Ciemna materia w galaktykach

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film (standardowy)
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Źródło: dostępny w internecie: https://images.nasa.gov/details-GSFC_20171208_Archive_e002154 [dostęp 9.05.2022 r.], dostępny w internecie: https://esahubble.org/images/opo0501a/ [dostęp 15.05.2022 r.].

Czy to nie ciekawe?

To co widzimy na nocnym niebie, a nawet to co widzimy wokół siebie, zawdzięczamy promieniowaniu elektromagnetycznemu. Każde ciało albo wyświeca własną energię, albo w pewnym procencie odbija promieniowanie, które do tego ciała dociera. Ludzkie oko reaguje na to promieniowanie jedynie w niewielkim zakresie nazywanym widzialnym, ale przy pomocy różnych urządzeń potrafimy zarejestrować też promieniowanie na innych długościach fali. Czy to oznacza, że potrafimy dostrzec dokładnie wszystko? Czy istnieją we Wszechświecie obiekty, które ani nie emitują, ani nie odbijają promieniowania elektromagnetycznego? Wiele obserwacji wskazuje na to, że istnieją takie obiekty! Jak je dostrzec? Czym one są? O tym dowiesz się w tym e-materiale.

Twoje cele

- zrozumiesz zagadnienie ciemnej materii,
- poznasz definicję ciemnej materii,
- poznasz zachowania gwiazd w galaktykach świadczące o istnieniu niewidzialnej materii,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Rozwój technologii w XX wieku pozwolił naukowcom obserwować odległe obiekty, jakimi są galaktyki. To właśnie galaktyki skupiają w sobie wszystkie gwiazdy i znaną materię w innej, bardziej rozproszonej postaci. Pomiędzy galaktykami znajduje się prawie idealna próżnia. W przestrzeni międzygalaktycznej gęstość nie przekracza jednego atomu na metr sześcienny. Dla porównania, próżnia otrzymywana w laboratoriach na Ziemi jest tysiące razy gęstsza. Wieloletnie obserwacje gwiazd w galaktykach dostarczyły informacji sprzecznych ze znanymi prawami fizyki.

Rys. 1. Galaktyka spiralna M83 - zdjęcie ESO

Obserwując otaczający nas Wszechświat, czyli na przykład dobrze zbadany bliski Układ Słoneczny, zauważamy, że im dalej od Słońca, tym planety okrążają je wolniej. Dzięki prawu powszechnej grawitacji, które odkrył I. Newton, wiemy, że wszystkie ciała mające masę przyciągają się wzajemnie. Siłę wzajemnego przyciągania grawitacyjnego dwóch kulistych ciał o masach m i M, można wyrazić wzorem:

$$F = G\frac{mM}{r^2}$$

gdzie r oznacza odległość pomiędzy środkami tych ciał, G to stała grawitacji.

W ruchu jednostajnym po okręgu niezbędna jest siła dośrodkowa utrzymująca ciało na orbicie kołowej:

$$F_r = \frac{mv^2}{r}$$

gdzie m to masa ciała na orbicie, v to jego prędkość, a r jest promieniem orbity.

W przypadku ciał na orbitach kołowych, okrążających masywne ciało M, rolę siły dośrodkowej pełni siła grawitacji. Z przyrównania powyższych dwóch wzorów możemy wyznaczyć prędkość:

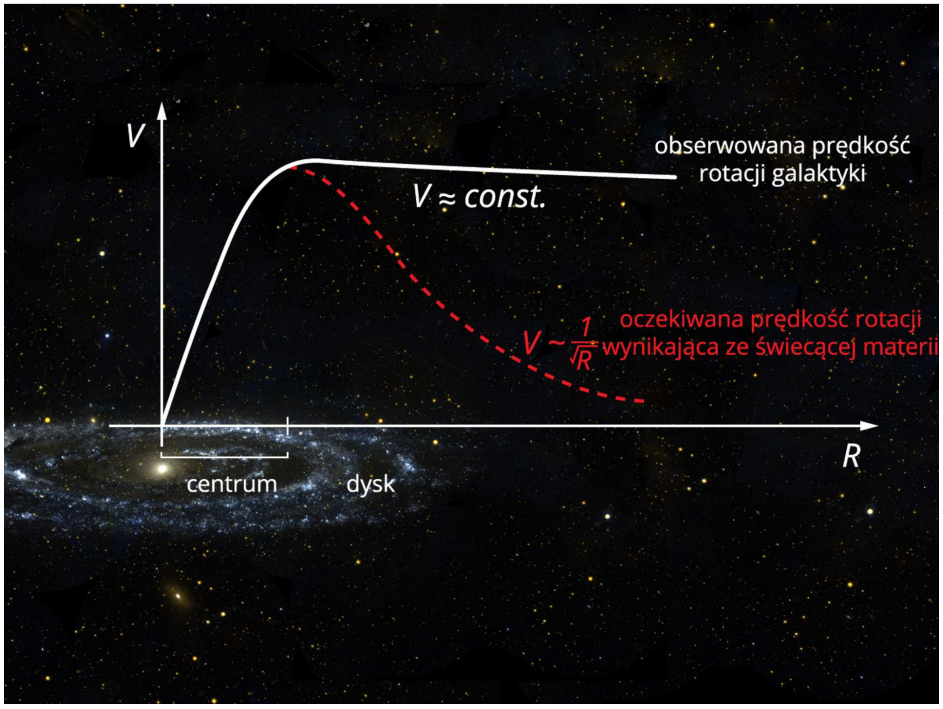
$$v = \sqrt{G\frac{M}{r}}$$

Z tej zależności wynika, że prędkość jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka z odległości. Zależność ta sprawdza się w przypadku materii świecącej i ciał zwartych takich jak planety, gwiazdy. Jednak galaktyki zachowują się nieco inaczej. Materia obserwowana bezpośrednio, czyli gwiazdy i obiekty odbijające światło i znajdujące się w dysku, powinny obracać się coraz wolniej wraz ze zwiększającą się odległością od centrum galaktyki.

Jednak tak nie jest! – W galaktykach prędkość materii nie spada wraz z odległością, tylko jest stała. Dlaczego? Czyżby w galaktykach nie obowiązywało prawo powszechnej grawitacji? A może stała grawitacyjna nie jest stała? Na chwilę obecną przyjmuje się, że w dysku galaktycznym znajdują się duże ilości ciemnej materii, a także że otacza ona całe galaktyki. Sprawia ona, że obiekty w dysku nie zachowują się tak, jak małe ciała okrążające masywne centrum.

Ciemna materia to hipotetyczna materia nie emitująca i nie odbijająca promieniowania elektromagnetycznego.

Przyjrzyjmy się Rys. 2. Widoczna na nim górna krzywa jest wynikiem obserwacji rotacji galaktyk. Szacowana na tej podstawie ilość ciemnej materii to 85%. Im dalej od centrum galaktyki, tym różnica pomiędzy obserwowaną a teoretyczną wartością prędkości zwiększa się. Zgodnie z prawami fizyki prędkość obiektów na orbitach galaktycznych, w dyskach galaktyk spiralnych, powinna spadać wraz z odległością od centrum galaktyki. Jednak pozostaje ona stała. Wieloletnie badania setek galaktyk wskazują, że obserwowana przez nas świecąca materia stanowi zaledwie 15% całej masy Wszechświata.



Rys. 2. Krzywa rotacji galaktyki - zależność wartości prędkości *v* obiektów od odległości *R* od środka galaktyki.

Ciemna materia to materia znajdująca się w przestrzeni międzygwiazdowej, która oddziałuje grawitacyjnie, ale nie jesteśmy w stanie jej zaobserwować bezpośrednio. Prawdopodobnie każda galaktyka znajduje się w niewidzialnej „bańce" ciemniej materii o promieniu znacznie większym niż promień danej galaktyki. Gdyby założyć, że istnieje jedynie materia, którą widzimy, to galaktyki bardzo szybko rozpadałyby się, ponieważ świecącej materii jest zbyt mało, aby utrzymać tak ogromną strukturę. Siły przyciągania grawitacyjnego istniejące pomiędzy obiektami obdarzonymi masą (biorąc pod uwagę tę widzialną jej część) są stanowczo za małe.

Prawdopodobnie ciemna materia jest pozostałością po Wielkim Wybuchu, czyli po początku powstawania Wszechświata. W pierwszych nanosekundach powstawania Wszechświata cząstki anihilowały. Zakłada się, że w pewnym momencie anihilacja zatrzymała się ze względu na zbyt duże odległości pomiędzy pierwotnymi cząsteczkami. Ciemna materia jest być może czymś w rodzaju „zamrożonych" w przestrzeni cząstek, które nie zdążyły zanihilować.

Należy pamiętać, że ciemna materia to coś zupełnie innego niż nieświecące obiekty, takie jak czarne dziury. Różnią się one składem oraz powstawaniem. Mimo to nadal tak do końca nie wiadomo, czym jest ciemna materia. W wielu instytutach cały czas podejmowane są próby stworzenia materii zachowującej się w ten sposób, ale ciągle próby te nie przynoszą efektów.

Słowniczek

anihilacja

(*ang.: anihilation*) oddziaływanie cząstki z odpowiadającą jej antycząstką, podczas którego cząstki te zostają zamienione w fotony. (z j. łac.: *annihilatio* – unicestwienie, od *nihil* – nic)

Film (standardowy)

Ciemna materia w galaktykach

Film przedstawia krótką pogadankę dr hab. Łukasza Wyrzykowskiego na temat początków Wszechświata oraz przykładowe dane obserwacyjne świadczące o istnieniu ciemnej materii.

Obejrzyj film i wykonaj polecenia.

Film dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D4heEBAER

Zapoznaj się z audiodeskrypcją filmu.

Polecenie 1

Uzupełnij tekst.

Ciemna materia to hipotetyczna [ ] znajdująca się w przestrzeni międzygwiazdowej, która nie emituje, ani nie odbija [ ]. Nie jesteśmy w stanie jej zaobserwować [ ], obserwujemy efekty [ ]. Szacuje się, że to [ ] materia stanowi przeważającą większość materii we Wszechświecie.

promieniowania elektromagnetycznego | świecąca | materia | ciemna | bezpośrednio | grawitacyjne

Polecenie 2

Na filmie przedstawiono przykładowe dane obserwacyjne świadczące o istnieniu ciemnej materii. Jakie obserwacje dostarczyły tych danych?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

W ruchu dwóch ciał wokół wspólnego środka masy jaka siła stanowi siłę dośrodkową?

- ◯ nie ma sił, które można ze sobą porównać
- ◯ grawitacji
- ◯ ciężkości
- ◯ sprężystości

Ćwiczenie 2

Czy ciemna materia ma masę?

TAK ☐ / NIE ☐

Ćwiczenie 3

Których z wymienionych niżej zjawisk nie można przypisać ciemnej materii?

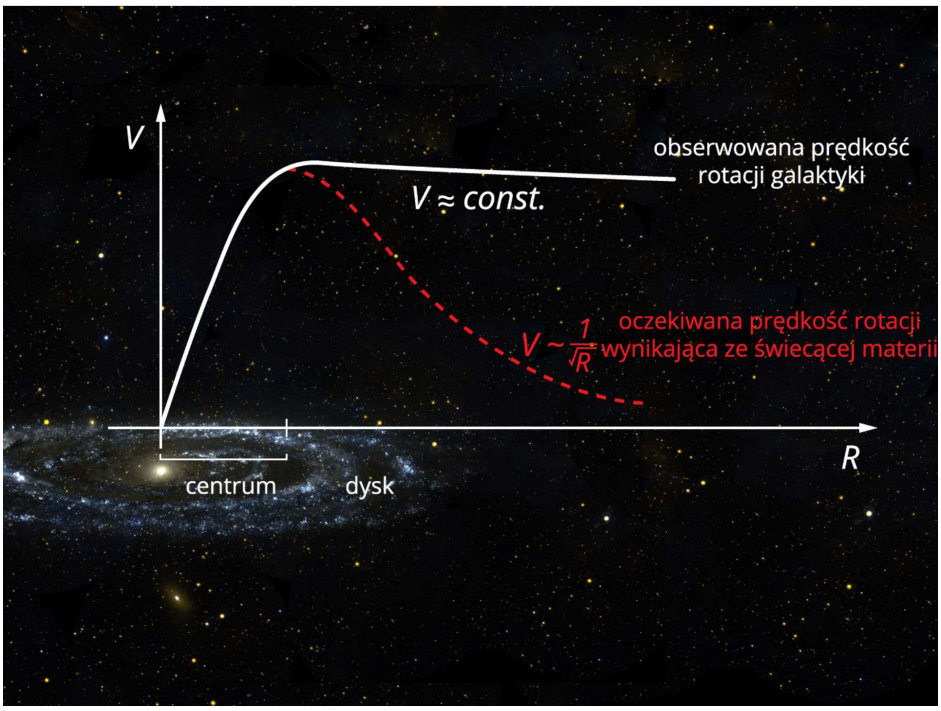
- [ ] obecności w galaktykach
- [ ] formowania galaktyki
- [ ] przyciągania gwiazd
- [ ] świecenia
- [ ] odbijania światła

Ćwiczenie 4

Czy możemy bezpośrednio zaobserwować ciemną materię?

- ( ) nie, to hipotetyczny twór, przy pomocy którego rozwiązuje się niewyjaśnione inaczej różnice pomiędzy obliczeniami a obserwacjami
- ( ) tak, ale tylko przy pomocy teleskopów kosmicznych
- ( ) nie, tylko pośrednio obserwuje się jej wpływ na otoczenie
- ( ) tak, ale używając specjalnych filtrów w teleskopach

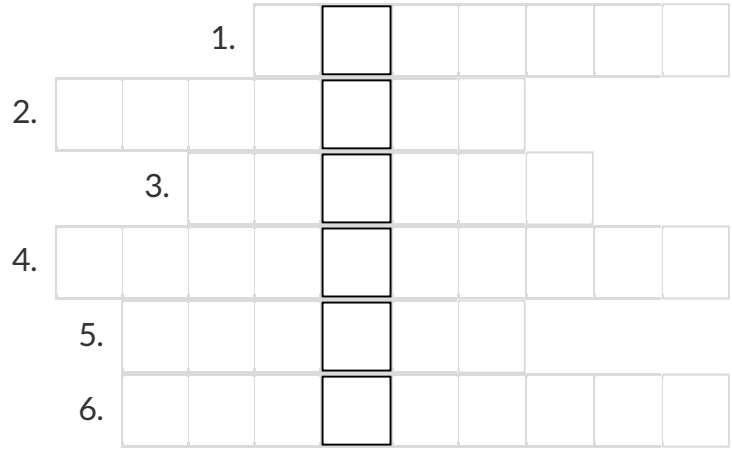
Ćwiczenie 5



Wykres przedstawia krzywą rotacji galaktyki - zależność wartości prędkości *v* obiektów od odległości *R* od środka galaktyki. Jak zmienia się wartość prędkości obiektów w galaktyce w miarę oddalania się od jej środka?

Ćwiczenie 6

Rozwiąż krzyżówkę.



1. Obrót, wirowanie
2. Ciemna ... nie świeci i nie odbija promieniowania elektromagnetycznego
3. Nazwisko astronoma, na którego cześć nazwano kosmiczny teleskop
4. Ciążenie powszechne
5. Twórca prawa powszechnego ciążenia
6. Skupisko gwiazd i materii międzygwiazdowej

Ćwiczenie 7

Najbliższa nam duża galaktyka spiralna to galaktyka Andromedy. Znajduje się ona około 2,5 mln lat świetlnych od nas. Średnica Drogi Mlecznej to około 150000 lat świetlnych, natomiast galaktyki Andromedy to około 220000 lat świetlnych - jest ona dwukrotnie większa od naszej Galaktyki. Skoro ciemna materia „zamyka galaktykę w bańce" zastanów się, czy galaktyka Andromedy i Droga Mleczna mogą mieć wspólną otoczkę z ciemnej materii.

Ćwiczenie 8

Przeczytaj fragment artykułu z czasopisma Urania.

Galaktyki karłowate to małe, słabe galaktyki, które zazwyczaj orbitują wokół większych galaktyk, takich jak nasza Droga Mleczna. Mogą też zawierać wskazówki, które pomogą nam lepiej zrozumieć naturę ciemnej materii.
Uważa się, że ciemna materia stanowi większość masy Wszechświata. Ponieważ jednak nie oddziałuje ze światłem w taki sam sposób, jak normalna materia, można ją zaobserwować jedynie poprzez jej efekty grawitacyjne. Kluczem do jej zbadania może być to, jak powstają gwiazdy w tych galaktykach.
Kiedy gwiazdy się tworzą, silne wiatry mogą wypchnąć gaz i pył z serca galaktyki.
W rezultacie centrum galaktyki ma mniejszą masę, co wpływa na ilość grawitacji odczuwanej przez pozostałą ciemną materię. Przy mniejszym przyciąganiu grawitacyjnym ciemna materia zyskuje energię i migruje z dala od centrum, efekt zwany "ogrzewaniem ciemnej materii".
Zespół astrofizyków zmierzył ilość ciemnej materii w centrach 16 galaktyk karłowatych z bardzo różnymi historiami powstawania gwiazd. Odkryli, że galaktyki, które dawno temu przestały tworzyć gwiazdy, miały wyższe gęstości ciemnej materii w swoich jądrach niż te, które dzisiaj tworzą gwiazdy. Potwierdza to teorię, że starsze galaktyki miały mniejsze ogrzewanie ciemnej materii.

Odpowiedz na pytanie: W jakich galaktykach - starszych czy młodszych - jest więcej ciemnej materii w jądrze?

starszych ☐ / młodszych ☐

Ćwiczenie 9

Szacuje się, że prędkość orbitalna Słońca wokół centrum Galaktyki wynosi około 250 $\frac{km}{s}$. Zakładając, że masa obiektu centralnego naszej Galaktyki wynosi 3,7 mln mas Słońca, a Słońce znajduje się 27000 lat świetlnych od tego centrum, oblicz wartość prędkości Słońca traktując siłę grawitacji jako siłę dośrodkową. Porównaj prędkość obserwowaną z wartością obliczoną. Podaj odpowiedź z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Niezbędne wartości:

Masa Słońca: $2 \cdot 10^{30}$ kg

Rok świetlny: 1 ly = $9{,}5 \cdot 10^{15}$ m

Stała grawitacji: G = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ $\frac{m^3}{kgs^2}$

Prędkość obliczona z prawa grawitacji jest około [ ] razy [ ]

niż prędkość obserwowana.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Monika Sitek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Czym jest ciemna materia?**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 18) przedstawia własnymi słowami główne tezy tekstu popularnonaukowego z dziedziny fizyki lub astronomii. 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. podaje definicję ciemnej materii. 2. określa obserwacyjne przesłanki za istnieniem ciemnej materii. 3. analizuje problem ciemnej materii w galaktykach.
Strategie nauczania:	kształcenie wyprzedzające / flipped-classroom/ projektowe
Metody nauczania:	samouczenie się
Formy zajęć:	- praca indywidualna, - praca w grupach.
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Uczniowie zapoznają się z całym e-materiałem w domu indywidualnie.	
Faza realizacyjna:	
Uczniowie po zapoznaniu się z tematem indywidualnie szukają w dostępnych źródłach – książki, internet – dodatkowych informacji o istnieniu ciemnej materii, przykładów ciemnej materii, metod badania ciemnej materii. Uczniowie pod okiem nauczyciela w grupach maksymalnie 4-osobowych przygotowują plakaty, prezentacje lub inne środki przekazu informacji, np. nagrywają teledysk z piosenką o ciemnej materii (do wyboru przez uczniów). Nauczyciel nadzoruje przebieg prac, pomaga uczniom, wyjaśnia problematyczne kwestie, naprowadza na odpowiednie rozwiązania.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie prezentują swoje „dzieła” innym klasom, rodzicom w trakcie Festiwalu Nauki lub podczas innego zorganizowanego dnia nauki w szkole.	
Praca domowa:	
W celu utrwalenia wiadomości o ciemnej materii uczniowie rozwiązują zadania z zestawu ćwiczeń tego e-materiału.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Uczniowie oglądają film samodzielnie. Ewentualnie film odtwarzany jest na lekcji w trakcie omawiania projektu.