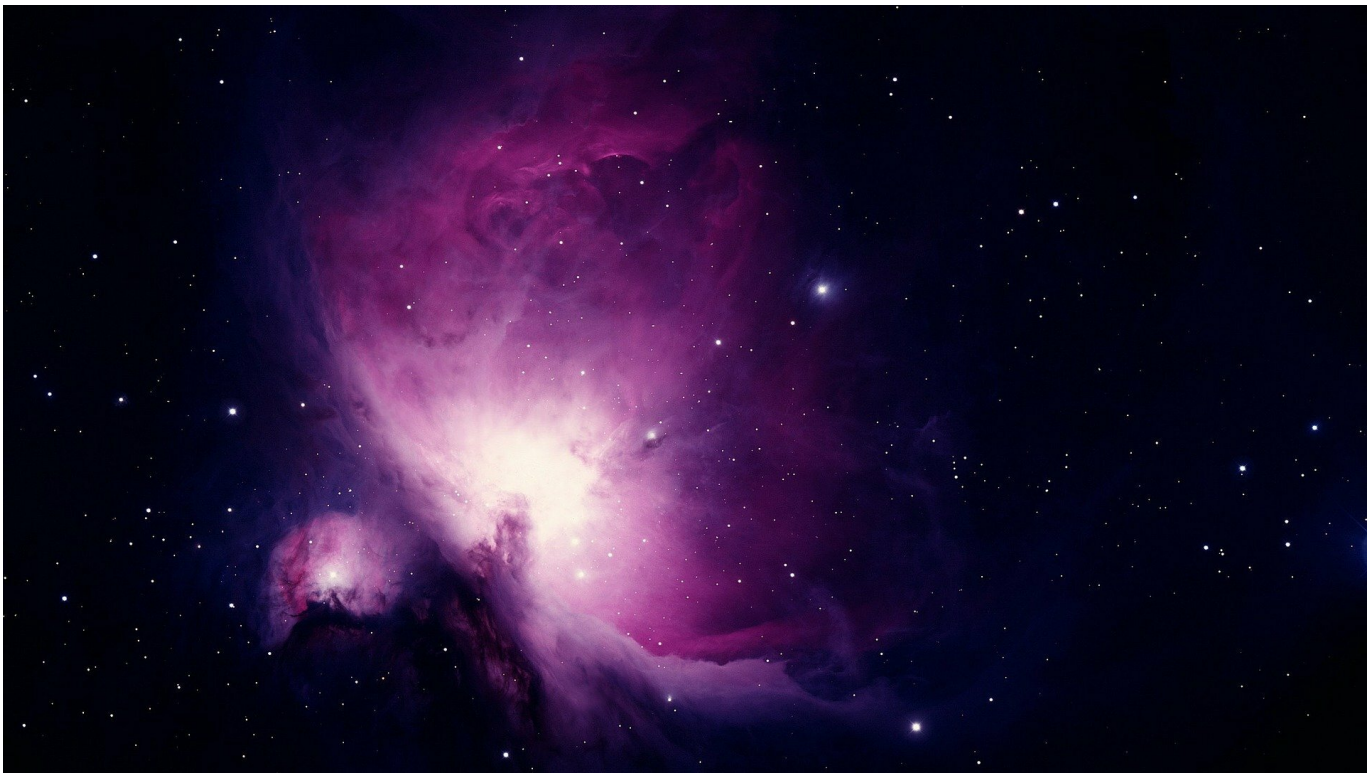
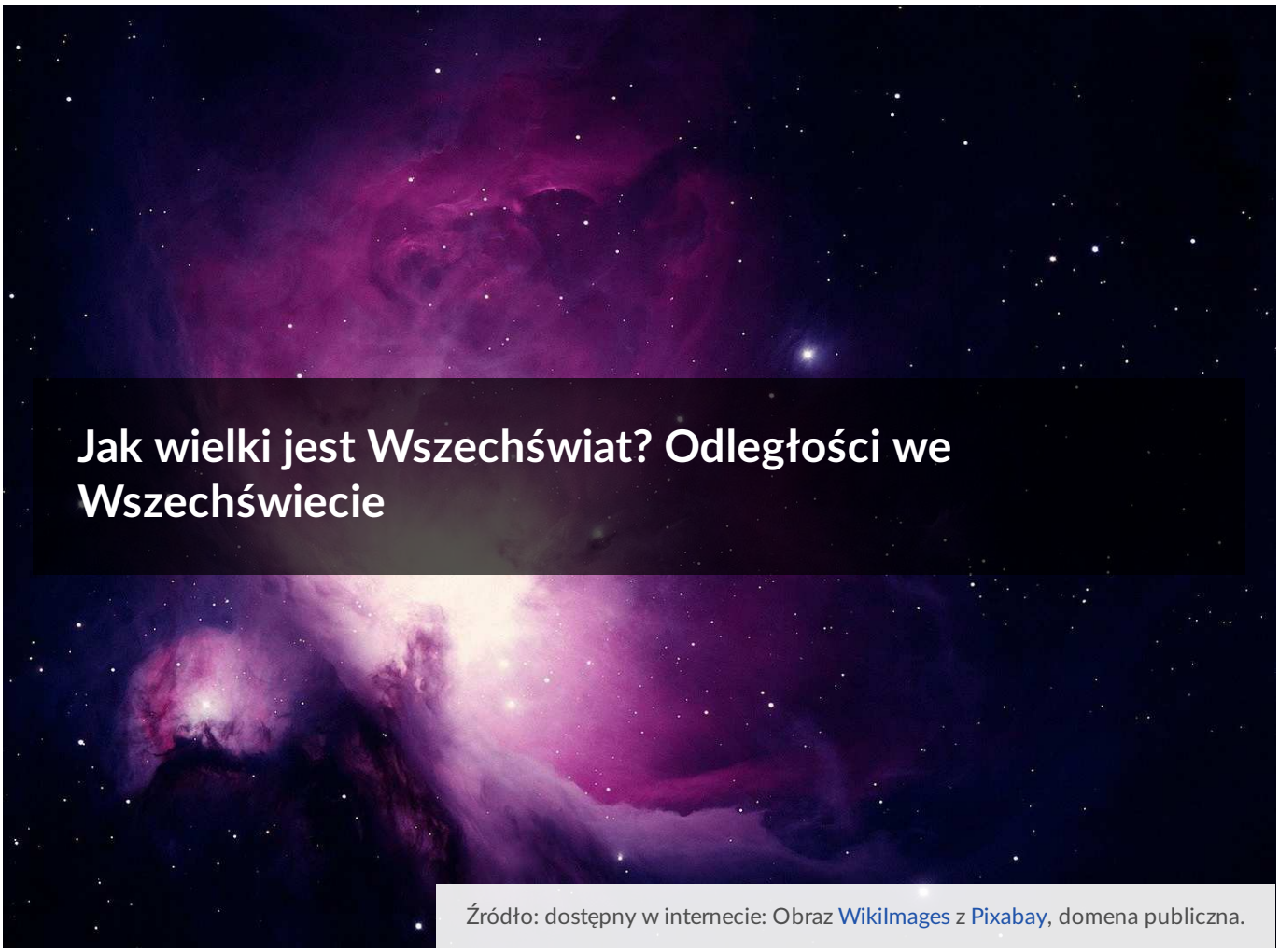


Jak wielki jest Wszechświat? Odległości we Wszechświecie

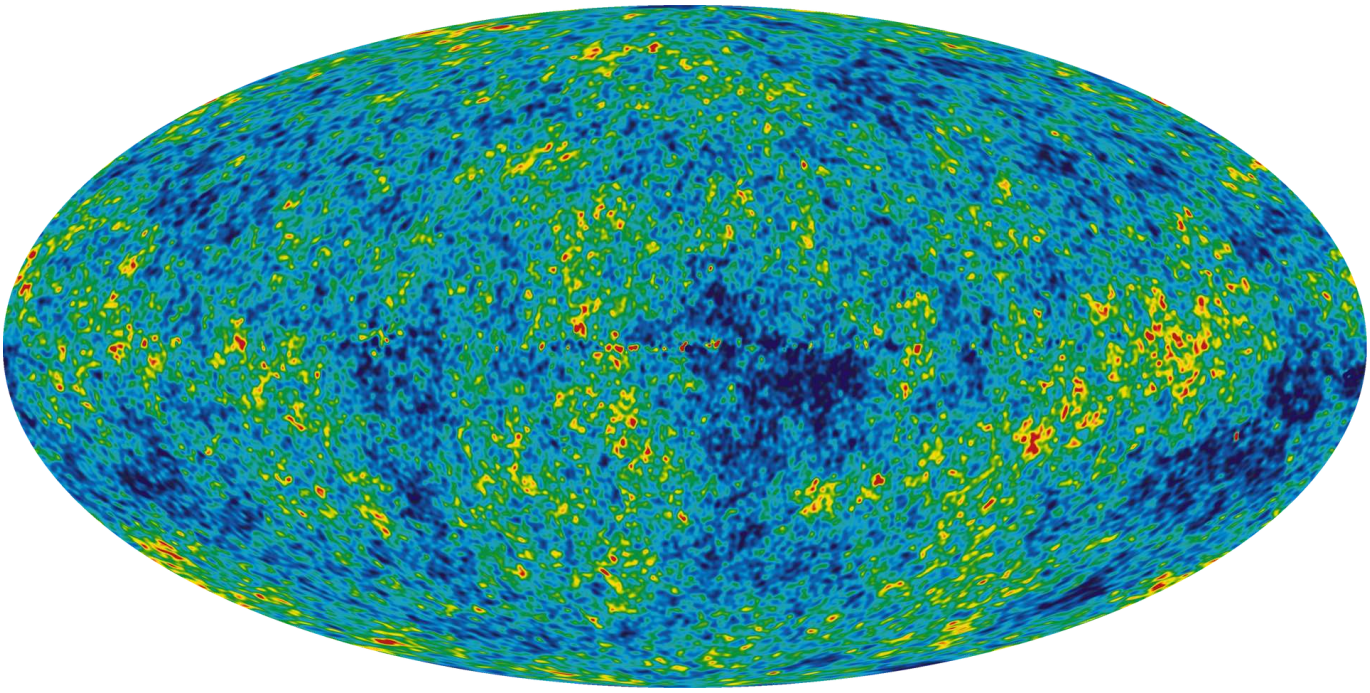
- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja 3D
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Źródło: dostępny w internecie: Obraz WikiImages z Pixabay, domena publiczna.

Poglądy na temat Układu Słonecznego i Wszechświata ewoluowały wraz z rozwojem cywilizacji. Obecnie istnieją niepodważalne dowody na to, że Ziemia nie jest płaska, a ciała niebieskie nie są rozmieszczone na kopule w stałej odległości od Ziemi, co było powszechnie obowiązującym poglądem jeszcze w okresie średniowiecza. Zawdzięczamy to rozwojowi fizyki i astronomii, ale również technologii kosmicznych, szczególnie odkryciom, które dokonały się w XX i XXI w.

Jak z pewnością wiesz, najnowsze obserwacje i wyniki badań poparte przyjętymi teoriami na temat ekspansji Wszechświata nie pozwalają na określenie jego zasięgu i kształtu. Co zatem wiemy odległościach we Wszechświecie? W jakich jednostkach się je wyraża?
I przede wszystkim - do jakiego stopnia jesteśmy w stanie zmierzyć Wszechświat?



Mapa pokazująca obraz współczesnego Wszechświata opracowana na podstawie pomiaru mikrofalowego promieniowania tła (sonda WMAP, NASA)

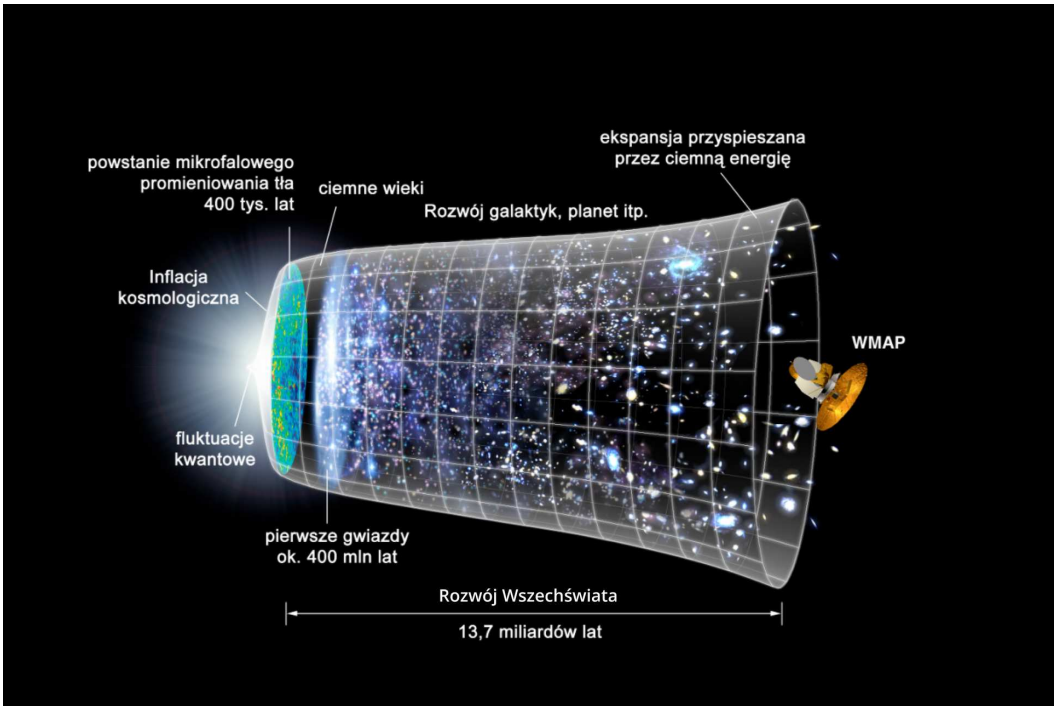
Źródło: NASA, WMAP Science Team, dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, domena publiczna.

Twoje cele

- Omówisz ustalenia dotyczące odległości w Układzie Słonecznym, w naszej galaktyce i we Wszechświecie.
- Wskażesz fakty i przykłady badań, które doprowadziły do dzisiejszego poziomu wiedzy o Układzie Słonecznym, Drodze Mlecznej i Wszechświecie.

Przeczytaj

Najnowsze teorie kosmologiczne, czyli z zakresu badania struktury i ewolucji Wszechświata, zakładają, że w swojej obecnej postaci jest on efektem Wielkiego Wybuchu i przemian materii będących jego następstwem. Teorię tę ilustruje grafika zamieszczona poniżej. Uwidacznia ona podstawowe etapy ekspansji Wszechświata. Model ten poparty został obserwacjami wykonanymi przez sondę WMAP agencji NASA (2003 roku), co pozwoliło na opracowanie mapy promieniowania mikrofalowego tła (w 2012 roku). Jak się jednak okazuje, choć wydawałoby się, że model Wszechświata opracowany na podstawie wspomnianych pomiarów wydawał się doskonały, to najnowsze badania podważają ówczesne ustalenia.



Model powstania i ekspansji czasoprzestrzeni w skali Wszechświata począwszy od Wielkiego Wybuchu ustalony na podstawie badań przeprowadzonych z wykorzystaniem Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
Źródło: NASA, WMAP Science Team, dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, domena publiczna.

Zanim ustalimy, co wiemy o odległościach we Wszechświecie, zacznijmy od ważnych faktów, które stopniowo wzbogacały naszą wiedzę o Układzie Słonecznym oraz pozwoliły osiągnąć dzisiejszy stan wiedzy.

Pierwsze poprawne, odpowiadające rzeczywistości obserwacje, jakie prowadziły do opisu cech najbliższego kosmosu i Układu Słonecznego oraz Ziemi, zostały wykonane już w czasach starożytnych. Jednym z pierwszych uczonych, który dowodził kulistości Ziemi, był Pitagoras (VI w. p.n.e.). Musiały upłynąć jednak dalsze trzy stulecia, aby w III wieku p.n.e. Eratostenes jako pierwszy wyznaczył obwód Ziemi (podał przedział od 39 690 km do

46 620 km), dość dokładnie, zważywszy na technikę pomiaru, jaką się posłużył. Określił on również szacunkową odległość Ziemi od Słońca i Księżyca.

W tym samym czasie Arystarch ogłosił rewolucyjną tezę, że Słońce znajduje się w centrum Wszechświata, a Ziemia zajmuje położenie peryferyjne. Wnioski te nie miały jednak dostatecznego potwierdzenia w obserwacjach, a teoria ta została zapomniana na wiele wieków. Jej potwierdzenie nastąpiło dopiero wraz z ogłoszeniem przez Mikołaja Kopernika teorii heliocentrycznej (1543 rok). Odkrycie to dało podwaliny m.in. dla badań Johannesa Keplera, który opracował prawa opisujące ruch planet. Dzięki temu odkryciu, a szczególnie sformułowaniu trzeciego prawa Keplera (opublikowane w roku 1619 w dziele *Harmonices Mundi - Harmonia świata*), stało się możliwe precyzyjne obliczenie orbit i wzajemnych odległości kolejno odkrywanych planet Układu Słonecznego.

Poniżej zamieszczona tabela prezentuje dane dotyczące odległości planet Układu Słonecznego od Słońca oraz ich czasu obiegu odnoszonego do długości roku zwrotnikowego (365 d 5 h 48 min 46 s).

Planeta	Średnia odległość od Słońca [mln km]	Okres obiegu dookoła Słońca [lata zwrotnikowe]
Merkury	57,740	0,24085
Wenus	108,141	0,61521
Ziemia	149,504	1,00004
Mars	227,798	1,88089
Jowisz	777,840	11,8622
Saturn	1426,100	29,4577
Uran	2867,830	84,0153
Neptun	4493,650	164,788

Polecenie 1

Na podstawie dostępnych źródeł oraz wiedzy z fizyki i geografii podaj wzór matematyczny opisujący oryginalną postać trzeciego prawa Keplera. Czy potrafisz określić odległość Wenus od Słońca, wiedząc, że czas jej obiegu wynosi 0,61521 roku zwrotnikowego?

Ciekawostka

Trzecie prawo Keplera mówi, że stosunek kwadratu okresu obiegu planety wokół Słońca do sześcianu wielkiej półosi jej orbity jest stały dla wszystkich planet w Układzie Słonecznym

Można to zapisać w postaci następującego wzoru:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_1^3} = \text{const.}$$

Gdzie:

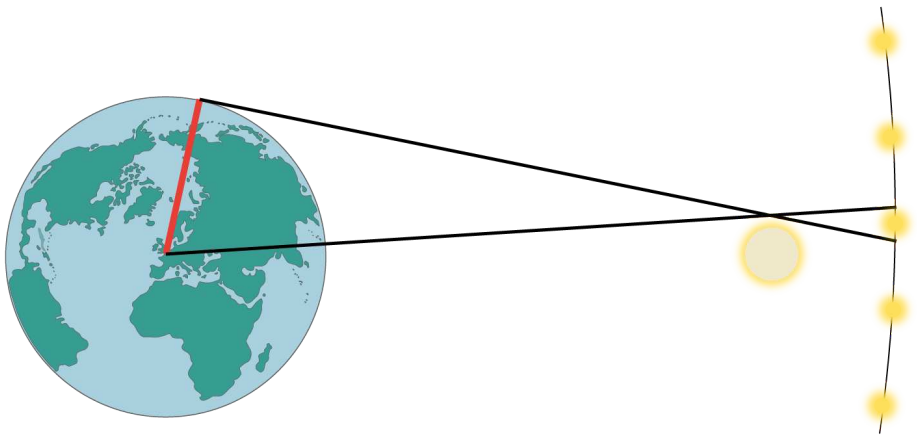
T_1, T_2 **– okresy obiegu planety wokół Słońca**

a_1, a_2 **– promień wielkiej półosi planet**

W astronomii przyjmuje się przy tym, że jednostka odległości odpowiadająca odległości między Ziemią a Słońcem jest tzw. jednostką astronomiczną (AU - *Astronomical Unit*), a jej wartość wynosi 149 597 870 700 km. Jednostka astronomiczna wykorzystywana jest do opisu odległości w Układzie Słonecznym i kosmosie, choć w tym drugim przypadku, ze względu na olbrzymie odległości, stosowane są także inne jednostki.

Dzięki rozwojowi urządzeń obserwacyjnych dalszy postęp w dziedzinie pomiaru odległości we Wszechświecie nastąpił w 1838 r., kiedy Friedrich Bessel zmierzył paralaksę gwiazdową, czyli zauważalne przesunięcie kątowe pozycji gwiazdy towarzyszące ruchowi Ziemi wokół Słońca i jej położeniu w aphelium i peryhelium. Poprawność pomiaru paralaksy była możliwa dzięki uwzględnieniu zjawiska tzw. aberracji światła, które wcześniej zbadał James Bradley (w latach 1725–26). Pomiar paralaksy dowodził słuszności teorii heliocentrycznej, ale przede wszystkim udowadniał, jak ogromne odległości dzielą Układ Słoneczny i Ziemię od innych obserwowanych obiektów we Wszechświecie.

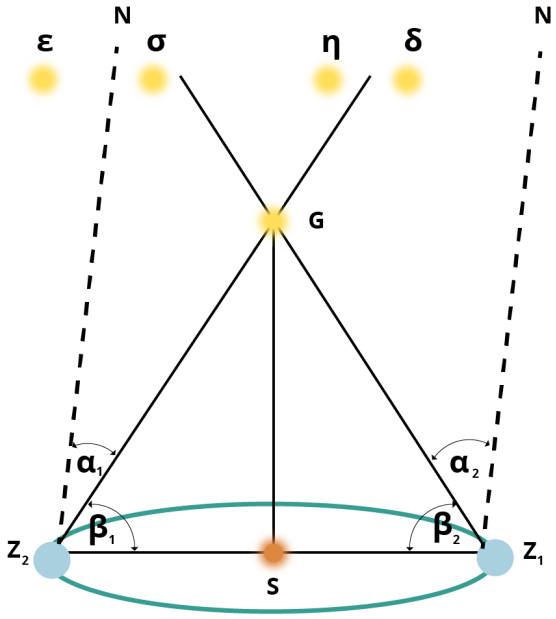
Pomiar paralaksy może być dokonywany w różnych układach: geocentrycznym i heliocentrycznym. Pierwszy dotyczy pomiaru paralaksy dobowej (geocentryczna paralaksa równikowa) związanej z ruchem obrotowym Ziemi lub paralaksy geocentrycznej południkowej, która dotyczy zmiany szerokości geograficznej obserwatora. Metoda ta umożliwia między innymi określanie odległości od Księżyca lub innych obiektów Układu Słonecznego.



Paralaksa dobowa

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

Drugi sposób pomiaru związany jest ze zmianą kąta położenia obiektów w odległym kosmosie i tzw. paralaksą roczną, odpowiadającą ruchowi Ziemi po orbicie wokół Słońca i jej położeniem w skrajnych punktach dłuższej osi orbity eliptycznej.



Zasada pomiaru paralaksy, gdzie odcinek ZS określa długość promienia elipsoidy, jaka dzieli Ziemię od Słońca, która jest równa jednej AU. Znając kąty zmierzone w skrajnych położeniach w stosunku do obiektu, którego odległość chcemy ustalić, a także długość promienia elipsoidy, możliwe jest wykonanie niezbędnych obliczeń.
Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

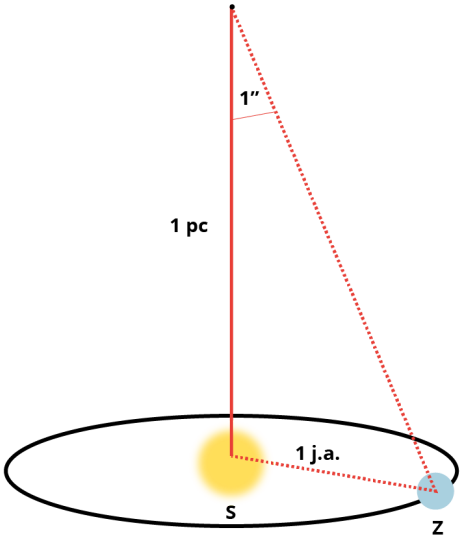
Paralaksa „p" dowolnego obiektu obliczana jest zatem ze wzoru:

$$p = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

Wzór na obliczenie paralaksy
Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Następstwem pomiaru paralaksy było wprowadzenie do użytku jednostki stosowanej w pomiarach odległości w kosmosie zwanej parsekiem, gdzie jeden parsek (1 pc) określa

taką odległość ciała niebieskiego od Ziemi, dla której paralaksa roczna wynosi jedną sekundę kątową.



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

Geometryczna interpretacja pojęcia parseka wskazuje, że odległość D (wyrażona w parsekach) do dowolnego obiektu w kosmosie może być wyznaczona z następującej zależności:

D = 1/p, gdzie *p* to paralaksa.

W przeliczeniu na inne jednostki jeden parsek odpowiada w przybliżeniu:

- 3,2616 latom świetlnym,

- 206265 jednostkom astronomicznym (AU lub j.a.),

- $3{,}086 \cdot 10^{16}$ m.

Ze względów praktycznych często stosowane są jednostki pochodne, a w tym:

- w astronomii galaktycznej:

miliparsek (mpc) $= 10^{-3}$ pc

kiloparsek (kpc) $= 10^{3}$ pc

- w astronomii pozagalaktycznej i kosmologii:

megaparsek (Mpc) $= 10^6$ pc

gigaparsek (Gpc) $= 10^9$ pc

W efekcie wspomnianego wyżej odkrycia w 1839 r. Wilhelm Struve wyznaczył paralaksę Wegi (7,679 ± 0,021 parseka od Ziemi), Friedrich Bessel - gwiazdy 61 Cygni (3,45 parseka od Ziemi), a Thomas James Henderson - gwiazdy Alfa Centauri (1,34 parseka od Ziemi).

Przełom w dziedzinie pomiaru paralaksy gwiazd przyniosła misja satelity Hipparcos agencji ESA (w latach 1989-93), dzięki której znamy dziś paralaksy i odległości do ponad 2,5 miliona gwiazd położonych w promieniu 150 parseków (490 lat świetlnych) od Ziemi.

Dalszy postęp w badaniach dotyczących pomiaru odległości obiektów we Wszechświecie związany był z rozwojem fizyki kwantowej i opracowanych z jej wykorzystaniem modeli matematycznych Wszechświata oraz technologicznym postępem w dziedzinie astronomii obserwacyjnej, w tym technologii kosmicznych.

Szczególne znaczenie należy przypisywać takim odkryciom i osiągnięciom jak:

- teoria względności Alfreda Einsteina (25 listopada 1915 r.), która stała się fundamentem dalszych badań w dziedzinie fizyki kwantowej i kosmologii,

- badania Edwina Hubble'a, który jako pierwszy obliczył tempo rozszerzania się Wszechświata (1929 r.),

- odkrycie mikrofalowego promieniowania tła (1965 r., amerykańscy astrofizycy Arno Allan Penzias i Robert Woodrow Wilson) i dalsze badania w tym zakresie (1989 r. - satelita COBE, 2003 r. – satelita WMAP), które pozwoliły m.in. ustalić wiek Wszechświata (około 13,8 miliarda lat, choć w zależności od oszacowania stałej Hubble'a uzyskuje się wiek w przedziale od 12 do 14,5 miliarda lat oraz różne proporcje między jasną i ciemną materią i energią),

- umieszczenie w kwietniu 1990 r. Teleskopu Hubble'a na orbicie,

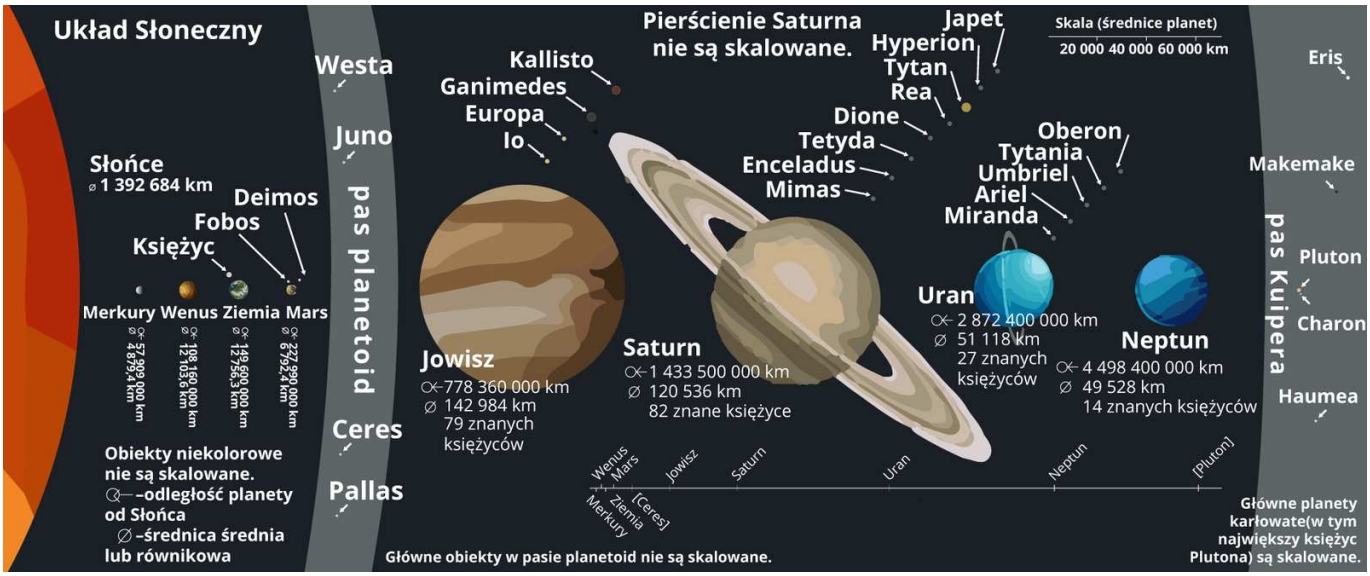
- pomiary odległości do galaktyk za pomocą Kosmicznego Teleskopu Spitzera (umieszczony na orbicie w sierpniu 2003 r.),

- umieszczenie na orbicie Teleskopu Gaia (2013 r., Europejska Agencja Kosmiczna), którego zadaniem jest pomiar odległości do gwiazd.

Wymienione wyżej odkrycia i osiągnięcia pozwoliły na znaczne zwiększenie dokładności pomiaru odległości w obrębie Układu Słonecznego, Drogi Mlecznej, a także głębokiego kosmosu.

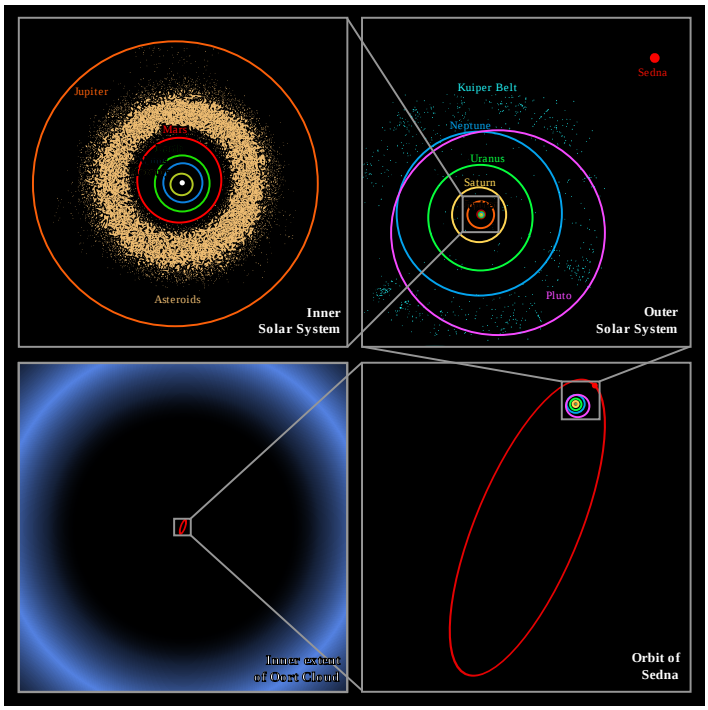
Dzisiaj wiemy, że Układ Słoneczny sięga o wiele dalej niż początkowo przypuszczali naukowcy odkrywający kolejne planety. Najdalej położoną planetą od Słońca jest Neptun,

który leży w odległości ok. 30 AU. Pas Kuipera, w obrębie którego znajdują się planety karłowate Pluton i Charon, rozciąga się w odległości od 30 do 50 AU, zaś obłok Oorta w odległości od 50 000 AU do 100 000 AU, czyli na dystansie od około 1 do 1,87 roku świetlnego od Ziemi. Rozkład obiektów w Układzie Słonecznym i odpowiadające im odległości prezentują poniższe grafiki.



Planety wewnętrzne i zewnętrzne oraz pas Kuipera wraz z planetami karłowatymi i księżycami oraz ich odległość od Słońca (dolny prawa cześć rysunku)

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



Orbity ciał Układu Słonecznego w proporcjonalnej skali (zmiana skali następuje zgodnie z ruchem wskazówek począwszy od lewego górnego rogu)

Źródło: Yinweichen, dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, licencja: CC BY-SA 4.0.

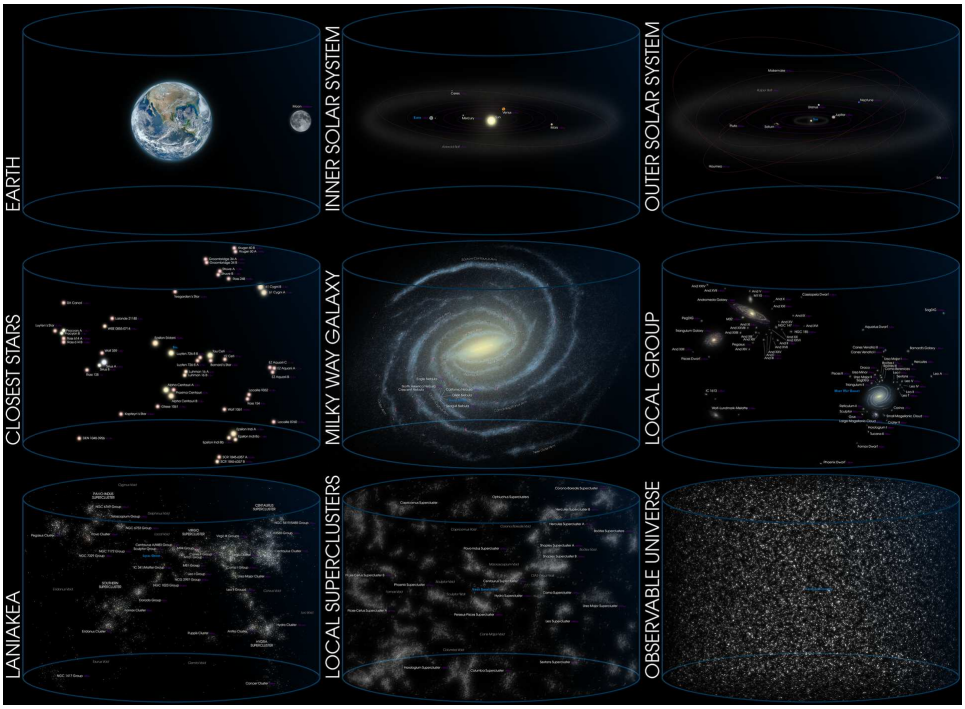
Najbliższą gwiazdą w sąsiedztwie Ziemi i Układu Słonecznego jest Proxima Centauri, która leży w odległości 4,25 lat świetlnych, a jednocześnie jest najbliższą gwiazdą posiadającą układ planetarny.

Słońce jest jedną z 400 miliardów gwiazd Drogi Mlecznej, galaktyki spiralnej o średnicy około 100 000 lat świetlnych. Słońce znajduje się w jednym z zewnętrznych ramion Drogi Mlecznej, tzw. Ramieniu Oriona, co sprawia, że położone jest w odległości około 26 660 lat świetlnych od centrum galaktyki.

Najbliższą galaktyką w sąsiedztwie Drogi Mlecznej jest Galaktyka Andromedy, która leży w odległości 2,5 miliona lat świetlnych od Ziemi. Obydwie galaktyki wchodzą w skład Grupy Lokalnej Galaktyk, czyli zbioru złożonego z co najmniej 54 galaktyk, które są powiązane grawitacyjnie. Grupa Lokalna rozciąga się na obszarze około 3,1 megaparseka (106 pc), czyli około 10 milionów lat świetlnych. Grupa Lokalna Galaktyk jest częścią supergromady Laniakea. Strukturami większymi i odleglejszymi są tzw. superklastry galaktyk.

Ponieważ nie możemy obserwować przestrzeni poza krawędzią widzialnego Wszechświata, to nie wiadomo, czy rozmiar Wszechświata jako całości jest skończony czy nieskończony. Szacuje się, że cały Wszechświat, jeśli jest skończony, musi być ponad 250 razy większy niż jego część widoczna. Ocenę wielkości Wszechświata utrudniają ponadto rozbieżności w zakresie oceny tempa rozprzestrzeniania się galaktyk. Jeśli miałoby się bowiem okazać, że prędkość rozprzestrzeniania się galaktyk jest większa od prędkości światła w próżni (300 000 km/s), to obecnie obserwowany obraz odpowiadałby już nieistniejącemu, a ponadto nigdy nie będzie możliwe zaobserwowanie jego najdalszych rejonów. Niezależnie od powyższego, obecnie obserwowana rozciągłość widocznego Wszechświata oceniana jest na około 91 do 93 miliardów lat świetlnych, a krawędź widzialnego Wszechświata z Ziemi sięga na odległość około 46 miliardów lat świetlnych.

Opisane powyżej proporcje wielkości i odległości obiektów we Wszechświecie ilustruje poniższa grafika.



Ziemia i Układ Słoneczny i ich umiejscowienie w odniesieniu do najbliżej położonych gwiazd, Drogi Mlecznej, Grupy Lokalnej Galaktyk i superklastra galaktyk oraz w obserwowanym kosmosie.

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

Polecenie 2

Na podstawie dostępnych informacji sporządź w układzie siatki logarytmicznej wykres obrazujący dystans Ziemi do obiektów w Układzie Słonecznym i najbliższych gwiazd w Drodze Mlecznej i Wszechświecie.

Słownik

teoria geocentryczna

teoria zakładająca, że Ziemia znajduje się w centrum Wszechświata

teoria heliocentryczna

teoria zakładająca, że w centrum Wszechświata znajduje się Słońce

Animacja 3D

Zapoznaj się z treścią animacji i wykonaj polecenia.

Film dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/DxzIPkCSQ

Nagranie filmowe lekcji - dotyczy odpowiedzi na pytanie, jak wielki jest Wszechświat.

Polecenie 1

Na podstawie animacji 3D określ podstawowe jednostki odległości we Wszechświecie.

Polecenie 2

Opisz, czym jest rok świetlny, godzina, minuta i sekunda świetlna. Wyjaśnij, jaki to dystans.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Zaznacz prawidłową odpowiedź. Średnia odległość Ziemi od Słońca wynosi w przybliżeniu 149,6 miliona kilometrów. Jaką jednostkę wykorzystywaną w astronomii cechuje taka długość?

- jednostkę astronomiczną
- rok świetlny
- prędkość rozprzestrzeniania się kosmosu
- paralaksę

Ćwiczenie 2

Dokończ zdanie.

Prawo opisujące ruch planet, które pozwala na określenie ich odległości od Słońca, opracował...

- Albert Einstein.
- Johannes Kepler.
- Mikołaj Kopernik.
- Pitagoras.

Ćwiczenie 3

Dokończ zdanie.

Jeden parsek to jednostka astronomiczna odpowiadająca:

- [ ] około 3,26 roku świetlnego.
- [ ] odległości obiektu w kosmosie, dla którego paralaksa wynosi 1 sekundę kątową.
- [ ] 2,5 milionom lat świetlnych.
- [ ] średnicy Drogi Mlecznej.
- [ ] odległości do granicy widzialnego Wszechświata.

Ćwiczenie 4

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

Ćwiczenie 5

Zaznacz prawidłową odpowiedź. Odległość z Ziemi do tej gwiazdy wynosi 4,24 roku świetlnego. Jaką paralaksę ma ta gwiazda?

- ( ) 1,00
- ( ) 1,25
- ( ) 4,25
- ( ) 0,78

Ćwiczenie 6

Dokończ zdanie.

Krawędź widzianego Wszechświata określana jest na...

- 46 miliardów lat świetlnych.
- 250-krotność rozciągłości Układu Słonecznego.
- 100 milionów lat świetlnych.
- 1 parsek.

Ćwiczenie 7

Paralaksa obiektu w kosmosie wynosi 0,5 sekundy kątowej. Określ odległość Ziemi od tego obiektu w kilometrach, latach świetlnych i parsekach.

Ćwiczenie 8

Odległość do gwiazdy położonej na północnym nieboskłonie wynosi 24 parseki. Podaj, jaką paralaksę roczną ma ten obiekt.

Dla nauczyciela

SCENARIUSZ LEKCJI

Imię i nazwisko autora: Jerzy Lechnio

Przedmiot: geografia

Temat: Jak wielki jest Wszechświat? Odległości we Wszechświecie

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

Podstawa programowa

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

Uczeń:

5) kształtuje wyobrażenie o ogromie i złożoności Wszechświata, obserwując ciała niebieskie na zdjęciach i mapach kosmosu, prowadzi obserwacje gwiazdozbiorów nieba północnego, dostrzega piękno i harmonię Wszechświata oraz Ziemi widzianej z kosmosu.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

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

Cele operacyjne

Uczeń:

- omawia ustalenia dotyczące odległości w Układzie Słonecznym, Drodze Mlecznej i we Wszechświecie,
- przedstawia fakty i przykłady badań, które doprowadziły do dzisiejszego poziomu wiedzy o Układzie Słonecznym, Drodze Mlecznej i Wszechświecie.

Strategie nauczania: konstruktywizm, konektywizm

Metody i techniki nauczania: odwrócona klasa, ćwiczeń przedmiotowych, z użyciem komputera, dyskusja

Formy pracy: praca indywidualna, praca w parach, praca w grupach, praca całego zespołu klasowego

Środki dydaktyczne: komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu, zasoby multimedialne zawarte w e-materiale, tablica interaktywna/tablica

Materiały pomocnicze

M. Jaroszyński, *Galaktyki i budowa Wszechświata*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.

J.M. Kreiner, *Astronomia z astrofizyką*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992.

PRZEBIEG LEKCJI

Przed lekcją

Na lekcji poprzedzającej zajęcia nauczyciel prosi uczniów o przygotowanie prezentacji w oparciu o informacje zawarte w sekcji *Przeczytaj* w zakresie dotyczącym polecenia 2.

Faza wprowadzająca

- Nauczyciel przedstawia cele lekcji.
- Prowadzący zadaje uczniom pytania z zakresu tematu lekcji. Moderuje dyskusję. Omówiony zostaje problem ekspansji czasoprzestrzennej Wszechświata.

Faza realizacyjna

- Uczniowie wykonują indywidualnie ćwiczenie nr 4 i 6, a następnie wybrane osoby prezentują sposób uzyskania wyniku. W parach lub grupach uczniowie wykonują ćwiczenie 8.
- Nauczyciel pyta uczniów, która z teorii dotycząca Wszechświata (skończony/nieskończony) bardziej do nich przemawia. Następuje klasowa dyskusja. Nauczyciel pyta wypowiadających się uczniów, dlaczego wybrali tę, a nie inną teorię.
- Następnie nauczyciel dzieli uczniów na małe grupy. Każdej przydziela jeden obiekt we Wszechświecie (gwiazda, galaktyka itd.) i prosi o ustalenie jego odległości od Drogi Mlecznej lub Słońca. Uczniowie powinni skorzystać z dodatkowych źródeł informacji, a następnie samodzielnie przeliczyć jednostkę na inne (np. parseki na AU, lata świetlne itd.).

Faza podsumowująca

- Omówienie ewentualnych problemów z rozwiązaniem ćwiczeń i poleceń z sekcji *Sprawdź się*.
- Wybrany uczeń podsumowuje zajęcia, zwracając uwagę na nabyte umiejętności i wiedzę.

- Nauczyciel omawia przebieg zajęć, podsumowuje pracę uczniów. Ocenia pracę uczniów, biorąc pod uwagę ich możliwości i zaangażowanie.

Praca domowa

- Odszukaj informacje o wybranej galaktyce. Napisz, jaka odległość dzieli ją od Drogi Mlecznej. Następnie wybierz gwiazdę znajdującą się w tej galaktyce i zapisz, jaka odległość dzieli ją od naszego Słońca. Przelicz jednostki na parseki, jednostki astronomiczne oraz lata świetlne.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Animację 3D można wykorzystać podczas innych lekcji z działu *Ziemia we Wszechświecie* (zakres podstawowy: II). Uczeń może wykorzystać animację do powtórzenia materiału, a także podczas wykonywania praca domowej (przypomnienie jednostek).