

## Badanie obrazu powstającego w soczewkach

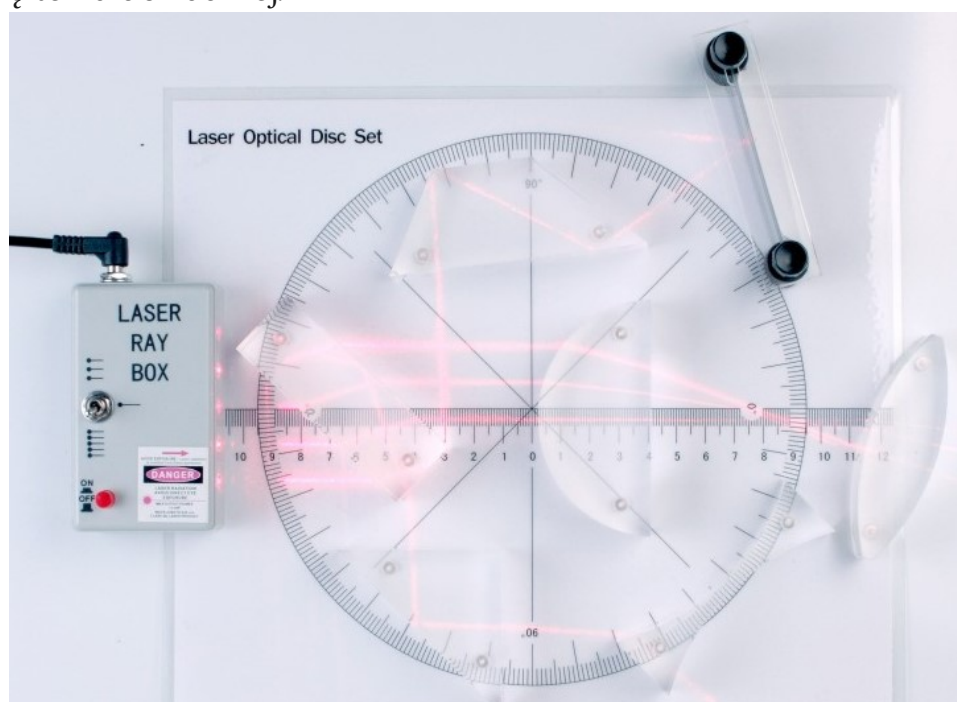
- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Symulacja interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



## Badanie obrazu powstającego w soczewkach

### Czy to nie ciekawe?

Na lekcjach fizyki, korzystając z dostępnych w pracowni zestawów (Rys. a.), wykonujemy doświadczenia pozwalające na określenie cech obrazów powstających w soczewkach. Przyjrzyjmy się temu dokładnie.



Rys. a. Szkolny zestaw do doświadczeń z optyki pozwalający na przeprowadzenie prostych eksperymentów z wykorzystaniem m. in. soczewek.

## Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

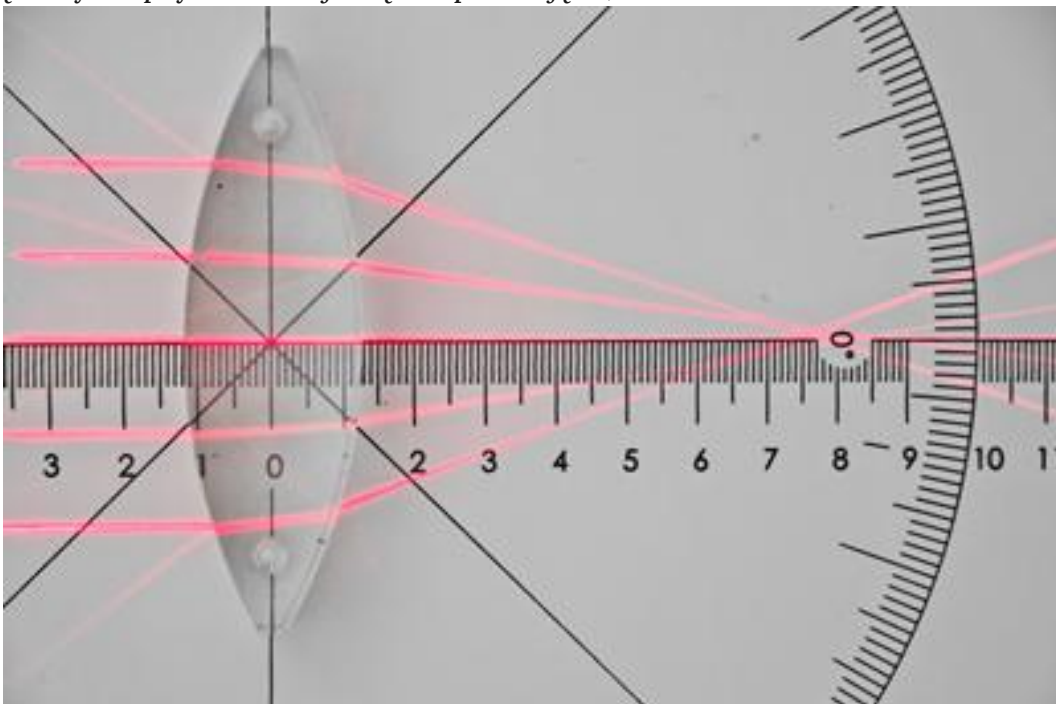
- dowiesz się, jakie cechy mogą mieć obrazy powstające przy użyciu soczewek;
- będziesz określał cechy obrazów powstających w soczewkach, posługując się doświadczeniem lub symulacją interaktywną;
- wyjaśnisz samodzielnie, czym są aberracje;
- będziesz dostrzegał omawiane problemy w życiu codziennym.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

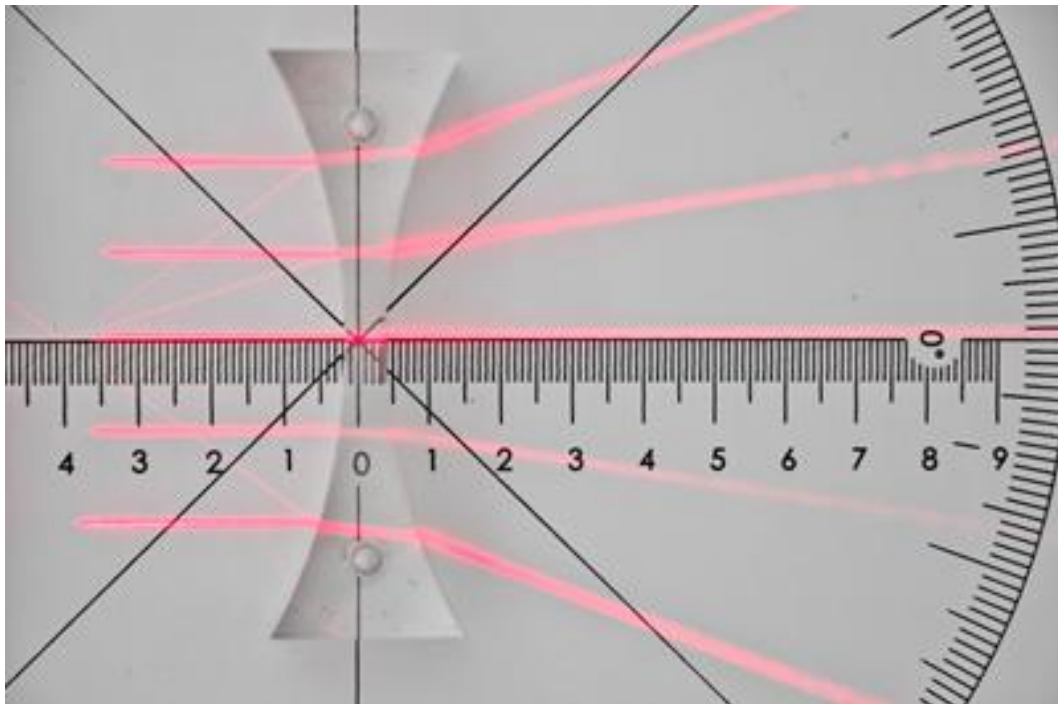
Soczewki są elementami optycznymi modyfikującymi bieg promieni w układzie. Jeśli po przejściu przez nie, promień ulega odchyleniu do **osi optycznej** – mówimy o soczewkach skupiających (Rys. 1.). Jeśli odchyła się on od osi optycznej – mamy do czynienia z soczewkami rozpraszającymi (Rys. 2.). Taka sytuacja ma miejsce wtedy, gdy soczewki znajdują się w ośrodku o współczynniku załamania mniejszym niż współczynnik załamania materiału, z którego wykonana jest soczewka. Soczewka dwuwypukła umieszczona w ośrodku gęstszym optycznie staje się rozpraszająca, i na odwrót.



Rys. 1. Bieg promienia przechodzącego przez soczewkę skupiającą.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, tylko do użytku edukacyjnego na [zpe.gov.pl](http://zpe.gov.pl).

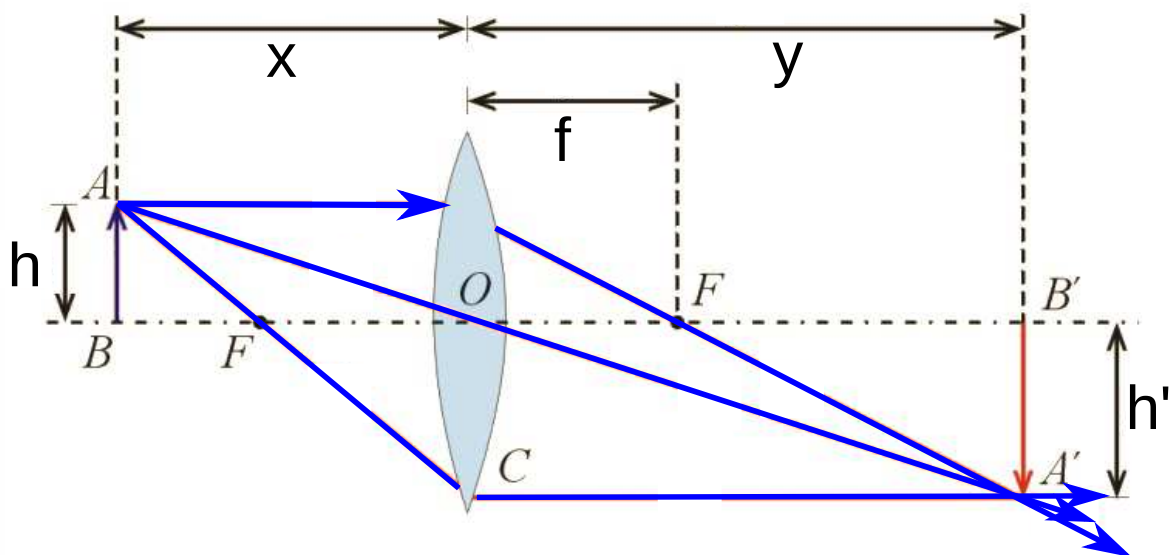
Na Rys. 1. widać, jak wiązka promieni równoległych (**przyosiowych**) przechodzi przez soczewkę skupiającą (dzwuwypukłą). Promienie przecinają się w jednym punkcie – ognisku soczewki. Możemy odczytać, że ogniskowa w podanym przykładzie wynosi  $76 \pm 1$  mm.



Rys. 2. Bieg promienia przechodzącego przez soczewkę rozpraszającą.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, tylko do użytku edukacyjnego na [zpe.gov.pl](http://zpe.gov.pl).

Na Rys. 2. wiązka promieni równoległych po przejściu przez soczewkę rozpraszającą (dwuwkłęslą) staje się wiązką promieni rozbieżnych. Na zdjęciu widoczne są również promienie odbite od powierzchni soczewki.



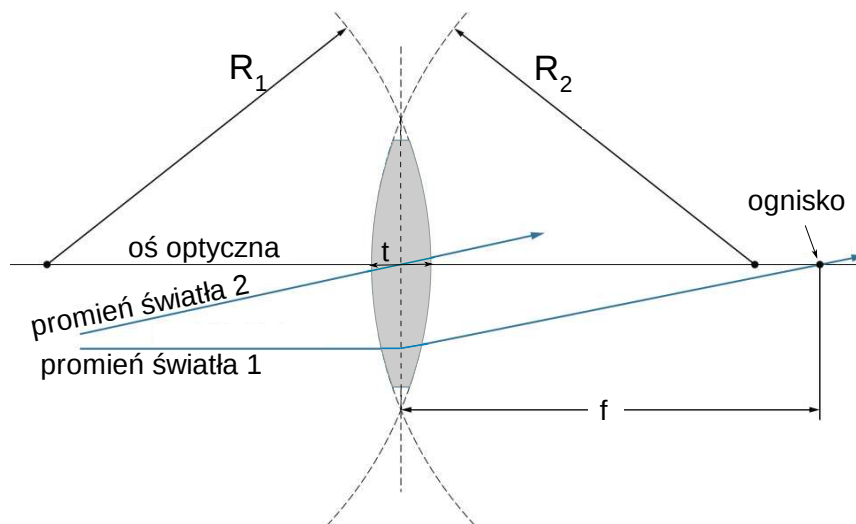
Rys. 3. Bieg charakterystycznych promieni w soczewce skupiającej

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

Jak widać, konstruowanie obrazu opiera się na znajomości biegu promieni. Wystarczy znać bieg dwóch promieni, aby w miejscu ich przecięcia odwzorować obraz  $A'$  punktu  $A$  (Rys. 3.), z którego te promienie wychodzą. W momencie, gdy założymy że punkt  $A$  znajduje się w odległości większej niż ogniskowa, ale mniejszej niż podwójna ogniskowa ( $f < x < 2f$ ),

poznamy przebieg przynajmniej trzech różnych promieni. Pierwszy to promień równoległy do osi optycznej po przejściu przez soczewkę, przejdzie on przez ognisko  $F$  położone po drugiej stronie soczewki, a kierunek promienia przechodzącego przez środek soczewki nie ulegnie zmianie. Drugi to promień przechodzący przez ognisko  $F$  przed soczewką, który po przejściu przez soczewkę pobiegnie równoległe do osi optycznej soczewki. Bieg tego promienia jest analogiczny do biegu promienia pierwszego. Widać, że otrzymamy w tym przypadku obraz rzeczywisty (rzeczywisty – to znaczy, że promienie odtworzą w rzeczywistości przedmiot w postaci obrazu utworzonego z punktów przecięcia się promieni) powiększony i odwrócony. Jeżeli jednak punkt  $A$  znajduje się w odległości większej niż podwójna ogniskowa ( $x > 2f$ ), to otrzymamy obraz rzeczywisty odwrócony i pomniejszony. Mamy tu sytuację odwrotną do poprzedniego przypadku (odwrotną w sensie zamiany miejscami przedmiotu i obrazu z odwróceniem zwrotu biegu promieni).

Soczewka jest niekiedy definiowana jako cienka, jeżeli jej grubość jest znacznie mniejsza niż promień krzywizny obu powierzchni załamujących (Rys. 4.). W tym przypadku można uznać, że promienie światła są załamywane przez soczewkę tylko raz. Na rysunku pokazano, że promień światła 1 równoległy do osi optycznej ulega pojedynczemu załamaniu wewnątrz soczewki, a następnie przechodzi przez ognisko soczewki. Inną ważną cechą cienkich soczewek jest to, że promienie światła przechodzące przez środek soczewki nie ulegają odchyleniu od początkowego kierunku, co widać dla promienia światła 2.

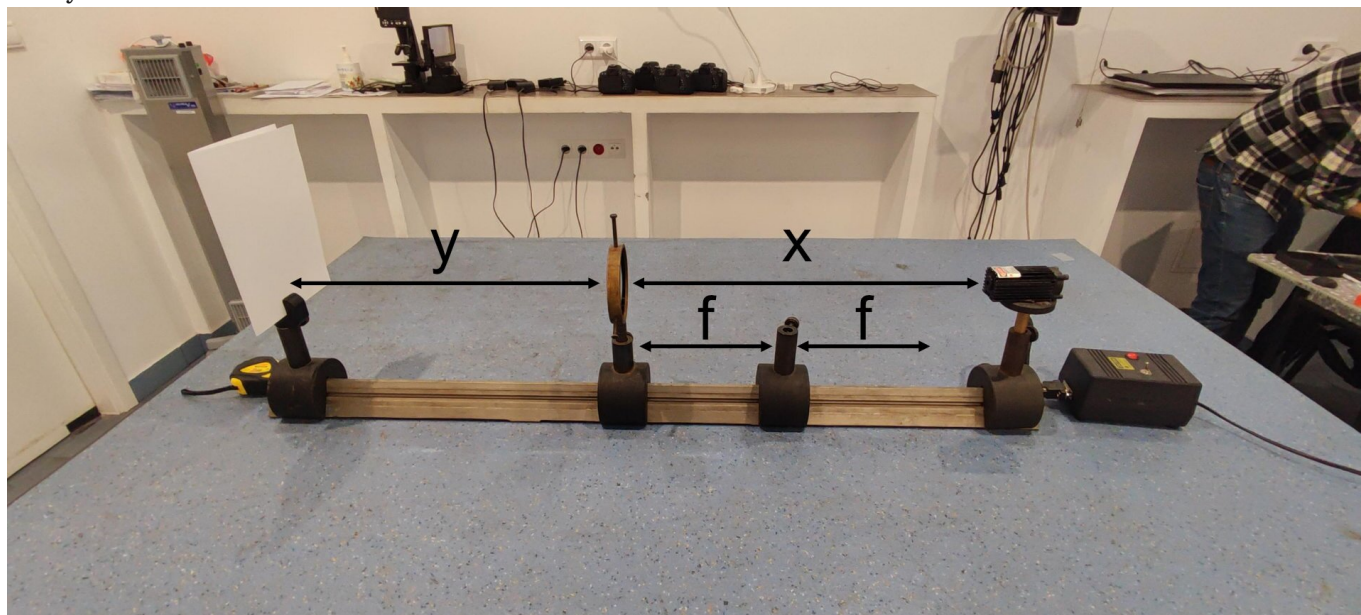


Rys. 4. Cienka soczewka o grubości  $t$ , która jest znacznie mniejsza niż promień krzywizny  $R_1$  i  $R_2$

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

Przyjrzyjmy się dokładnie obrazom powstającym przy użyciu soczewek. Zaczniemy od soczewki skupiającej. Umieścmy ją na ławie optycznej, na której zlokalizowany będzie również ekran oraz świecący przedmiot (Rys. 5.). Ulokujemy przedmiot w określonej

odległości od soczewki, a następnie przesunąć ekran tak, by otrzymany na nim obraz był ostry.



Rys. 5. Układ pomiarowy służący do badania cech obrazów powstających w soczewkach

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

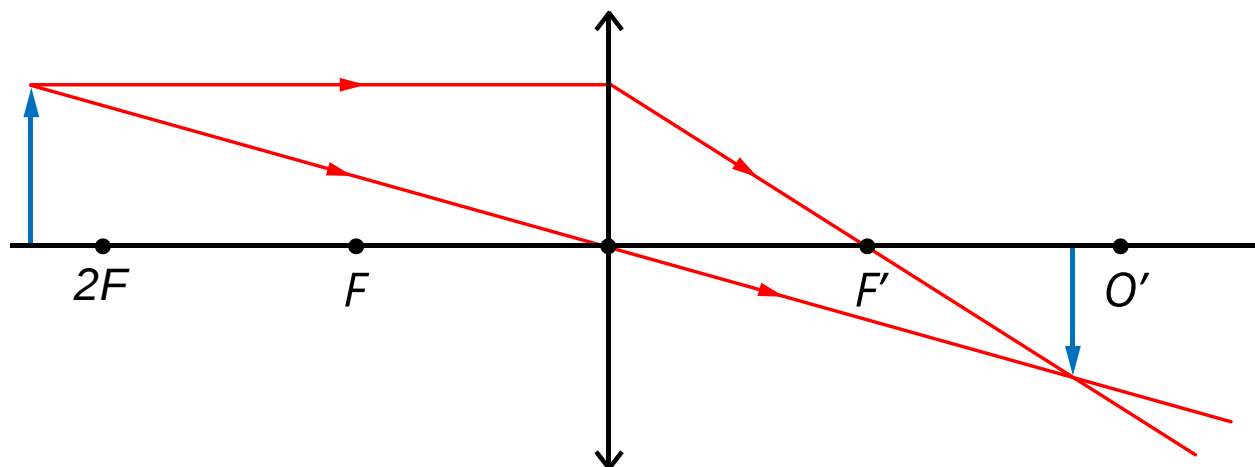
Określmy cechy tego obrazu wybierając je spośród zamieszczonych w Tab. 1.

Cechy obrazu	Wyjaśnienie
rzeczywisty	powstaje w miejscu przecięcia się promieni przechodzących przez soczewkę; można go zobaczyć na ekranie – jest zatem widoczny niezależnie od obserwatora
pozorny	powstaje w miejscu przecięcia się przedłużeń promieni przechodzących przez soczewkę, nie jest widoczny na ekranie; powstaje w mózgu człowieka na skutek przetworzenia promieni świetlnych, nie jest więc możliwy do otrzymania bez obecności obserwatora
odwrócony	powstaje na ekranie „do góry nogami” względem przedmiotu
prosty	nieodwrócony
powiększony	iloraz wysokości obrazu i wysokości przedmiotu jest większy od 1
zmniejszony	iloraz wysokości obrazu i wysokości przedmiotu jest mniejszy od 1
tej samej wielkości, co przedmiot	iloraz wysokości obrazu i wysokości przedmiotu jest równy 1

Tab. 1. Cechy obrazów powstających w soczewkach.

Rozpatrzmy kilka przypadków, najpierw dla soczewki skupiającej, potem - rozpraszającej.

1. umieścimy przedmiot (w postaci świecącej strzałki) w odległości większej od dwukrotności ogniskowej tej soczewki ( $x > 2f$ );



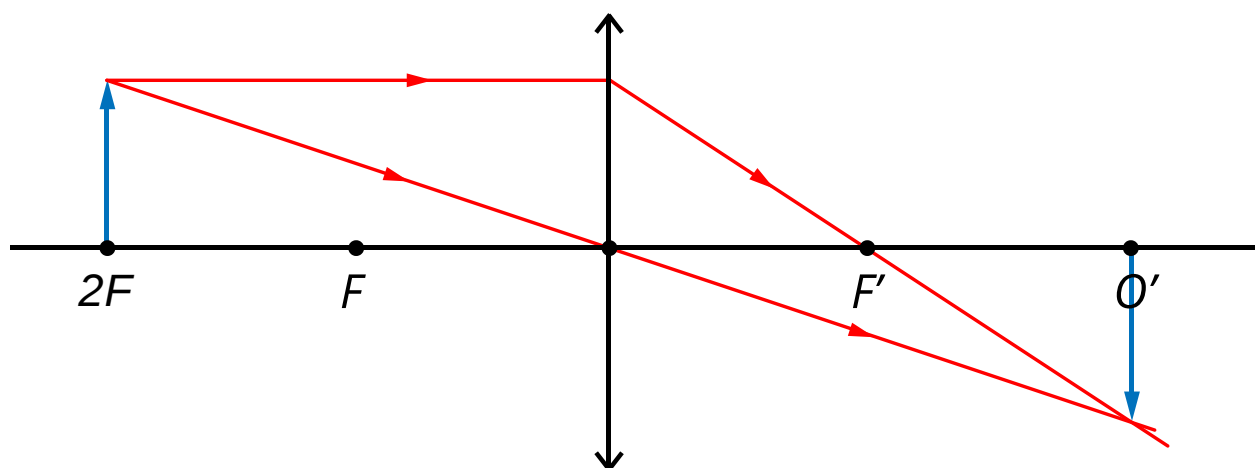
Rys. 6. Obraz przedmiotu umieszczonego w odległości  $x > 2f$  dla soczewki skupiającej.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Cechy obrazu: rzeczywisty, odwrócony i zmniejszony (Rys. 6.).

2. umieścimy przedmiot w odległości równej dwukrotności ogniskowej tej soczewki ( $x = 2f$ );



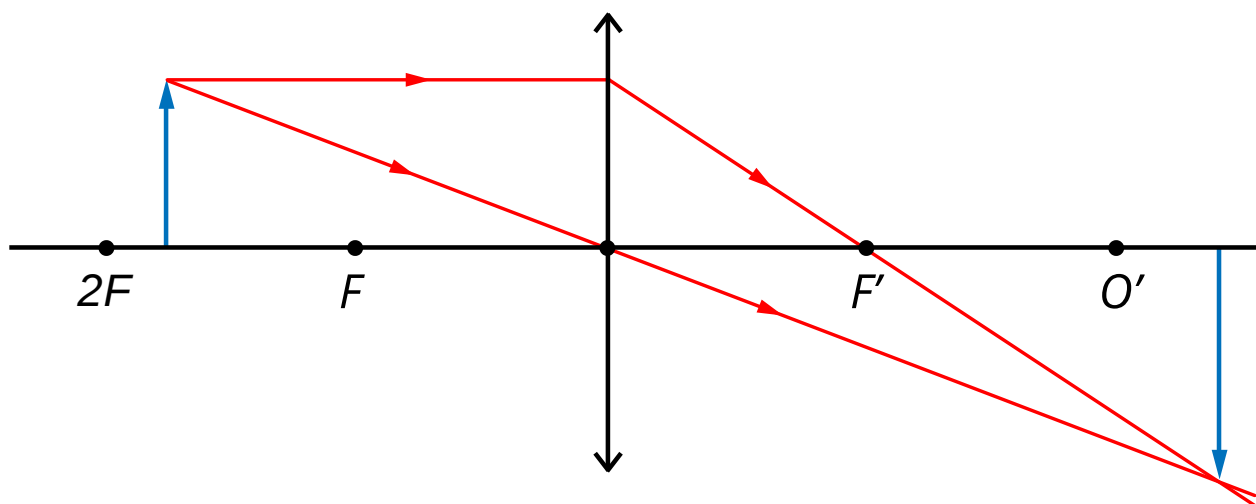
Rys. 7. Obraz przedmiotu umieszczonego w odległości  $x = 2f$  dla soczewki skupiającej.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Cechy obrazu: rzeczywisty, odwrócony i takiej samej wielkości, co przedmiot (Rys. 7.).

3. umieścimy przedmiot w odległości mniejszej od dwukrotności ogniskowej tej soczewki oraz większej od ogniskowej ( $2f > x > f$ );



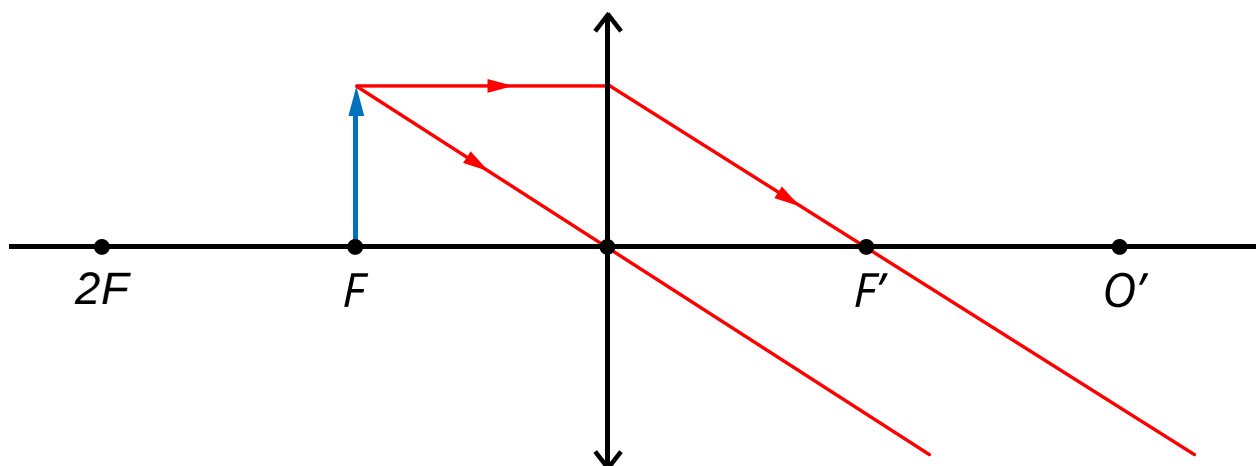
Rys. 8. Obraz przedmiotu umieszczonego w odległości  $2f > x > f$  dla soczewki skupiającej.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Cechy obrazu: rzeczywisty, odwrócony i powiększony (Rys. 8.).

4. umieścimy przedmiot w odległości równej ogniskowej ( $x = f$ );



Rys. 9. Dla przedmiotu umieszczonego w odległości  $x = f$  obraz nie powstaje.

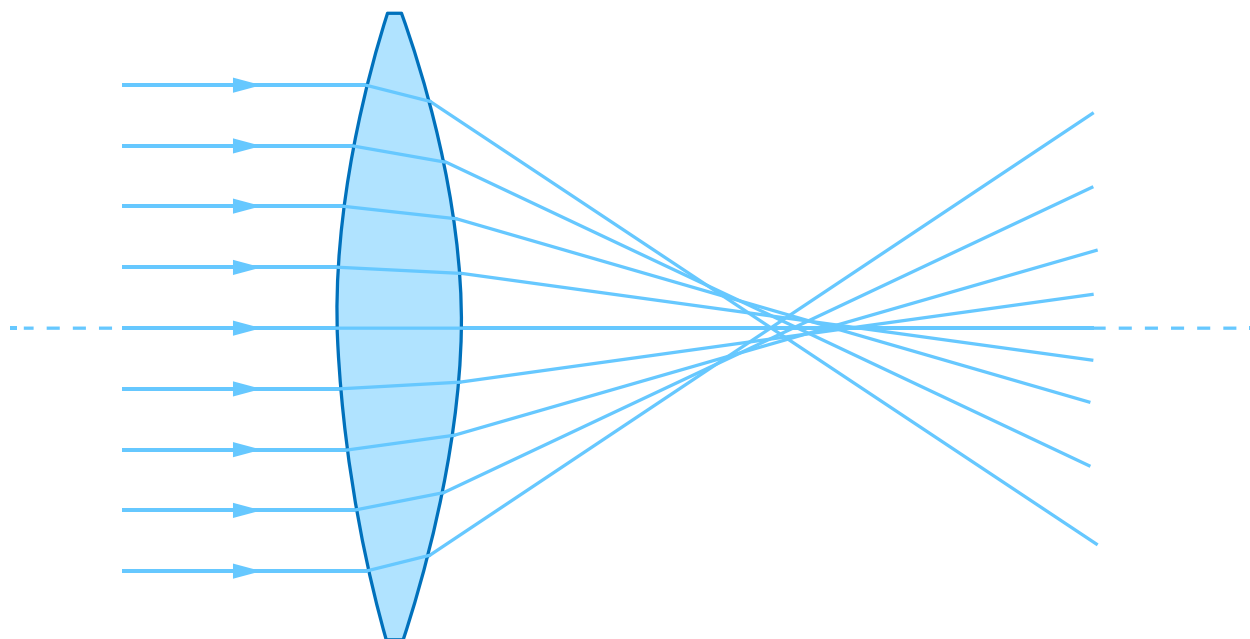
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Możemy zauważyć, że w przypadku umieszczenia przedmiotu w ognisku obraz nie powstaje (Rys. 9.).

5. umieścimy przedmiot w odległości mniejszej od ogniskowej ( $x < f$ );





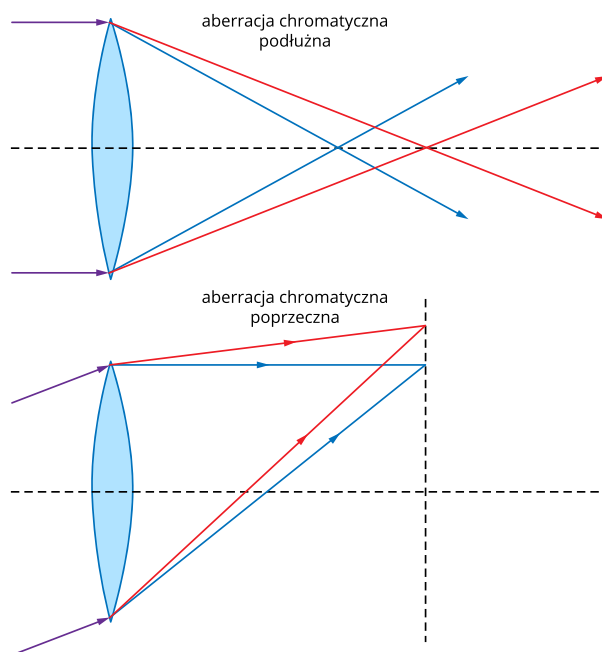
Rys. 12. Bieg promieni w soczewce grubej.

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

Jak pamiętamy, punktowe źródło światła po przejściu przez soczewkę cienką, tworzyło obraz punktowy. Jeśli jednak nie zaniebamy grubości tego elementu optycznego oraz pominiemy przybliżenie przyosiowe, to pojawi się wówczas problem z ogniskowaniem i promienie padające z dalekiej odległości na soczewkę (początkowo równoległe do osi optycznej) nie przetną się w jednym punkcie (Rys. 12.). Mówi się wówczas o tak zwanej **aberracji sferycznej**, która związana jest ze wspomnianym faktem, że promienie położone w różnych odległościach pomiędzy środkiem soczewki a jej brzegami, przecinają oś optyczną w różnych miejscach – tym samym zamiast punktu, otrzymujemy odcinek. Im światło przechodzi dalej od osi, tym promienie załamują się bardziej.

Kolejnym problemem, który jest pomijany w modelu soczewek cienkich, jest **aberracja chromatyczna**. Polega ona na skupianiu się w różny sposób światła o różnych barwach. Światło białe, będące mieszaniną wielu barw, przechodząc przez soczewkę, której grubość nie jest pomijana (a dokładniej chodzi tutaj o różnicę grubości pomiędzy środkiem a brzegami soczewki), ulega rozszczepieniu. Jest to związane z różnymi współczynnikami załamania dla różnych długości fali  $\lambda$  (im większa długość fali  $\lambda$ , tym współczynnik załamania jest mniejszy), czyli zjawiskiem dyspersji. Krótsze fale załamują się więc bardziej niż dłuższe. W związku z tym mamy do czynienia z różnymi długościami ogniskowych, a tym samym powstaniem kolorowych obwódek wokół obrazowanych przedmiotów. Widoczne jest to także w przypadku ludzkiego oka, którego soczewka również nie jest wolna od omawianego efektu. Na przykład, gdy obserwujemy ciemne przedmioty na jasnym tle, możemy dostrzec wokół nich pomarańczowe i niebieskie obwódki. Jeśli rozważymy układy optyczne (teleskop, aparat fotograficzny itp.), możemy zauważyć, że aberracja

chromatyczna znacznie pogorszy jakość obrazowania. Wyróżniamy dwa typy aberracji chromatycznej: poprzeczną i podłużną (Rys. 13.).



Rys. 13. Aberracja chromatyczna poprzeczna i podłużna.

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

Chcąc uniknąć aberracji, w rzeczywistych układach stosuje się nie jedną soczewkę, lecz zestawy specjalnie dobranych soczewek i ustawia się je odpowiednio względem siebie. Dodatkowo zamienia się (w miarę możliwości) soczewki na zwierciadła.

## Słowniczek

### **aberracja chromatyczna**

(*ang.: chromatic aberration*) wada optyczna polegająca na tym, że po przejściu przez soczewkę światło ulega rozszczepieniu; wynika to z różnych odległości ogniskowania dla różnych długości fali.

### **aberracja sferyczna**

(*ang.: spherical aberration*) wada optyczna polegająca na tym, iż promienie optyczne nie ogniskują się w jednym punkcie; jest to związane z ich położeniem pomiędzy środkiem a brzegami układu optycznego.

### **oś optyczna**

(*ang.: optical axis*) prosta przechodząca przez środki elementów optycznych znajdujących się w układzie.

### **promienie przyosiowe**

(*ang.: paraxial rays*) promienie biegnące blisko osi optycznej.

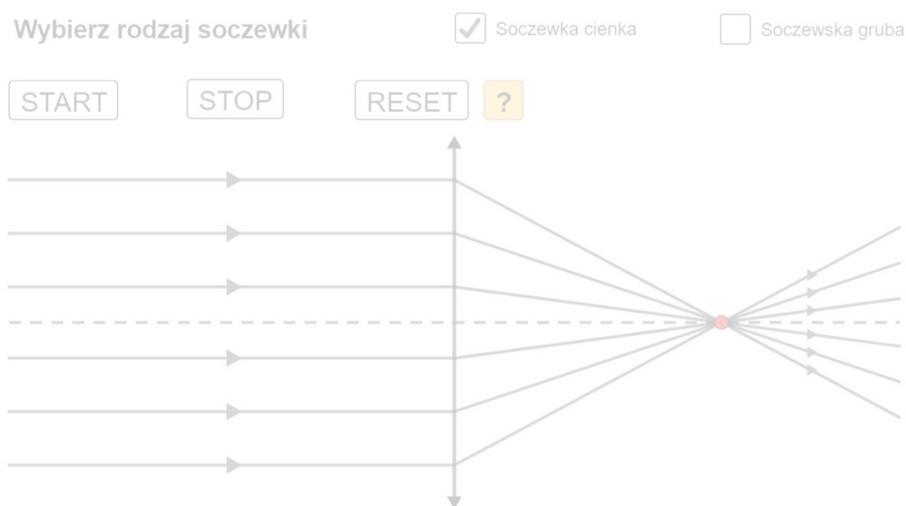
### **koma, aberracja komatyczna**

(*ang.: coma*) wada optyczna układów optycznych polegająca na tym, że wiązka promieni świetlnych wychodząca z punktu położonego poza oś optyczną tworzy, po przejściu przez układ, plamkę w kształcie przecinka lub komety.

# Symulacja interaktywna

## Badanie obrazu powstającego w soczewkach

Soczewki, które rozpatrujemy w zadaniach rachunkowych, są jedynie modelami pozwalającymi na uproszczenie opisu matematycznego. W rzeczywistości powodują one jednak zniekształcenia układów, zwane aberracjami. Niniejsza symulacja pozwoli Ci zrozumieć istotę aberracji. W celu uruchomienia animacji wybierz, czy chcesz zobaczyć przejście promieni dla soczewki skupiającej cienkiej czy grubej. Następnie wciśnij przycisk: „Uruchom symulację”.



W przypadku soczewki cienkiej, dla której rozpatrujemy tylko promienie przyosiowe oraz zakładamy, że grubość soczewki jest znikoma w porównaniu z promieniami krzywizny, promienie po przejściu przez soczewkę przecinają się w jednym punkcie, zwanym ogniskiem soczewki.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DjBxcJqfS>

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

### Polecenie 1

Gdzie w rzeczywistości można się spotkać z takimi zniekształceniami jak aberracje?

### **Polecenie 2**



Konstruując rzeczywisty, powiększony obraz świecącego przedmiotu można zauważyć, że jeśli zamieni się przedmiot z obrazem, to nie popełni się błędu - uzyska się obraz rzeczywisty, zmniejszony. Czy ta symetria znajduje uzasadnienie w prawach optyki?

### **Polecenie 3**

Jeśli przedmiot będzie odsunięty od soczewki na bardzo dużą odległość, to w pobliżu ogniska powstanie obraz. Czy będzie on tylko świecącą kropką, czy będzie czytelny?

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Źródło: dostępny w internecie: <http://www.tlc-systems.com/artzen2-0047.htm> [dostęp 2.05.2022], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



W przypadku dwóch soczewek o zdolnościach skupiających  $Z_1$  i  $Z_2$ , umieszczonych w odległości  $d$ , zdolność skupiającą układu wyznacza się za pomocą wzoru:

$$Z = Z_1 + Z_2 - Z_1 \cdot Z_2 \cdot d$$

Zatem, jeśli  $d = 0$ , to zdolności skupiające soczewek dodaje się do siebie, jeśli zaś  $d \neq 0$  – wykorzystuje się powyższy wzór. Wiedząc, że w układzie umieszczono w odległości 5 cm od siebie dwie soczewki o ogniskowej 10 cm każda, określ, czy układ ten będzie:

padające na niego równoległe do osi optycznej promienie świetlne.

## Ćwiczenie 8



Równoległa wiązka światła białego pada na soczewkę skupiającą o średnicy 10 cm. Po przejściu przez soczewkę tworzy się szereg ognisk, przy czym ogniskowa dla promieni fioletowych wynosi 98,2 cm, a dla promieni czerwonych 101,5 cm. Ustal, o ile milimetrów różni się średnica powstałych obrazów, jeśli na początku ekran znajduje się w ognisku promieni fioletowych, a następnie – w drugiej sytuacji – w ognisku promieni czerwonych. Wynik zaokrąglaj do dwóch cyfr znaczących.

# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Ewelina Kędzierska
<b>Przedmiot:</b>	fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Obrazy powstające w soczewkach</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<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 lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</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>11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość.</p> <p>X. Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>17) opisuje jakościowo zależność ogniskowej soczewki od jej krzywizny oraz współczynnika załamania; stosuje do obliczeń pojęcie zdolności skupiającej wraz z jej jednostką.</p>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</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. omawia, jakie cechy mogą mieć obrazy powstające z użyciem soczewek;</li> <li>2. przeprowadza doświadczenie / symulację interaktywną pozwalające na określenie cech obrazów powstających w soczewkach;</li> <li>3. wie, czym są aberracje;</li> <li>4. dostrzega omawiane problemy w życiu codziennym.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	IBSE
<b>Metody nauczania:</b>	merytoryczna dyskusja wprowadzająca, obserwacja, podsumowująca rozmowa kierowana
<b>Formy zajęć:</b>	dyskusja grupowa, praca indywidualna
<b>Środki dydaktyczne:</b>	tablica multimedialna / rzutnik, zestaw do prezentacji doświadczeń z optyki
<b>Materiały pomocnicze:</b>	-
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Wprowadzenie do tematu i zaniepokojenie uczniów poprzez odniesienie do życia codziennego, np. opowiadanie im o tym, gdzie w otaczającej ich rzeczywistości mogą spotkać soczewki – pokazanie kilku przykładów w klasie. Uczeń, po takim wstępie, powinien wiedzieć, że nie uczy się o czymś, co jest oderwane od rzeczywistości. Następnie, nauczyciel ma za zadanie rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązanie do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej. W tej części powinien sprowokować uczniów do tego, by przypomnieli sobie podstawowe informacje na temat rozchodzenia się światła oraz soczewek.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

- Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu:

– nauczyciel prezentuje uczniom doświadczenie polegające na obserwacji cech obrazów powstających w soczewkach; jeśli nie ma ku temu warunków, należy pokazać uczniom to samo za pomocą symulacji interaktywnej,

– nauczyciel prosi uczniów o wypunktowanie obserwacji,

– uczniowie dzielą się swoimi obserwacjami z doświadczenia,

– nauczyciel tłumaczy uczniom każde z zaobserwowanych zjawisk,

– uczniowie zadają także pytania dotyczące kwestii niezrozumiałych,

– nauczyciel odpowiada na pytania uczniów,

– nauczyciel opowiada uczniom, czym są aberracje, a następnie prosi o podanie przykładów aberracji w życiu codziennym,

– uczniowie odpowiadają na pytania nauczyciela.

- Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów:

– uczniowie wykonują zadania wskazane przez nauczyciela (mogą to być zadania dołączone do niniejszego materiału),

– nauczyciel sprawdza poprawność uczniowskich rozwiązań.

#### **Faza podsumowująca:**

Nauczyciel przeprowadza z uczniami rozmowę, w trakcie której uczniowie zadają pytania dotyczące niejasnych kwestii, a następnie odpowiadają na krótkie pytania nauczyciela dotyczące materiału przedstawionego na bieżącym temacie.

#### **Praca domowa:**

Zadaniem uczniów jest zapoznanie się z symulacją interaktywną dołączoną do niniejszego materiału oraz wyselekcjonowanie kluczowych informacji i sporządzenie notatki z zajęć.

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania danego  
multimedium**

Symulacja interaktywna może być wykorzystana do samodzielnej pracy ucznia przed lub po lekcji.