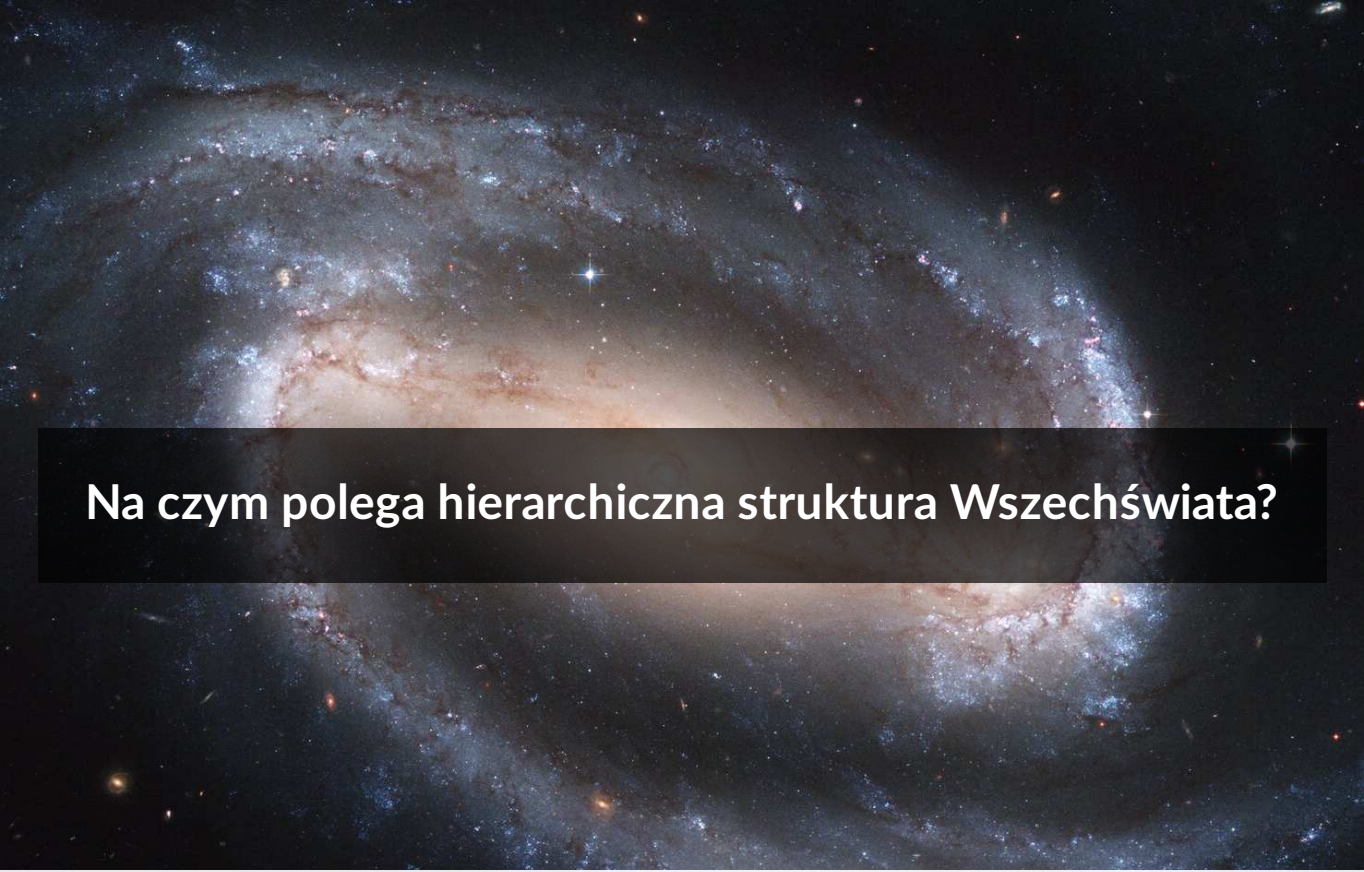




Na czym polega hierarchiczna struktura
Wszechświata?

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

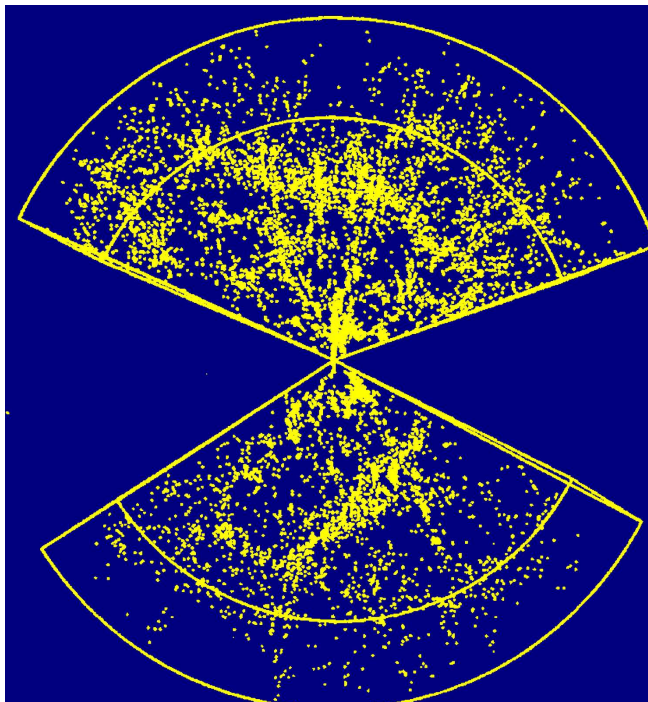


Na czym polega hierarchiczna struktura Wszechświata?

Źródło: dostępny w internecie: https://images.nasa.gov/details-GSFC_20171208_Archive_e002154 [dostęp 9.05.2022 r.],
dostępny w internecie: https://en.wikipedia.org/wiki/Barred_spiral_galaxy#/media/File:Hubble2005-01-barred-spiral-galaxy-NGC1300.jpg.

Czy to nie ciekawe ?

Wszechświat ma budowę hierarchiczną. Co to oznacza? Niewielkie obiekty kosmiczne wykazują tendencję do łączenia się w większe struktury, a te w jeszcze większe. Około 40 lat temu astronomowie odkryli, że w największych skalach materia Wszechświata wcale nie jest rozłożona równomiernie, ale układa się w struktury przypominające pianę (rysunek). Supergromady galaktyk tworzą włókna i ściany otaczające wielkie pustki.



Rys. Galaktyki układają się w skomplikowane struktury otaczające olbrzymie puste obszary.

Źródło: dostępny w internecie: http://bolo.berkeley.edu/holzapfel_group/bima_anisotropy/science/index.html [dostęp 17.05.2022 r.], dostępny w internecie: http://bolo.berkeley.edu/holzapfel_group/bima_anisotropy/science/images/structure.gif [dostęp 17.05.2022 r.].

Twoje cele

- poznasz naszą galaktykę - Drogę Mleczną;
- poznasz struktury, w jakie łączą się galaktyki;
- dowiesz się, czym są supergromady galaktyk i jak są rozmieszczone we Wszechświecie;
- zrozumiesz związek struktur Wszechświata w największej skali z początkowym okresem życia Wszechświata;
- porównasz i ocenisz odległości we Wszechświecie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Układ planetarny

Ziemia, choć wydaje się nam wielka, jest w skali kosmicznej małą drobiną. Ziemia krąży wokół Słońca – niezbyt dużej gwiazdy. Gwiazdy, świecące obiekty, których energia pochodzi z procesu [syntezy jądrowej](#), gromadzą się w galaktyki.

Galaktyka

Słońce wraz z całym Układem Słonecznym znajduje się w galaktyce, zwanej **Drogą Mleczną** lub po prostu **Galaktyką**. Zawiera ona kilkaset miliardów gwiazd – od 100 miliardów, jak sądzono dawniej, do 400 miliardów w najnowszych oszacowaniach, a także pyły i gazy. Wiele gwiazd, podobnie jak Słońce, ma swoje układy planetarne. Droga Mleczna ma kształt ogromnego dysku o średnicy około 100 000 [lat świetlnych](#) i grubości około 1000 lat świetlnych. To dysk naprawdę cieniutki – grubość jest 100 razy mniejsza od średnicy. Dobrym modelem Drogi Mlecznej, dającym wyobrażenie jej proporcji, jest zwykła płyta CD (Rys. 1 i 1a). Droga Mleczna jest galaktyką spiralną. Gwiazdy grupują się w kilku wygiętych spiralnie ramionach, których kształt świadczy o ruchu wirowym Galaktyki.



Rys. 1. Droga Mleczna ma kształt cienkiego dysku o proporcjach podobnych do płyty CD.

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.shutterstock.com/pl/image-illustration/spiral-galaxy-milky-way-162330971> [dostęp 17.05.2022 r.], Shutterstock, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.



Rys. 1a. Płyta CD.

Źródło: dostępny w internecie: https://pl.wikipedia.org/wiki/P%C5%82yta_kompaktowa#/media/Plik:OD_Compact_disc.svg [dostęp 17.05.2022 r.], licencja: CC BY-SA 2.5.

Słońce znajduje się w jednym z ramion Galaktyki, mniej więcej w połowie odległości od jej centrum. Wszystkie gwiazdy poruszają się wokół środka masy Galaktyki. Słońce potrzebuje aż 230 milionów lat, by okrążyć środek Drogi Mlecznej, choć jego prędkość przekracza $200 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

W samym środku Drogi Mlecznej odkryto gigantyczną **czarną dziurę** o masie 4 milionów mas Słońca. Obecność w centrum galaktyki masywnej czarnej dziury jest typowa również dla innych galaktyk.

Galaktyki, w tym i Droga Mleczna, zawierają nie tylko widoczną materię, jak gwiazdy, planety, czy pyły. Większość masy galaktyki stanowi ciemna materia, która jest dla nas niewidoczna. O istnieniu ciemnej materii świadczy wpływ jej oddziaływania grawitacyjnego na ruch obrotowy galaktyki. Ciemna materia tworzy ogromne halo (sferyczny obszar), w którym zanurzony jest dysk galaktyki.

Galaktyki grupują się w większe struktury: grupy lub gromady galaktyk.

Grupa galaktyk

Grupy galaktyk zawierają co najmniej 3, a najwięcej kilkadziesiąt galaktyk. Są one związane grawitacyjnie i poruszają się jako jedna całość.

Droga Mleczna należy do **Grupy Lokalnej**, która zawiera około 50 galaktyk. Dominują w niej dwie galaktyki o podobnej wielkości – Droga Mleczna i Galaktyka Andromedy, zawierające około 90% masy gromady. Towarzyszą im liczne, znacznie mniejsze **galaktyki satelickie**, z których największa jest Galaktyka Trójkąta. Przyciąganie grawitacyjne sprawia, że

Galaktyka Andromedy zbliża się do Drogi Mlecznej z prędkością około 400 tysięcy $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ i za około 4 miliardy lat prawdopodobnie dojdzie do zderzenia galaktyk, w wyniku czego galaktyki połączą się.

Gromady galaktyk

Gromady to największe związane grawitacyjnie struktury we Wszechświecie, liczące od kilkudziesięciu do kilku tysięcy galaktyk. Gromady galaktyk mają rozmiary do 10 milionów lat świetlnych i masy rzędu $10^{14} - 10^{15}$ mas Słońca.

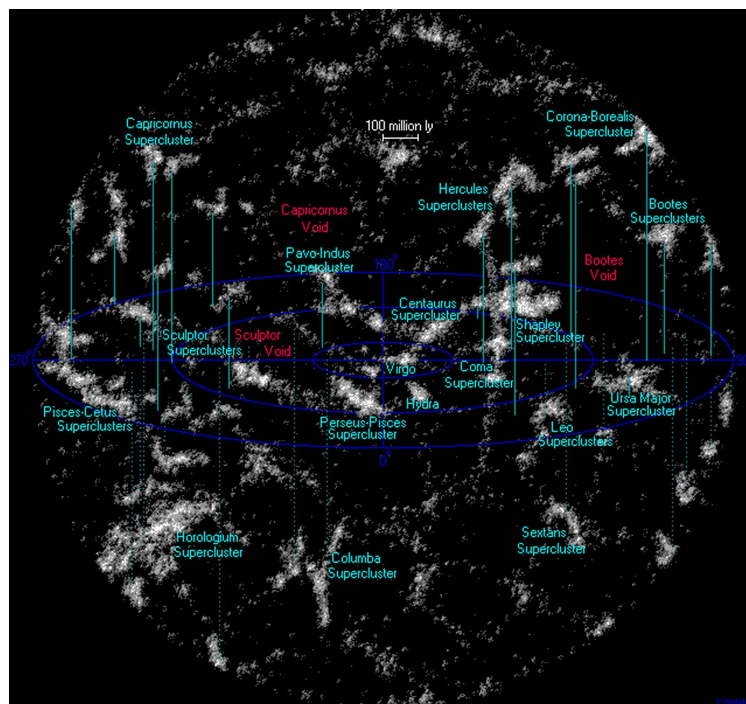
Supergromady galaktyk

Supergromady galaktyk to największe struktury we Wszechświecie. Składają się z setek lub tysięcy grup i gromad galaktyk. Ich rozmiary dochodzą do setek milionów lat świetlnych. Nie są układami silnie związanymi grawitacyjnie, choć obserwuje się przyciąganie grawitacyjne sąsiednich galaktyk.

Lokalna Grupa Galaktyk, zawierająca naszą Galaktykę – Drogę Mleczną, należy do **Supergromady Lokalnej**, zwanej też **Supergromadą w Pannie**. Supergromada Lokalna obejmuje obszar o rozmiarach około 200 milionów lat świetlnych. W jej skład wchodzi około 100 gromad galaktyk i grup galaktyk. Centrum supergromady stanowi najbardziej masywna Gromada Virgo (Gromada w Pannie), natomiast Lokalna Grupa Galaktyk znajduje się na peryferiach supergromady.

Supergromady galaktyk układają się we włókna rozdzielone pustkami – obszarami prawie pozbawionymi materii, o średnicy w przedziale 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.

Podobna do piany struktura odpowiada fluktuacjom gęstości materii Wszechświata na bardzo wczesnym etapie życia, niedługo po Wielkim Wybuchu. Siła grawitacji sprawiła, że obszary o większej gęstości powiększały się na skutek przyciągania okolicznej materii. Powstawały z nich stopniowo gwiazdy i galaktyki. W miarę rozszerzania się Wszechświata, niewielkie początkowo obszary o większej gęstości, urosły do supergromad galaktyk, a ich struktura jest wspomnieniem początków życia Wszechświata.



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

Źródło: dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nearsc.gif> [dostęp 16.05.2022 r.], licencja: CC BY-SA 2.5.

Rozmiary Wszechświata

W naszym przeglądzie struktur Wszechświata posługiwaliśmy się wartościami odległości w latach świetlnych – od 1000 lat świetlnych dla grubości dysku Drogi Mlecznej do 200 milionów lat świetlnych dla rozmiarów Supergromady Lokalnej. Oczywiście wiemy, że to bardzo, bardzo dużo, ale te liczby wykraczają poza naszą wyobraźnię i trudno uzmysłowić sobie prawdziwe rozmiary Wszechświata. Aby to ułatwić, sprowadźmy zagadnienie do naszej ludzkiej skali.

Wyobraźmy sobie Słońce wielkości ziarenka maku. Promień orbity Ziemi (niewidocznej gołym okiem) w takiej skali to około 1 cm, a najdalsza planeta – Neptun krąży w odległości około 3 m. Do najbliższej gwiazdy (Alfa Centauri) odległość wynosi ponad 3 km.

W Drodze Mlecznej jest 400 miliardów gwiazd, co odpowiada ziarnkom maku mieszczącym się w sześciennym pudle o krawędzi 70 cm. Aby utworzyć z tych ziarenek model Drogi Mlecznej, należałoby je rozsypać na dysku o rozmiarach porównywalnych z rozmiarami orbity Księżyca. Czy łatwo byłoby natrafić na takie ziarenko? To porównanie pokazuje, jak puste są w istocie galaktyki. Gwiazdy w galaktykach praktycznie nie mają szans na zderzenie się ze sobą.

Zmieńmy teraz skalę. Niech Drogę Mleczną symbolizuje płyta CD, jak na Rys. 1. W takiej skali gwiazdy widoczne gołym okiem mieszczą się w obszarze zaledwie milimetrowym, widzimy jedynie 0,00001% gwiazd Galaktyki. Kiedy więc spoglądamy w pogodną noc w niebo i myślimy sobie „Jaki ten Wszechświat wielki...”, to pamiętajmy, że widzimy tylko maleńki

skrawek naszej Galaktyki, a przecież są też miliardy innych galaktyk jeszcze bardziej odległych. Najbliższą Galaktykę Andromedy w takiej skali symbolizuje podobna płyta CD w odległości kilku metrów. Najbliższa gromada galaktyk (gromada w Pannie) jest odległa o kilkaset metrów, a najdalsze zidentyfikowane gromady galaktyk znajdują się w odległości 80 km.

Słowniczek

synteza jądrowa

(*ang.: nucleosynthesis*) proces łączenia się mniejszych jąder atomowych w większe, czemu towarzyszy wydzielanie się energii.

rok świetlny

(*ang.: light year*) jednostka długości, równa drodze przebytej przez światło w ciągu 1 roku. $1 \text{ rok świetlny} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$.

czarna dziura

(*ang.: black hole*) obszar o dużej masie zawartej w odpowiednio małej objętości, wytwarzający tak silne pole grawitacyjne, że nic (łącznie ze światłem) nie może się z niego wydostać.

galaktyka satelicka (satelitarna)

(*ang.: satellite galaxy*) galaktyka krążąca wokół innej, większej galaktyki.

Animacja

Struktura Wszechświata

Animacja przedstawia najbardziej szczegółową mapę Wszechświata, zawierającą około czterech milionów galaktyk i kwazarów, poczynając od bliskiego otoczenia Ziemi aż do największych obserwowalnych odległości. Odzwierciedla ona hierarchiczną strukturę Wszechświata.

Przed obejrzeniem animacji zapoznaj się z poniższym wyjaśnieniem, a po jej obejrzeniu – wykonaj zamieszczone pod nią polecenia.

Sloan Digital Sky Survey (SDSS) – jeden z najważniejszych przeglądów nieba w historii astronomii. Nazwa projektu jest związana z Fundacją im. Alfreda P. Sloana i można ją przetłumaczyć jako Cyfrowy Przegląd Nieba imienia A. P. Sloana.

Baryon acoustic oscillations (BAO) – barionowe oscylacje akustyczne (BAO) – regularne fluktuacje gęstości widzialnej barionowej materii wszechświata, spowodowane akustycznymi falami gęstości w pierwotnej plazmie wczesnego Wszechświata, zanim utworzyły się atomy.

The extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (eBOSS) – rozszerzone Badania Spektroskopowe oscylacji Barionowych – część projektu SDSS-IV, która pozwoliła na zbadanie najodleglejszych części wszechświata. Porównanie wielkości tych oscylacji w różnych epokach czasu kosmicznego pozwala też na określenie tempa ekspansji Wszechświata i odkrycie natury ciemnej energii.

Polecenie 1

W animacji padają słowa: „Zabierzemy Was przez kosmos z prędkością nadświatłą”. Czy jest to:

- ☐ Możliwość odkryta w ramach programu SDSS, wymagająca dokonania korekty ogólnej teorii względności, o której to korekcie jest mowa w filmie.
- ☐ Semantyczny środek stylistyczny.
- ☐ Procedura dostępna od około stu lat, zgodnie ze szczególną teorią względności.

Polecenie 2

Po uważnym obejrzeniu animacji uzupełnij poniższe zdania prawidłowymi wyrażeniami.

W całym obserwowalnym Wszechświecie znajduje się około galaktyk.

Wszechświat nie tylko się rozszerza, ale jego ekspansja jest coraz . Z teoretycznego punktu widzenia przyspieszenie to może być wyjaśnione przez założenie, że istnieje tajemnicza ciemna lub poprzez odpowiednią modyfikację teorii względności.

W celu stworzenia trójwymiarowych map Wszechświata, skupiono się na różnych kategoriach galaktyk: galaktyki , galaktyki czerwone, bardziej odległe galaktyki oraz nadzwyczaj jasne, bardzo odległe galaktyki aktywne zwane .

Na nowej mapie Wszechświata występują duże ciemne plany. W większości są to regiony , których nie byliśmy w stanie obserwować.

jednego miliona

energia

ogólnej

czterech milionów

wolniejsza

o bardzo małej jasności

przesłonięte przez Drogę Mleczną

szczególnej

antymateria

gwiazdotwórcze

supergalaktykami

miliard

szybsza

kwazarami

pobliskie

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

- ☐ Gromady galaktyk zawierają supergromady galaktyk.
- ☐ Supergromady galaktyk zawierają gromady i grupy galaktyk.
- ☐ Hierarchiczna struktura Wszechświata oznacza, że jedne obiekty kosmiczne są ważniejsze, a inne mniej ważne.
- ☐ Hierarchiczna struktura Wszechświata oznacza, że mniejsze obiekty kosmiczne łączą się w większe.
- ☐ Gromady galaktyk zawierają grupy galaktyk.

Ćwiczenie 2



Uzupełnij zdanie:

Galaktyki w grupach i gromadach galaktyk ☐ są ☐ / ☐ nie są ☐ związane siłami grawitacji i poruszają się w Kosmosie ☐ niezależnie od siebie ☐ / ☐ jako jedna całość ☐.

Ćwiczenie 3



Uporządkuj obiekty kosmiczne od najbardziej do najmniej złożonych:

Galaktyka



Gwiazda



Układ planetarny



Supergromada galaktyk



Włókna i pustki kosmiczne



Grupa galaktyk



Ćwiczenie 4



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:



Droga Mleczna zawiera kilkaset miliardów gwiazd, a jej średnica wynosi około 100 tysięcy lat świetlnych.



Droga Mleczna zawiera kilkaset milionów gwiazd, a jej średnica wynosi około 100 milionów kilometrów.

Ćwiczenie 5



Wstaw kolejne 4 struktury kosmiczne, do których należy nasza planeta - Ziemia, w kolejności od najmniejszej do największej.

, , ,

Droga Mleczna

Lokalna Grupa Galaktyk

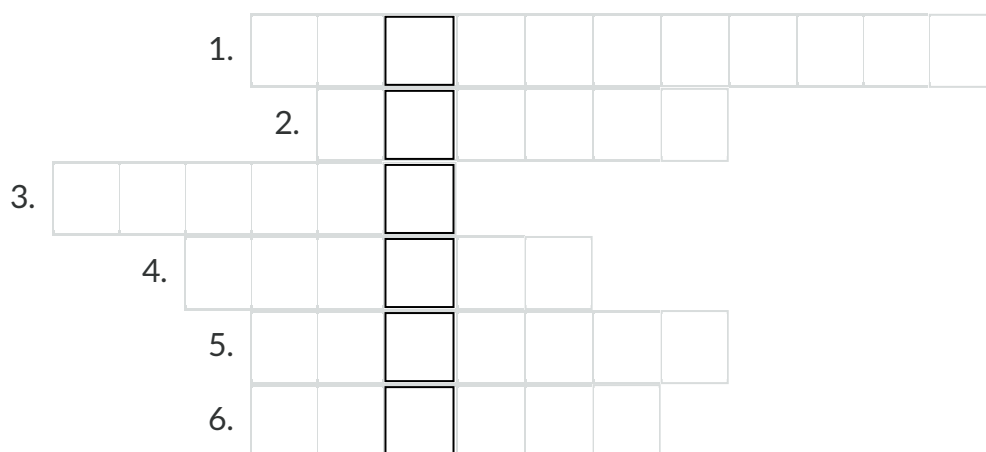
Lokalna Supergromada Galaktyk (lub Supergromada w Pannie)

Układ Słoneczny

Ćwiczenie 6



Rozwiąż krzyżówkę:



1. Wszystko, co nas otacza.
2. Ruch galaktyki spiralnej, o którym świadczą kształty jej ramion.
3. Najbliższa Ziemi gwiazda.
4. Większość masy każdej galaktyki stanowi ... materia.
5. Ciało niebieskie produkujące energię.
6. W centrum Drogi Mlecznej znajduje się ogromna ... dziura.

Ćwiczenie 7



Ilustracja przedstawia Drogę Mleczną z jej najbliższym otoczeniem. Wstaw podpisy we właściwe miejsca.



Galaktyka satelicka

Czarna dziura

Układ Słoneczny

Źródło: Nina McCurdy / Nick Risinger / NASA., domena publiczna.

Ćwiczenie 8



Sąsiednia galaktyka w Grupie Lokalnej, Galaktyka Andromedy, zbliża się do Drogi Mlecznej i za kilka miliardów lat dojdzie do zderzenia galaktyk. Wyjaśnij, jakie jest prawdopodobieństwo zderzeń poszczególnych gwiazd obu galaktyk.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Na czym polega hierarchiczna struktura Wszechświata?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, 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 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. 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: 1. opíše naszą Galaktykę – Droę Mleczną; 2. omówi struktury, w jakie łączą się galaktyki; 3. wyjaśni, czym są supergromady galaktyk i jak są rozmieszczone we Wszechświecie; 4. przeanalizuje związek struktur Wszechświata w największej skali z początkowym okresem życia Wszechświata; 5. porówna i oceni odległości we Wszechświecie.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obseryacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	monitor albo tablica interaktywna albo komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Jak powstał Wszechświat?”, „Co nazywamy Wielkim Wybuchem?”, „Co wiemy o ucieczce galaktyk?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie, zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Nauczyciel wyjaśnia, czym jest hierarchiczna struktura Wszechświata.	
Faza realizacyjna:	
Uczniowie odpowiadają, do jakiej większej struktury należy Ziemia, a następnie Układ Słoneczny. Uczniowie dzielą się swoimi wiadomościami o Drodze Mlecznej, a nauczyciel je uzupełnia. W szczególności, warto opowiedzieć o masywnej czarnej dziurze w centrum Galaktyki (można pokazać animację z e-materiału „Skąd wnioskować o obecności czarnych dziur?”, Rys. 3.) oraz o ciemnej materii zawartej w Galaktyce. Następnie nauczyciel wyjaśnia, czym są grupy i gromady galaktyk i opowiada o Grupie Lokalnej, do której należy Droga Mleczna. Podkreśla, że grupy i gromady galaktyk są związane grawitacyjnie, w przeciwieństwie do większych struktur, jakimi są supergromady galaktyk. Nauczyciel opowiada o Lokalnej Supergromadzie i wyświetla Rys. 2, który przedstawia Wszechświat w promieniu 1 miliarda (https://pl.wikipedia.org/wiki/Rok_%C5%9Bwietlny) lat świetlnych oraz pokazuje, w jakie struktury układają się supergromady galaktyk. Następnie nauczyciel przedstawia odległości we Wszechświecie, przeskalowane do rozmiarów bliższych naszej intuicji, zgodnie z podrozdziałem „Rozmiary Wszechświata”.	

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.