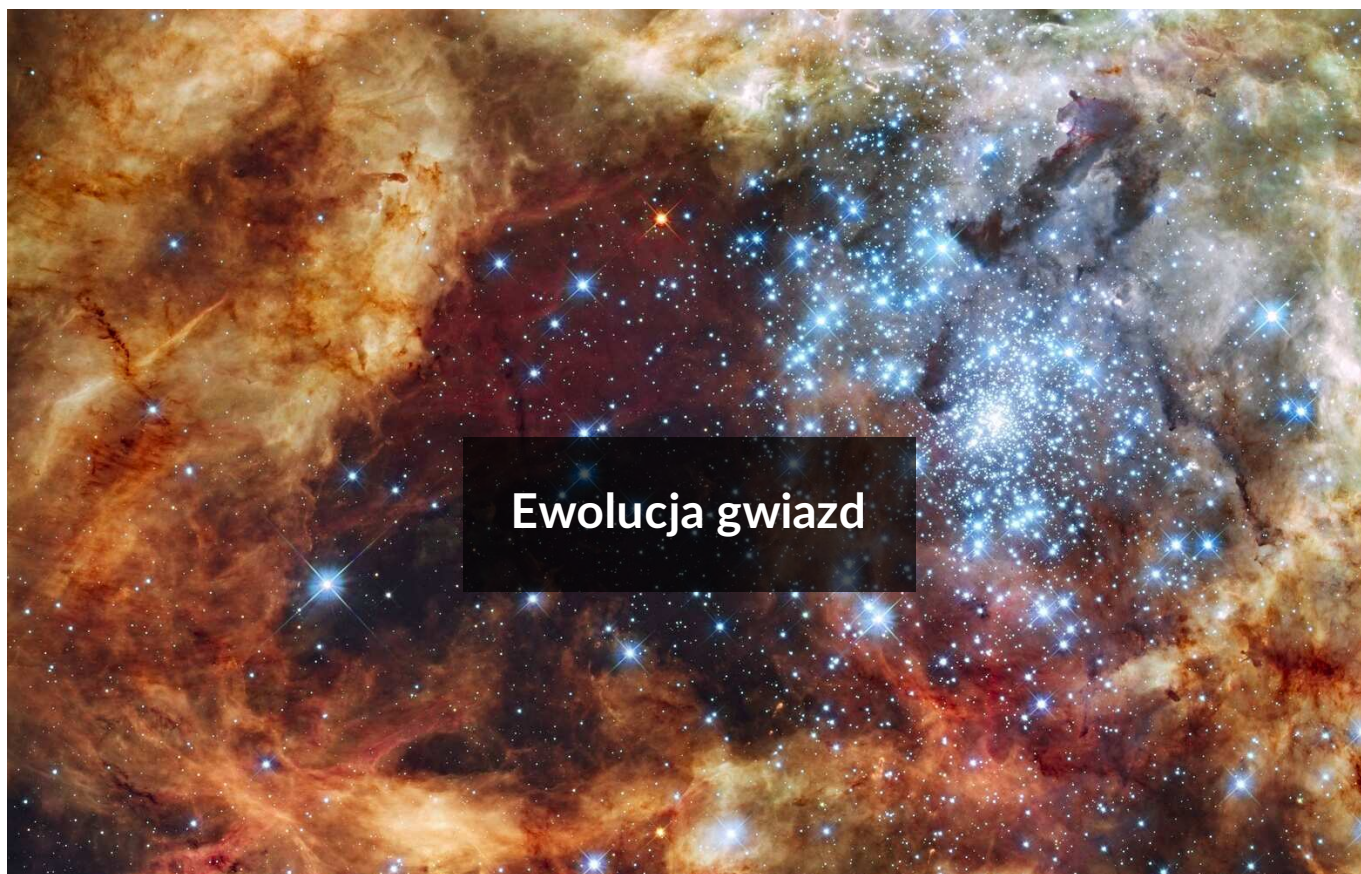




Ewolucja gwiazd

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

- Dla nauczyciela



Źródło: dostępny w internecie: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grand_star-forming_region_R136_in_NGC_2070_\(captured_by_the_Hubble_Space_Telescope\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grand_star-forming_region_R136_in_NGC_2070_(captured_by_the_Hubble_Space_Telescope).jpg) [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe ?

Wszystko wokół się zmienia, wszystko ma swój cykl życia. Kiedy się rodzimy, jesteśmy mali, zaczynamy przybierać na wadze i wzroście. Następnie wchodzimy w okres dorosłości, a na końcu – starości. Taki sam scenariusz, ale w innej skali czasowej, dotyczy wszystkich organizmów na Ziemi. Czy podobnie jest w kosmosie? Tak! Gwiazdy też mają swój cykl życia, ale w znacznie większej skali czasowej. W ciągu trwania ery nowoczesnej astronomii, kiedy mamy do dyspozycji ogromne teleskopy naziemne oraz teleskopy kosmiczne, nie zauważymy zmian ewolucyjnych wybranej gwiazdy. Jednak na niebie obserwujemy różnego rodzaju gwiazdy, w różnych fazach ich ewolucji. Dzięki prawom fizyki, które rządzą gwiazdami oraz komputerowym modelom ewolucyjnym, potrafimy opisywać cykl życia gwiazd. Jak bardzo zmieniają się gwiazdy w ciągu ich życia i od czego zależy długość tego cyklu, dowiesz się w tym e-materiale.

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

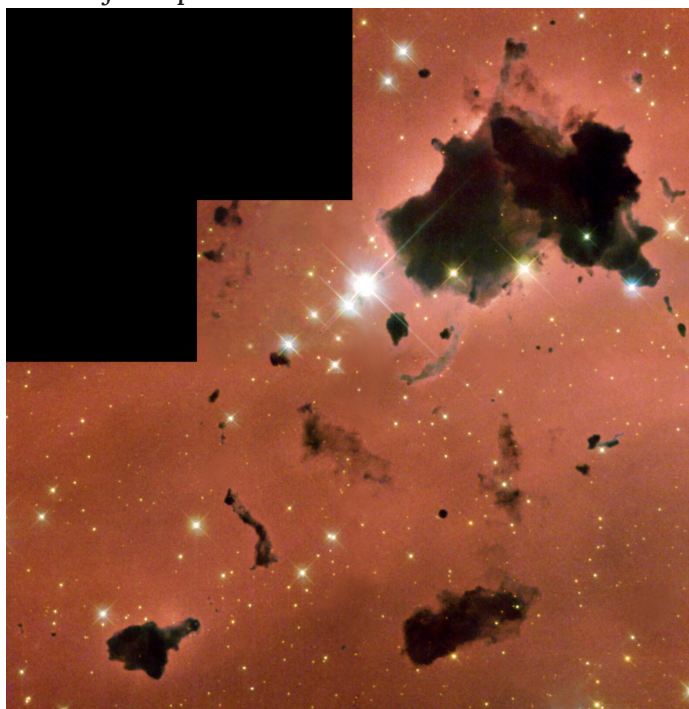
- poznasz cykl ewolucyjny gwiazd o różnych masach początkowych;
- opiszesz cykl ewolucyjny Słońca;
- wyjaśnisz, od czego zależy długość życia gwiazd.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Obserwując niebo możemy zobaczyć gwiazdy na różnych etapach swojej ewolucji: młode lub zbliżające się do jej końca. Ewolucja gwiazd to schemat zmian, jakie przechodzi gwiazda w ciągu całego swojego życia. Czas życia gwiazdy zależy od jej masy początkowej. Może trwać od kilku milionów, poprzez miliardy, do nawet bilionów lat.

Gwiazdy powstają z materii międzygwiazdowej, która formuje się w bardzo rzadkie obłoki (Rys. 1.). Większość tej materii to wodór i hel. Obłok taki, w wyniku fluktuacji gęstości, może zacząć się zapadać formując lokalne zagęszczenie – to jest początek tworzenia się gwiazdy. Proces ten może trwać nawet setki tysięcy lat. W tym czasie obłok staje się sferycznie obracającą się kulą o znacznej temperaturze.



Rys. 1. Mglawica Boka. Region obłoku molekularnego, w którym zachodzi proces tworzenia się gwiazd.

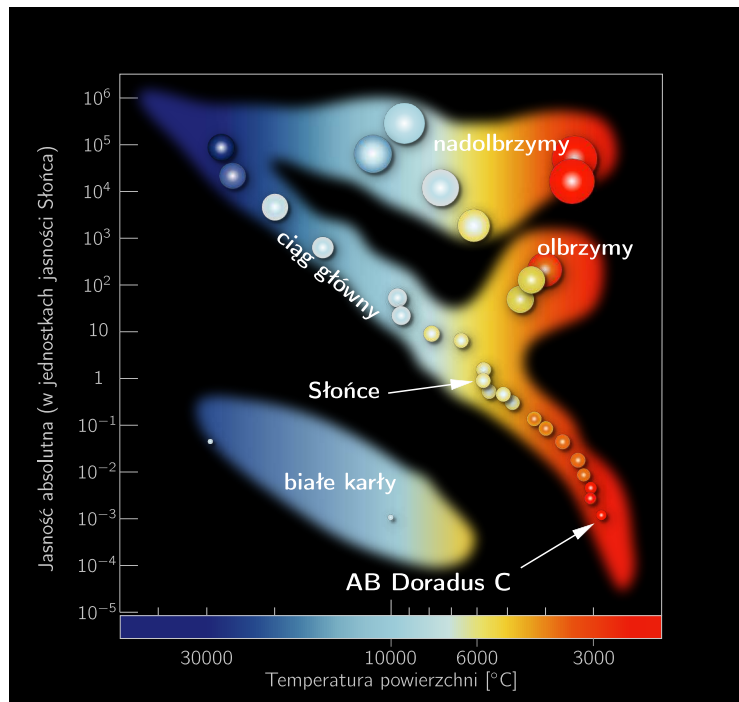
Źródło: dostępny w internecie: https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width/public/thumbnails/image/c100-1.jpg?itok=3Hh8yirg [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

Gdy protogwiazda jest wystarczająco gęsta, a jej temperatura sięga milionów kelwinów, w jądrze rozpoczynają się **procesy termojądrowe**. Jest to moment nazywany czasem zerowym, od którego liczy się wiek gwiazdy.

Jeżeli protogwiazda jest zbyt mała, to znaczy ma masę poniżej jednej dziesiątej masy Słońca, nie jest w stanie zapoczątkować przemian termojądrowych w jądrze. W takiej sytuacji nie stanie się gwiazdą, lecz brązowym karłem, który w ciągu milionów lat powoli wypromieniuje nagromadzoną energię i całkowicie zgaśnie.

Po rozpoczęciu swojego życia gwiazda znajduje się na tak zwanym **ciągu głównym**. Na tym etapie ewolucji spędza większość swojego życia, stopniowo rosnąc i zwiększając swoją jasność. Dalszy rozwój gwiazdy zależy od jej masy początkowej.

Rozkład obserwowanych gwiazd przedstawia się na diagramie Hertzsprunga-Russella (w skrócie: diagramie H-R), który jest zależnością jasności obiektu od jego temperatury (Rys. 2.). Ciąg główny rozciąga się od prawego dolnego rogu tego wykresu do lewego górnego rogu.

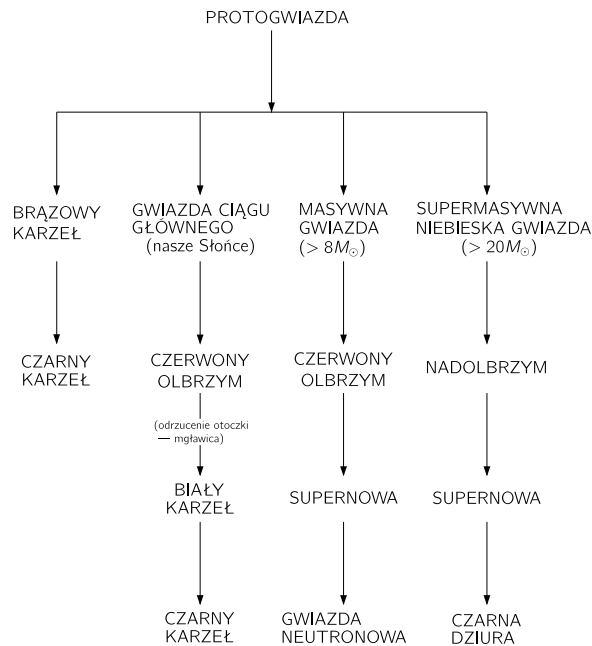


Rys. 2. Diagram Hertzsprunga-Russella (HR) przedstawiający rozkład gwiazd. Na osi poziomej znajduje się temperatura, a na osi pionowej - jasność gwiazdy odniesiona do jasności Słońca.

Źródło: dostępny w internecie: <https://cdn.eso.org/images/original/eso0728c.tif> [dostęp 12.06.2022], domena publiczna.

W dolnej części diagramu znajdują się białe karły (*ang.: white dwarfs*). W górnej jego części od ciągu głównego odchodzą dwa ramiona: gałąź olbrzymów (*ang.: giants*) i gałąź nadolbrzymów (*ang.: supergiants*).

Diagram H-R pomaga klasyfikować gwiazdy i opisywać modele ich ewolucji. Dzięki niemu można określić, na jakim etapie rozwoju jest obserwowana przez nas gwiazda.



Rys. 3. Schemat przedstawia kolejne etapy ewolucji gwiazd. Ścieżka rozwoju gwiazdy zależy od jej masy początkowej.

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

Tabela 1. Cykl ewolucyjny gwiazd.

Literami A, B i C oznaczono fazy protogwiazdy, zaś cyframi – właściwe etapy życia gwiazd.

etap	Zachodzące zjawisko
*	Utworzenie się mgławicy o masie 10^2 - 10^7 mas Słońca, która powoli dzieli się na mniejsze. Temperatura wynosi poniżej 100 K. Fragment mgławicy kurczy się, wiruje zwiększając prędkość obrotową. W centrum mgławicy wytwarza się nieprzezroczyste zagęszczenie. Centralny obiekt nagrzewa się do temperatury ponad 2000K i staje się protogwiazdą otoczoną przez resztę mgławicy.
A-B	Obiekt nadal się kurczy, świeci głównie w podczerwieni.
B	Pojawia się jądro, w którym występuje transport energii przez promieniowanie. Temperatura jądra rośnie, ale kurczenie się bardzo spowalnia.
C/1	Rozpoczynają się reakcje termojądrowe w jądrze gwiazdy. Moment ten nazywa się początkiem życia gwiazdy. Jest to tak zwany ciąg główny wieku zerowego.
1-2	Gwiazda na ciągu głównym – stopniowo wodór przereagowuje i w jądrze powstaje hel (jest więc tam coraz więcej helu, a coraz mniej wodoru). Rośnie temperatura oraz promień gwiazdy.
2-3	„Wypala” się ostatnie kilka procent wodoru pozostałego w jądrze. Gwiazda się kurczy, jasność nieznacznie spada. Helowe jądro otoczone jest wodorową otoczką.

3-4	W otoczce zaczynają zachodzić reakcje termojądrowe – wodór przemienia się w hel. Gwiazda staje się bardziej czerwona.
4-5	Helowe jądro rozgrzewa się, a wodorowa otoczka rozrzedza się.
5-6	Następuje tak zwany zapłon helu w jądrze – zaczynają zachodzić reakcje termojądrowe z udziałem helu, więc pierwiastka tego stopniowo ubywa. W otoczce nadal przebiegają reakcje termojądrowe wodoru.
6	Hel w jądrze przereagował i wytworzył węgiel oraz tlen. W otoczce jądra jest go natomiast coraz więcej, więc zaczynają się tam reakcje termojądrowe helu.
7	<i>Etap tylko małomasywnych gwiazd</i> → Temperatura w jądrze jest zbyt mała, aby następowały dalsze przemiany termojądrowe. Jądro zaczyna się kurczyć, a otoczka zostaje odrzucona – wytworzy się mgławica planetarna, a jądro staje się białym karłem.
8	<i>Etap tylko małomasywnych gwiazd</i> → Biały karzeł zaczyna stygnąć, ponieważ nie ma już paliwa jądrowego. Po całkowitym ustaniu świecenia stanie się czarnym karłem.
9	Temperatura jest wystarczająca do kolejnych przemian termojądrowych w jądrze. Następują kolejno przemiany w coraz cięższe pierwiastki, aż do żelaza (Fe). Ewolucja gwałtownie przyspiesza – przemiany w jądrze od neonu do żelaza mogą trwać zaledwie rok.
10	W jądrze skończyły się pierwiastki niezbędne do reakcji termojądrowych. Jądro w ułamku sekundy się kurczy, wydziela się ogromna energia, gwałtownie zachodzą reakcje termojądrowe wyższych otoczek. Zewnętrzne otoczki zostają odrzucone – następuje eksplozja supernowej. Pozostałe po wybuchu jądro staje się gwiazdą neutronową (z gwiazdy o średniej masie) lub czarną dziurą (z bardzo masywnej gwiazdy, o masie powyżej 20 mas Słońca).

Słońce jest stosunkowo młodą gwiazdą, znajdującą się na ciągu głównym i ma mniej więcej 4,6 miliarda lat. Kiedy w jego jądrze wodór ulegnie całkowitej przemianie w hel, stanie się czerwonym olbrzymem. Następnie hel przereaguje w jądrze, a gdy to paliwo również ulegnie wyczerpaniu, czerwony olbrzym odrzuci swoją otoczkę i pozostawi po sobie jedynie białego karła. Słońce stanie się czerwonym olbrzymem w wieku około 10 miliardów lat. Biały karzeł z czasem będzie świecił coraz słabiej, z powodu braku źródeł promieniowania w jego wnętrzu. Prawdopodobnie cały cykl życia Słońca będzie trwał około 11 miliardów lat.

Gwiazdy o masach poniżej 10 mas Słońca, określane jako małomasywne, kończą swoje życie jako białe karły, które powoli wytracają resztki energii i gdy przestają świecić, stają się czarnymi karłami. Są to gwiazdy, których cykl życia trwa najdłużej. Im masywniejsza gwiazda, tym szybciej ewoluuje.

Gwiazdy o masach początkowych z przedziału od 10 do około 20 mas Słońca kończą swoje życie wybuchem supernowej. W obłoku, który rozchodzi się w przestrzeni kosmicznej z dużą prędkością pozostaje zdegenerowane jądro gwiazdy nazywane gwiazdą neutronową. Gwiazda neutronowa, to obiekt o ogromnej gęstości – przy średnicy około 25 km ma masę dwóch Słońc. Oznacza to, że gęstość gwiazdy neutronowej wynosi miliardy ton na centymetr sześcienny.

Natomiast bardzo masywne gwiazdy, o masach początkowych znacznie większych niż 20 mas Słońca ewoluują najszybciej i kończą swój żywot wybuchem supernowej, pozostawiając po sobie czarną dziurę.

Słowniczek

ciąg główny

(*ang.: Main Sequence*) ukośnie biegnące pasmo na diagramie Hertzsprunga–Russella, skupiające gwiazdy (w tym Słońce), w których wnętrzach zachodzi przemiana wodoru w hel (karły).

reakcja termojądrowa

(*ang.: nuclear fusion*) inne nazwy: synteza jądrowa lub fuzja jądrowa – łączenie się lżejszych jąder atomowych w jedno cięższe. W jądrach gwiazd, w wyniku ciągu procesów, z czterech jąder wodoru powstaje jądro helu.

Animacja

Ewolucja gwiazd

Obejrzyj filmową animację omawiającą cykle życia gwiazd i na jej podstawie wykonaj polecenia zamieszczone poniżej.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DuwwP5y9Z>

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

Polecenie 1

Ewolucja gwiazd w liczbach.

Uzupełnij poniższe zdania wpisując odpowiednie liczby (używając cyfr arabskich i przecinka dziesiętnego).

Utworzony z obłoku materii wirujący dysk zawiera kulę o temperaturze około

stopni Celsjusza. Tak powstaje protogwiazda.

Najmniejsze gwiazdy mają masę rzędu mas Słońca, a największe są od niego około razy masywniejsze.

Na diagramie w animacji przedstawiono typy gwiazd, których ewolucja przebiega w sposób zależny od ich wielkości i masy. W typach gwiazd dochodzi do reakcji termojądrowej przemiany helu w węgiel.

Gwiazdy o masie mniejszej niż masy Słońca nigdy nie będą w stanie dokonać syntezy jader helu w cięższe pierwiastki.

Polecenie 2

Poniżej wymieniono końcowe etapy ewolucji gwiazd, w zależności od ich wielkości i masy. Uporządkuj je w takiej kolejności, by opisywały gwiazdy od najmniej do najbardziej masywnych.

Biały karzeł



Czarna dziura



Gwiazda neutronowa



Czerwony karzeł



Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Z jakich dwóch pierwiastków głównie składa się gwiazda na początku swojego powstania?

☐ tlen

☐ wodór

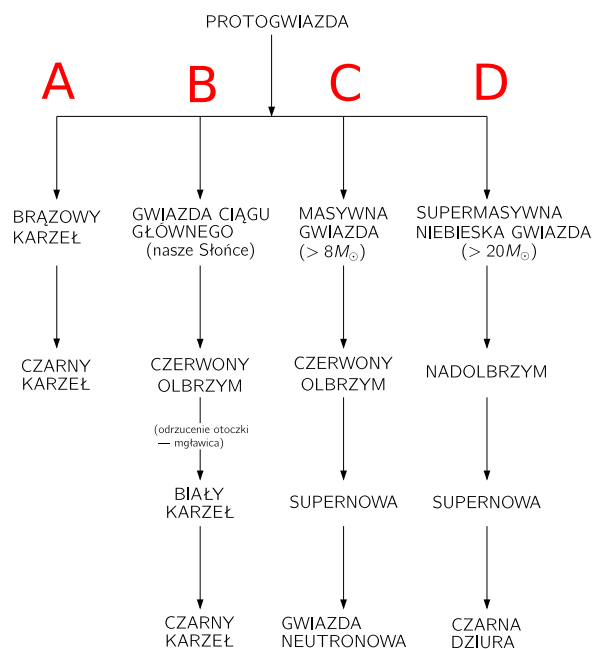
☐ hel

☐ żelazo

☐ krzem



Która ścieżka na poniższym schemacie odpowiada ewolucji gwiazdy o masie początkowej 12 razy większej od masy Słońca?



☐ B

☐ D

☐ A

Ćwiczenie 3



Jedną z najstarszych znanych gwiazd jest HD140283 znajdująca się w gwiazdozbiorze Wagi. Wchodzi ona obecnie w fazę czerwonego olbrzyma. Jej wiek szacuje się na porównywalny z wiekiem Wszechświata, który wynosi niespełna 14 miliardów lat. Skoro małowymasywne gwiazdy, które powstały na początku istnienia Wszechświata dopiero wchodzi w późne fazy swojej ewolucji, to czy mogą już istnieć czarne karty, które są pozostałością po tego typu gwiazdach?

TAK ☐\ NIE ☐

Ćwiczenie 4



Przeanalizuj tekst o gwiazdzie neutronowej i zaznacz poprawne uzupełnienia zdań.

W obłoku po ☐ wybuchu supernowej ☐ / ☐ odrzuceniu otoczki ☐ , który rozchodzi się w przestrzeni kosmicznej z dużą prędkością pozostaje zdegenerowane jądro gwiazdy nazywane gwiazdą neutronową. Gwiazda neutronowa to obiekt o ☐ bardzo małej ☐ / ☐ ogromnej ☐ gęstości - przy średnicy około 25 km ma masę ☐ jednej dziesiątej Słońca ☐ / ☐ dwóch Słońc ☐ . Oznacza to, że gęstość gwiazdy neutronowej wynosi miliardy ton na centymetr sześcienny.

Ćwiczenie 5



Zakładając, że cykl rozwoju naszego Słońca składa się z czterech faz zaznacz, w której fazie Słońce znajduje się teraz.

- ☐ biały karzeł
- ☐ czarny karzeł
- ☐ czerwony olbrzym
- ☐ gwiazda ciągu głównego

Ćwiczenie 6



Jaką masę musi mieć gwiazda na początku swojego życia, aby na końcu stać się czarną dziurą?

- ☐ 10 mas Słońca
- ☐ 25 mas Słońca
- ☐ 2 masy Słońca
- ☐ 12 mas Słońca

Ćwiczenie 7



Wyjaśnij, czym jest protogwiazda.

Ćwiczenie 8



Opisz ewolucję Słońca.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Monika Sitek
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	Jak wygląda cykl życia gwiazdy?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych. Zakres podstawowy 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. XI. Fizyka jądrowa. Uczeń: 12) opisuje elementy ewolucji gwiazd; omawia supernowe i czarne dziury. 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. XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń: 18) opisuje elementy ewolucji gwiazd; omawia supernowe i czarne dziury.

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. opisuje cykle ewolucyjne gwiazd o różnych masach początkowych; 2. opisuje cykl ewolucyjny Słońca i fazy rozwoju naszej gwiazdy macierzystej; 3. wymienia obiekty końcowe, jakimi stają się gwiazdy na końcu swojego życia; 4. wyjaśnia, od czego zależy długość życia gwiazd.
Strategie nauczania:	flipped classroom
Metody nauczania:	pogadanka, burza mózgów, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca wspólna
Środki dydaktyczne:	rzutnik i ekran
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Definicja i charakterystyka gwiazd”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Uczniowie w domu zapoznają się z całym e-materiałem – tekstem i multimediami. Lekcję należy połączyć z materiałem „Definicja i charakterystyka gwiazd” lub przeprowadzić po zapoznaniu uczniów z materiałem o charakterystyce gwiazd. Nauczyciel sprawdza, jak uczniowie wykonali pracę w domu: wyświetla diagram HR, a młodzież musi opisać, czym on jest, w którym miejscu diagramu występują poszczególne typy gwiazd. Uczniowie opisują, gdzie znajduje się Słońce i przez które fazy przejdzie w przyszłości.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wyświetla uczniom różne diagramy HR (ogólne) – dla gromady kulistej i dla gromady otwartej, a potem pyta uczniów, czym różnią się one od siebie. Uczniowie powinni podać typy gwiazd, jakie występują w każdej z gromad oraz zasadnicze różnice pomiędzy diagramem dla danej gromady i ogólnym diagramem HR, a także określić, jakim rodzajem gwiazd cechują się tego typu obiekty.

Nauczyciel w kilku zdaniach opowiada uczniom, czym są gromady gwiazdowe i dlaczego analiza gwiazd i ich rozkład na diagramie HR jest tak istotny w astronomii.

Faza podsumowująca:

Uczniowie, wspólnymi siłami, starają się odtworzyć na tablicy koło życia gwiazd, które widzieli w multimedium. Opisują każdy etap, utrwalając tym samym wiedzę na temat ewolucji gwiazd.

Praca domowa:

Zadania sprawdzające z tego e-materiału.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane na lekcji.