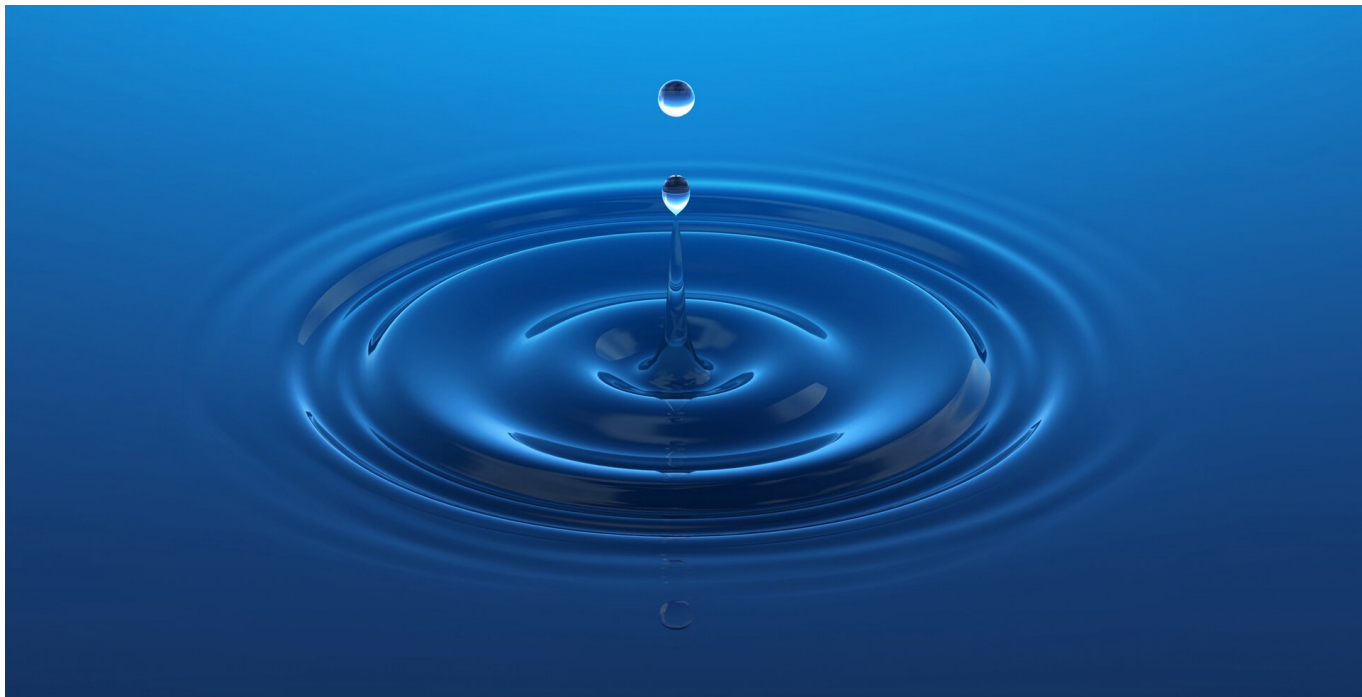




Kim był Christian Andreas Doppler?

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



## Kim był Christian Andreas Doppler?

### Czy to nie ciekawe?

Gwiazdy podwójne wzbudzały od zarania dziejów zainteresowanie astronomów. Zauważono, że niektóre minimalnie zmieniają swój kolor. Ale dopiero niecałe dwieście lat temu Christian Andreas Doppler podał prawo, które objaśnia takie zmiany kolorów gwiazd. Łączy ono częstotliwość odbieranej fali (barwę światła, wysokość dźwięku) ze względnym ruchem źródła fali i odbiornika.

Okazało się, że opisane przez niego zjawisko można wykorzystać nie tylko przy badaniu gwiazd podwójnych. Ma ono niezmiernie szerokie zastosowanie. Oto dwa przykłady: za pomocą efektu Dopplera dla fal elektromagnetycznych wykryto ekspansję Wszechświata; to samo zjawisko, odniesione do ultradźwięków, pozwala opisać przepływ krwi w żyłach i tętnicach, oraz wykryć zaburzenia tego przepływu.



Rys. a. Christian Andreas Doppler, 1803 – 1853, fizyk austriacki.

Kim był Doppler? Czym się zajmował? Czy miał bogatą karierę naukową, obfitującą w odkrycia z różnych dziedzin? A może odkrył i opisał „tylko” zjawisko Dopplera?

### **Twoje cele**

Praca z e-materiałem zapewni Ci, że:

- poznasz elementy życiorysu Dopplera oraz najważniejsze jego odkrycie,
- poznasz sposób, w jaki odkrycie Dopplera zyskało, po raz pierwszy, potwierdzenie eksperymentalne,
- wymienisz podstawowe właściwości układu podwójnego gwiazd,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz, na bazie efektu Dopplera, zmiany w przykładowym widmie optycznym gwiazdy z układu podwójnego,
- określisz masy gwiazd układu podwójnego na podstawie zmian w przykładowym widmie jednej z nich.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Austriacki uczony Christian Andreas Doppler urodził się w Salzburgu w 1803 roku. Jego ojciec Johann był kamieniarzem i marzył o tym, że syn pójdzie w jego ślady. Christian był jednak wątły i chorowity, więc szybko się okazało, że nie może kontynuować rodzinnych tradycji. W szkole powszechnej w Salzburgu, a potem w gimnazjum w Linzu, wykazywał natomiast talent do matematyki. Zauważył to jego nauczyciel, Simon Stampfer, i przekonał Christiana i jego rodzinę, że powinien rozwijać swe umiejętności na studiach wyższych.

Dzięki tym namowom, w 1822 r. Doppler rozpoczął studia w wiedeńskiej szkole politechnicznej i w 1825 r. uzyskał w niej dyplom. Uzyskane wykształcenie wydawało mu się jednak zbyt jednostronne, więc uzupełniał wiedzę, słuchając wykładów matematyki wyższej, mechaniki i astronomii na uniwersytecie w Wiedniu. W 1829 r. otrzymał tymczasową posadę asystenta w szkole politechnicznej. Wtedy napisał pierwsze prace z matematyki, dziś zupełnie zapomniane. Marnie płatna posada asystenta nie zadowalała Dopplera. Poszukiwał bezskutecznie bardziej odpowiedniego stanowiska w różnych szkołach i na uczelniach rozległego [imperium Habsburgów](#).

W 1833 r. jego zatrudnienie na asystenturze wygasło. W tym czasie dorabiał przez półtora roku jako księgowy w fabryce włókienniczej. W końcu, zupełnie zrezygnowany, postanowił wyemigrować do Ameryki, gdzie spodziewał się lepszego życia. Zaczął nawet wyprzedawać dobytek i załatwił formalności u amerykańskiego konsula w Monachium. W ostatniej chwili otrzymał dwie oferty pracy - jedną w Szwajcarii, a drugą w szkole technicznej w Pradze. Nie chcąc wyjeżdżać do innego kraju, Doppler przyjął tę drugą, choć nieco gorzej płatną posadę.



Rys. 1. Gmach Rektoratu Politechniki Czeskiej w Pradze, założonej w 1707 roku. Jest ona uznawana za najstarszą cywilną uczelnię techniczną na świecie.

Przyjechał do Pragi w marcu 1835 r. i rozpoczął najszcześniejszy i najbardziej twórczy okres swego życia. Zaraz ożenił się z młodzieńczą miłością, Mathilde Sturm z Salzburga, i miał z nią pięcioro dzieci. Po roku został zatrudniony jako wykładowca w wyższej szkole politechnicznej w Pradze i wkrótce otrzymał tam stanowisko profesora. Pracował bardzo ciężko, ponieważ miał kilkuset studentów, którym wykładał i których musiał egzaminować. Jego słabe zdrowie zaczęło się jeszcze pogarszać.

Właśnie w Pradze, na posiedzeniu Królewskiego Czeskiego Towarzystwa Naukowego w dniu 24 maja 1842 r. Doppler przedstawił swoją epokową pracę, która rok później została opublikowana w sprawozdaniach Towarzystwa. Dzięki wysuniętemu w niej pomysłowi wszedł na zawsze do historii nauki.



Rys. 2. Gmach obecnej Czeskiej Akademii Nauk w Pradze, od 1952 r. następczyni Królewskiego Czeskiego Towarzystwa Naukowego, powołanego w roku 1784.

W 1850 r. Doppler został profesorem fizyki na uniwersytecie w Wiedniu. Był już jednak wtedy poważnie chory na gruźlicę, która w tamtych czasach była groźną, przeważnie śmiertelną chorobą. Nie pomógł wyjazd do Włoch, na kurację w cieplejszym klimacie. Zmarł w marcu 1853 roku w Wenecji, pozostawiając żonę i dzieci.

## Słowniczek

**imperium Habsburgów**

(*ang.: Habsburg Empire*) - określenie odnoszące się do państw, których władcy pochodzili z dynastii Habsburgów.

## Kim był Christian Andreas Doppler?

Posłuchaj audiobooka traktującego o dokonaniach Christiana Andreasa Dopplera.

Audiobook można wysłuchać pod adresem: <https://zpe.gov.pl/b/P16EOCgL4>

---

# Kim był Christian Andreas Doppler?

Doppler pracował jako matematyk, ale miał szerokie zainteresowania i studiował wiele książek z fizyki i astronomii. Zaciekało go to, że gwiazdy mają niekiedy wyraźnie różne kolory. Były znane przypadki, że w układzie podwójnym jedna gwiazda miała kolor niebieskawy, a druga czerwony.

Rozmyślając nad możliwą przyczyną tego zjawiska Doppler wpadł na pomysł, że może barwa światła wysyłanego przez gwiazdę zależy od jej prędkości względem obserwatora. Znał już wtedy teorię falową światła i wiedział, że różnym jego barwom odpowiadają różne częstotliwości: największa - barwie fioletowej, a najmniejsza - czerwonej. W dniu 24 maja 1842 roku przedstawił w Królewskim Czeskim Towarzystwie Naukowym rozprawę, której tytuł w polskim tłumaczeniu brzmiał: *O barwnym świetle gwiazd podwójnych i innych gwiazd na niebie*. Przedstawił w tej pracy hipotezę, że gdy gwiazda zbliża się do nas częstość jej światła zwiększa się i widzimy ją jako bardziej niebieską. Gdy gwiazda się oddala - widzimy ją bardziej czerwoną.

Artykuł Dopplera przeczytał Christoph Buys-Ballot, świeżo upieczony doktor fizyki z Utrechtu w Holandii. Ze wzorów Dopplera wywnioskował, że jego hipotezę można sprawdzić doświadczalnie, wprowadzając nie dla światła, lecz dla fal głosowych, ponieważ budowane właśnie koleje mogą już osiągać wystarczająco dużą prędkość. Wpadł więc na genialnie prosty pomysł, że można przeprowadzić pomiary, zatrudniając zawodowych muzyków, którzy - obdarzeni słuchem absolutnym - mogą stanowić żywe i bardzo czułe instrumenty pomiarowe. Przekonał ministra spraw wewnętrznych oraz dyrektora kolei, aby umożliwili mu bezpłatne wykorzystywanie lokomotywy oraz odkrytej platformy wagonu. Ten prosty pociąg miał jeździć tam i z powrotem po torze linii kolejowej Utrecht-Maarsen, wzdłuż którego zorganizowano trzy punkty pomiarowe w odległości kilkuset metrów od siebie. Łącznie w eksperymencie brało

udział 14 muzyków. Muzycy na platformie jadącego pociągu mieli wygrywać na trąbce sygnałowej i trąbce wentylowej tony o różnej częstotliwości, a muzycy stojący przy torze – oceniać, o ile różna jest częstotliwość tonu słyszanego przy zbliżaniu się i oddalaniu pociągu.

Lokomotywa ówczesna mogła osiągać najwyżej prędkość 72 kilometrów na godzinę, ale zdwojony efekt uzyskiwano, kiedy pociąg mijał stojących przy torze muzyków. Wprawdzie prędkość dźwięku jest wielokrotnie większa, ale efekt zmiany częstotliwości był dostatecznie duży, by profesjonalni muzycy mogli go zauważyć i ocenić. Po wykonaniu prawie 150 pomiarów Buys-Ballot mógł stwierdzić, że wzory Dopplera są poprawne. Wyniki opisał w tymże roku w czołowym czasopiśmie fizycznym.

Rozważania Dopplera uściślił w 1848 roku francuski fizyk Armand Hippolyte Fizeau, który wskazał, że przy ruchu źródła światła względem obserwatora następuje przesunięcie linii widmowych proporcjonalne do prędkości tego ruchu. Mierząc zatem przesunięcie linii w stosunku do jej położenia gdy źródło i odbiornik są względem siebie w spoczynku, można wyznaczyć prędkość ruchu.

Skromny uczony austriacki nie podejrzewał, że odkryte przezeń zjawisko zrobi tak wielką karierę. Obserwacje przesunięć linii w widmie ciał niebieskich umożliwiły bardzo szczegółowe poznanie Wszechświata i odkrycie, że się on rozszerza. Zjawisko Dopplera jest dziś stale wykorzystywane także w życiu codziennym, np. w diagnostyce medycznej, hydrolokacji, nawigacji lotniczej i satelitarnej oraz – czego najbardziej nie lubią kierowcy – do wykrywania i karania tych, którzy jadąc z niedopuszczalnie dużą prędkością i tworząc zagrożenie na drogach, łamią przepisy o ruchu drogowym.

---

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

Zapoznaj się z poniższą opowieścią. Pokazuje ona, wraz z trzema poleceniami, że efekt Dopplera nie dotyczy wyłącznie fal. Jego odpowiednik jest możliwy do zaobserwowania – w odpowiednich warunkach – dla innych zjawisk okresowych.

“ *Szedł tedy, obóz i tabor skoro świt porzuciwszy, sam Miłościwy Pan na czele jazdy całej, komunikiem wprost ku polu bitwy. Tam hetman już artylerię i piechotę sprawował, do potyczki walnej z wrogiem się sposobiąc. Wysłał mu był król, ruszając, wiadomość gołębiem. Przyobiecał w niej, iż co godzinę dalsze wiadomości gołębiem wysyłać mu będzie, czy aby pochód jego opóźnienia jakiego nie doznał. Tak też czynił. Jazda, stępa idąc, cztery wiorsty w godzinę postępowała, obstacula żadne nie napotykała. Hetman gołębie*

*odbierał, a że 40 wiorst w godzinę przelatywały, mógł w czas bitwę rozpocząć. Ku której król naszedł w porę samą, a wroga z flanki prawej zaskoczywszy, tegoż osaczył i w pień niemal wyciął. Marszałka i trzech jenerałów znamienitych w niewolę pojmał, sztandarów rozlicznych nie licząc, które to do stolicy przywiezione, moc oręża polskiego sławiły.*

#### Polecenie 1

Król z jazdą przemieszczał się ze stałą prędkością  $\vec{v}_j$ , a gołębie były wypuszczane w regularnych odstępach czasu  $\Delta t_j$  i wszystkie leciały z jednakową, stałą prędkością  $\vec{v}_g$ . Wskaż najbardziej trafny opis odstępów czasu  $\Delta t_g$ , w których gołębie przylatywały do hetmana.

- ☐ Odstępy  $\Delta t_g$  są dłuższe od  $\Delta t_j$ .
- ☐ Odstępy  $\Delta t_g$  są krótsze od  $\Delta t_j$ .
- ☐ Odstępy  $\Delta t_g$  są takie same, jak  $\Delta t_j$ .

## Polecenie 2

Uzupełnij poniższe zdania, by opisywały one analogię pomiędzy opowiastką o królu, hetmanie i gołębiach, a zjawiskiem Dopplera.

### Król to odpowiednik

źródła fali zbliżającego się do odbiornika ☐

źródła fali w spoczynku ☐

źródła fali oddalającego się od odbiornika ☐

czoła fali ☐

powierzchni stałej fazy fali ☐

odbiornika fali zbliżającego się do źródła ☐

odbiornika fali w spoczynku ☐

odbiornika fali oddalającego się do źródła ☐ .

### Hetman to odpowiednik

źródła fali zbliżającego się do odbiornika ☐

źródła fali w spoczynku ☐

źródła fali oddalającego się od odbiornika ☐

czoła fali ☐

powierzchni stałej fazy fali ☐

odbiornika fali zbliżającego się do źródła ☐

odbiornika fali w spoczynku ☐

odbiornika fali oddalającego się do źródła ☐ .

### Każdy gołąb to odpowiednik

źródła fali zbliżającego się do odbiornika ☐

źródła fali w spoczynku ☐

źródła fali oddalającego się od odbiornika ☐

czoła fali ☐

powierzchni stałej fazy fali ☐

odbiornika fali zbliżającego się do źródła ☐

odbiornika fali w spoczynku ☐

odbiornika fali oddalającego się do źródła ☐ .

### Prędkość $v_j$ to odpowiednik

prędkości źródła ☐

prędkości odbiornika ☐

prędkości fali ☐

### zaś prędkość $v_g$ to odpowiednik

prędkości źródła ☐

prędkości odbiornika ☐

prędkości fali ☐ .

### Polecenie 3

Oblicz odstęp czasu  $\Delta t_g$  upływający pomiędzy przybyciem kolejnych gołębi do hetmana.  
Wyznaczona wielkość podaj minutach.

$\Delta t_g =$   minuty.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Wskaż uczelnie, do których mógł zwrócić się Christian Doppler, gdy "Poszukiwał bezskutecznie bardziej odpowiedniego stanowiska w różnych szkołach i na uczelniach rozległego imperium Habsburgów".

☐

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

☐

Uniwersytet Lwowski

☐

Monachijski Uniwersytet Techniczny

☐

Instytut Geometricum-Hydrotechnicum w Budapeszcie

☐

Uniwersytet w Wenecji

☐

Uniwersytet Karola w Pradze

☐

Politechnika w Zurychu

## Ćwiczenie 2



Rozstrzygnij, czy Christiana Dopplera uznaje się za odkrywcę gwiazd podwójnych.

Wpisz swoją odpowiedź, wraz z krótkim uzasadnieniem, w przygotowane pole.

Porównaj ją następnie z odpowiedzią wzorcową.

### Ćwiczenie 3



Zapoznaj się z nazwami różnych rodzajów gwiazd podwójnych oraz ich definicjami (opisami). Przyporządkuj definicje nazwom.

Układ akustycznie podwójny

Układ, w którym obserwuje się z Ziemi okresowe przestawianie się gwiazd. Taka obserwacja jest możliwa dzięki specyficznej orientacji płaszczyzny orbity gwiazd w stosunku do linii patrzenia obserwatora.

Układ spektroskopowo podwójny

Układ, w którym z Ziemi bezpośrednio obserwowana jest tylko jedna gwiazda. O obecności drugiej, niewidocznej gwiazdy, wnioskuje się pośrednio, rejestrując jej wpływ na okresowy ruch pierwszej. Taki wpływ może pochodzić od pola grawitacyjnego drugiej gwiazdy.

Układ podwójny astrometryczny

Układ, w którym prędkości orbitalne gwiazd wywołują możliwe do zaobserwowania z Ziemi przesunięcia linii (emisyjnych lub absorpcyjnych) w ich widmach. Okresowe przesuwanie się linii następuje ze względu na efekt Dopplera.

Układ podwójny zaćmieniowy

Nie istnieje taki rodzaj gwiazd podwójnych.

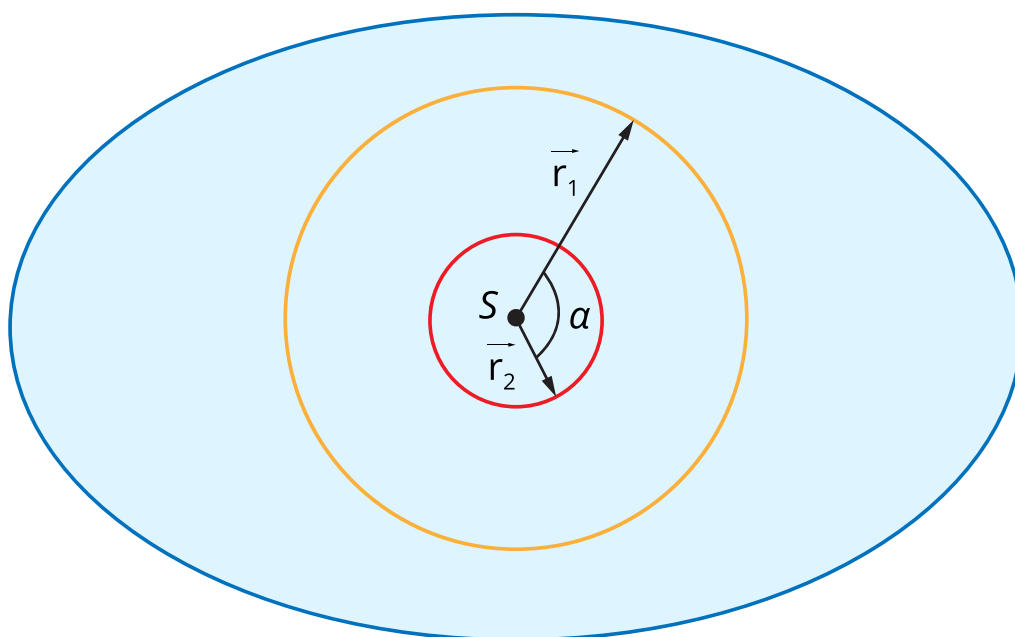
Układ wizualnie podwójny

Układ, w którym gwiazdy są wystarczająco daleko od siebie, by były widziane z Ziemi przez teleskop jako dwa oddzielne źródła światła.

## Ćwiczenie 4



Rozpatrujemy podwójny układ gwiazd. Obie krążą po kołowych orbitach, o różnych promieniach, wokół wspólnego środka masy (punkt  $S$ ). Na schemacie pokazano wektory położenia gwiazd  $\vec{r}_1$  i  $\vec{r}_2$ , które tworzą kąt  $\alpha$ . Każdemu opisowi wartości kąta  $\alpha$  przyporządkuj jeden z trzech symboli { K – konieczne / M – możliwe / N – niemożliwe }.



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

$\alpha = 0$

$\alpha = 90^\circ$

$\alpha = 180^\circ$

$\alpha = 90^\circ$  gdy masy gwiazd są jednakowe

$\alpha$  jest ostry (ale różny od zera), gdy  $m_1 > m_2$  a rozwarty (ale różny od kąta półpełnego) gdy  $m_1 < m_2$

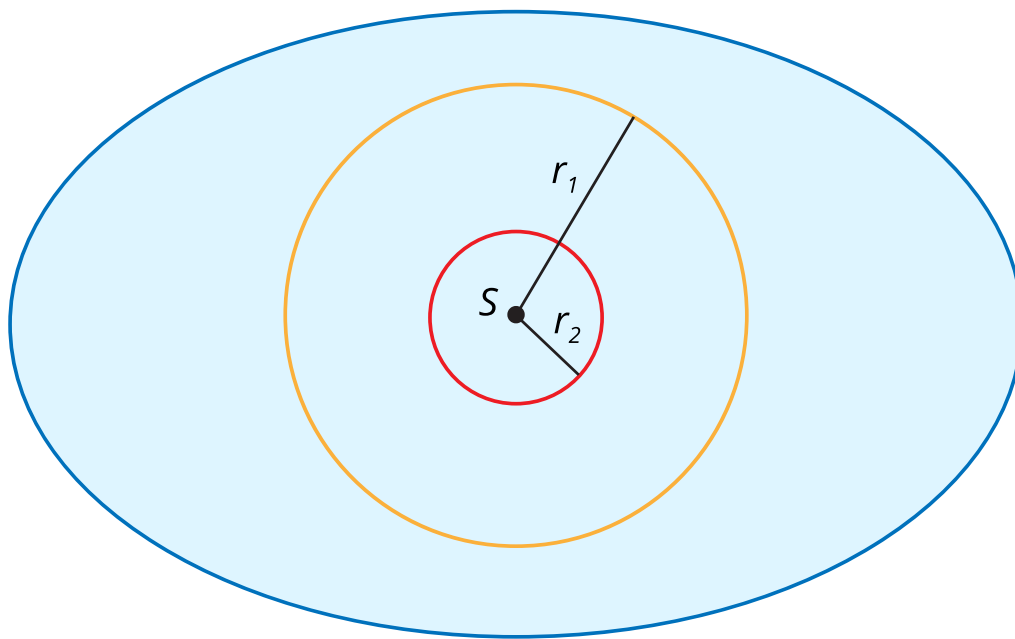
$\alpha = 90^\circ$  gdy długości wektorów położenia są jednakowe

$\alpha$  jest ostry (ale różny od zera), gdy  $r_1 > r_2$  a rozwarty (ale różny od kąta półpełnego) gdy  $r_1 < r_2$

## Ćwiczenie 5



Rozpatrujemy podwójny układ gwiazd. Jedna z nich krąży z prędkością  $v_1$  po orbicie kołowej o promieniu  $r_1$  wokół wspólnego środka masy (punkt  $S$ ). Druga gwiazda także krąży po orbicie kołowej, o promieniu  $r_2$ , o wspólnym środku z pierwszą, co pokazano na schemacie.



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

Na podstawie podanych informacji wskaż właściwe uzupełnienia czterech poniższych zdań:

Masa  $m_2$  drugiej gwiazdy jest w porównaniu z  $m_1$  ☐ większa ☐ / ☐ taka sama ☐ / ☐ mniejsza ☐ / ☐ nie można rozstrzygnąć ☐.

Promień  $R_2$  drugiej gwiazdy jest w porównaniu z  $R_1$  ☐ większy ☐ / ☐ taki sam ☐ / ☐ mniejszy ☐ / ☐ nie można rozstrzygnąć ☐.

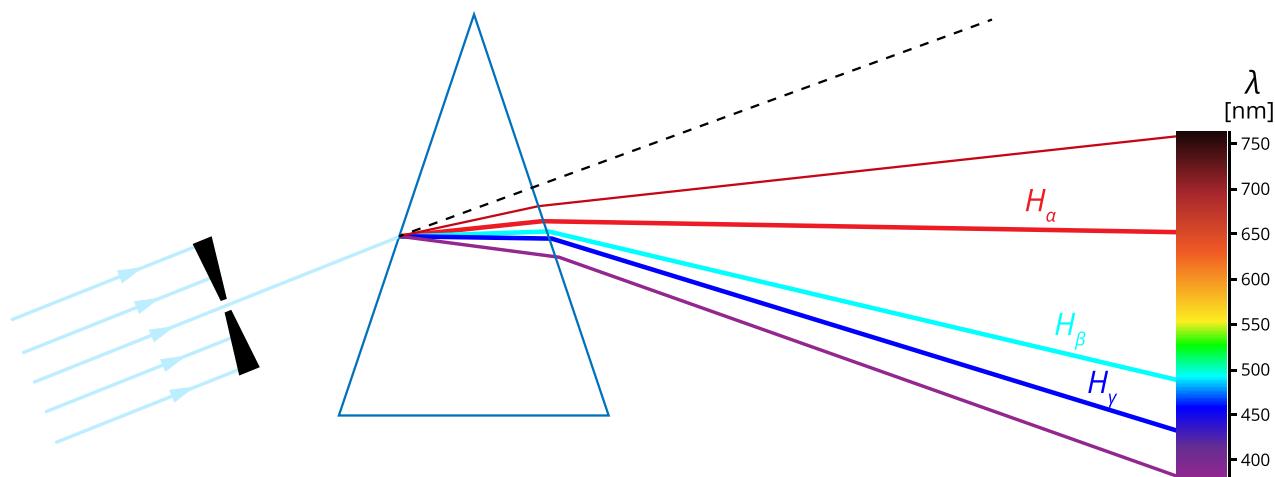
Temperatura powierzchni  $T_2$  drugiej gwiazdy jest w porównaniu z  $T_1$  ☐ większa ☐ / ☐ taka sama ☐ / ☐ mniejsza ☐ / ☐ nie można rozstrzygnąć ☐.

Prędkość orbitalna  $v_2$  drugiej gwiazdy jest w porównaniu z  $v_1$  ☐ większa ☐ /  
☐ taka sama ☐ / ☐ mniejsza ☐ / ☐ nie można rozstrzygnąć ☐.

### Wspólny tekst do ćwiczeń 6-10.

Atmosfera gwiazdy, gdy jest rozgrzana do temperatury rzędu 3-4 tysięcy kelwinów, emituje światło z całego zakresu widzialnej części widma fal elektromagnetycznych. Jest to widmo ciągłe – obecne są w nim fale o wszystkich częstotliwościach widzialnych. Zależnie od wielu czynników (m. in. skład chemiczny gwiazdy, budowa i rozkład temperatury poszczególnych części jej atmosfery) zauważamy wzmocnienie intensywności świecenia w niektórych częstotliwościach. Są to tzw. linie widmowe, charakterystyczne dla atomów określonych pierwiastków (także dla cząsteczek) świecących w atmosferze gwiazdy.

Na poniższym schemacie przedstawiono rozszczepienie w pryzmacie światła pochodzącego od hipotetycznej gwiazdy (Doppler nadałby jej zapewne imię Matylda). W gorącej atmosferze Matyldy znajduje się wyłącznie atomowy wodór. Na ekranie uzyskano ciągłe widmo widzialne, w zakresie długości fal od niecałych 400 nm (kraniec fioletowy) do nieco ponad 750 nm (kraniec czerwony).



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

Na tle widma ciągłego pokazane są trzy linie, charakterystyczne dla atomowego wodoru, znane od połowy XIX w.

## Ćwiczenie 6



Powyższy schemat pokazuje, w uproszczeniu, zasadę działania (wskaż właściwą nazwę przyrządu):

☐ dylatoskopu

☐ gonioskopu

☐ spektroskopu

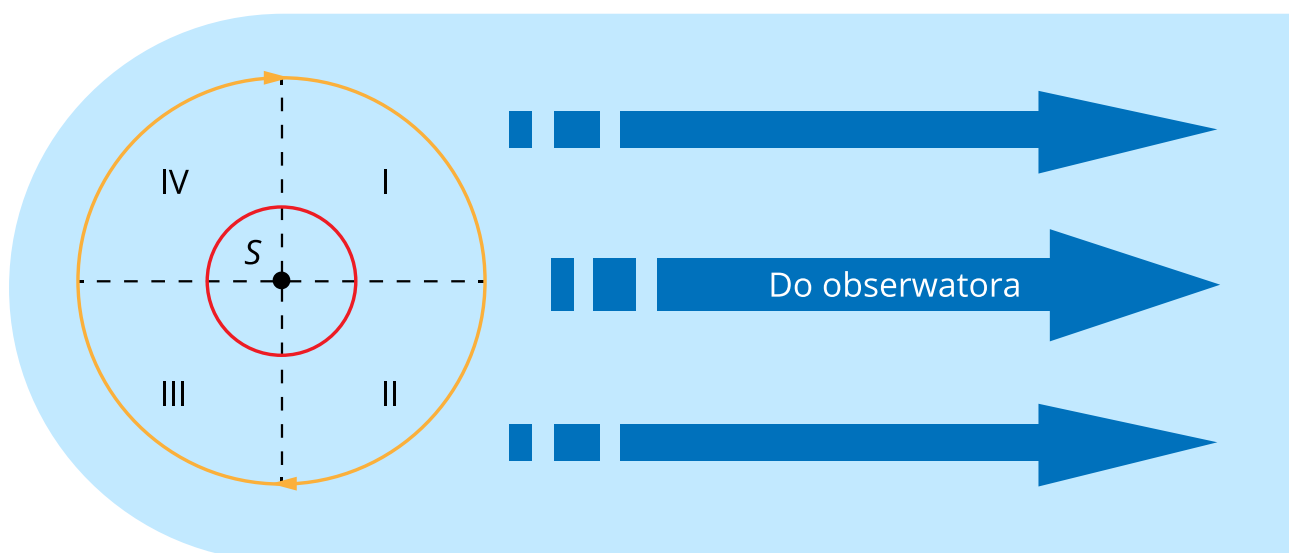
☐ astrometru

☐ goniometru

☐ refraktometru

☐ spektrometru

Gwiazda Matyllda jest składnikiem układu podwójnego. Płaszczyzna jej orbity zawiera w sobie kierunek obserwacji. Orbitę gwiazdy wokół środka masy S podzielono na cztery fazy, ponumerowane na schemacie cyframi rzymskimi.

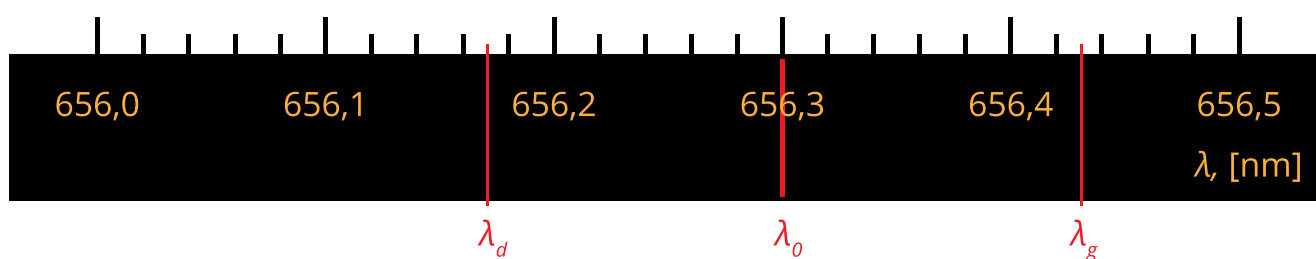


Regularna obserwacja linii  $H_\alpha$  pokazuje, że okresowo zmienia się jej długość fali. W tym cyklu wyróżniamy trzy wartości:

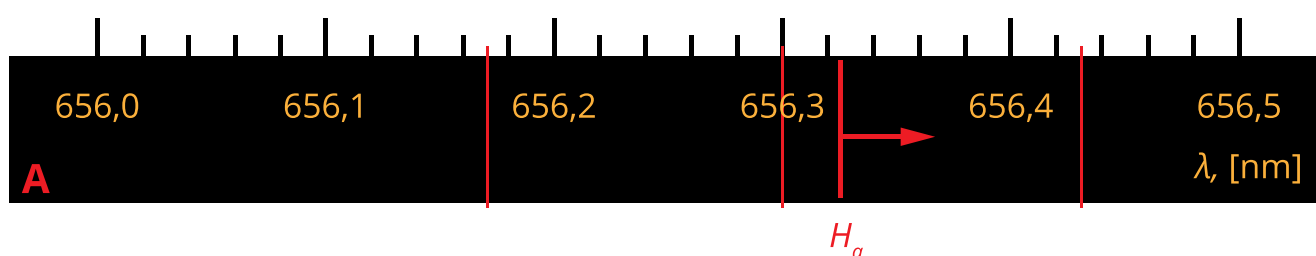
$\lambda_0 = 656,30 \text{ nm}$ ; jest to długość fali linii  $H_\alpha$  atomowego wodoru, którą obserwujemy w warunkach ziemskich.

$\lambda_g = 656,47 \text{ nm}$ ; największa długość fali linii  $H_\alpha$ , rejestrowana w tej obserwacji.

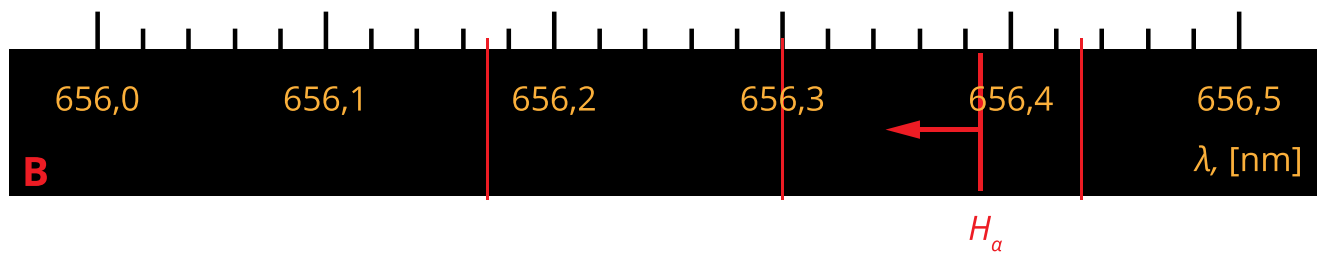
$\lambda_d = 656,17 \text{ nm}$ ; najmniejsza długość fali linii  $H_\alpha$ , rejestrowana w tej obserwacji.



Cykl zmian długości fali linii  $H_\alpha$  można podzielić na cztery fazy, oznaczane literami A, B, C i D. Zaczynając od wartości  $\lambda_0$  linia ta przemieszcza się najpierw w kierunku fal coraz dłuższych (faza A).

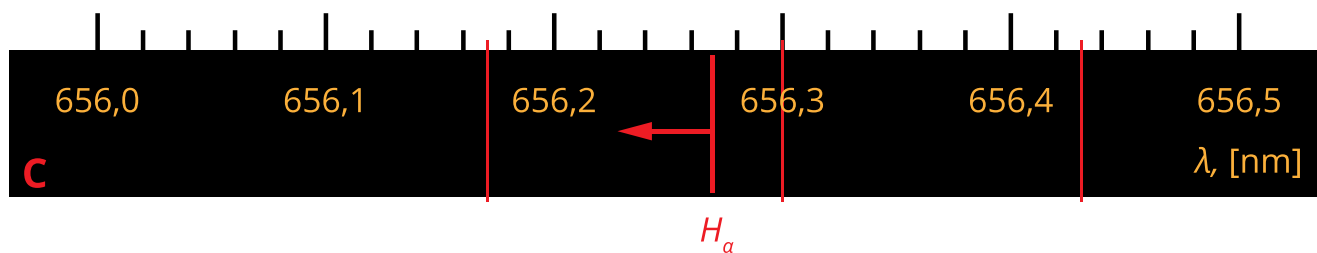


Po kilkunastu dniach długość fali światła tej linii osiąga największą wartość  $\lambda_g$ . Przez kolejne kilkanaście dni długość fali maleje (faza B), aż osiągnie wartość  $\lambda_0$ .



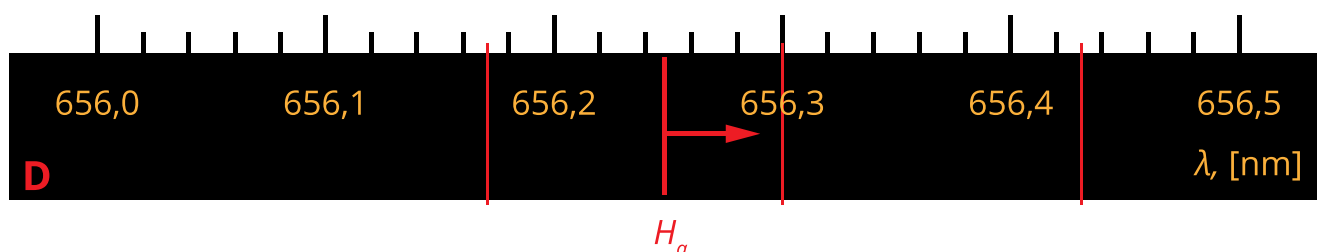
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Długość fali maleje przez kolejne kilkanaście dni (faza C), aż do osiągnięcia najkrótszej wartości  $\lambda_d$ .



Źródło: Maciej Mrowinski, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Cykl zamknie się po kolejnych kilkunastu dniach (faza D), gdy długość fali ponownie zrówna się z wartością  $\lambda_0$ .



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

## Ćwiczenie 7



Przyporządkuj poszczególnym fazom przesuwania się linii  $H_\alpha$  na ekranie spektrometru właściwe fazy ruchu orbitalnego gwiazdy Matyldy.

|   |     |
|---|-----|
| A | II  |
| B | I   |
| C | III |
| D | IV  |

## Ćwiczenie 8



Określ kierunek i zwrot oraz oblicz wartość prędkości gwiazdy Matyldy względem obserwatora w chwili, gdy wysyłane przez nią światło zawiera linię  $H_\alpha$  o długości fali  $\lambda_d$ . Opisz swoje rozumowanie i wpisz wyniki w przygotowane pole a następnie porównaj z odpowiedzią wzorcową.

## Ćwiczenie 9



Linia  $H_\alpha$  przesuwa się ku fioletowi maksymalnie o 0,13 nm. Zbadaj, czy maksymalne przesunięcie ku fioletowi linii  $H_\beta$  oraz  $H_\gamma$  jest takie samo, większe czy mniejsze. Opisz swoje rozumowanie i wpisz rozstrzygnięcie w przygotowane pole a następnie porównaj z odpowiedzią wzorcową.

## Ćwiczenie 10



Przyjmij, że dla drugiego składnika układu podwójnego można przeprowadzić analogiczne obserwacji i obliczenia. Znane są wówczas: okres obiegu  $T$  każdej z gwiazd wokół środka masy oraz prędkości liniowe  $v_1$  i  $v_2$  każdej z nich w jej ruchu po okręgu. Opisz postępowanie prowadzące ku porównaniu mas  $m_1$  i  $m_2$  składników układu oraz ku wyznaczeniu wartości tych mas. Wpisz swoją odpowiedź w przygotowane pole. Porównaj ją następnie z odpowiedzią wzorcową.

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz lekcji

|                                |                                                                                                          |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Imię i nazwisko autora:</b> | Andrzej Kajetan Wróblewski                                                                               |
|                                | Włodzimierz Natorf                                                                                       |
| <b>Przedmiot:</b>              | Fizyka                                                                                                   |
| <b>Temat zajęć:</b>            | <b>Gwiazdy podwójne – przykład wykorzystania zjawiska Dopplera</b>                                       |
| <b>Grupa docelowa:</b>         | III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony;<br>rozszerzenie zapisów podstawy programowej |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Podstawa programowa</b></p> | <p><b>Cele kształcenia - wymagania ogólne:</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>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;</p> <p>17) przedstawia wybrane informacje z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki;</p> <p>18) przedstawia własnymi słowami główne tezy tekstu popularnonaukowego z dziedziny fizyki lub astronomii;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>II. Mechanika. Uczeń:</p> <p>8) opisuje ruch jednostajny po okręgu, posługując się pojęciami: okresu, częstotliwości, prędkości liniowej oraz przemieszczenia kąтового, prędkości kątovej i przyspieszenia dośrodkowego wraz z ich jednostkami.</p> <p>III. Mechanika bryły sztywnej. Uczeń:</p> <p>1) wyznacza położenie środka masy układu ciał.</p> <p>X. Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>4) opisuje widmo światła białego jako mieszaniny fal elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach;</p> <p>13) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska.</p> <p>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:</p> <p>4) rozróżnia widma emisyjne i absorpcyjne gazów; interpretuje linie widmowe jako skutek przejść między poziomami energetycznymi w atomach z emisją lub absorpcją kwantu światła; rozróżnia stan podstawowy i stany wzbudzone atomu.</p> |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b> | <b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>                                                                                                                                                                                           |
| <b>Cele operacyjne:</b>                   | <p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. określa udział Christiana Dopplera w odkryciu gwiazd podwójnych,</li> <li>2. dokonuje klasyfikacji układów podwójnych gwiazd,</li> <li>3. określa parametry ruchu gwiazd w układzie podwójnym, w którym składniki poruszają się po orbitach kołowych,</li> <li>4. opisuje podstawy działania spektrometru,</li> <li>5. interpretuje okresowe przesunięcie dopplerowskie wybranej linii widmowej gwiazdy z układu podwójnego i oblicza jej prędkość orbitalną,</li> <li>6. przewiduje analogiczne przesunięcie innej linii widmowej.</li> </ol> |
| <b>Strategie nauczania</b>                | nauczanie hybrydowe połączone z ocenianiem kształtującym                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Metody nauczania</b>                   | rozwiązywanie zadań z kształtującą informacją zwrotną<br><i>Uwaga: podczas rozwiązywania zadań uczniowie powinni mieć możliwość korzystania z zasobów internetu i być zachęceni do tego.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Formy zajęć:</b>                       | wspólna praca całego zespołu klasowego                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Środki dydaktyczne:</b>                | szkolna tablica, komputer z rzutnikiem, dostęp do internetu dla uczniowskich tabletów albo telefonów                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Materiały pomocnicze:</b>              | niniejszy e-materiał; e-materiały: „Na czym polega efekt Dopplera?”, „Zastosowanie efektu Dopplera w astronomii”, „Jak opisać ruch jednostajny po okręgu?”, „Jak wyznaczyć położenie środka masy układu ciał?”, „Powstawanie widm emisyjnych na przykładzie atomu wodoru”                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>PRZEBIEG LEKCJI</b>                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Faza wprowadzająca:</b>                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Uczniowie na poprzedniej lekcji (poprzednich lekcjach) zapoznają się ze zjawiskiem Dopplera i z podstawowymi jego zastosowaniami w astronomii. Może temu posłużyć samodzielna praca z e-materiałami „Na czym polega efekt Dopplera?” oraz „Zastosowanie efektu Dopplera w astronomii”.

Nauczyciel zapowiada temat lekcji i prosi uczniów o samodzielne wykonanie ćwiczeń 2. i 3. Uczniowie wyszukują w internecie niezbędne informacje o odkryciu i klasyfikacji gwiazd podwójnych i prezentują efekty swych poszukiwań.

#### **Faza realizacyjna:**

- Etap I.

Uczniowie rozwiązują zadania 4. i 5., posilając się w razie potrzeby odpowiednimi e-materiałami. Na podstawie proponowanych rozwiązań i komentarzy uczniów, nauczyciel spisuje na tablicy podstawowe fizyczne właściwości układu podwójnego gwiazd, w przybliżeniu orbit kołowych. Zwraca uwagę uczniów na położenie gwiazd względem środka masy, na jednakowy okres obiegu, na różne promienie orbit i prędkości liniowe.

Przejdzie do etapu II lekcji następuje poprzez pytanie nauczyciela o wizualne skutki takiego obiegowego ruchu z punktu widzenia astronoma obserwującego układ.

- Etap II.

Uczniowie rozwiązują zadania 6.–8. Nauczyciel, w razie potrzeby, udziela uczniom niezbędnych informacji o działaniu spektrometru, o emisji światła przez atomy, oraz o liniach widmowych. Uzyskiwane wyniki nauczyciel zapisuje na tablicy.

#### **Faza podsumowująca:**

Nauczyciel zwraca uwagę uczniów, że analogiczne obserwacje pozwalają na wyznaczenie prędkości liniowej drugiego składnika układu. Zapowiada uczniom, że jedynie na podstawie znajomości prędkości liniowych obu składników oraz okresu ich obiegu można wyznaczyć masę każdego ze składników **w przypadku orbit kołowych**. Zachęca uczniów w ostatnich minutach lekcji do poszukiwania drogi dojścia do tego wyniku.

#### **Praca domowa:**

Nauczyciel zaleca uczniom rozwiązanie zad. 9., co służy utrwaleniu umiejętności analizy zmian położenia linii widmowej wskutek ruchu obiegowego źródła.

Uczniowie zapoznają się życiem i dokonaniem Christiana Dopplera, opisanymi w e-materiale.

Nieobowiązkowo uczniowie rozwiązują zadanie 10. w celu przekonania się, że można wyznaczyć masy gwiazd w układzie podwójnym jedynie na podstawie okresu i prędkości obiegu.

|                                                                                                 |                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Wskazówki<br/>metodyczne<br/>opisujące różne<br/>zastosowania<br/>danego<br/>multimedium</b> | Notkę biograficzną i/lub audiobook wraz z poleceniami można wykorzystać jako kilkuminutowy wstęp (zainteresowanie tematem) do lekcji o zjawisku Dopplera. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|