

Zastosowanie efektu Dopplera w astronomii

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



Zastosowanie efektu Dopplera w astronomii

Czy to nie ciekawe ?

Lampy neonowe są to rurki, zawierające gaz szlachetny, który pod wpływem napięcia elektrycznego zaczyna świecić. Emitowane przez nie światło ma jeden, określony kolor. Podobnie możemy określić „kolor” Słońca, jednak w jego przypadku, mówimy o całym zestawie barw – widmie światła. Badając takie widmo odległej gwiazdy, możemy przy pomocy efektu Dopplera dowiedzieć się, czy ta gwiazda zbliża się do Ziemi, czy oddala.

Twoje cele

- dowiesz się, czym są widma emisyjne i absorpcyjne,
- poznasz widmo emisyjne Słońca,
- zrozumiesz, na czym polega efekt Dopplera,
- zastosujesz efekt Dopplera do obliczenia prędkości gwiazd względem Ziemi.

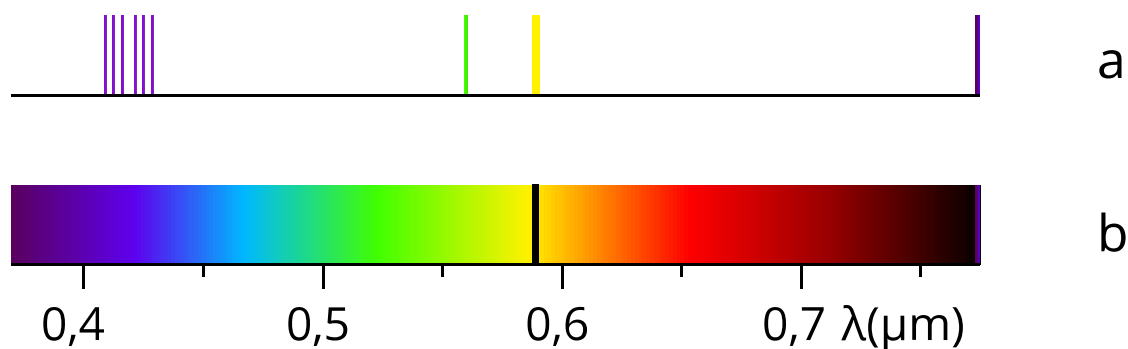
Przeczytaj

Warto przeczytać

Podstawowe znaczenie dla naszej wiedzy o Wszechświecie ma badanie widm świecących obiektów kosmicznych: gwiazd i ich układów – galaktyk.

Widma absorpcyjne gazów atomowych

Wiemy, że pobudzone do świecenia atomowe pary pierwiastka wysyłają promieniowanie o charakterystycznych długościach fali. W widmie par sodu obserwujemy silną linię żółtą (Rys. 1a.). Promieniowanie to łatwo zaobserwować, posypując solą palący się palnik gazowej kuchenki. Takie widmo nazywamy **widmem emisyjnym**.



Rys. 1. Linia żółta w widmie emisyjnym (a) i absorpcyjnym (b) sodu.

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

Jeżeli jednak przez rozrzedzone pary pierwiastka przechodzi światło białe o widmie ciągłym, te same długości fali zostaną pochłonięte, czyli zaabsorbowane. Na tle widma ciągłego pojawią się więc ciemne linie. Uproszczony schemat odpowiedniego doświadczenia przedstawia rysunek 2. Białe światło o widmie ciągłym z silnego źródła przechodzi przez płomień wielu palników, w których znajdują się pary sodu. Płomień palników świecą żółtym światłem.

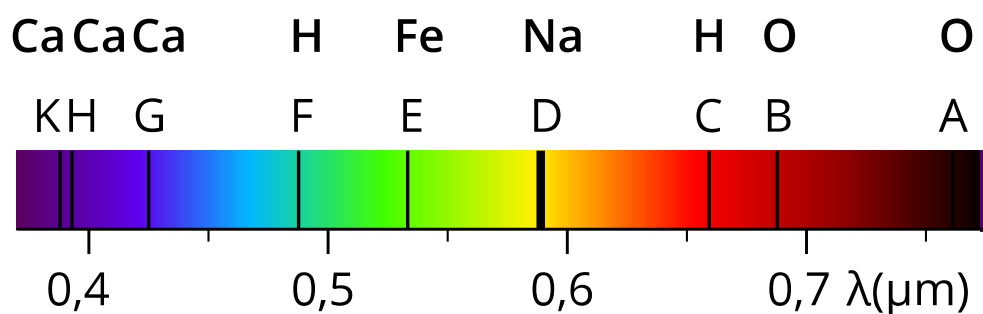


Rys. 2. Uproszczony schemat doświadczenia, w którym obserwujemy widmo absorpcyjne sodu.

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

Widmo światła, które przeszło przez płomień, przedstawia rysunek 1b. Na tle widma ciągłego pojawiła się czarna linia – w tym miejscu, w którym obserwowaliśmy jasną linię w widmie świecenia palnika, zabarwionego parami sodu (Rys. 1a).

Widmo Słońca i gwiazd



Rys. 3. Linie Fraunhofera w widmie absorpcyjnym światła pochodzącego ze Słońca.

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

Podobne zjawisko zachodzi na przykład na Słońcu. Wnętrze naszej gwiazdy wysyła światło o widmie ciągłym tak, jak rozgrzane włókno wolframowe tradycyjnej żarówki. Światło to przechodzi przez rozrzedzoną gorącą atmosferę, w której pierwiastki tworzące fotosferę Słońca znajdują się w stanie gazów atomowych. Tam właśnie pochłaniane są długości fali, odpowiadające pierwiastkom, wchodzącym w skład tej atmosfery. Na jasnym, ciągłym widmie Słońca widoczne są więc ciemne linie. Nazywamy je liniami Fraunhofera, od nazwiska ich odkrywcy. Schematyczny rysunek najsilniejszych z tych linii przedstawia rysunek 3. Zaznaczone zostały tradycyjne ich nazwy (A – K), a także pierwiastki, od których te linie pochodzą. Linia D jest linią sodu, o której mówiliśmy już wyżej.

Podobnie wyglądają widma innych gwiazd. Rysunek 4 przedstawia uproszczony obraz takiego widma. Linia sodu jest na niej dobrze widoczna.

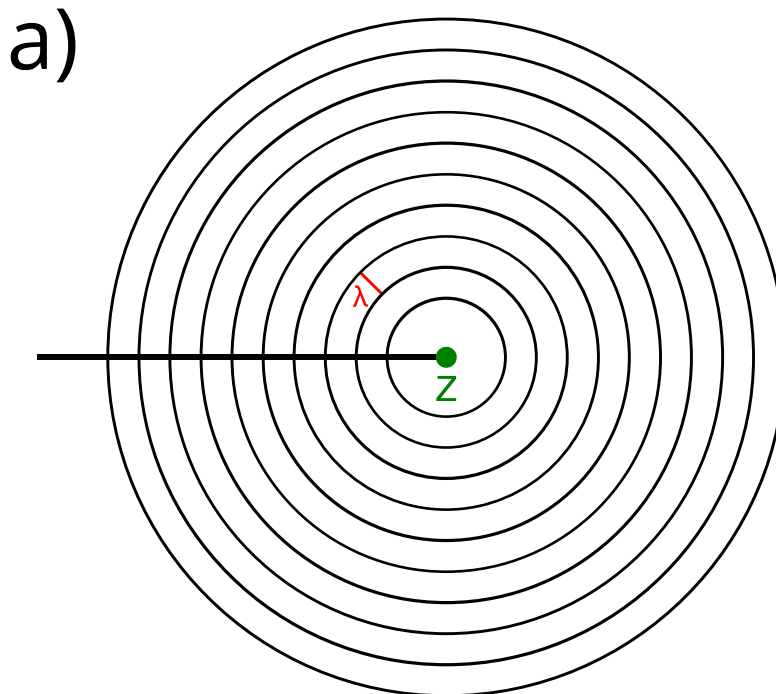


Rys. 4. Linia sodu widoczna w widmie gwiazdy.

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

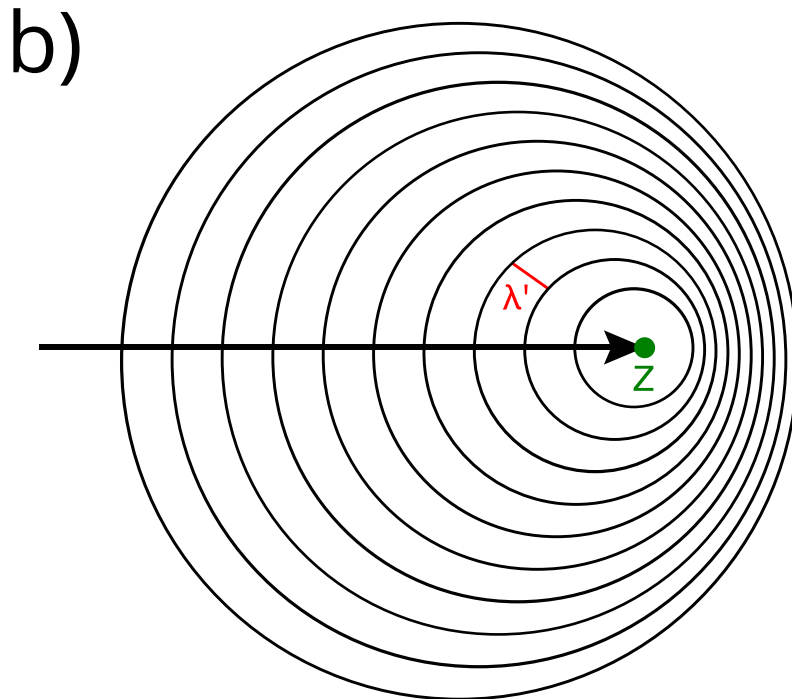
Efekt Dopplera dla fal elektromagnetycznych w próżni

Na Rysunku 5. przedstawiono **efekt Dopplera**. Są to fale na wodzie, wywołane przez źródło drgające ruchem harmonicznym.



Rys. 5a. Fale na wodzie, gdy źródło nie porusza się.

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

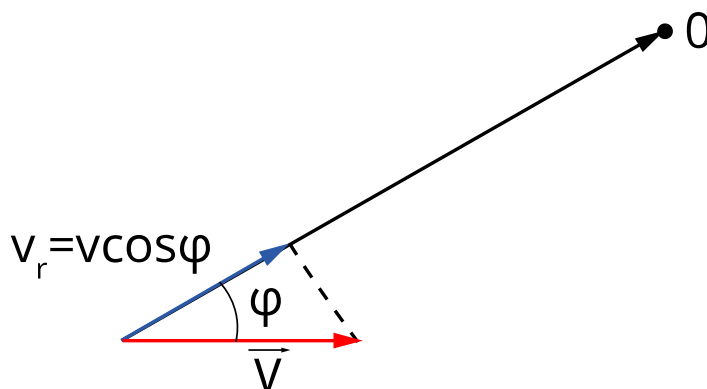


Rys. 5b. Fale na wodzie, gdy źródło porusza się tak, jak wskazuje strzałka.

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

Rysunek 5a. przedstawia falę, która powstaje, kiedy źródło się nie porusza. Grzbieity fal tworzą układ okręgów ze środkami w jednym punkcie, czyli w miejscu wzbudzającego falę źródła. Długość fali λ jest jednakowa dla wszystkich kierunków. Rysunek 5b. przedstawia falę, która powstaje, kiedy źródło porusza się ruchem jednostajnym w kierunku i ze zwrotem wskazanym strzałką. Grzbieity fal też tworzą układ okręgów. Tym razem jednak środki tych okręgów znajdują się w różnych punktach, co wynika właśnie z ruchu źródła wytwarzającego falę. Lokalna długość fali, czyli rejestrowana przez obserwatora odległość między grzbieitami tych fal, nie jest jednakowa dla wszystkich kierunków.

Zjawisko Dopplera zachodzi także dla fal elektromagnetycznych, w szczególności dla światła widzialnego.



Rys. 6

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

Z ruchem źródła związana jest zmiana obserwowanej długości fali. Zastanówmy się, jaką długość fali zaobserwujemy, gdy źródło będzie poruszać się z prędkością \vec{v} . Na Rysunku 6. przedstawiono sytuację, gdy prędkość poruszającego się źródła tworzy z odcinkiem łączącym punkt O, w którym jest obserwator i miejsce, w którym jest źródło, kąt φ . Wielkość $v_r = v \cos \varphi$, nazywana prędkością radialną, została oznaczona strzałką koloru turkusowego. W sytuacji przedstawionej na rysunku, dla obserwatora długości fali światła λ_φ skróci się o wartość drogi przebytej przez źródło w kierunku obserwatora w ciągu jednego okresu T , czyli o $v_r \cdot T$. A zatem:

$$\lambda_\varphi = \lambda - v_r T = \lambda - v_r \frac{\lambda}{c} = \lambda \left(1 - \frac{v_r}{c}\right) = \lambda \left(1 - \frac{v \cos \varphi}{c}\right)$$

(1)

Oznacza to, że o obserwowanej długości fali λ_φ decyduje rzut wektora prędkości na kierunek obserwacji.

Wyznaczanie prędkości gwiazd względem Ziemi

Za pomocą efektu Dopplera można wyznaczać prędkości świecących ciał niebieskich względem Ziemi.

1. Wyobraźmy sobie, że wyznaczyliśmy w laboratorium na Ziemi długość fali λ linii widmowej, wysyłanej przez nieruchome względem obserwatora źródło. Może to być na przykład żółta linia sodu Na.
2. Przypuśćmy teraz, że obserwowana gwiazda porusza się względem Ziemi z prędkością o wartości v_r (Rys. 6.). Załóżmy, że w jej widmie znajduje się znana linia absorpcyjna, na przykład linia sodu. Kiedy zmierzmy odpowiadającą jej długość fali λ_φ okaże się, że jest ona różna od λ (zgodnie z prawem Dopplera).

Znając długości fali λ oraz λ_φ można obliczyć wartość prędkości radialnej. Przekształcając równanie (1) dostajemy:

$$v_r = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

(2)

gdzie $\Delta \lambda$ jest różnicą między długością fali mierzonej w widmie gwiazdy, a wynikiem laboratoryjnym. Z tego, co powiedzieliśmy powyżej, wynika bardzo ważny wniosek: mierząc długości fali odpowiadające liniom widmowym świecących ciał niebieskich możemy wyznaczyć ich prędkości względem Ziemi. Względne prędkości radialne

najbliższych nam gwiazd w naszej galaktyce są rzędu kilkudziesięciu lub kilkuset kilometrów na sekundę.

Przykład liczbowy

Przypuśćmy, że źródło oddala się od obserwatora z prędkością $v = 300 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ (zauważ, że jest to bardzo duża prędkość). Jaką względną zmianę długości fali to wywoła?

Dokonując przekształcenia wzoru (2) otrzymujemy:

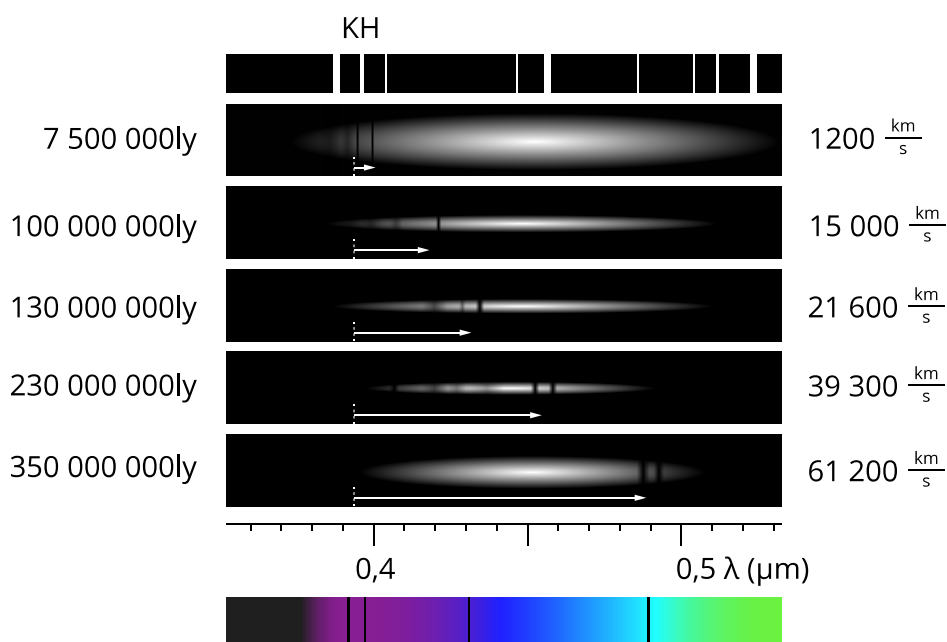
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c} = \frac{300}{300000} = 0,001$$

(3)

Wynika z tego, że aby wyznaczyć radialne prędkości gwiazd trzeba mierzyć długość fali z dużą dokładnością.

Odległe galaktyki

Duże zmiany długości fali obserwuje się w widmach odległych galaktyk. Trzeba sobie uzmysłowić, że widma takie są uśrednione po wszystkich gwiazdach, wchodzących w skład galaktyki. Niemniej udało się zaobserwować w nich linie absorpcyjne (odpowiedniki linii Fraunhofera), analogiczne do tych, które obserwuje się dla Słońca i innych gwiazd.



Rys. 7. Widma światła z odległych galaktyk.

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

Długość fali λ_φ odpowiedniej linii widmowej galaktyki nie jest identyczna z uzyskaną w ziemskim laboratorium λ , ale jest od niej większa. Przedstawia to zespół fotografii na

rysunku 7. Po lewej stronie podane są odległości od galaktyk w latach świetlnych ($1\text{ly} \approx 9,5$ bilionów kilometrów), po prawej prędkości radialne w $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Obserwowane zjawisko nazywamy zwyczajowo, niezbyt precyzyjnie, **przesunięciem ku czerwieni**. Powoduje ono zwiększenie długości fali, co w paśmie widzialnym fal elektromagnetycznych oznacza przesunięcie się linii w stronę koloru czerwonego. Istnieją jednak linie o długości fali niemożliwej do obserwacji dla ludzkiego oka, na przykład w podczerwieni. Zwiększenie ich długości fali powoduje odsunięcie się tych linii od koloru czerwonego, dlatego nazwa „przesunięcie ku czerwieni” może być myląca.

W przypadku odległych galaktyk efekt jest znaczny:

- „ziemska” linia jonów wapnia Ca^+ , oznaczona symbolem K w górnej części Rys. 7., ma długość fali $\lambda = 0,395 \mu\text{m}$ i leży na granicy fioletu i nadfioletu;
- przesunięta linia K na najniższej czarno-białej fotografii zamieszczonej na Rys. 7 ma długość fali $\lambda_{\varphi} = 0,484 \mu\text{m}$ i odpowiada barwie niebiesko-zielonej.

Oznacza to, że inne galaktyki oddalają się od naszej Drogi Mlecznej. Na Rysunku 7. możemy zauważyć, że wraz z wzrostem odległości galaktyki od nas jej prędkość radialna rośnie. Zaobserwowanie efektu Dopplera w widmach tych galaktyk było pierwszym dowodem na to, że Wszechświat się rozszerza.

Słowniczek

Efekt Dopplera

(*ang.: Doppler effect*) – zjawisko fizyczne polegające na zmniejszeniu lub zwiększeniu częstotliwości odbieranej fali, wynikające z wzajemnego ruchu źródła fali i obserwatora.

Widmo emisyjne

(*ang.: emission spectrum*) – rozłożony na poszczególne długości fal obraz promieniowania elektromagnetycznego wysyłanego przez ciało.

Widmo absorpcyjne

(*ang.: absorption spectrum*) – rozłożony na poszczególne długości fal obraz promieniowania elektromagnetycznego, które przeszło przez ośrodek absorbujący.

Przesunięcie ku czerwieni

(*ang.: redshift*) – zjawisko przesunięcia widm galaktyk lub gwiazd w kierunku większych długości fali.

Grafika interaktywna

Zastosowanie efektu Dopplera w astronomii

Grafika interaktywna przedstawia widma emisyjne atomu wodoru galaktyk o różnych prędkościach względem Drogi Mlecznej. Warto oglądać je po kolei, zaczynając od numeru 1, gdyż ułożone są w porządku wzrastającej odległości od Ziemi.

Źródło: Karol Basiaga, Michał Kurek, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Polecenie 1

Polecenie 2

Przy pomocy grafiki interaktywnej sprawdź, w jaki sposób zmienia się widmo emisyjne atomu wodoru wraz ze zmianą prędkości galaktyki, w której ten atom się znajduje.

Wnioski zapisz w formularzu.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Józef Ginter, Michał Kurek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Efekt Dopplera i jego zastosowanie
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:

14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;

15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.

IX. Fale i optyka. Uczeń:

4) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;

19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.

IX. Fale i optyka. Uczeń:

13) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: <ul style="list-style-type: none"> • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. zdefiniuje widma emisyjne i absorpcyjne; 2. opíše widmo emisyjne Słońca; 3. wyjaśni, na czym polega efekt Dopplera; 4. zastosuje efekt Dopplera do obliczenia prędkości gwiazd względem Ziemi.
Strategie nauczania	strategia eksperymentalno-obszewacyjna - dostrzeganie i definiowanie problemów oraz odkrywanie rzeczywistości poprzez eksperymenty
Metody nauczania	pogadanka, wykład informacyjny
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	projektor multimedialny
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Zastosowanie efektu Dopplera w astronomii”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie wiadomości na temat efektu Dopplera dla fal mechanicznych oraz pyta o jego przejawy i zastosowania w codziennym życiu (na przykład w diagnostyce medycznej, technice i wykorzystanie przez niektóre zwierzęta). Wspomina, że ten sam efekt występuje także dla fal elektromagnetycznych.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel zapoznaje uczniów z widmem emisyjnym i absorpcyjnym kilku pierwiastków oraz widmem Słońca. Następnie prosi uczniów o połączenie tych informacji z efektem Dopplera. Podaje wzór na długość fali światła obserwowanego λ_{cp} w czasie ruchu źródła. Wprowadza pojęcie prędkości radialnej i prosi uczniów o samodzielne wyznaczenie tej wielkości (wyprowadzenie wzoru (2) z części „Warto przeczytać”). Uczniowie zapoznają się z grafiką i wykonują polecenie tam zawarte.</p>	

Faza podsumowująca:

W ramach utrwalenia zdobytych wiadomości i zrozumienia efektu Dopplera uczniowie rozwiązują zadania 1, 3, 4 i 7 z zestawu ćwiczeń e-materiału.

Praca domowa:

W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości dotyczących zastosowania efektu Dopplera uczniowie rozwiązują zadania: 2, 5 i 8 z zestawu ćwiczeń .

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Z grafiką interaktywną uczniowie mogą zapoznać się w ramach pracy domowej.