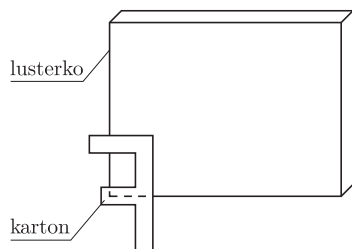


Od zwierciadła płaskiego do kalejdoskopu

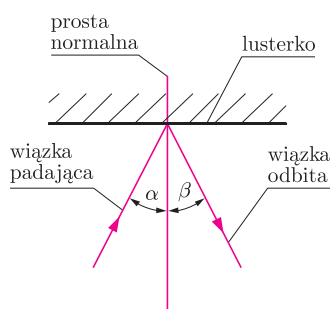


Stanisław BEDNAREK

Na początek zajmijmy się badaniem właściwości obrazu tworzącego się w zwierciadle płaskim. Do tego celu będą nam potrzebne dwa płaskie, najlepiej prostokątne lusterka, niewielki kawałek kartonu, kątomierz i plastelina. Na stole ustawiamy jedno lusterko w płaszczyźnie pionowej, przymocowując je do stołu od tyłu za pomocą plastelinowej kulki (rys. 1). Z kartonu wycinamy kształtkę w postaci litery F. Przed lusterkim umieszczamy kształtkę, ustawiając ją w płaszczyźnie pionowej, równoległej do zwierciadła i przymocowując do stołu za pomocą odrobiny plasteliny. Ile obrazów kształtki widzimy w lusterku? W jakiej odległości za lusterkim tworzy się obraz kształtki? Jaka jest wielkość tego obrazu w porównaniu z wielkością kształtki?



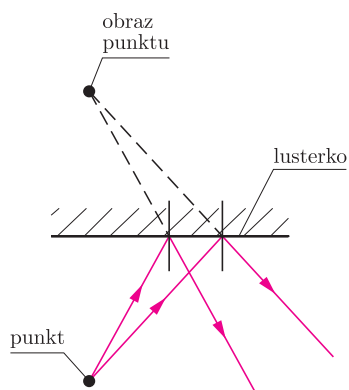
Rys. 1. Sposób umieszczenia lusterka na stole.



Rys. 2. Odbicie promienia od lusterka.

W przeprowadzonym doświadczeniu widzieliśmy jeden obraz kształtki. Obraz ten tworzy się za lusterkim w takiej samej odległości, w jakiej znajduje się kształtka przed lusterkim. Wielkość tego obrazu jest taka sama jak wielkość kształtki. Obraz otrzymany w lusterku, zwanym zwierciadłem płaskim, możemy skonstruować geometrycznie, wykreślając obrazy poszczególnych punktów tego przedmiotu. W tym celu musimy poznać prawo odbicia światła.

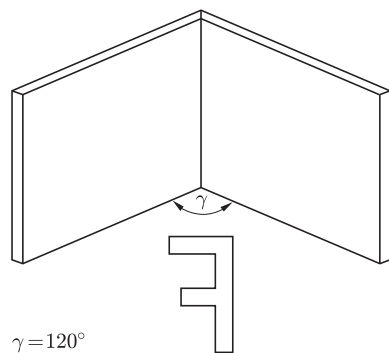
Przed lusterkim układamy na stole wskaźnik laserowy lub latarkę z przesłoną, zaopatrzoną w szczelinę, przez którą przechodzi wąska wiązka światła. Wiązkę tę kierujemy na zwierciadło. Obserwujemy kierunek wiązki po odbiciu od zwierciadła, zwracając uwagę na ślad wiązki na stole. Kątomierzem mierzymy kąt α padania wiązki na zwierciadło (rys. 2). Jest to kąt zawarty między prostą prostopadłą do zwierciadła, narysowaną w punkcie padania wiązki, zwaną krótko prostą normalną, a padającą wiązką. Następnie kątomierzem mierzymy kąt β odbicia wiązki. Jest to kąt zawarty między śladem wiązki odbitej a prostą normalną. Porównujemy wartości obu kątów. Zwiększamy teraz kąt padania, powtarzamy pomiary obu kątów i porównujemy je. W dalszej części doświadczenia zmniejszamy kąt padania i również powtarzamy pomiary obu kątów. Dochodzimy do wniosku, że w każdym przypadku kąt odbicia równy jest kątowi padania. Zauważamy również, że promień odbity, promień padający i prosta normalna leżą w jednej płaszczyźnie prostopadłej do zwierciadła. Ten wniosek wyraża właśnie prawo odbicia światła.



Rys. 3. Konstrukcja obrazu punktu w lusterku.

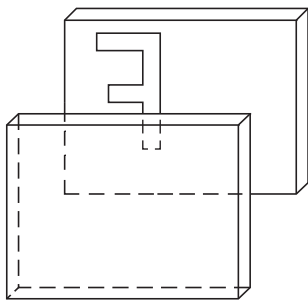
Żeby skonstruować geometrycznie obraz jakiegoś punktu świecącego w zwierciadle płaskim, wykreślamy bieg dwóch promieni wychodzących z tego punktu i odbijających się od zwierciadła (rys. 3). Obraz tego punktu leży na przecięciu przedłużeń promieni odbitych od zwierciadła. W celu skonstruowania obrazu kształtki wykreślamy obrazy kilku jej charakterystycznych punktów.

Przejdziemy teraz do bardziej interesujących przypadków. Obejrzymy obrazy litery F w dwóch zwierciadłach zestawianych pod różnymi kątami γ . Na początku będzie to kąt 120° (rys. 4). Kąt zawarty między zwierciadłami mierzymy kątomierzem. Zwierciadła przymocowujemy do stołu w płaszczyźnie pionowej za pomocą plasteliny. Ile obrazów litery F widzimy teraz w zwierciadłach? Jaka jest wielkość tych obrazów w porównaniu z wielkością przedmiotu, czyli literą F wyciętą z kartonu? W jakiej odległości od zwierciadeł znajdują się te obrazy? Jak zmienia się położenie tych obrazów, kiedy zmienimy położenie przedmiotu? Powtarzamy obserwacje dla innych kątów między zwierciadłami. Niech będą to kolejno kąty 90° , 60° , 45° i 30° . Ile obrazów widzimy w tych przypadkach? Jak zmienia się liczba obrazów ze zmianą kąta między zwierciadłami? Czy można tu zauważyć jakąś prawidłowość?



Rys. 4. Sposób umieszczenia dwóch lusterek na stole.

Dla systematyczności wykonajmy jeszcze jedno doświadczenie. Ustawmy dwa zwierciadła równoległe, zwracając je powierzchniami odbijającymi ku sobie (rys. 5). Popatrzmy nieco z boku w jedno ze zwierciadeł. Ile obrazów litery F widzimy w tym przypadku? Jaka jest ich odległość od zwierciadła? Jaka jest wielkość tych obrazów w porównaniu z wielkością przedmiotu?



Rys. 5. Dwa lusterka równoległe.

Okazuje się, że w naszym doświadczeniu z dwoma zwierciadłami ustawionymi pod pewnym kątem γ liczba n obrazów, które możemy zobaczyć w zwierciadłach, wyraża się następującym wzorem

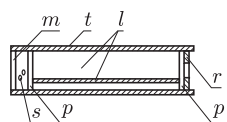
$$n = \frac{360}{\gamma} - 1.$$

Wzór ten jest słuszny jedynie, gdy γ jest dzielnikiem 360. Tylko dla takich kątów liczba obrazów widzianych w zwierciadłach nie zależy od wyboru punktu obserwacji. W przypadku dwóch zwierciadeł ustawionych równoległe kąt między nimi jest formalnie równy 0° . Podstawiając tę wartość do powyższego wzoru, dostajemy nieskończoną liczbę obrazów. Patrząc w jedno z dwóch zwierciadeł ustawionych równoległe, widzimy rząd wielu obrazów, powstających w wyniku kolejnych odbić światła od zwierciadeł. Ich liczba jest jednak skończona, a dalsze obrazy są coraz słabiej widoczne. Dzieje się tak dlatego, że zwierciadła nie są idealnie odbijające i po kolejnych odbiciach pozostaje coraz mniej światła, dając coraz ciemniejszy obraz.

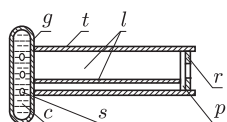
Zajmijmy się teraz kalejdoskopami (fot. 1). Pierwszy kalejdoskop został skonstruowany w 1816 roku przez angielskiego fizyka Dawida Brewstera. Do połowy XIX wieku kalejdoskop był modną zabawką używaną w salonach. Obecnie kalejdoskop można od czasu do czasu kupić w sklepie z zabawkami lub z artykułami papirniczymi, a nawet w kiosku. Jego cena nie przekracza zwykle dziesięciu złotych. Jak zbudowany jest klasyczny kalejdoskop? Wewnątrz tekturowej lub plastikowej rurki t znajdują się trzy długie zwierciadła płaskie l , tworzące kąty 60° (rys. 6). W przedniej części kalejdoskopu umieszczona jest matowa płytka szklana lub plastikowa m , tzw. matówka i płytka przezroczysta p . Płytki te tworzą komorę, w której znajdują się kawałeczki kolorowych szkiełek lub skrawki folii s . W tylnej części kalejdoskopu jest przezroczysta płytka p , na którą nałożona została pierścieniowa przesłona r . Po skierowaniu matówki w kierunku źródła światła i spojrzeniu do wnętrza kalejdoskopu przez przesłonę widzimy piękne, różnobarwne wzory, utworzone ze szkiełek lub folii. Wzory te mają sześciokrotną symetrię. Obracając kalejdoskop wokół podłużnej osi, powodujemy zmianę tych wzorów, przez co stają się one niepowtarzalne.



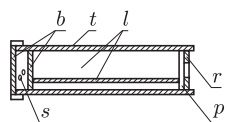
Fot. 1. Wygląd zewnętrzny kalejdoskopu klasycznego.



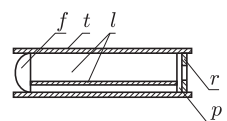
Rys. 6. Budowa kalejdoskopu klasycznego.



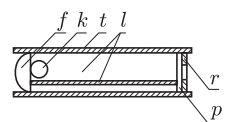
Rys. 7. Kalejdoskop dynamiczny.



Rys. 8. Budowa kalejdoskopu polaryzacyjnego.



Rys. 9. Kalejdoskop z soczewką.



Rys. 10. Budowa kalejdoskopu z soczewką i kulką szklaną.

Oprócz opisanego kalejdoskopu klasycznego spotyka się kalejdoskopy dynamiczne, w których zamiast komory, utworzonej przez matówkę i przezroczystą płytkę, zastosowano rurkę g , wypełnioną gęstą i lepłą cieczą c , zawierającą kawałeczki kolorowych szkiełek (rys. 7). Podczas obrotu wokół podłużnej osi szkiełka te powoli opadają, tworząc piękne wzory. Zwielokrotniony obraz tych wzorów widoczny jest w zwierciadłach, podobnie jak w kalejdoskopie klasycznym.

Inna odmiana kalejdoskopu to kalejdoskop polaryzacyjny. Zamiast przezroczystej płytki i matówki zastosowano w nim dwa polaryzatory b (rys. 8). Przedni polaryzator może być obracany, a między polaryzatorami znajdują się bezbarwne kawałeczki szkiełek s z wprowadzonymi naprężeniami mechanicznymi. Światło spolaryzowane przez przedni polaryzator oświetla szkiełka i uwidacznia występujący w nich rozkład naprężeń w postaci barwnych wzorów. Wzory te zwielokrotnione przez układ zwierciadeł oglądane są przez drugi polaryzator.

Spotyka się również kalejdoskopy, w których w przedniej części umieszczono soczewkę płasko-wypukłą f , zwróconą wypukłością ku przodowi (rys. 9). Ogniskowa tej soczewki jest krótsza od długości rurki kalejdoskopu. Dzięki temu soczewka tworzy rzeczywisty i pomniejszony obraz otoczenia w przestrzeni między zwierciadłami. Obraz ten zwielokrotniony przez zwierciadła oglądany jest przez przezroczystą płytkę z przesłoną. Istnieją także odmiany kalejdoskopów, w których do soczewki przylega niewielka kulka szklana k (rys. 10). Kulka ta powoduje zakrzywienie obrazu, który wygląda, jak w szerokokątnym obiektywie typu „rybie oko”.

Pomysłowość ludzka nie zna granic. Opisane odmiany kalejdoskopów nie wyczerpują wszystkich możliwości. Dlatego na zakończenie warto zachęcić Czytelników do zaprojektowania własnej wersji kalejdoskopu.