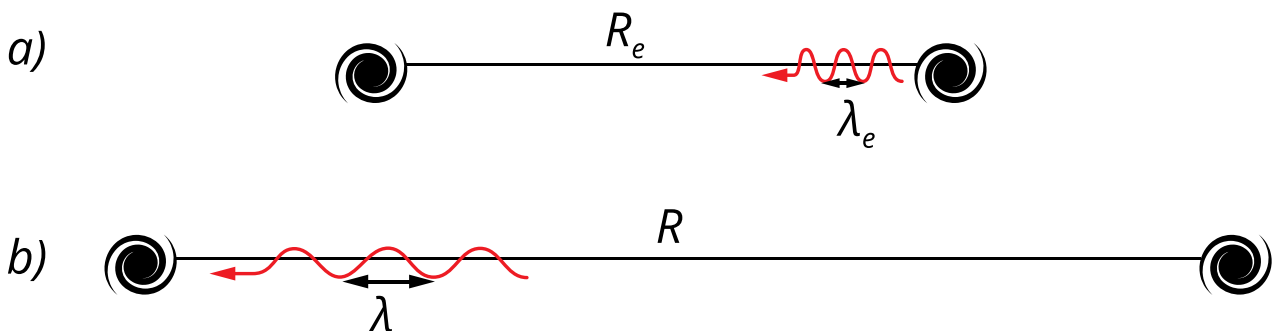
gdzie v jest prędkością oddalania się galaktyki, r – jej odległością, H_0 – stałą Hubble’a. Wartość stałej Hubble’a wynosi $H_0 = 70 \text{ (km/s)/Mpc}$. Prędkość ucieczki galaktyki wyrażamy w km/s, a odległość od niej w **megaparsekach** (Mpc). Mpc to jednostka długości używana w astronomii równa $3,3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

Stwierdzenie, że żaden obserwator nie jest wyróżniony, a Wszechświat z punktu widzenia każdego z nich wygląda tak samo, nosi nazwę **zasady kopernikańskiej**. Z zasady kopernikańskiej wynika, że skoro żaden obserwator nie jest wyróżniony, to nie ma sensu mówić o jakimś wyróżnionym punkcie we Wszechświecie, który byłby jego środkiem i od którego oddalałyby się wszystkie galaktyki. Każdy obserwator znajdujący się w dowolnej galaktyce stwierdzi, że wszystkie galaktyki oddalają się od niego z prędkością proporcjonalną do odległości. Dlatego Wielki Wybuch należy traktować jako rozszerzanie się przestrzeni, a nie oddalanie się galaktyk w pustej przestrzeni od jakiegoś jednego wyróżnionego punktu.

Warto też zauważyć, że rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata zauważalne jest tylko w odpowiednio dużej skali. Zwiększają się odległości między galaktykami, ale nie rozszerza się Ziemia, Układ Słoneczny ani żadna z galaktyk. Na powiększanie się tych obiektów nie pozwala siła grawitacji, która mocno je wiąże. Inaczej jest z promieniowaniem elektromagnetycznym. Ekspansja przestrzeni ma wpływ na promieniowanie. Długość jego fali rośnie wraz z rozszerzaniem się przestrzeni. Im dłużej trwa droga fotonu przez Wszechświat, tym większa staje się długość jego fali. Długość fali światła rośnie tyle razy, ile razy powiększa się odległość między galaktyką, która wyemitowała światło, a miejscem jego rejestracji. Możemy wyrazić to zależnością:

$$\frac{\lambda}{\lambda_e} = \frac{R}{R_e},$$

gdzie λ_e jest długością fali promieniowania wyemitowanego z odległej galaktyki, λ – długością fali zarejestrowanej na Ziemi, R – odległość galaktyki od Ziemi w momencie rejestracji, R_e – odległość galaktyki od Ziemi w momencie emisji promieniowania (Rys. 3).



Rys. 3. a) W momencie emisji promieniowania o długości fali λ_e odległość między galaktykami wynosiła R_e ; b) Gdy promieniowanie dotarło do drugiej galaktyki, długość fali zwiększyła się tyle samo razy, co odległość

między galaktykami.

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

Słowniczek

Parsek [pc]

(ang.: *parsec*) jednostka odległości używana w astronomii. Jest to odległość, z jakiej połowa wielkiej osi orbity ziemskiej (czyli 1 j.a.) jest widoczna jako łuk (na firmamencie obserwującego) o długości 1 sekundy kątowej. $1 \text{ pc} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}$.

Megaparsek

(ang.: *megaparsec*) jednostka odległości we Wszechświecie. $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc} = 3,09 \cdot 10^{22} \text{ m}$.

Animacja

Co wiemy o ucieczce galaktyk?

Zapoznaj się z animacją mówiącą o ucieczce galaktyk.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DGkfi8NT0>

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

Opis animacji 3D

Na czarnym tle pojawia się wiele białych sześciątów, które po chwili łączą się w jeden mniejszy biały sześciąt. Obok po prawej stronie pojawia się biały napis: Co wiemy o ucieczce galaktyk? Po chwili napis znika. Na czarnym tle pojawia się początkowo niewielka niebieska kula symbolizująca Wszechświat. Na powierzchni kuli widoczna jest siatka niebieskich linii. Wewnątrz kuli widoczne są jasne punkty symbolizujące galaktyki. Kula symbolizująca Wszechświat zbliża się na ekranie i tym samym staje się coraz większa. Po chwili kula znika. Na ciemnym tle ekranu pojawia się prostokątna siatka tworzona przez niebieskie linie. Siatka wyznacza płaszczyznę poziomą. Na środku ekranu widoczne są dwie galaktyki, jedna obok drugiej. Galaktyka po lewej stronie opisana wielką literą A, widoczna jest w postaci jasnego obłoku. Galaktyka po prawej stronie opisana wielką literą B, widoczna jest w postaci jasnej i wirującej spirali. Z galaktyki po lewej stronie wychodzie niebieska falka w prawą stronę. Falka symbolizuje wyemitowany przez galaktykę wielka litera A foton. Falka podąża od galaktyki wielka litera A do galaktyki wielka litera B. Galaktyki oddalają się od siebie. Falka początkowo niebieska zwiększa swoją długość, czyli odległość pomiędzy sąsiednimi minimami i maksimami. Zmienia również swój kolor wraz z przebytą drogą. Po kolei staje się ona zielona, następnie żółta, pomarańczowa a w końcu czerwona. Jest to przesunięcie w kierunku podczerwieni długości fali emitowanej przez galaktykę, która się oddala. Długość fali rośnie tyle samo razy ile razy rośnie odległość pomiędzy galaktykami zanim foton dotrze do celu. Po chwili na ekranie pojawia się na białym tle niebieski napis Fizyka dziewięćset pięćdziesiąt kapsułek. W dolnej części ekranu pojawiają się z lewej strony logo Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej, na środku logo Funduszy Europejskich i po prawej stronie logo Unii europejskiej i flaga Unii Europejskiej.

Pytania:

Polecenie 1

Uzupełnij zdanie:

Galaktyki oddalają się od Ziemi z prędkościami wprost/odwrotnie proporcjonalnymi do odległości, ponieważ przestrzeń Wszechświata rozszerza się/znajdujemy się w środku Wszechświata.

Polecenie 2

Atom wodoru emituje światło o barwie fioletowej o długości fali 410 nm. Zarejestrowano światło wyemitowane przez wodór w odległej galaktyce i stwierdzono, że ta linia widmowa ma długość fali 656 nm i barwę czerwoną. Ile razy zwiększyła się odległość do tej galaktyki w czasie, gdy światło biegło do Ziemi. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odległość do tej galaktyki zwiększyła się razy.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

☐

Rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata sprawia, że zwiększają się odległości między galaktykami.

☐

Rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata sprawia, że częstotliwość fali fotonu przemierzającego Wszechświat zwiększa się.

☐

Rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata sprawia, że długość fali fotonu przemierzającego Wszechświat zwiększa się.

☐

Rozszerzanie się przestrzeni Wszechświata sprawia, że średnica Słońca bardzo wolno się zwiększa.

Ćwiczenie 2



Zmiana częstotliwości fali spowodowana ruchem źródła to:

☐

efekt Dopplera

☐

efekt Comptona

☐

efekt Hubble'a

Ćwiczenie 3



Uzupełnij zdanie:

Długość fali elektromagnetycznej wysyłanej z oddalającego się źródła staje się (/), a częstotliwość (/), natomiast długość fali ze źródła zbliżającego się jest (/), a częstotliwość (/).

Ćwiczenie 4



Prawo Hubble'a nie uwzględnia względnych ruchów galaktyk wynikających z działania grawitacji. Na przykład, najbliższy sąsiad Drogi Mlecznej – galaktyka Andromedy - zbliża się do Drogi Mlecznej. Wyjaśnij, jakie dane obserwacyjne wskazują na fakt zbliżania się tej galaktyki.

Ćwiczenie 5



Wyraż stałą Hubble'a $H_0 = 70 \text{ (km/s)/Mpc}$ w jednostkach układu SI. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: $H_0 =$ $\cdot 10^$ s^{-1}

Ćwiczenie 6



Z analizy promieniowania pochodzącego z odległej galaktyki wynika, że oddala się ona od Ziemi z prędkością 250 000 km/s. Oblicz odległość tej galaktyki od Ziemi w momencie emisji promieniowania. Wynik wyraż w megaparsekach (Mpc) z dokładnością do czterech cyfr znaczących.

Odpowiedź: Mpc

Ćwiczenie 7



W odległej galaktyce zostało wyemitowane promieniowanie ultrafioletowe o długości fali 250 nm. W czasie, gdy promieniowanie to biegło do Ziemi, galaktyka oddaliła się dwukrotnie. Jaką długość promieniowania stwierdzono na Ziemi? Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odpowiedź: $\lambda =$ nm.

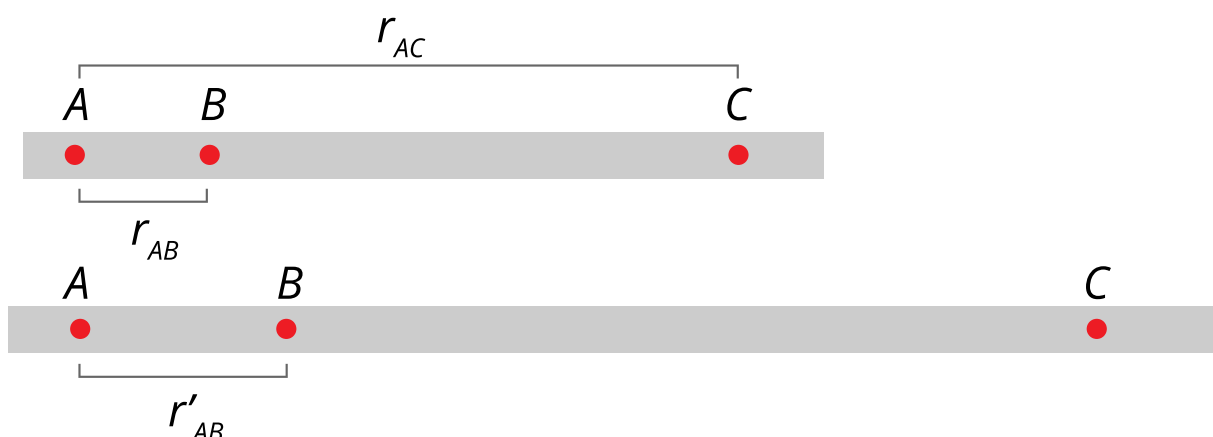
Ćwiczenie 8



Oszacuj wiek Wszechświata (w latach), przyjmując wartość stałej Hubble'a 70 km/s/Mpc i zakładając, że Wszechświat od momentu narodzin rozszerzał się w sposób jednostajny. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: $T =$ $\cdot 10^{10}$ lat

Ćwiczenie 9



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

Na elastycznej gumie zaznaczono trzy punkty A, B i C (rysunek). Odległość punktu B od punktu A, $r_{AB} = 0,2$ m, a odległość punktu C od punktu A, $r_{AC} = 0,6$ m. Gumę rozciągano przez 5 s i odległość między punktami A i B zwiększyła się do $r'_{AB} = 0,3$ m. Oblicz, z jakimi prędkościami punkty B i C oddalały się od punktu A i sprawdź, czy te prędkości są wprost proporcjonalne do początkowych odległości między punktami. Wyniki podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Odpowiedź: $v_{AB} =$ m/s, $v_{AC} =$ m/s.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Co wiemy o ucieczce galaktyk?
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: • tłumaczy, czym są galaktyki i na czym polega ucieczka galaktyk, • wyznacza prędkość ucieczki galaktyki, • podaje prawo Hubble’a, • analizuje związek między powiększaniem się długości fali promieniowania elektromagnetycznego a rozszerzaniem się przestrzeni Wszechświata.
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:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia, balonik dla każdego 4-osobowego zespołu
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Jak powstał Wszechświat?”, „Co nazywamy Wielkim Wybuchem?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Uczniowie wyjaśniają, czym jest galaktyka. Nauczyciel uzupełnia wiadomości.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel mówi o ucieczce galaktyk i wprowadza prawo Hubble'a. Wyjaśnia, jak wyznacza się prędkość ucieczki galaktyki, korzystając z prawa Dopplera. Uczniowie zgłaszają pomysły, jak zinterpretować ucieczkę galaktyk. Nauczyciel wyjaśnia zasadę kopernikańską, mówiąc, że nie ma wyróżnionych punktów we Wszechświecie, a ucieczkę galaktyk tłumaczymy rozszerzaniem się przestrzeni. Uczniowie w grupach przeprowadzają eksperyment z balonikiem. Na baloniku zaznaczają flamastrem rozrzucone nieregularnie kropki i nadmuchują balonik, obserwując ruch kropek. Następnie rozwiązują zad. 7 z zestawu ćwiczeń, które pomaga zrozumieć, że prawo Hubble'a jest skutkiem rozszerzania się przestrzeni. Nauczyciel wyjaśnia, że bezpośrednim skutkiem rozszerzania się przestrzeni Wszechświata jest zwiększanie się długości fali promieniowania.

Faza podsumowująca:

Uczniowie oglądają animację i odpowiadają na pytania aktywizujące.

Praca domowa:

3 zadania do wyboru z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedium**

Multimedium bazowe może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału. Zadania z zestawu ćwiczeń można potraktować jako zadania domowe lub niektóre z nich rozwiązać na lekcji.