

Ciekawy świat iluzji optycznych

■ DR ROBERT JAWORSKI

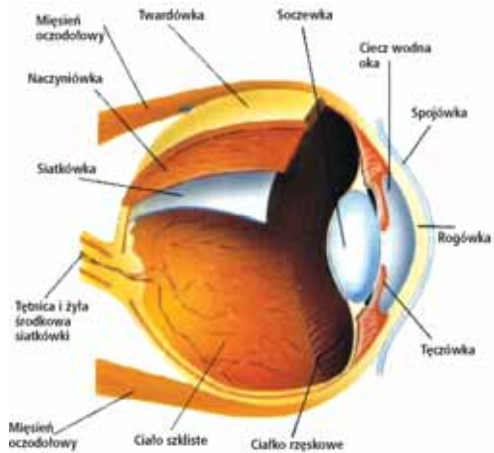
Temat złudzeń czy iluzji optycznych potrafi nas frapować i fascynować. Tylko dla niewielu z nas część tych zjawisk i ich powstawanie jest zrozumiała, lecz dla większości tych wyjaśnień nie ma i wydaje się, że długo nie będzie. Czy przyczyną ulegania wszystkim tym iluzjom jest tylko budowa i funkcjonowanie naszego oka: źrenicy czy siatkówki? Czy ilość obecnego światła? A może struktura naszego mózgu i procesy przetwarzania informacji? Obecność tak wielu przykładów złudzeń optycznych świadczyć może o niedoskonałości naszego najcenniejszego zmysłu, jakim jest wzrok. A może powstające złudzenia wynikają z pewnej specyfiki i z sytuacji, które w normalnym życiu są nieistotne z punktu widzenia przetrwania gatunku?

Przyjrzyjmy się więc budowie oka i procesom widzenia. Oko ludzkie ma w przybliżeniu kulisty kształt. Jest otoczone trzema odrębnymi warstwami tkanki. Pierwsza - zewnętrzna warstwa to twardówka. W części przedniej jest ona cieńsza i przezroczysta. Przepuszcza światło do wnętrza oka i załamuje promienie świetlne tak, aby mogły być one zogniskowane na soczewce

Środkowa powłoka oka - naczyniówka, jest przepigmentowana melaniną, dobrze zatrzymującą odbicia zabłąkanych promieni światła wewnątrz oka. Z przodu oka naczyniówka tworzy tęczę. Gdy oko jest otwarte źrenica jest na środku siatkówki. Szerokość otwarcia źrenicy jest zmienna i automatycznie dostosowuje się do zewnętrznych warunków. W przyciemnionym

świecie, albo w razie zagrożenia, źrenica powiększa się, wpuszczając więcej światła do wnętrza oka. Natomiast w jasnym świetle źrenica zwęża się, chroniąc wnętrze oka przed nadmiernym oświetleniem, jak również wzmacnia zdolność do kształtowania obrazu i głębokości pola widzenia.

Wewnętrzna warstwa oka to siatkówka. Zawiera ona receptory światła - czopki i pręciki, które pełnią rolę kliszy, tak jak w aparacie fotograficznym. Komorę oka wypełnia ciecz zawierająca sól, albuminę, globulinę, glukozę i inne składniki. Ciecz ta dostarcza pożywienie rogówce i soczewce, a także usuwa produkty przemiany materii z tych tkanek. Soczewka jest umieszczona tuż za spojówką i utrzymywana na swej pozycji przez wiazadła. Zwykle są one naprę-



Rys. 1. Budowa oka ludzkiego
(źródło: www.thinkquest.org)

żone, a soczewka odpowiednio spłaszczo-
na. Skurcze mięśni, do których przymoco-
wane są wiązadła, umożliwiają zmiany
w kształcie soczewki, regulując jej ognisko-
wą. Dzięki temu możemy obserwować
obiekty z dalszych i bliższych odległości.

Podczas patrzenia oczy są w ciągłym ru-
chu. Nawet, gdy obserwują spoczywającą
przedmiot wykonują małe, mimowolne ru-
chy. Obraz na siatkówce ciągle się zmienia,
przesuwając się od środka plamki żółtej
w bok i powracając do niego. Równocze-
śnie oko drży z dużą częstotliwością. Gdy-
by obraz padający na siatkówkę został
unieruchomiony to bladłby, aż do zniknię-
cia, aby następnie pojawić się częściowo
lub w całości.

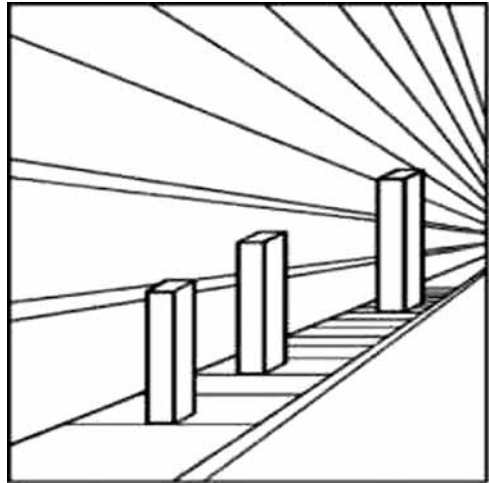
Ruch gałki ocznej odbywa się dzięki
trzem parom mięśni. Elementy każdej pary
pracują antagonistycznie. Skoordynowana
akcja tych mięśni umożliwia obrót gałki
ocznej w dowolnym kierunku, dlatego je-
steśmy w stanie skierować oboje oczu
w jednym kierunku. Powoduje to nieznac-
nie różniące się widoki tej samej sceny,
które nasz mózg jest w stanie połączyć
w pojedynczy, trójwymiarowy obraz.

Znając już budowę oka i zasadę tworze-
nia się obrazów możemy rozpocząć wę-
drówkę w głąb świata iluzji, złudzeń
optycznych i paradoksów, zaczynając od
tych najprostszych.

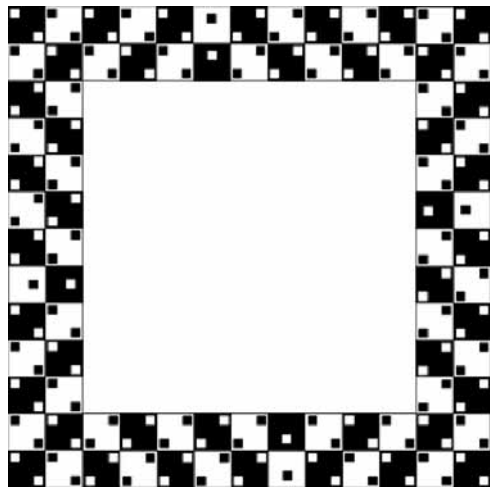
Pierwsza ilustracja przedstawia trzy takie
same klocki umieszczone w perspekty-
wie (rys. 2). Mamy nieodparte złudzenie,
że każdy z nich jest innej wielkości. Łatwo
sprawdzić, przykładając linijkę, że każdy
z tych klocków ma taką samą wysokość.

Perspektywa w malarstwie odgrywa bar-
dzo ważną rolę. Nadaje ona trójwymiaro-
wej przestrzeni i definiuje punkt obserwacji
malarza. Dlatego, umieszczając jakiegol-
wiek obiekty w takiej przestrzeni należy pa-
miętać o zmianie ich wielkości.

Kolejnym ciekawym zjawiskiem, które
oszukuje nasz wzrok jest równoległość
dwóch linii w otoczeniu innych obiektów
(rys. 3). Zwróćmy uwagę na dwa kwadraty
umieszczone jeden wewnątrz drugiego. Po-



Rys. 2. Identyczne przedmioty umieszczone w perspektywie (źródło: www.chemax.pl)

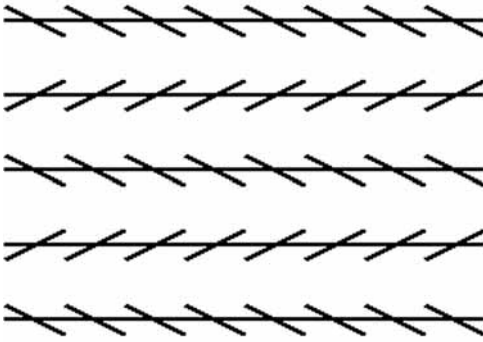


Rys. 3. Dwa kwadraty (źródło: www.mort.szu.pl)

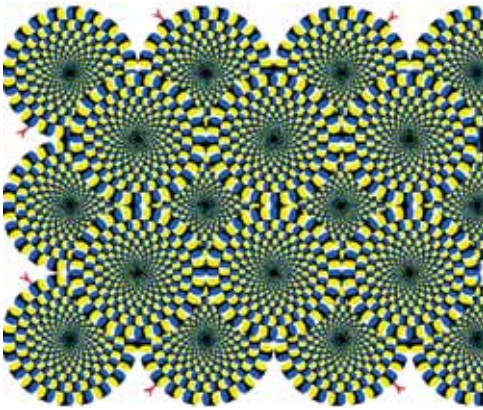
między nimi znajdują się małe czarno-
– białe kwadraciki.

Ich rozmieszczenie powoduje, iż wydaje
nam się, że obserwujemy powyginane boki
tej figury. Podobny efekt uzyskamy, jeżeli
równoległe linie poprzecinamy szeregiem
mniejszych ukośnych linii w przeciwnych
kierunkach (rys. 4).

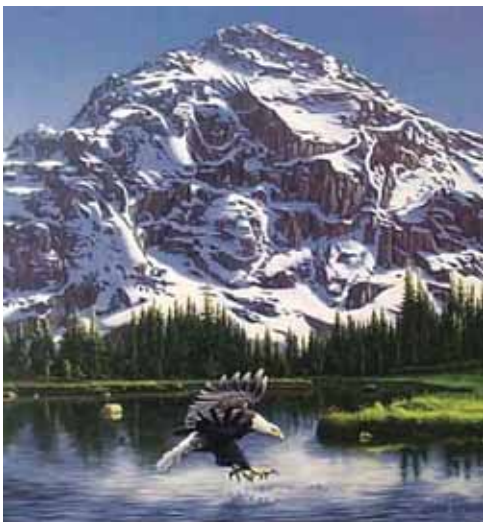
Niektóre z obserwowanych iluzji optycz-
nych mogą doprowadzić do małych zawro-
tów głowy. Bo jak to jest możliwe, aby jaki-
kolwiek rysunek sprawiał wrażenie, że jest



Rys. 4. Równoległe linie (źródło: www.psychodnia.pl)



Rys. 5. Wirujące koła (źródło: www.psychodnia.pl)



Rys. 6. Tajemnicza góra (źródło: images.google.pl)

w ruchu. Popatrzmy na zbiór kolorowych kółek, wypełnionych szachownicą. Te, które nie są w centrum uwagi, czyli są obserwowane kątem oka, kręcą nam się we wszystkie strony (rys. 5).

Czasami efekt ruchu, czy też obrotu takich kółek uzyskamy przybliżając się i oddalając od obrazu.

Kolejną grupą efektów optycznych są ukryte obrazy na jednej większej ilustracji (rys. 6). Przykładem takim może być pejzaż z lecącym orłem nad wodą, na tle pięknej góry. Przypatrzmy się dokładniej tej górze. Możemy dostrzec ukryte w niej rysunki niedźwiedzia, kozicy, orła, psa czy wilka. Patrząc na górę z daleka widzimy górę jak każdą inną. Odpowiednio dobrane kształty urwisk, wzniesień, śniegu czy cieni, umożliwia dostrzeżenie wielu obrazów zwierząt tylko dokładnemu i spostrzegawczemu widzowi.

Innym przykładem iluzji optycznej, często spotykanej w grafice, to dwuznaczność rysunków (rys. 7). Patrząc na ten sam rysunek raz widzimy zającą, innym razem kaczkę.

Czasami może to być młoda kobieta albo starsza pani (rys. 8).

Wszystko zależy od tego jak bardzo dany rysunek przypomina nam rzeczywiste kształty. Bardzo ważnym elementem wpływającym na iluzję jest obrót danego rysunku. Ciężko jest nam wyobrazić sobie jakiś kształt do góry nogami. Wystarczy lekko go



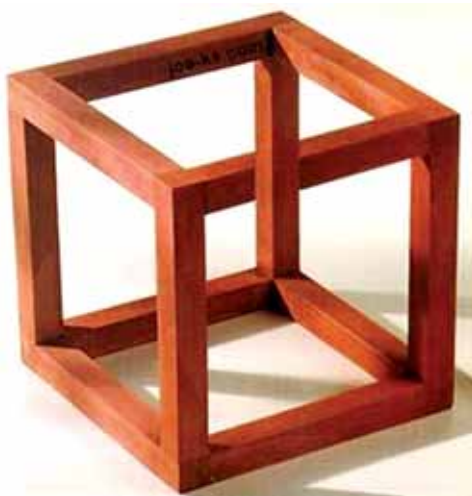
Rys. 7. Czy to kaczka czy zając? (źródło: images.google.pl)

obrócić i natychmiast pojawia się nam odpowiedni obraz.

Abstrakcje malarskie też są dobrym źródłem zachwytu i przykładem omyłności naszego zmysłu wzroku. Wielu malarzy uży-



Rys. 8. Czy to młoda czy stara kobieta?
(źródło: www.gigante.pl)



Rys. 9. Surrealistyczna figura
(źródło: www.graciosissimo.com)

wało niestandardowych technik malarskich, aby ich dzieła były bardziej tajemnicze i zachwycające. Spójrzmy na figurę zbudowaną z drewna. Mamy nieodpartą wrażenie, że coś tu nie gra (rys. 9).

I rzeczywiście, tylny bok figury wychodzi przed przedni, górny. Mamy iluzję splątania figury. Nie może jeden bok być jednocześnie z przodu i z tyłu. Mamy tu do czynienia z surrealizmem tej figury. Albo woda, która spływa wodospadem na niżej umieszczony młyn (rys. 10). Jak to się dzieje, że wraca ona z powrotem na górę wbrew siłom powszechnego ciężenia? Niemożliwe!

Okazuje się więc, że nasz zmysł wzroku bardzo łatwo jest oszukać. Oczywiście jedynie rejestratorem rzeczywistości, a tak naprawdę wszystko zależy od naszego mózgu, a raczej od sposobu przetwarzania i rejestracji obserwowanych obrazów. Odzwierciedlenie świata rzeczywistego w naszym mózgu i porównanie tego z tym, który istnieje w naszej wyobraźni często różni się od siebie. W ciągu naszego całego życia zapamiętywane obrazy ulegają zmianie pod wpływem bodźców zewnętrznych i gromadzonego doświadczenia. Łatwo jest oszukać małe dziecko iluzjami niż starszą osobę, gdyż ona zarejestrowała większą liczbę



Rys. 10. Nierealny wodospad
(źródło: www.psychodnia.pl)

tych samych kształtów i jest w stanie dostrzec subtelne różnice.

Większość zjawisk optycznych i iluzji wywiera na nas duże wrażenie. Są one w pewien sposób tajemnicze, zadziwiające i wręcz niesamowite. Bardzo chętnie im ulegamy, ponieważ chcemy pozostać dłużej w stanie niepewności, a równocześnie mamy nieodparte pragnienie poznać ich wszystkie tajemnice.

Inspiracją do napisania tego artykułu była wystawa zorganizowana w Instytucie Fizyki w Akademii Pomorskiej w Słupsku w ramach V Bałtyckiego Festiwalu Nauki.

Na holu instytutu przedstawiono wiele iluzji i zjawisk optycznych, które można nadal podziwiać. Celem niniejszej wystawy było zainteresowanie widzów otaczającym nas światem i spojrzenie na niego przez pryzmat iluzji optycznych oraz zachęcenie wszystkich do uważnego obserwowania zjawisk przyrody i dostrzegania w nim czegoś nowego. Czasami to co obserwujemy tak naprawdę może okazać się całkiem czymś innym.

dr ROBERT JAWORSKI

Instytut Fizyki Akademia Pomorska w Słupsku

Wielka wpadka

■ JULIUSZ DOMAŃSKI (TORUŃ)

Mój artykuł *Względność ruchu* w 3 numerze *Fizyki w Szkole* z br. to moja największa wpadka w ciągu ostatnich prawie 80 lat. Bowiem były i inne, chyba mniej kompromitujące. Nie tylko udało mi się nabrać samego siebie ale nawet dość dociekliwego fizyka któremu pokazywałem czytelników *Fizyki* to doświadczenie. A także (prawdopodobnie) wielu czytelników *Fizyki w Szkole*. Nikt bowiem do dzisiaj nie wytknął mi tego błędu.

Gdy zastanawiałem się jak, być może, udałoby się usprawnić doświadczenie, zadałem sobie sprawę – tak przecież być nie może! Konsternacja, ale i myśl, że może coś uda się poprawić. I chyba coś wymyśliłem. Do kolejnych prób użyłem dość popularnej dziś tektury stosowanej do wyrobu opakowań. Składa się ona z dwóch warstw grubszego papieru między które wklejono warstwę tworzącą fale. Jeśli wzdłuż doliny jednej z fal przeciągniemy silnie dociskając zaokrąglony na końcu przedmiot, utworzy się niewielkie wgłębienie. To będzie tor toczącej się kuli. Przy górnym oświetleniu wgłębienie jest prawie niewidoczne. Nie jest to zresztą zbyt istotne. Jak zdążyłem się przekonać uczniowie (widzowie) zafascynowani ruchem kuli nie zwracają na nie uwagi. Do doświadczeń używałem dość dużej, masywnej kuli o średnicy 57 mm. Wyjąłem ją kiedyś z track balla od jednej z pierwszych generacji komputera. Prawie identyczne są (nie miałem okazji dokładnie sprawdzić) kule bilardowe.

Używając tarczy o średnicy zaledwie 30 cm, po paru próbach, doskonale dawałem sobie radę z wykonaniem $\frac{1}{2}$ obrotu tarczy w czasie przebywania przez kulę jej średnicy. Wykonanie jednego obrotu sprawia już trudności (kula „ucieka” z toru). Być może uda się to przy większej średnicy tarczy. Zwracamy teraz uwagę na istnienie rowka. Ruch kuli względem tarczy odbywał się po prostej, względem nas po zamkniętej (lub prawie zamkniętej) pętli.

Doświadczenie byłoby łatwiejsze do przeprowadzenia gdyby udało się umieścić naszą tarczę na osi (bez tego dość trudno uzyskać ruch czysto obrotowy). Mam nadzieję, że czytelnicy wymyślą jak to najłatwiej zrobić.

Napisałem też program symulujący ruch kuli (dla dowolnej liczby obrotów nie większej niż 4). Być może znajdę sposób na przekazanie go czytelnikom. Byłoby dobrze, gdyby uczniowie, po obejrzeniu doświadczenia, mogli się trochę programem pobawić.