

Badamy zdolność skupiającą soczewek

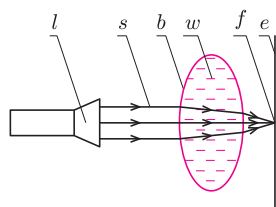
Stanisław BEDNAREK

Z soczewkami spotykamy się na co dzień. Są one podstawowymi elementami wielu przyrządów optycznych, na przykład okularów, lornetki, lunety, teleskopu czy mikroskopu. Soczewka to ciało przezroczyste, ograniczone dwiema zakrzywionymi powierzchniami. Najczęściej są to powierzchnie kuliste, chociaż mogą być również powierzchnie cylindryczne, paraboliczne, hiperboliczne lub elipsoidalne. Zwykle soczewka wykonana jest z ciała stałego, np. szkła lub tworzywa sztucznego, ale rolę soczewki może spełniać także, o czym się sami przekonamy, żel, ciecz lub nawet gaz. Spróbujemy dzisiaj poznać nieco dokładniej jedną z właściwości soczewek, którą jest ich zdolność skupiająca.

Wśród różnych rodzajów soczewek wyróżnia się soczewki skupiające i rozpraszające. Soczewki skupiające mają tę właściwość, że równoległa wiązka światła po przejściu przez nie staje się wiązką zbieżną i zostaje skupiona w niewielkim obszarze, który nazywa się ogniskiem soczewki. Odległość środka tego obszaru od soczewki nazywana jest jej ogniskową. Z kolei odwrotność ogniskowej określa się jako zdolność skupiającą. Jeżeli ogniskową wyrazimy w metrach, to zdolność skupiającą otrzymamy w dioptriach (D). Na przykład, soczewka, której ogniskowa wynosi 0,5 m, ma zdolność skupiającą 2 D.

Przybliżone rozważania teoretyczne dla cienkich soczewek kulistych i wąskich wiązek światła prowadzą do wniosku, iż ognisko powinno być punktem, w praktyce jednak wiązka światła zostaje skupiona w obszarze o skończonych rozmiarach. W przypadku szerokich wiązek i grubych soczewek ognisko staje się rozmytym obszarem i jest to wada soczewek. Wada ta nazywa się aberracją sferyczną i można ją usunąć, stosując soczewki o innych kształtach niż kulisty. Inna wada soczewek przejawia się może tym, że ognisko tej samej soczewki oświetlonej wiązkami promieni o różnych barwach wypada w nieco innych miejscach dla różnych barw. Tę wadę soczewek nazywa się aberracją chromatyczną i usuwa przez stosowanie układów soczewek wykonanych z odpowiednio dobranych materiałów.

Soczewkę skupiającą możemy wykonać w bardzo prosty sposób, używając do tego celu przezroczystej, spłaszczonej butelki, np. po szamponie do włosów. Butelkę taką napełniamy wodą, zamykamy korkiem i soczewka jest gotowa! Na soczewkę kierujemy równoległą wiązkę światła z latarki, a za soczewką umieszczamy ekran zrobiony z kartki białego papieru (rys. 1). Zauważymy wówczas, że przy pewnej odległości ekranu od soczewki tworzy się na nim wąska, podłużna plama światła. Przesuwając kartkę, znajdujemy taką odległość, przy której rozmiary plamy są najmniejsze – kartka znajduje się wtedy w ognisku soczewki. Soczewka sporządzona z butelki jest przykładem soczewki dwuwypukłej walcowej, a jej ognisko ma kształt zbliżony do odcinka. Zamiast spłaszczonej butelki możemy użyć łatwo dostępnej butelki o przekroju kołowym, ale wtedy będziemy mieli soczewkę grubą, charakteryzującą się dużymi wadami optycznymi, i ognisko będzie trudniejsze do zlokalizowania.

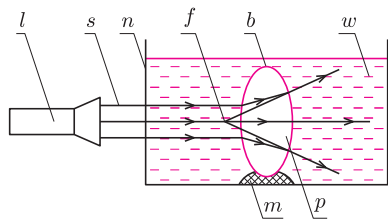


Rys. 1. Układ do badania zdolności skupiającej soczewki; *l* – latarka, *s* – równoległa wiązka światła, *b* – butelka, *w* – woda, *f* – ognisko, *e* – ekran.

Mając różne rodzaje spłaszczonych, przezroczystych butelek o różnych promieniach krzywizny, możemy sprawdzić, że zdolność skupiająca soczewki zależy od tych promieni. Im promienie krzywizny są mniejsze, tym zdolność skupiająca jest większa. Zdolność skupiająca soczewki zależy również od rodzaju materiału, z którego została wykonana soczewka, i od rodzaju ośrodka, w którym się ona znajduje. Możemy się o tym łatwo przekonać, wykonując kolejne doświadczenia.

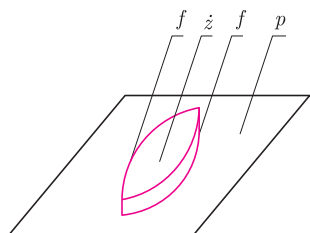
Powtórzmy jeszcze raz doświadczenie ze skupianiem równoległej wiązki światła przez butelkę wypełnioną wodą, ale zmierzmy przy tym linijką odległość ogniska od butelki, czyli ogniskową. Następnie wypełnijmy butelkę inną przezroczystą cieczą. Na początek weźmy nasycony roztwór soli kuchennej, czyli roztwór o maksymalnym stężeniu, który poznajemy po tym, że już więcej soli się w nim nie rozpuszcza. Wypełnijmy nim butelkę i zmierzmy ogniskową uzyskanej soczewki. Powtórzmy jeszcze pomiary ogniskowej dla butelki wypełnionej gliceryną i alkoholem etylowym (np. denaturatem). Za każdym razem zmierzmy ogniskową soczewki i porównajmy wyniki. Dla której cieczy ogniskowa soczewki jest najkrótsza?



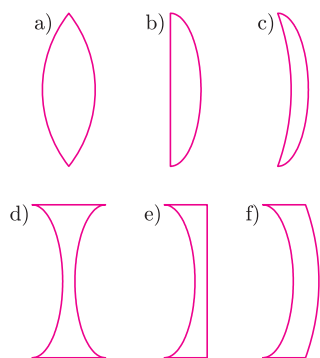


Rys. 2. Układ do badania zdolności rozpraszającej soczewki; *l* – latarka, *s* – równoległa wiązka światła, *n* – naczynie, *b* – butelka, *w* – woda, *m* – plastelina, *p* – powietrze, *f* – ognisko pozorne.

Ponieważ wartości współczynnika załamania mogą być różne dla różnych długości fali światła, zwykle liczbę tę podaje się dla żółtego światła o długości fali 589,29 nm.



Rys. 3. Forma do odlewania soczewek z żelatyny; *p* – podstawa, *f* – pasek folii, *ż* – żelatyna.



Rys. 4. Soczewki odlane z żelatyny; a) dwuwypukła, b) płaskowypukła, c) wypukłokwłosa, d) dwukwłosa, e) kwłosopłaska, f) kwłosowypukła.

Żeby przekonać się, jak zdolność skupiająca soczewki zależy od rodzaju ośrodka, w którym ta soczewka się znajduje, wykonajmy następujące doświadczenie. Używaną w poprzednich doświadczeniach spłaszczoną, przezroczystą butelkę, napełnioną tym razem powietrzem, dokładnie zamknijmy korkiem i przymocujmy, np. plasteliną, do dna przezroczystego naczynia o płaskich ściankach.

Z powodzeniem może być małe prostokątne akwarium (rys. 2) lub pojemnik na warzywa z lodówki. Do naczynia nalejmy wody w takiej ilości, żeby butelka była całkowicie zanurzona. Na jedną ze ścianek naczynia skierujmy równoległą wiązkę światła i zobaczmy, jak wygląda ta wiązka po przejściu przez zanurzoną w wodzie butelkę, będącą teraz soczewką powietrzną. Okazuje się, że wiązka ta z równoległej stała się rozbieżną. Oznacza to, iż soczewka taka rozprasza światło i nie ma ogniska rzeczywistego. Przyjmuje się, że ma ona ognisko pozorne, które znajduje się w miejscu przecięcia przedłużeń promieni wychodzących z soczewki. Ogniskową takiej soczewki uznaje się za ujemną.

Doświadczenie powyższe możemy powtórzyć w innej wersji. Napełniamy butelkę czystą wodą, zamykamy ją i mocujemy w naczyniu, które wypełniamy stężonym roztworem soli kuchennej. Oświetlamy butelkę i obserwujemy wychodzącą z niej wiązkę światła. Okazuje się, że i w tym przypadku otrzymaliśmy soczewkę rozpraszającą, ale rozbieżność wiązki jest mniejsza, czyli soczewka ma mniejszą zdolność rozpraszającą.

Z ostatnich doświadczeń wynika, że soczewka o tych samych promieniach krzywizny może stać się ze skupiającej soczewką rozpraszającą, gdy umieścimy ją w ośrodku o odpowiednio dobranych właściwościach optycznych. Właściwości te charakteryzuje współczynnik *n* załamania światła danego ośrodka względem próżni, który wyrażony jest stosunkiem prędkości *c* rozchodzenia się światła w próżni do prędkości *v* rozchodzenia się światła w tym ośrodku, czyli

$$(*) \quad n = \frac{c}{v}.$$

Dla uzupełnienia dodajmy, że prędkość rozchodzenia się światła w próżni jest największą prędkością obiektu materialnego lub sygnału w przyrodzie i wynosi 299 792,458 km/s. Prędkość światła w dowolnym innym ośrodku jest mniejsza od tej wartości i dlatego współczynnik załamania zdefiniowany wzorem (*) jest większy od jedności. Rekordowe wartości współczynnika załamania mają tytanian strontu (2,41) i diament (2,42). Patrząc na wzór (*), łatwo zauważyć, że im mniejsza prędkość rozchodzenia się światła w danym ośrodku, tym większy jego współczynnik załamania. Ośrodek o większym współczynniku załamania nazywa się ośrodkiem gęstszym optycznie. Gdy soczewkę skupiającą (w powietrzu) umieścimy w ośrodku gęstszym optycznie niż materiał soczewki, to stanie się ona soczewką rozpraszającą.

Jeżeli mamy trochę żelatyny i kilka pasek dość grubej, przezroczystej folii, używanej do drukarek lub jako okładki do bindowania druków, to możemy wykonać szereg soczewek o różnych kształtach. Pozwolą nam one przeprowadzić bardziej systematyczne badania. W tym celu z pasek folii o szerokości około 1,5 cm i długości kilkunastu centymetrów sporządzamy formy, przedstawiające zarys soczewki. Niech na początek będzie to soczewka dwuwypukła (rys. 3). Końce pasek sklejamy taśmą samoprzylepną, a wygięte paski przyklejamy starannie klejem szybkowiążącym do poziomej podstawy. Do otrzymanej formy wlewamy stężony roztwór żelatyny w ciepłej wodzie i wstawiamy całość do lodówki, żeby żelatyna skrzepła. Po skrzepnięciu żelatynową soczewkę wyjmujemy z formy i możemy jej użyć do badania właściwości skupiających. (Przy sporządzaniu żelatynowej soczewki nie wahał się poprosić o pomoc osób mających większe doświadczenie z zastosowaniem żelatyny w kuchni, np. przy przygotowywaniu deserów.) W analogiczny sposób wykonujemy soczewki o innych kształtach, pokazanych na rysunku 4. Zamiast oświetlać soczewkę równoległą wiązką światła z latarki, możemy skierować na nią promień światła pochodzący ze wskaźnika laserowego i badać przebieg promienia w różnych odległościach od środka soczewki. Zaletą żelatynowych soczewek jest możliwość ich odkształcania i obserwacji, jak wpływa to na zdolność skupiającą. Żelatynowe soczewki nie są jednak zbyt trwałe i po kilku dniach może okazać się, że tracą swój kształt w wyniku wyparowania lub wycieku wody.