

1100-1B015, rok akademicki 2019/20

# **OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA**

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 11

# Jakość widzenia

Warunki świetlne, w których pracuje układ wzrokowy, tworzą środowisko wzrokowe, które ilościowo określa **natężenie oświetlenia**, jego **rozkład przestrzenny** i **czasowy** oraz **rozkład spektralny** światła (widmo).

Komfort wzrokowy: takie warunki w środowisku wzrokowym, przy których jakość widzenia i wydolność wzrokowa będą możliwie najwyższe.

Na jakość widzenia wpływają:

- czynniki fizjologiczne:
  - **akomodacja**
  - **adaptacja**
  - **zbieżność widzenia**
- czynniki fizyczne (możemy kształtować):
  - **luminancja przedmiotu**
  - **kontrast**
  - **rozkład luminancji**
  - **kątowy rozmiar szczegółów**
  - **czas przeznaczony na postrzeganie**

Zjawisko dostosowania się oka do oglądania przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach. Dostosowanie to polega na odpowiednim doborze długości ogniskowej układu optycznego oka, tak aby na siatkówce powstawał ostry obraz oglądanego przedmiotu.

Jest to możliwe dzięki mięśniom (mięsień rzęskowy) i elastyczności soczewki.

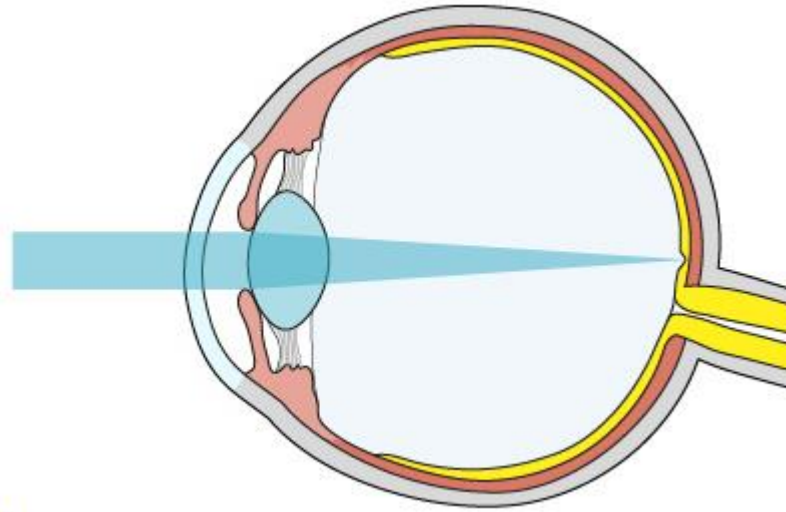
- Skupienie wzroku na obiekcie znajdującym się daleko następuje dzięki rozluźnieniu mięśnia = spłaszczenie soczewki,
- Skupienie wzroku na obiekcie znajdującym się blisko następuje dzięki skurczu mięśnia = zaokrąglenie soczewki.

Zakres akomodacji oka człowieka to odległość między punktem bliży i dali wzrokowej:

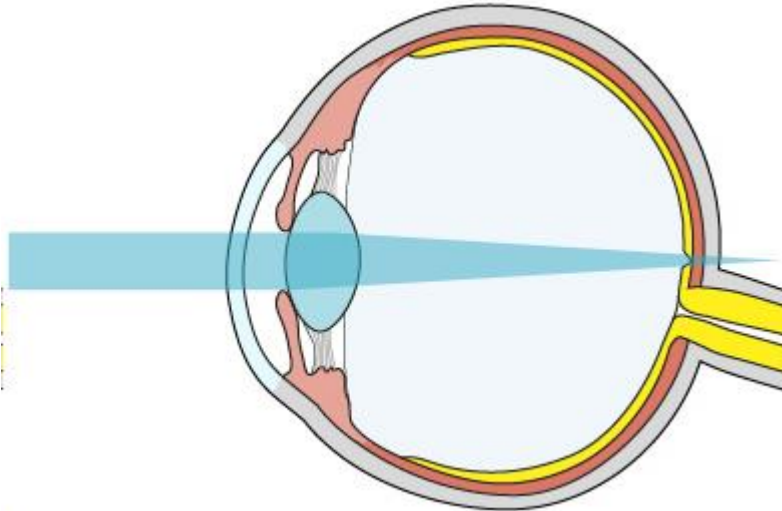
- Punkt bliży wzrokowej – najbliższy punkt, jaki oko jest w stanie ostro widzieć dzięki akomodacji soczewki (ok. 10 cm),
- Punkt dali wzrokowej – najdalszy punkt, powyżej którego soczewka nie akomoduje (ok. 6 m).

# Akomodacja

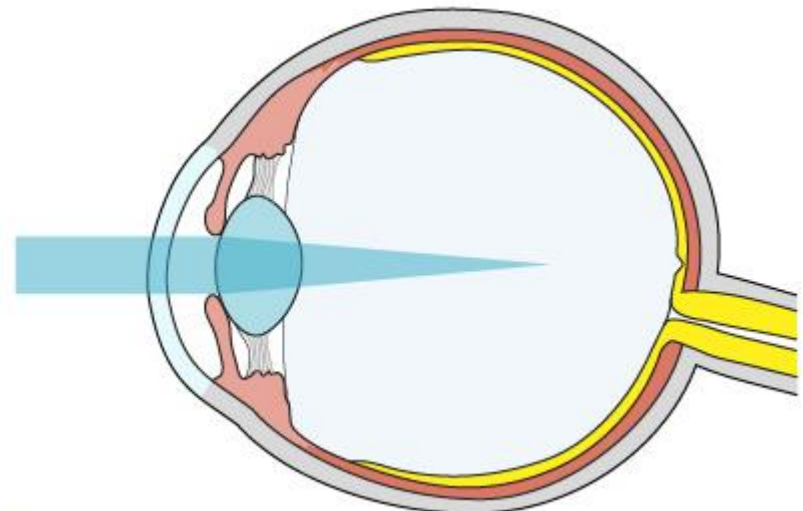
Oko miarowe



Nadwzroczność



Krótkowzroczność



# Akomodacja

Istnieją dwa zasadnicze mechanizmy akomodacji:

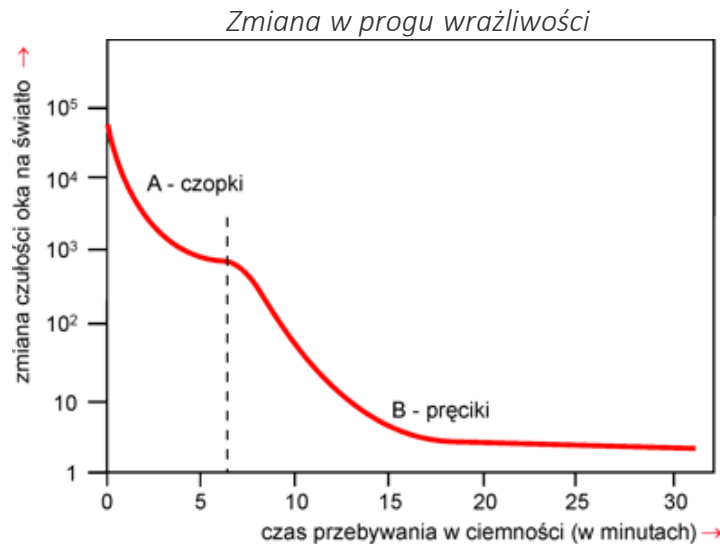
- zmiana kształtu soczewki oka = zmiana ogniskowej (zmiana zdolności skupiającej),
- zmiana odległości soczewki od siatkówki.

Pierwszy mechanizm występuje u ssaków, a drugi u ryb. U ptaków występują oba mechanizmy, zaś u stawonogów zjawisko akomodacji w ogóle nie występuje.

# Adaptacja

Adaptacja pozwala oku widzieć przy różnych poziomach oświetlenia

- Zmiana wielkości źrenicy. Zależnie od ilości dostępnego światła, średnica źrenicy przeciętnej dorosłej osoby zmienia się od 2 do 8 milimetrów, dając zmienność w czułości oka od 1:16. Adaptacja szerokości źrenicy zachodzi w ciągu kilku dziesiątych sekundy.
- Adaptacja fotochemiczna. Gdy światło wpada do oka, skład chemiczny światłoczułych pigmentów w pręcikach i czopkach zmienia się, przez co wyzwalany jest mały prąd elektryczny. W ciemnościach, pigmenty te są odnawiane i są ponownie gotowe na reagowanie na światło.



Zakres warunków oświetlenia funkcjonowania oka obejmuje 12 rzędów wielkości

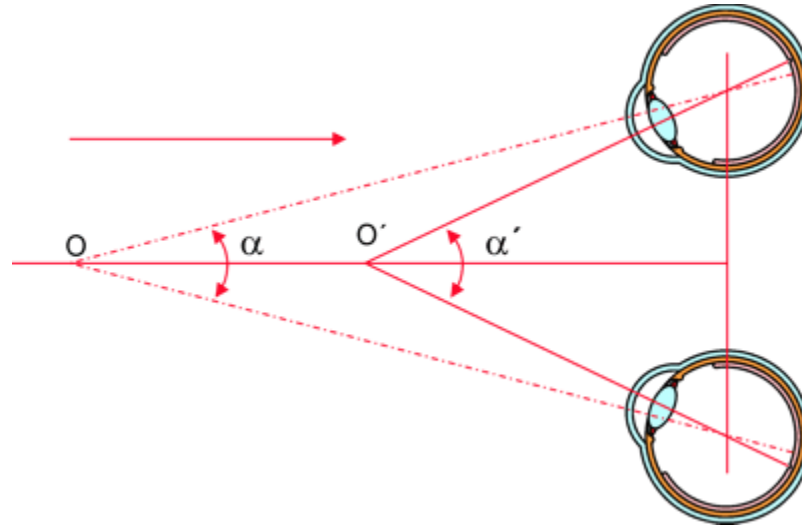
Gdy ludzkie oko jest całkowicie przystosowane do ciemności, może ono wtedy, przy korzystnych warunkach, dostrzec nawet pojedynczy foton.

Adaptacja do ciemności, jasności i koloru:

- Jeśli oko jest zaadaptowane do widzenia dziennego, pełna adaptacja do ciemności (np. po wejściu ciemnego pomieszczenia) zajmuje nawet ponad godzinę
- Adaptacja do jasności zajmuje tylko kilka sekund
- System wzrokowy potrafi także kompensować i neutralizować zmiany chromatyczne w oświetleniu także widziany kolor jest względnie niezależny od rodzaju oświetlenia (np. żarówka lub słońce)

# Zbieżność widzenia

Zbieżność (konwergencja) pozwala nam widzieć pojedynczy cel przy pomocy obu oczu –  
widzenie stereoskopowe





# Czas postrzegania

- Widzenie nie jest procesem natychmiastowym - potrzebny jest czas, aby nastąpiła reakcja, a kiedy zaniknie, wrażenie utrzymuje się jeszcze chwilę (dziesiątne części sekundy).
- Oko jest zdolne przechowywać wrażenie wzrokowe w czasie mniej więcej 0,1 sekundy. Fakt ten wykorzystywany jest w kinie, gdzie wyświetlane są kolejne nieruchome kadry filmu z prędkością 24 klatek na sekundę (w TV: 25 fps).
- Związek czasu i intensywności bodźca, charakterystyczny dla wszystkich procesów fotochemicznych. Oko reaguje na ogólną sumę działającej energii. Dlatego też samo wrażenie można uzyskać zwiększając czas oddziaływania bodźca, przy równoczesnym zmniejszeniu jego intensywności.

# Luminancja - kontrast

Aby można było zaobserwować jakikolwiek przedmiot, musi wystąpić różnica luminancji lub barwy, czyli tzw. kontrast pomiędzy obiektem i tłem, na którym obiekt ten jest obserwowany.

Musi on być większy od wartości progowej (minimalnej), gdyż inaczej obiektu nie będzie można odróżnić od tła. W miarę wzrostu kontrastu warunki obserwacji ulegają polepszeniu.

Aby można było zaobserwować jakikolwiek przedmiot lub szczegół musi wystąpić różnica luminancji lub barwy, czyli tzw. kontrast pomiędzy obiektem a tłem. Musi on być większy od wartości progowej (minimalnej). W przeciwnym przypadku obiekt będzie zlewał się z tłem i nie będzie widoczny. W miarę spadku kontrastu warunki obserwacji ulegają pogorszeniu. Na wygodę widzenia ma wpływ także wielkość szczegółu pracy wzrokowej.

Przykład warunków obserwacji w zależności od kontrastu luminancji

# Luminancja - kontrast

Kontrast luminancji, jest to stosunek różnicy luminancji obserwowanego obiektu  $L_o$  i luminancji tła  $L_t$  do luminancji tła:

$$K = \frac{L_o - L_t}{L_t}$$

Kontrast jest dodatni, gdy  $L_o > L_t$ , natomiast ujemny, gdy  $L_t > L_o$ .

W przypadku gdy mierzymy natężenie światła:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

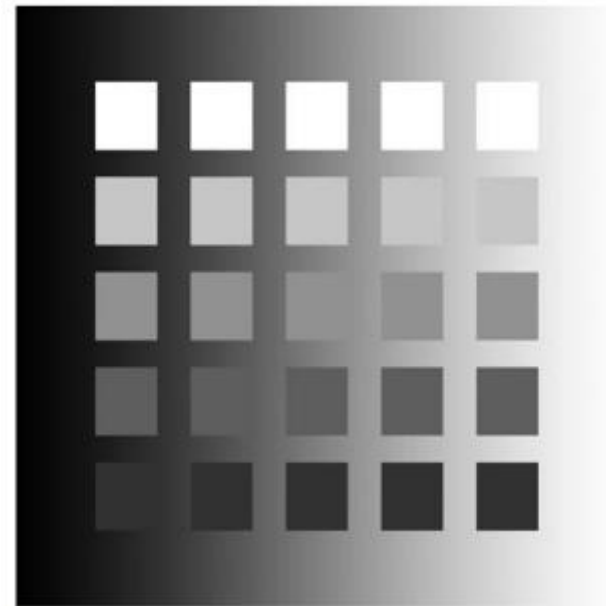
Kontrast Michelsona

# Kontrast

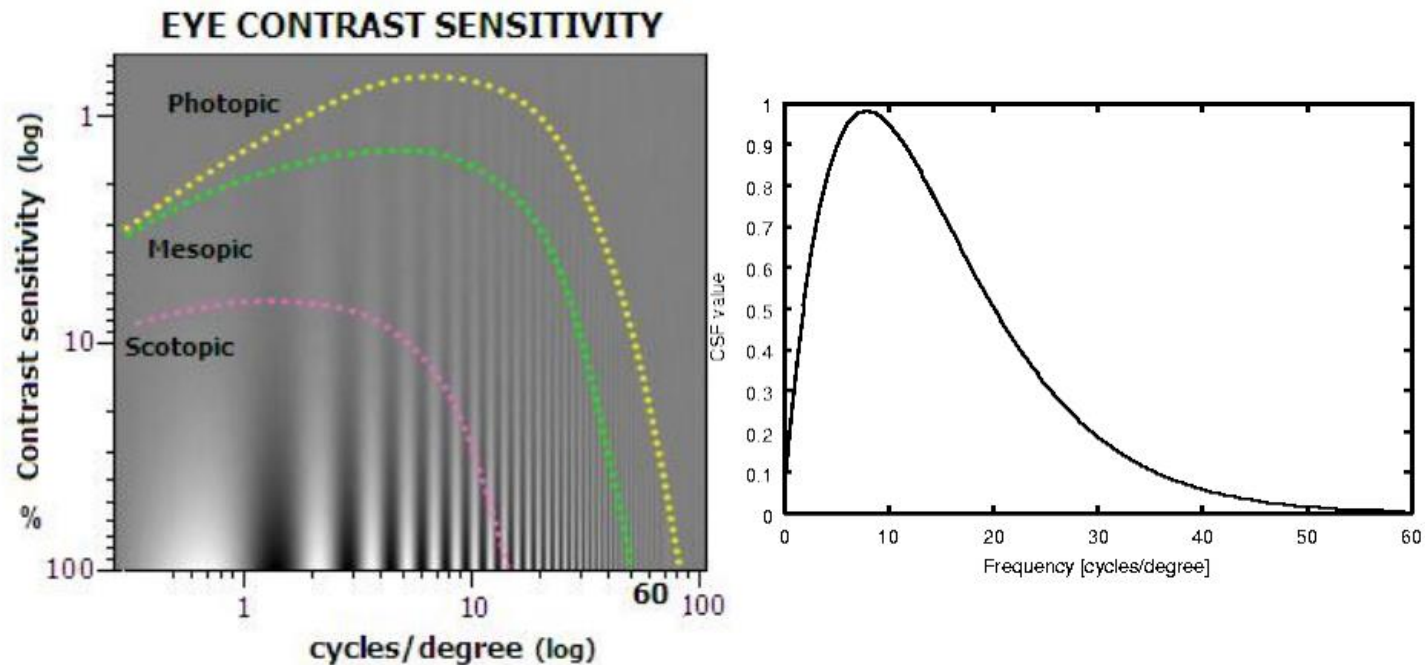
- Wzrok jest bardziej czuły na różnicę jasności niż na jasność bezwzględną, dzięki czemu świat jest „podobny” niezależnie od natężenia oświetlenia.
- Istnieją różne definicje kontrastu, które można stosować do różnych obrazów.

## Kontrast:

- Odróżnianie przedmiotów od tła,
- wykrywanie tekstury,
- koloru,
- ruchu,
- kształtu,
- Głębi.



## Wrażliwość na kontrast

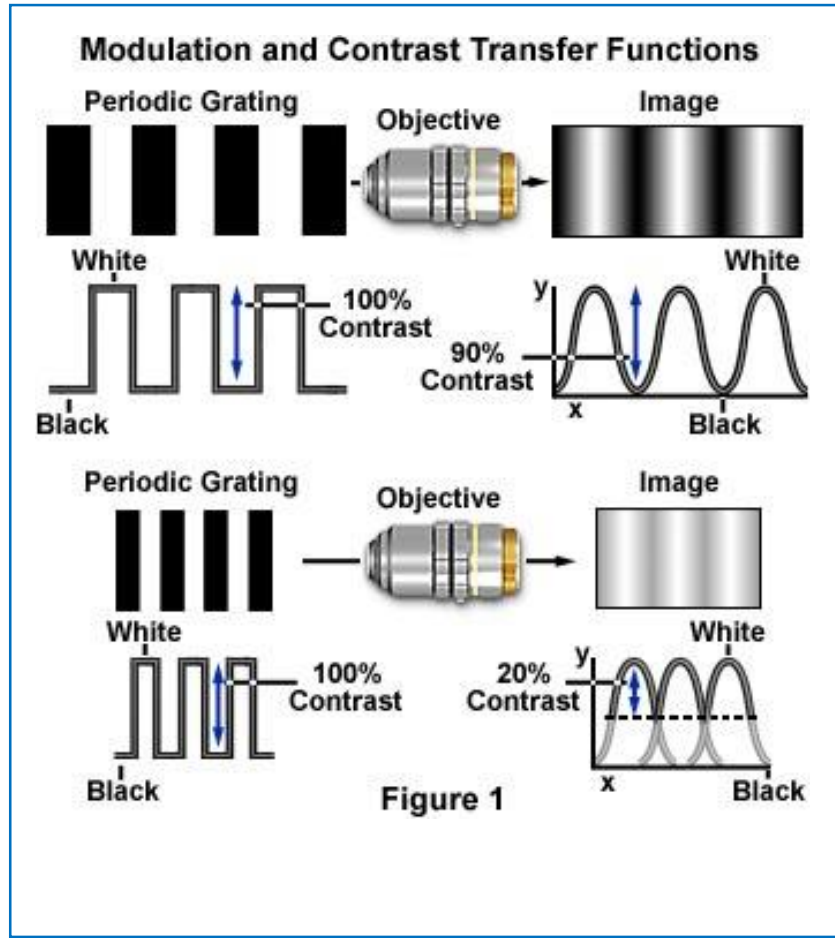
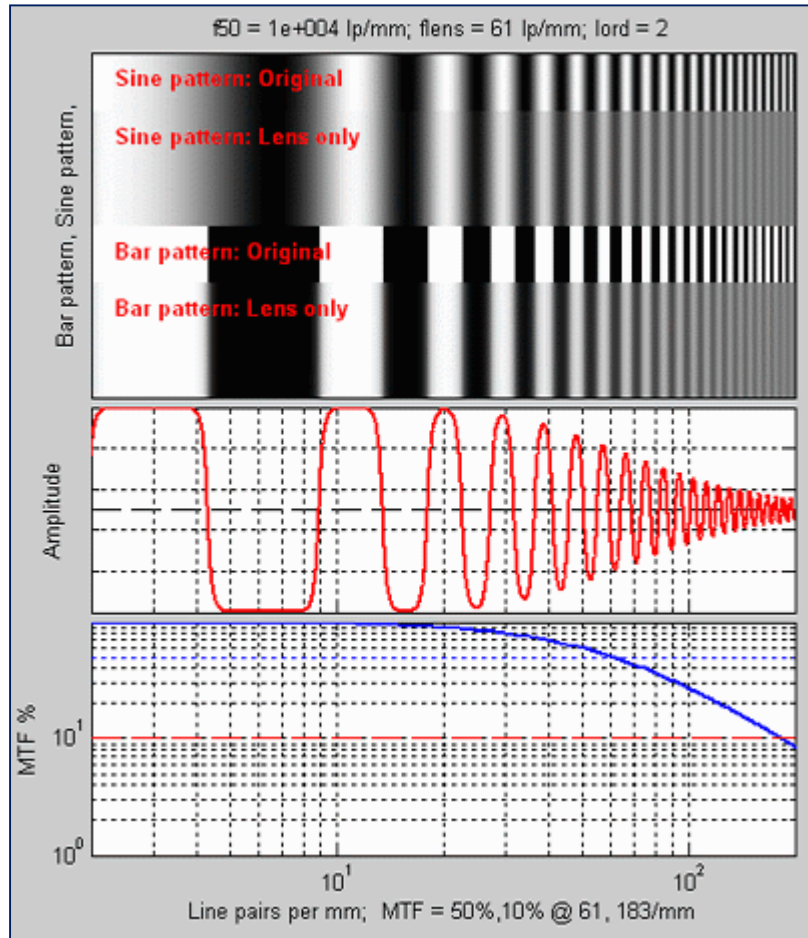


- Dla średniej luminancji  $40 \text{ cd/m}^2$  maksymalna wrażliwość na kontrast występuje dla 3 prążków na stopień kąta (szerokość prążka 10 minut) i wynosi ona (wg definicji Michelsona) 0,3%

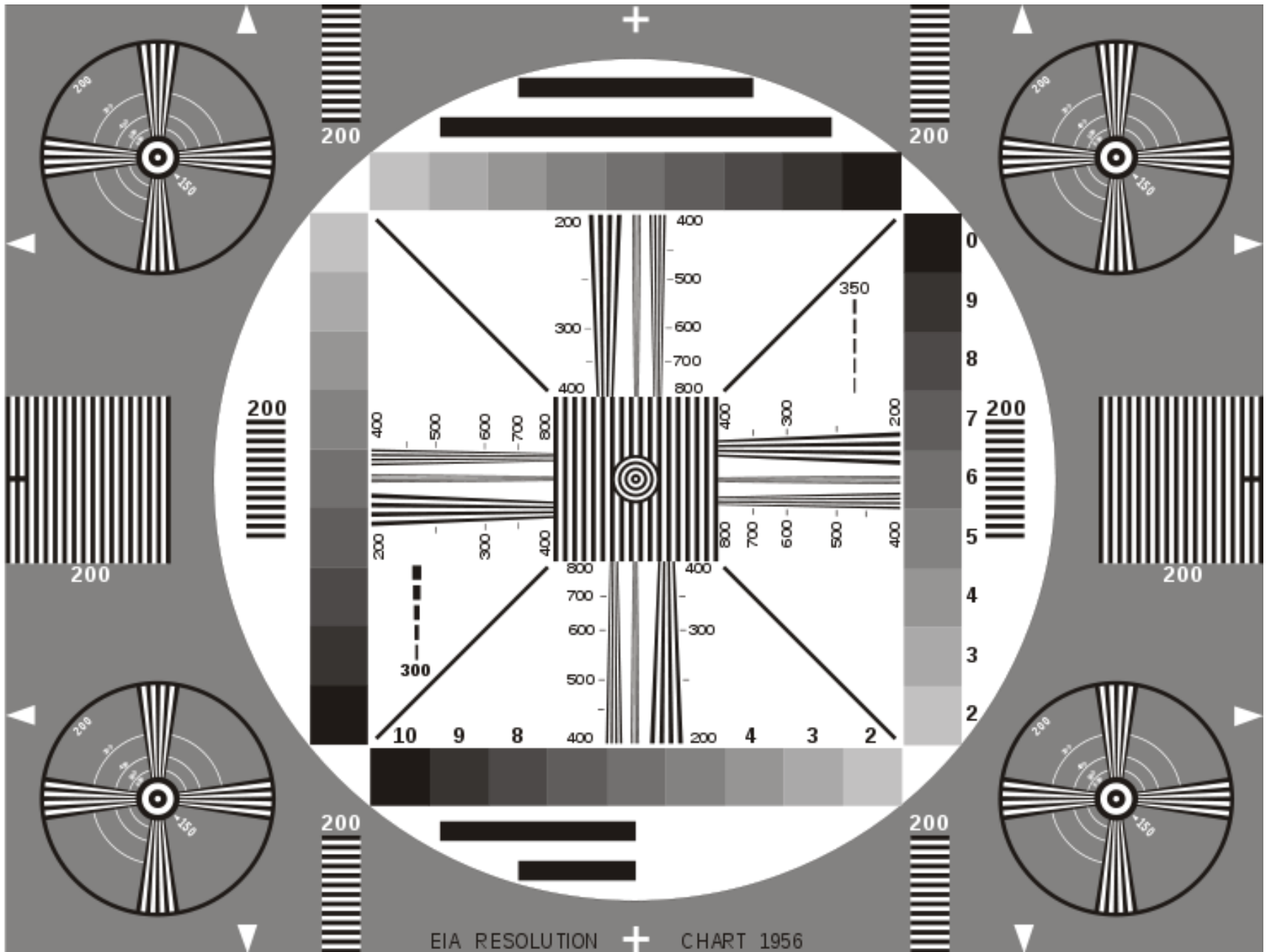
# Kontrast

## Funkcja przenoszenia kontrastu (MTF - Modulation Transfer Function)

$$C(f) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}; \quad MTF(f) = 100\% \cdot \frac{C(f)}{C(0)}$$



# Kontrast



## Ocena czułości na kontrast

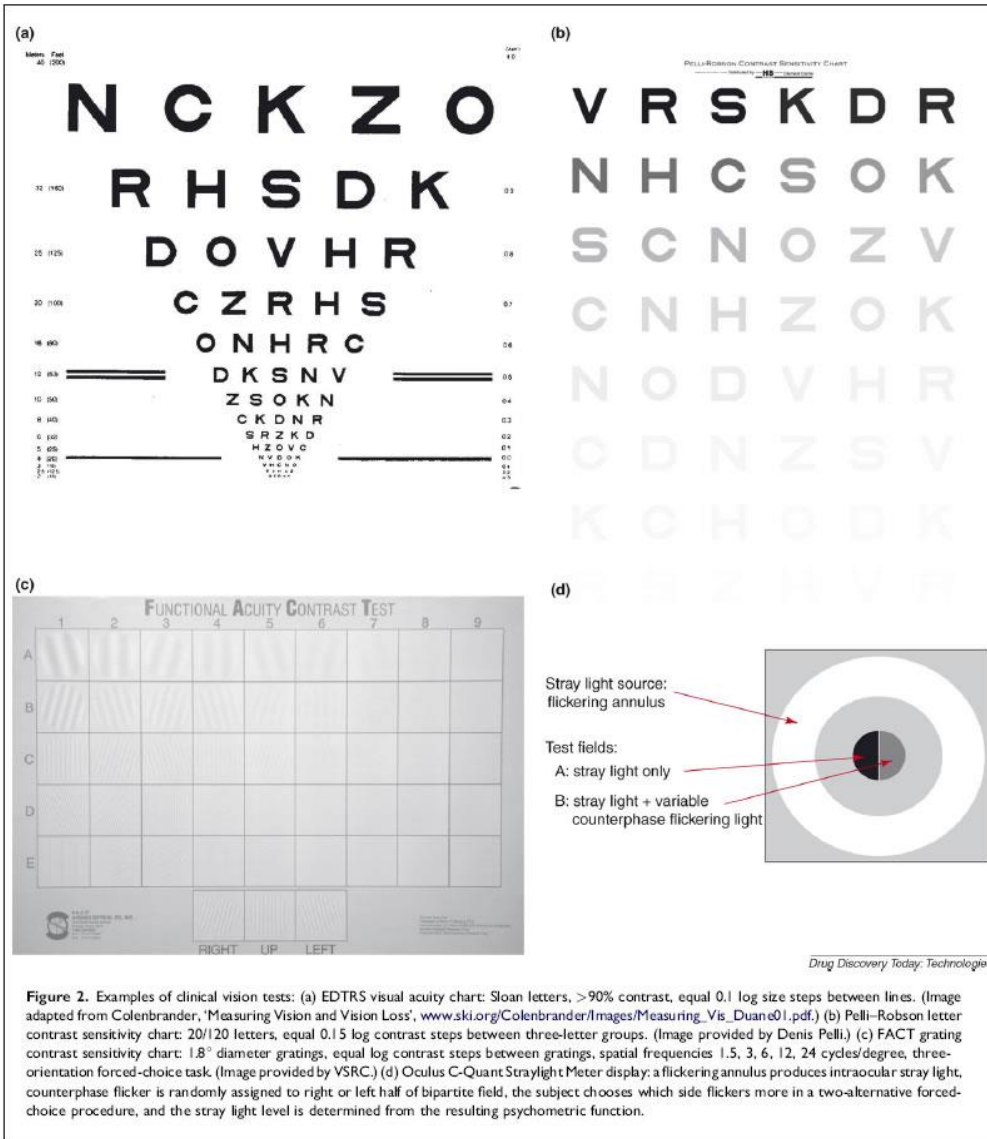


Figure 2. Examples of clinical vision tests: (a) EDTRS visual acuity chart: Sloan letters, >90% contrast, equal 0.1 log size steps between lines. (Image adapted from Colenbrander, 'Measuring Vision and Vision Loss', [www.ski.org/Colenbrander/Images/Measuring\\_Vis\\_Duane01.pdf](http://www.ski.org/Colenbrander/Images/Measuring_Vis_Duane01.pdf).) (b) Pelli-Robson letter contrast sensitivity chart: 20/120 letters, equal 0.15 log contrast steps between three-letter groups. (Image provided by Denis Pelli.) (c) FACT grating contrast sensitivity chart: 1.8° diameter gratings, equal log contrast steps between gratings, spatial frequencies 1.5, 3, 6, 12, 24 cycles/degree, three-orientation forced-choice task. (Image provided by VSRC.) (d) Oculus C-Quant Straylight Meter display: a flickering annulus produces intraocular stray light, counterphase flicker is randomly assigned to right or left half of bipartite field, the subject chooses which side flickers more in a two-alternative forced-choice procedure, and the stray light level is determined from the resulting psychometric function.

B. Drum, D. Calogero and E. Rorer, *Assessment of visual performance in the evaluation of new medical products*, Drug Discovery Today: Technologies **4(2)**, 2007.



# Złudzenia optyczne

Złudzenia optyczne - przyczyny powstawania złudzeń:

- szczególne ułożenie linii
- kontrast otoczenia
- odwrócenie uwagi
- naruszenie rytmu
- istnienie barwnego kontrastu
- warunki przestrzenne

Grafika trójwymiarowa

Złudzenia optyczne dzielimy na:

- Fizjologiczne – wynikające np. z budowy siatkówki i jej funkcji, np.:
  - powidoki
  - hamowanie oboczne
- Skojarzeniowe – wynikające z procesów widzenia, zachodzących w układzie neurologicznym, np.:
  - dwuznaczności
  - zniekształcenia geometryczne
  - paradoksy,
  - nie istniejące konstrukcje

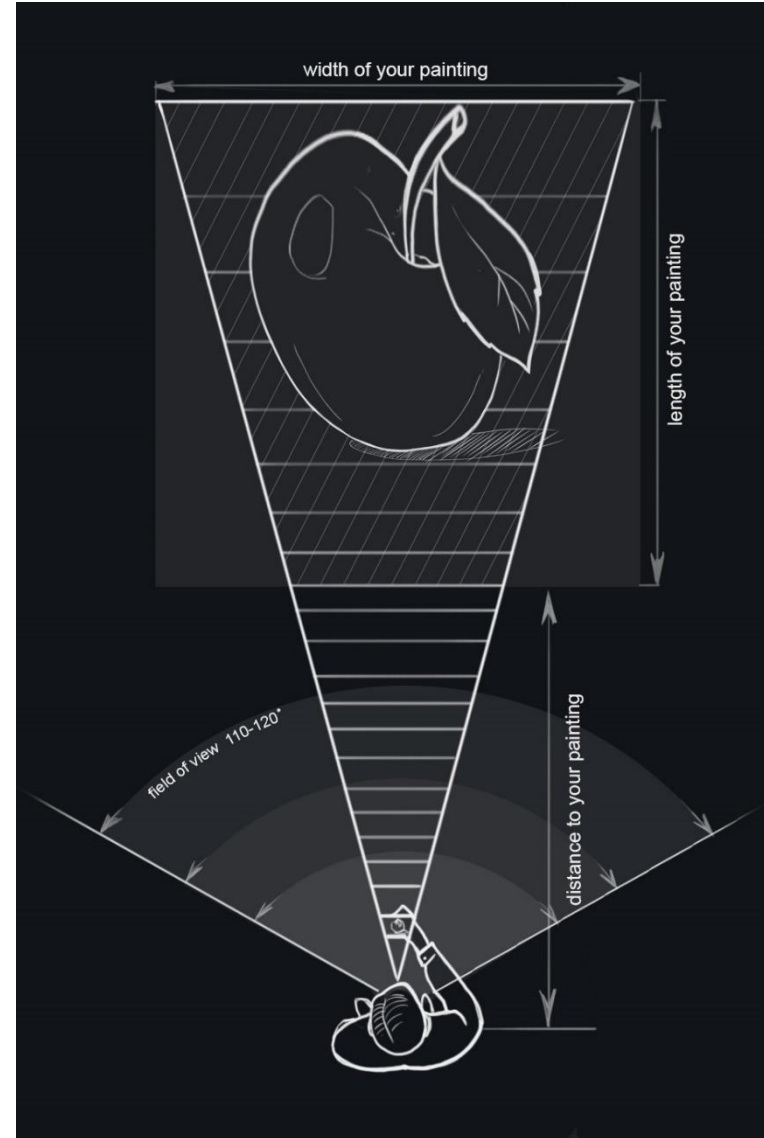
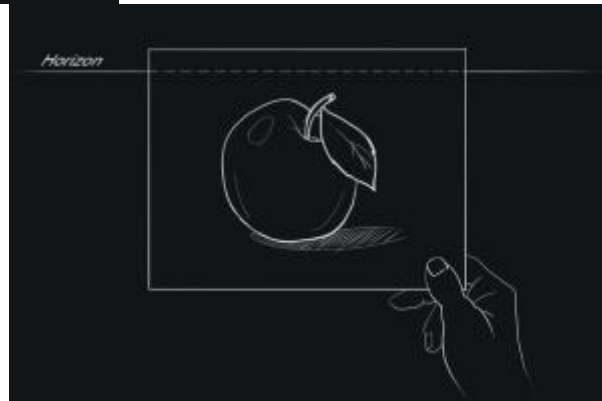
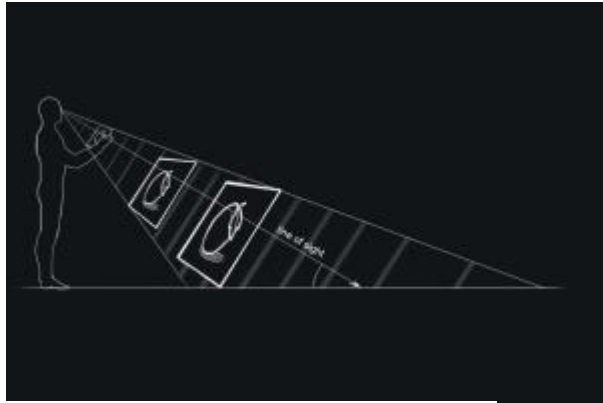
# Złudzenia optyczne

Złudzenia anamorficzne, Perspektywa, Geometria



# Złudzenia optyczne

## Złudzenia anamorficzne



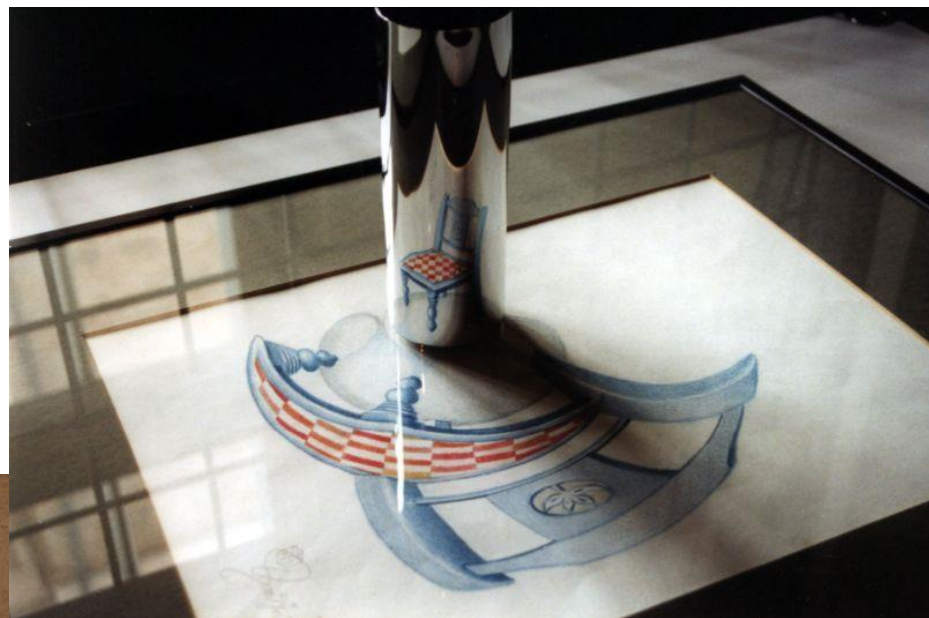
# Złudzenia optyczne

## Złudzenia anamorficzne



# Złudzenia optyczne

## Geometria



# Złudzenia optyczne

## Geometria



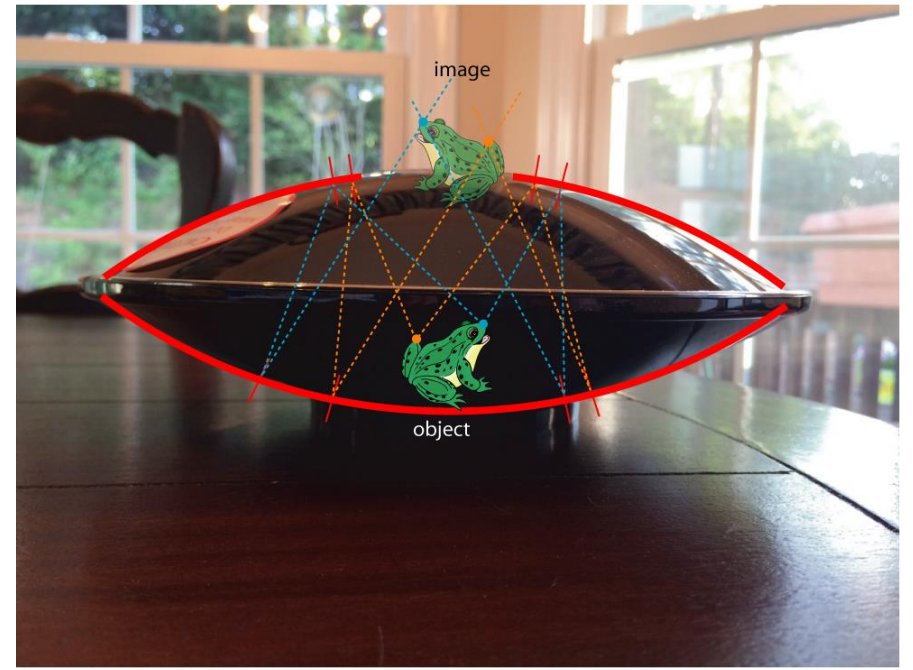
# Złudzenia optyczne

## Lustra



# Złudzenia optyczne

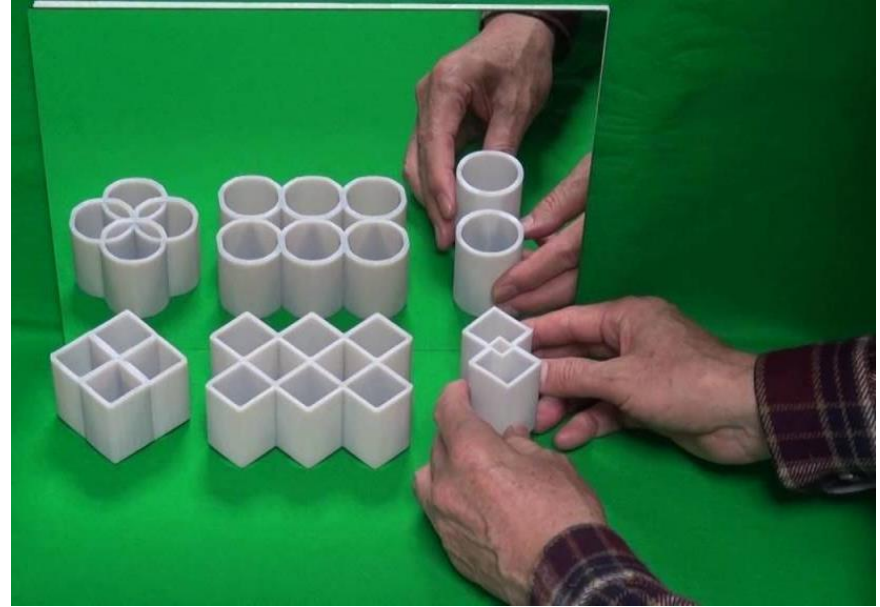
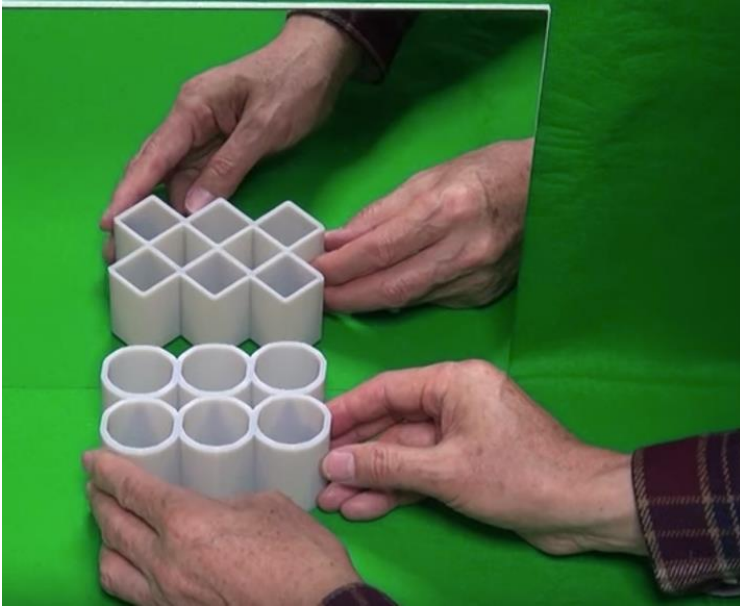
## Lustra





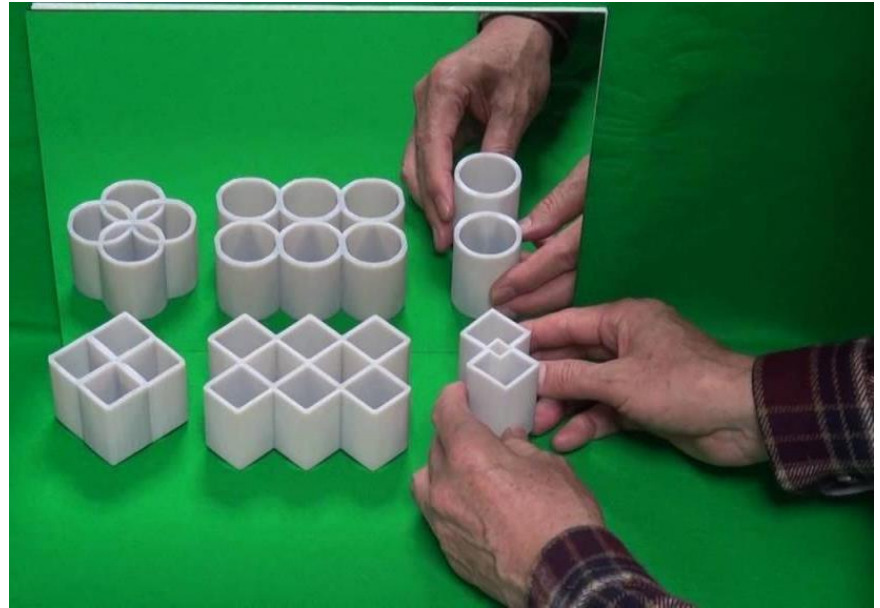
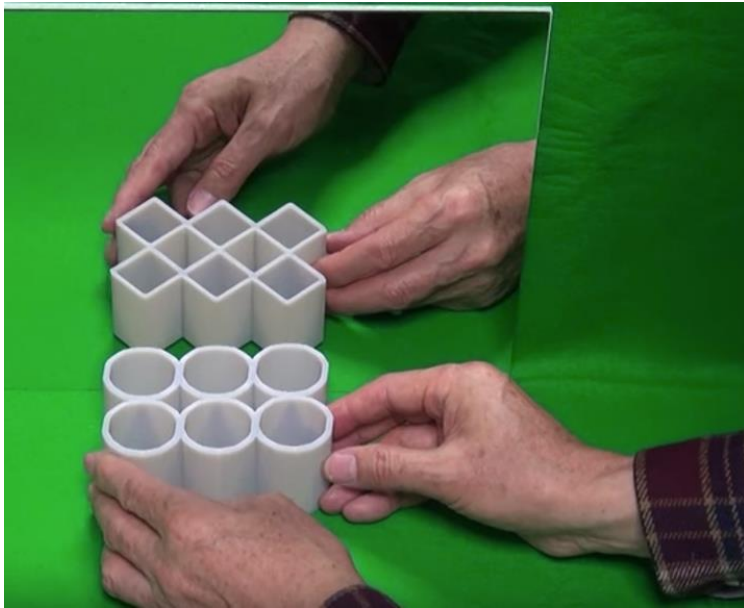
# Złudzenia optyczne

## Lustra



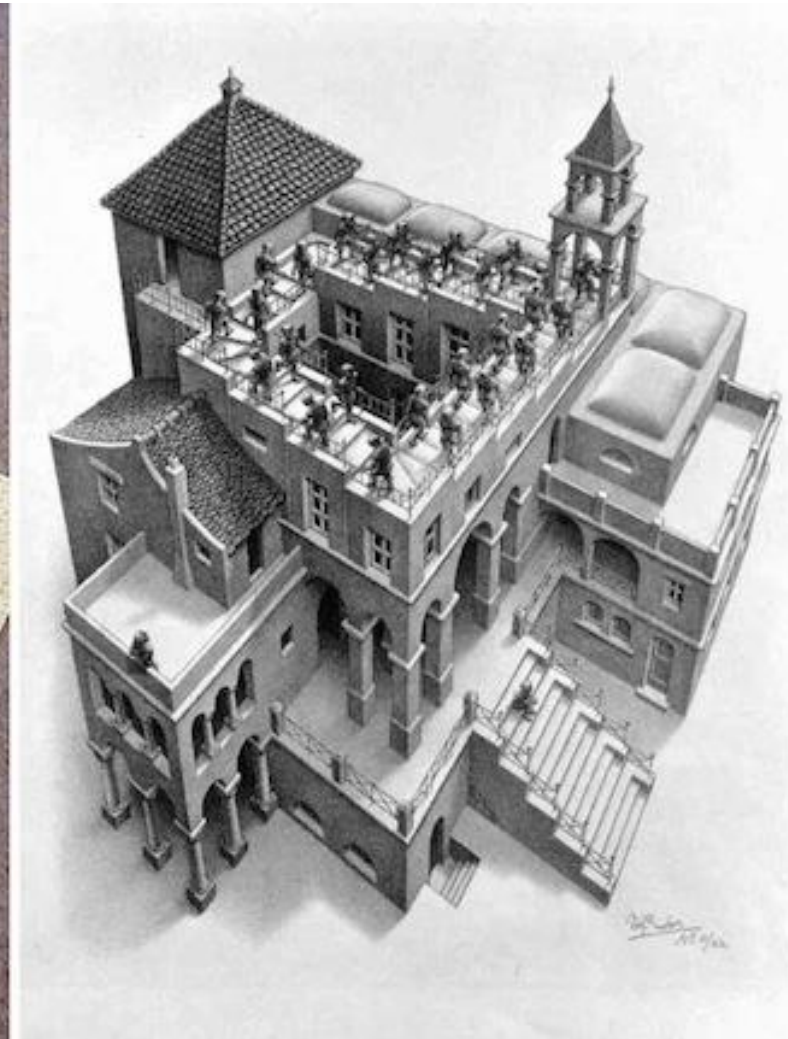
# Złudzenia optyczne

## Lustra



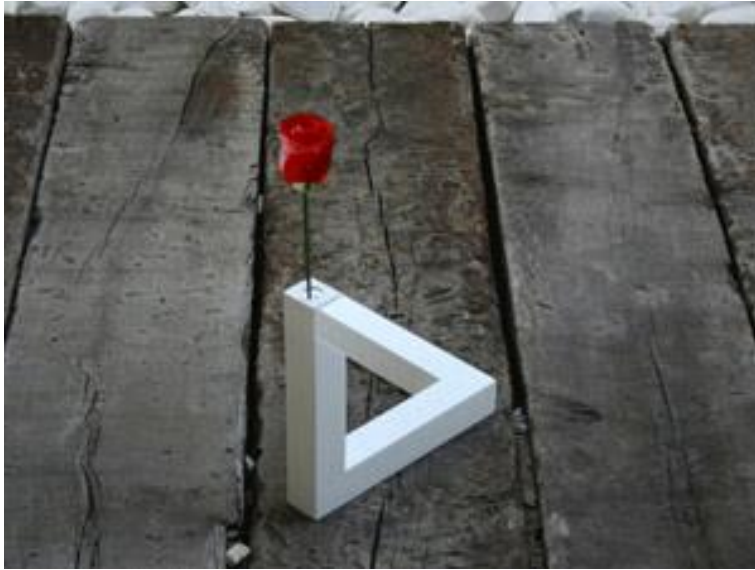
# Złudzenia optyczne

## Przedmioty niemożliwe



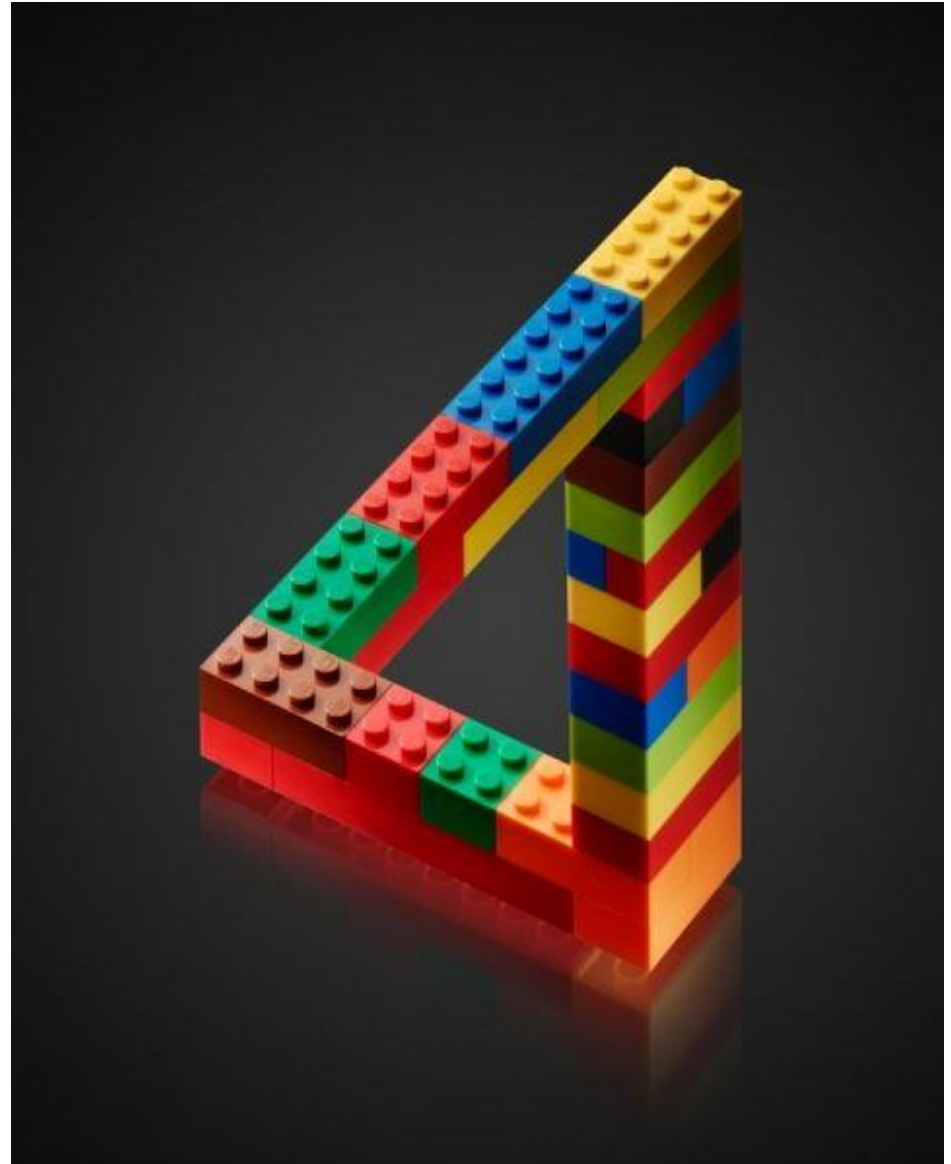
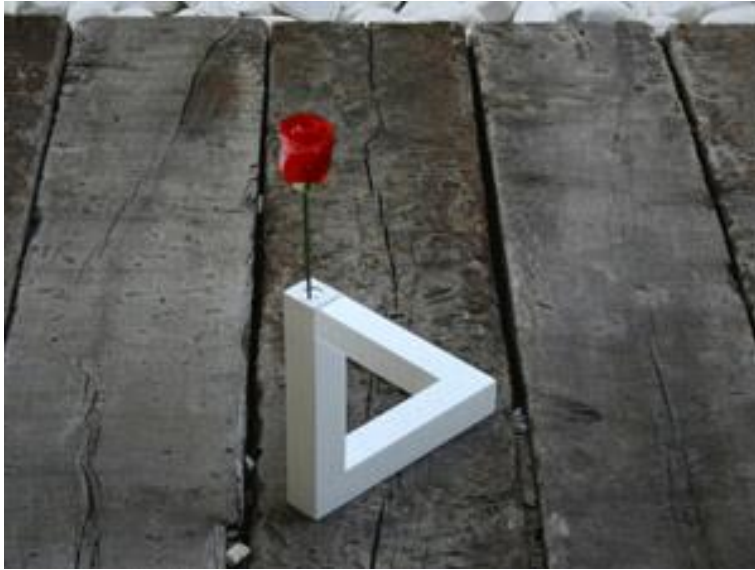
# Złudzenia optyczne

## Przedmioty niemożliwe



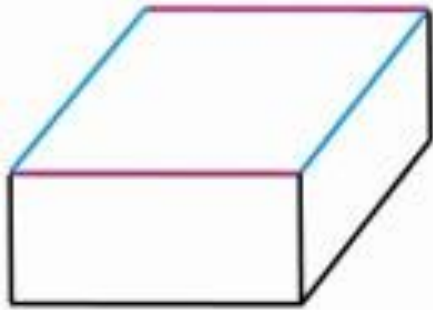
# Złudzenia optyczne

## Przedmioty niemożliwe



# Złudzenia optyczne

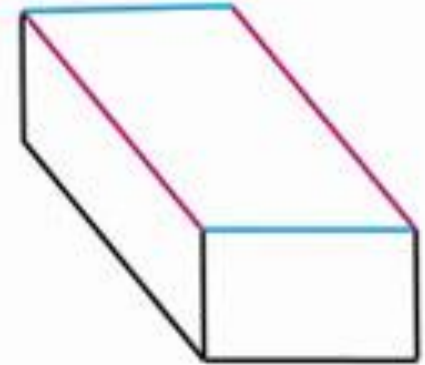
## Perspektywa



A



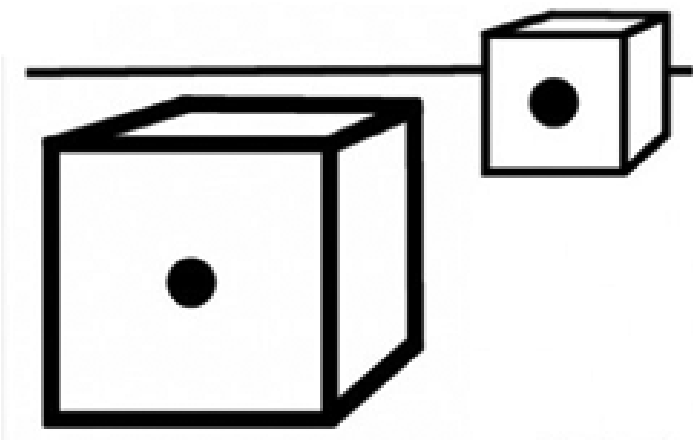
B



C

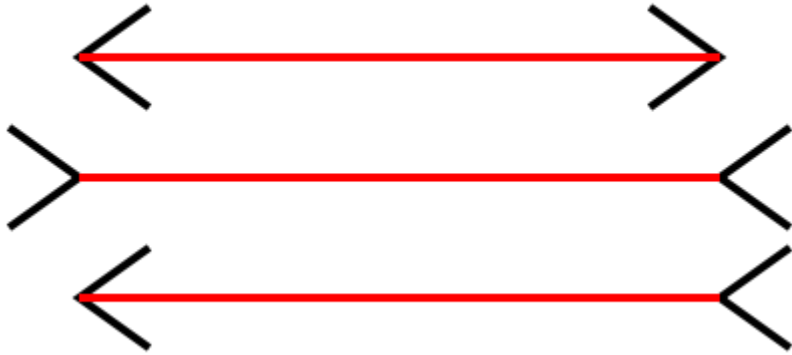
# Złudzenia optyczne

Perspektywa



# Złudzenia optyczne

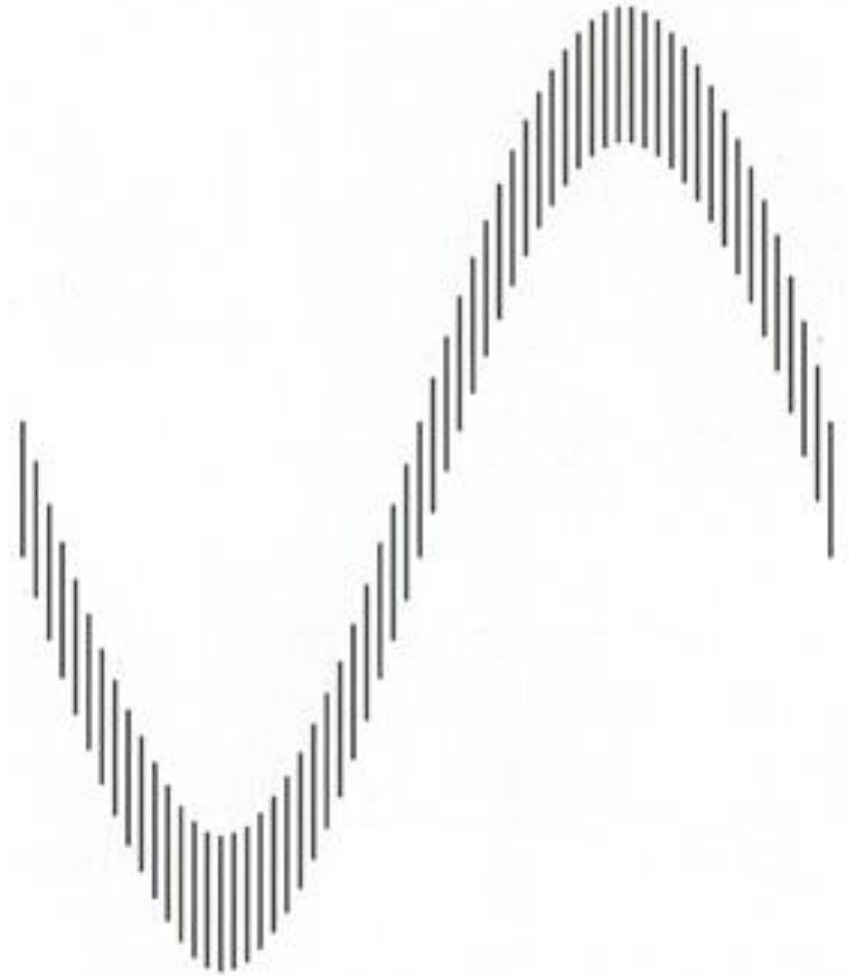
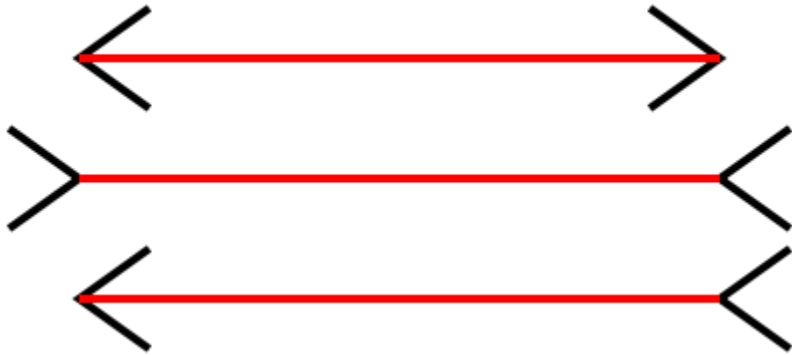
Długość





# Złudzenia optyczne

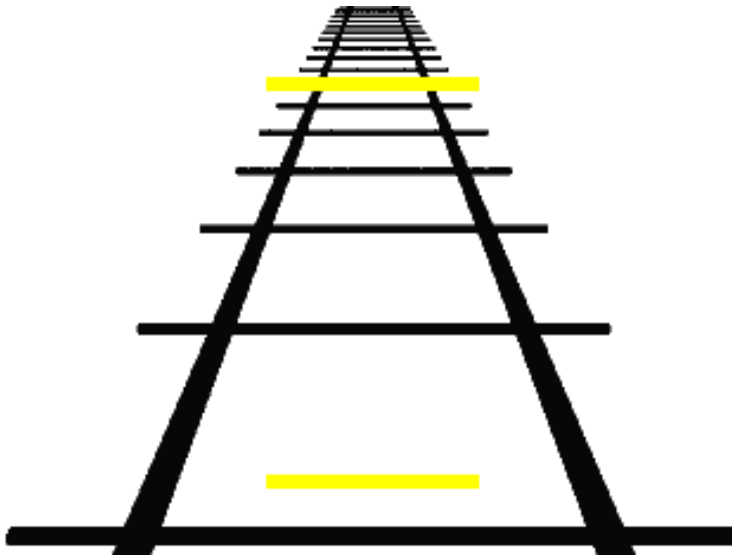
Długość



# Złudzenia optyczne

## Sąsiedztwo

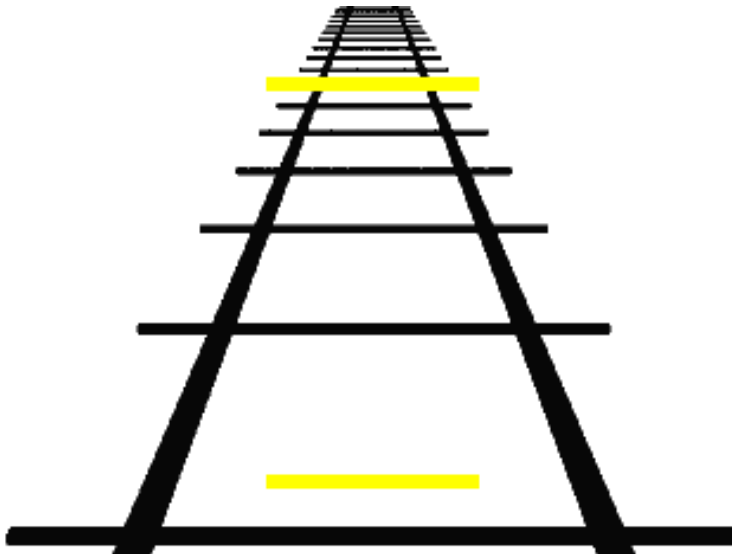
perspektywa



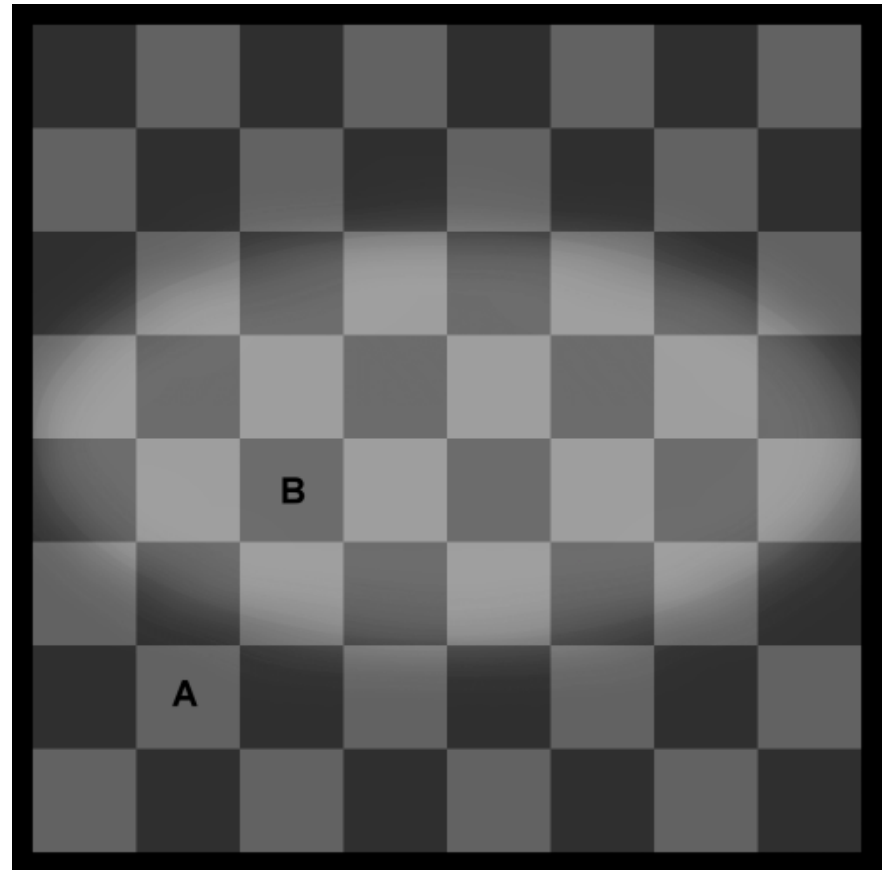
# Złudzenia optyczne

Sąsiedztwo

perspektywa

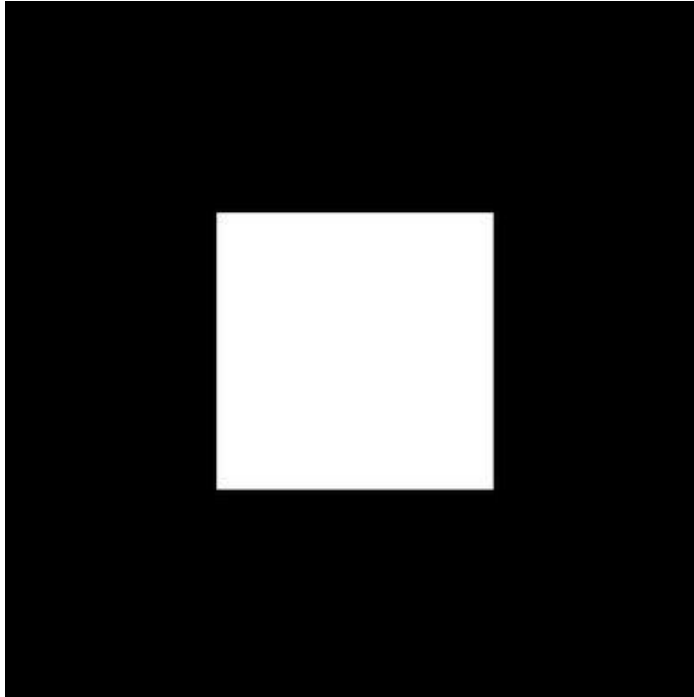


kolor



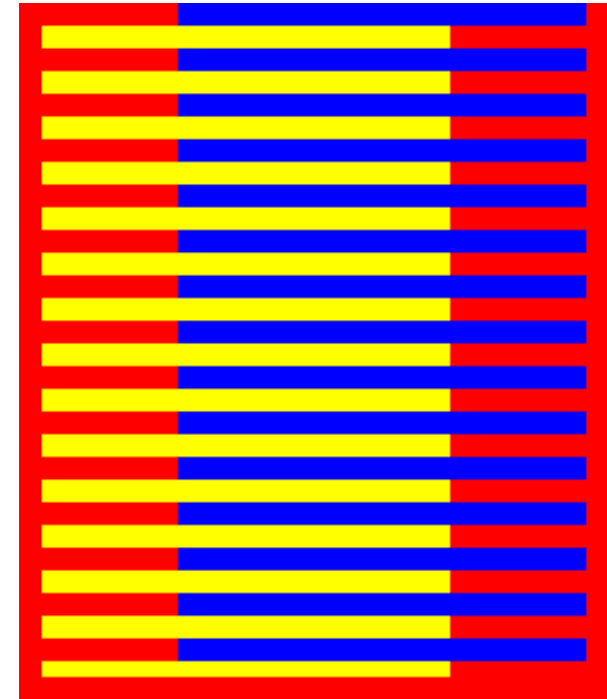
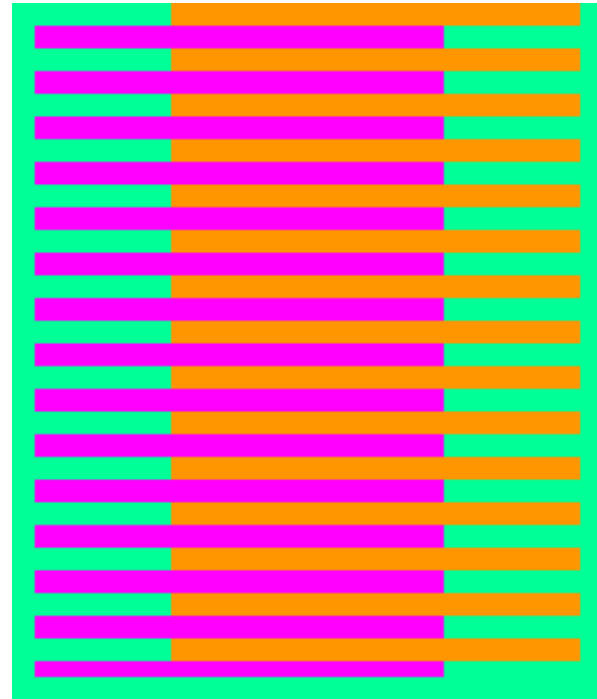
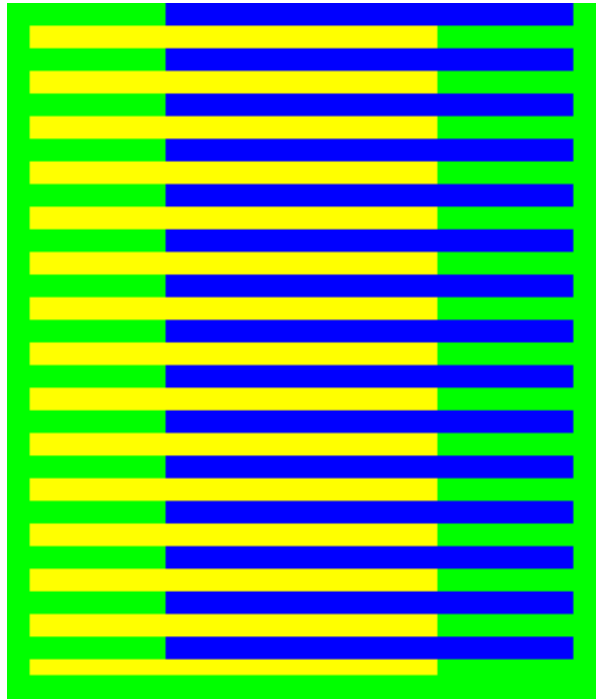
# Złudzenia optyczne

Sąsiedztwo



# Złudzenia optyczne

## Sąsiedztwo



# Złudzenia optyczne

## Wstęga Macha



Wydaje się bardziej jasne niż jest w rzeczywistości

Wydaje się bardziej czarne niż jest w rzeczywistości

# Złudzenia optyczne

Technika tilt-shift = efekt makiety

technika fotograficzna stosowana w obiektywach z możliwością przesunięcia osi optycznej, dzięki czemu można korygować perspektywę i głębię ostrości.



# Złudzenia optyczne

Technika tilt-shift = efekt makiety





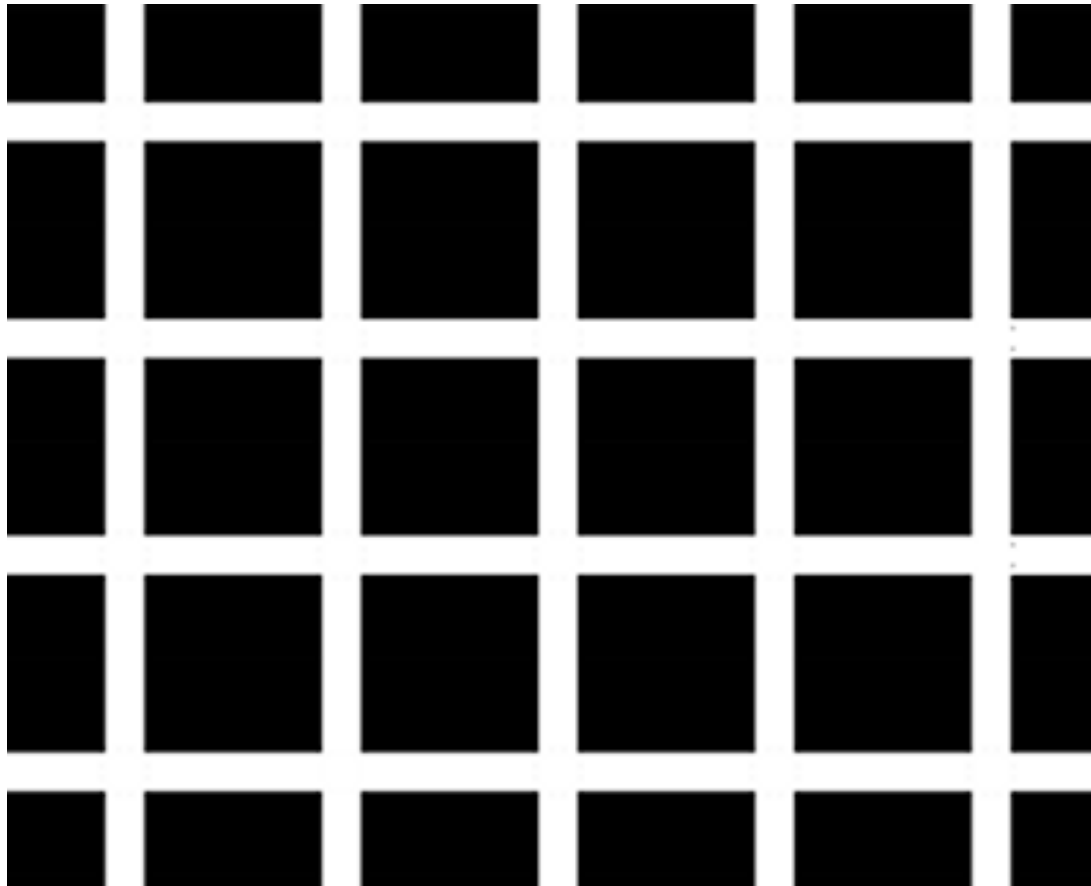
# Złudzenia optyczne

Technika tilt-shift = efekt makiety

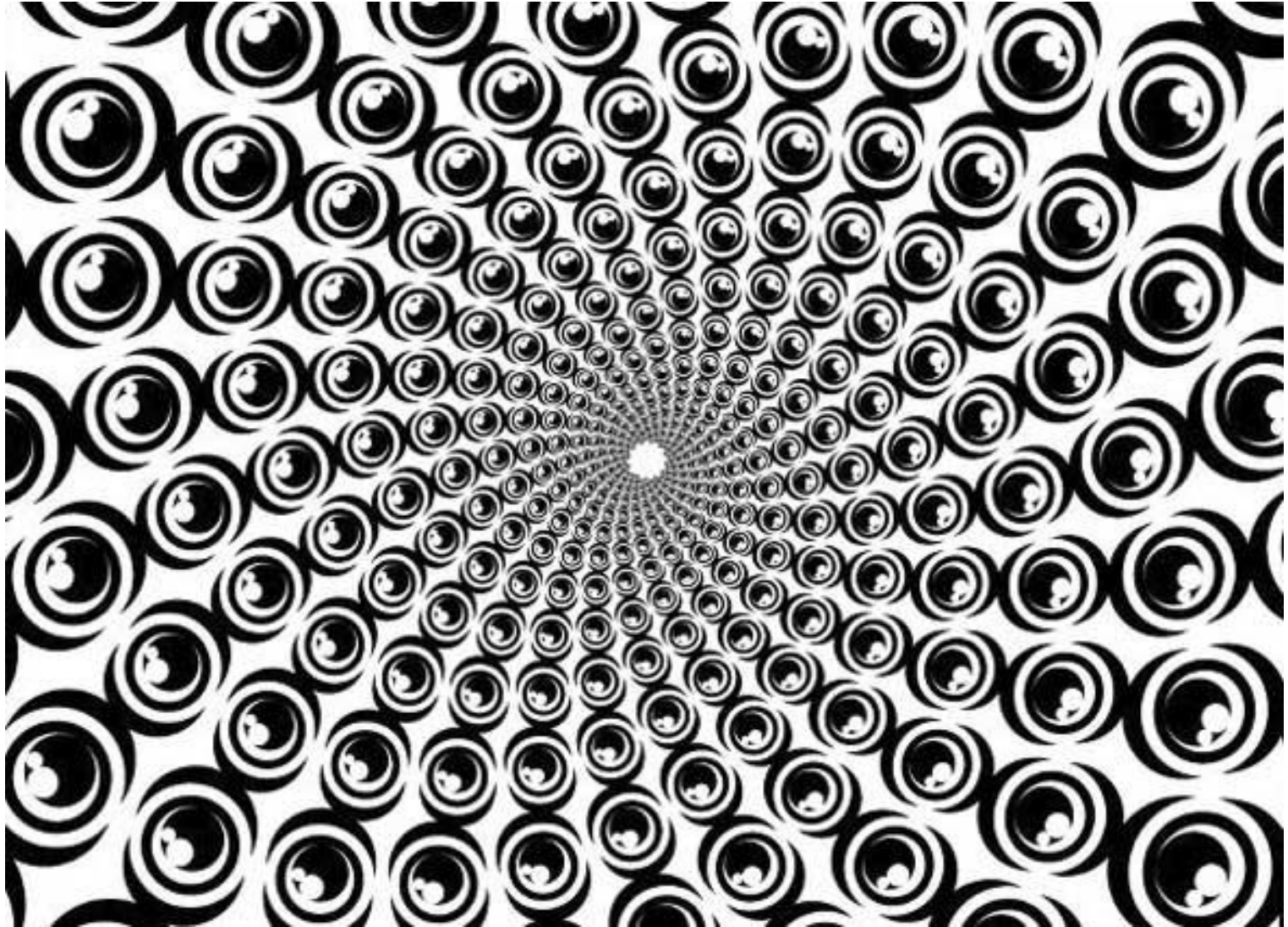


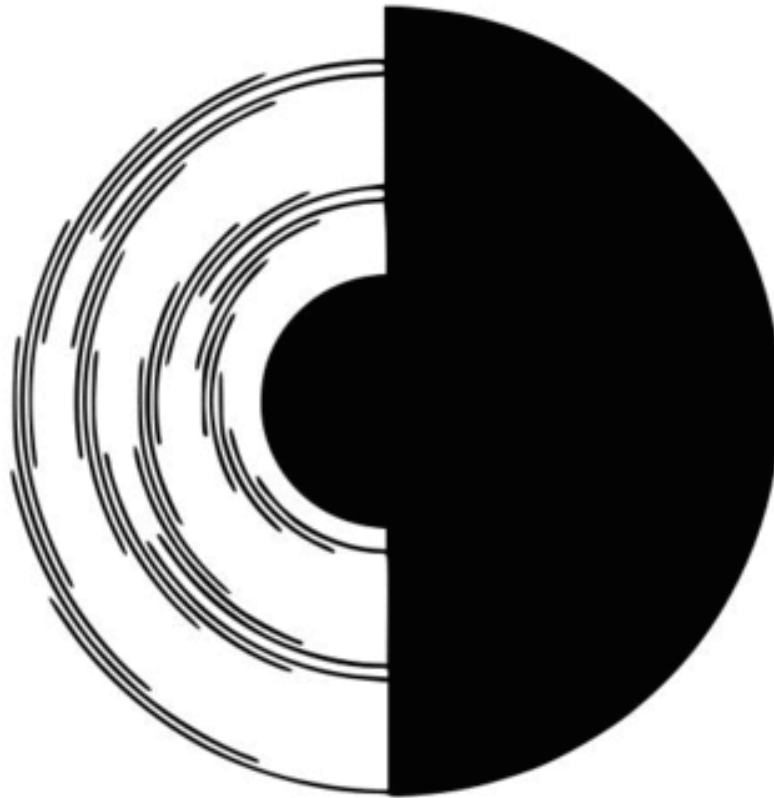
# Złudzenia optyczne

## Złudzenie Hermann

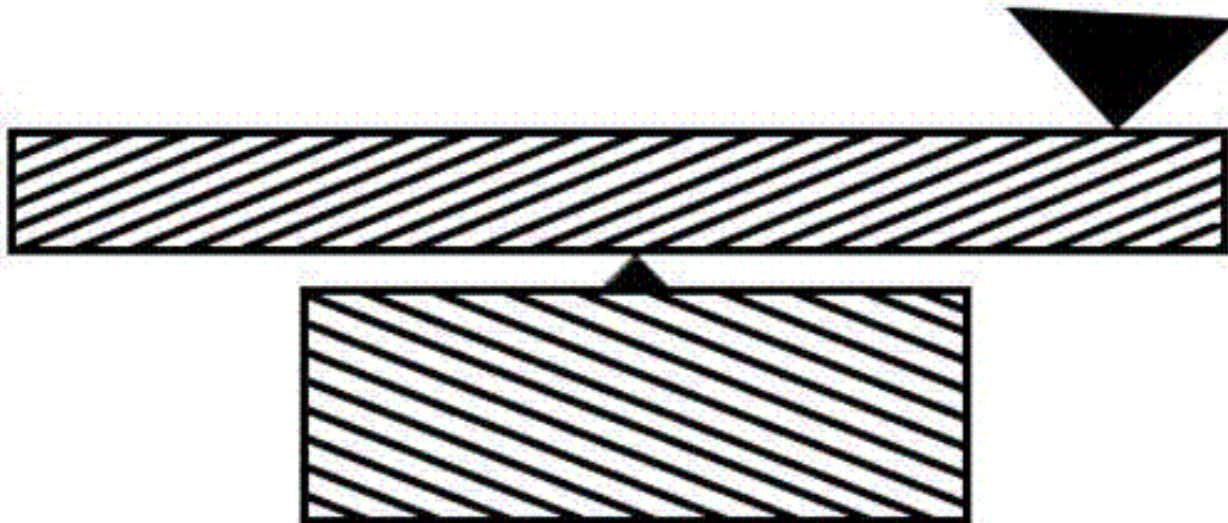


# Złudzenia optyczne

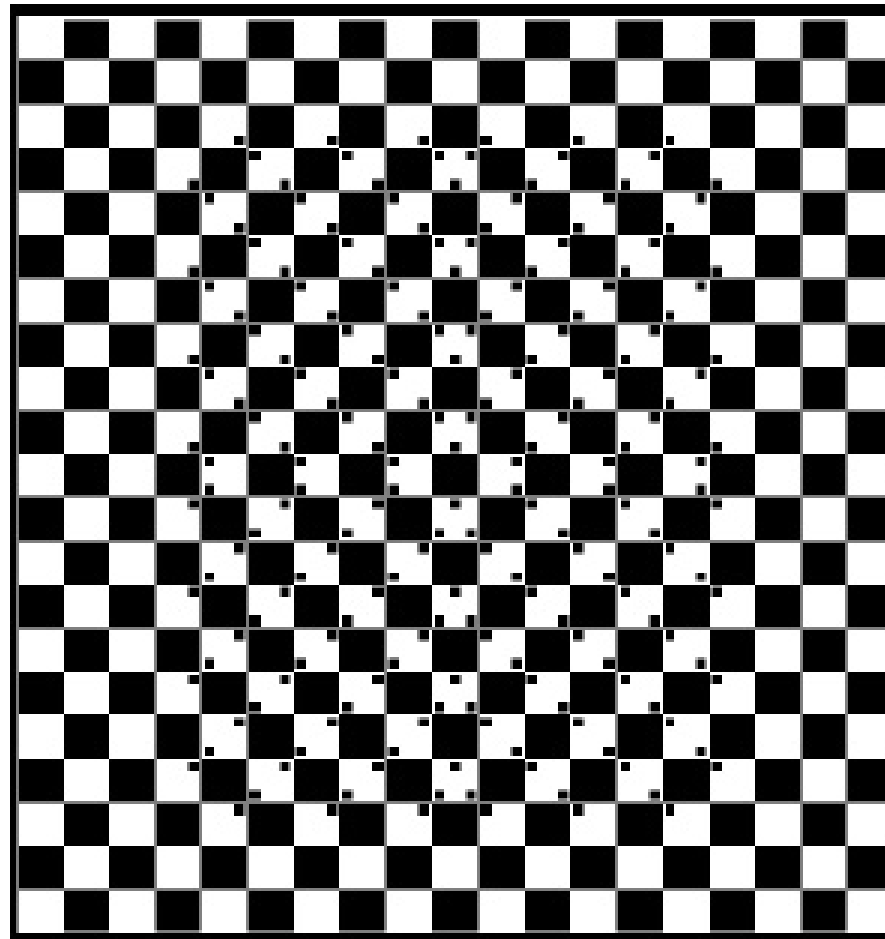




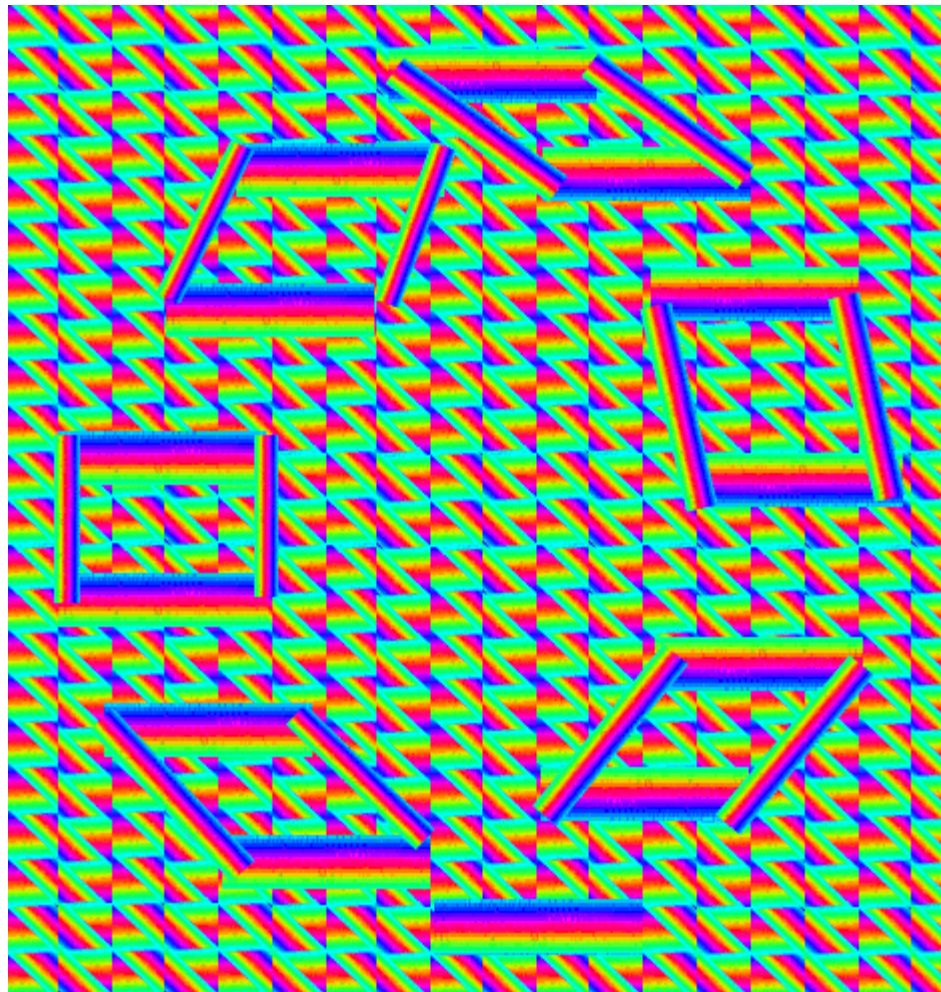
# Złudzenia optyczne



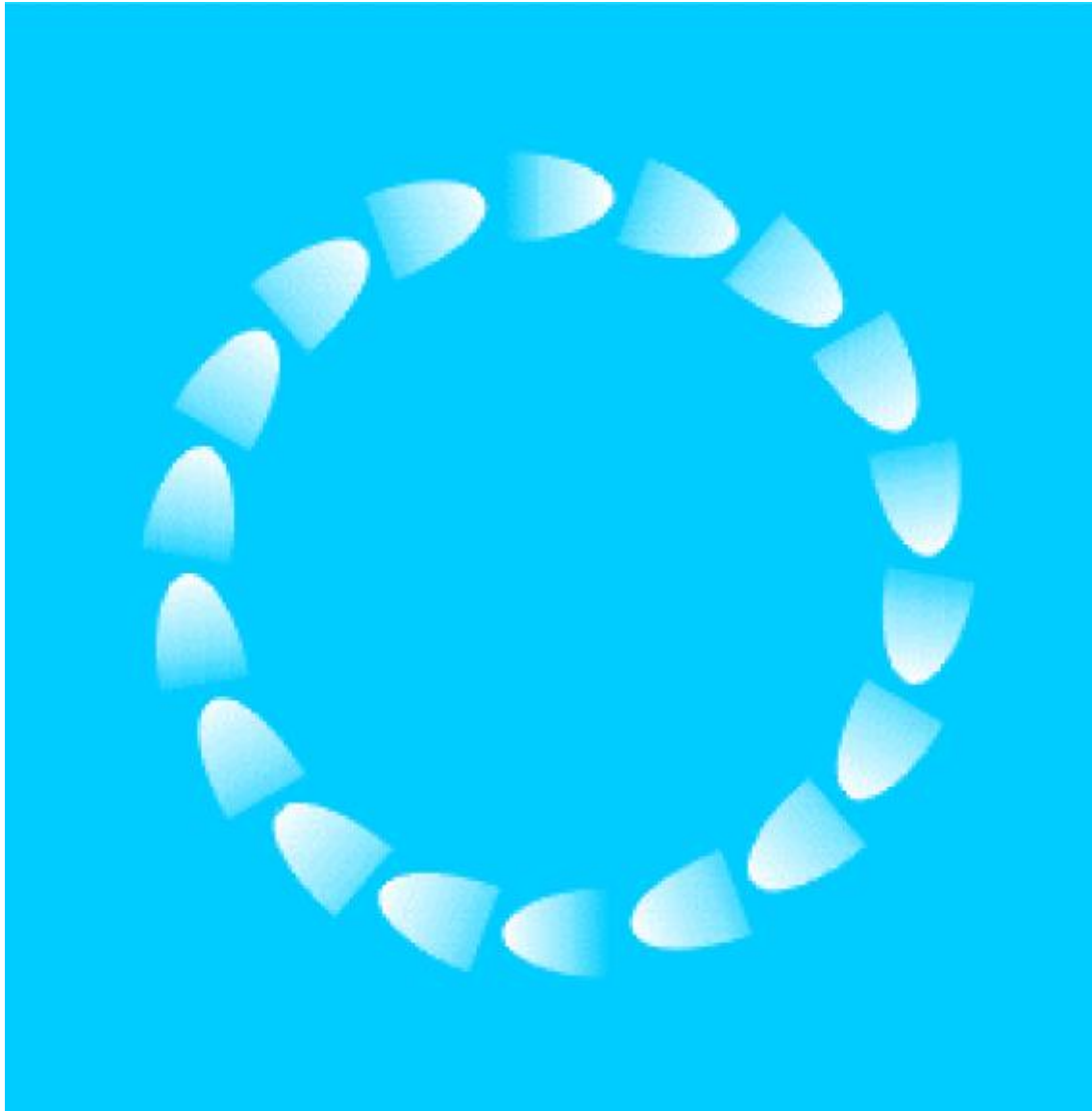
# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne

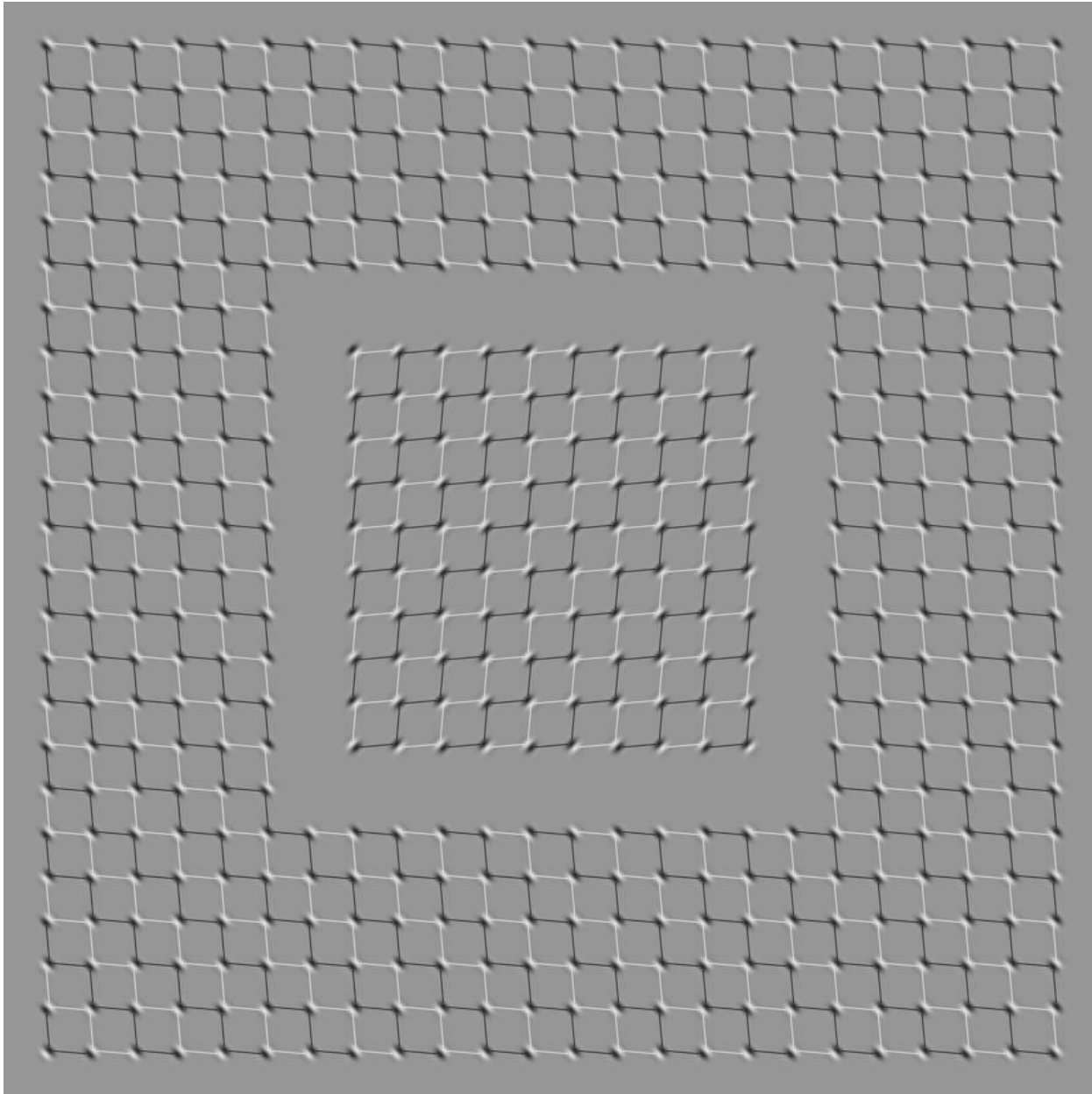


# Złudzenia optyczne





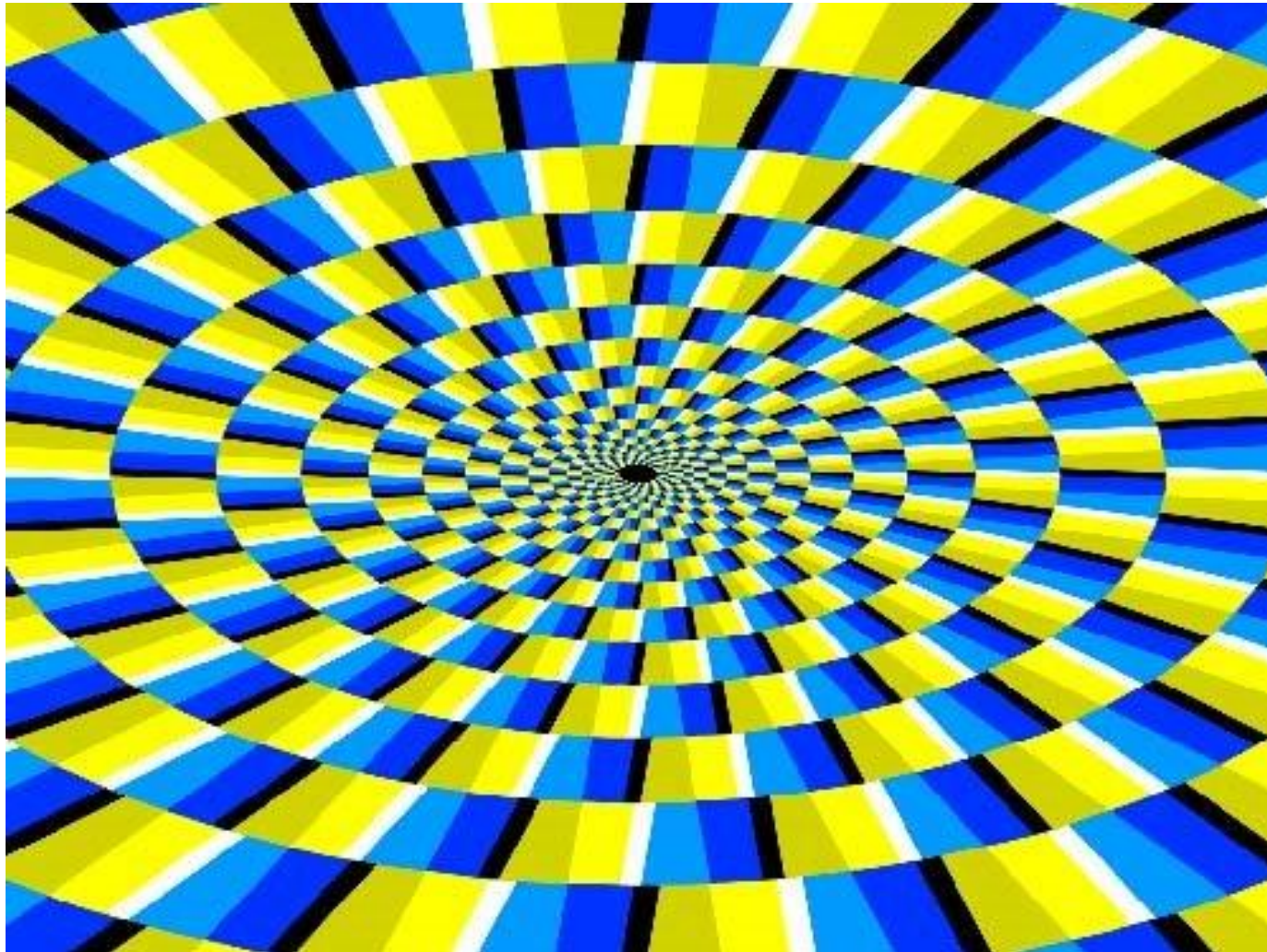
# Złudzenia optyczne



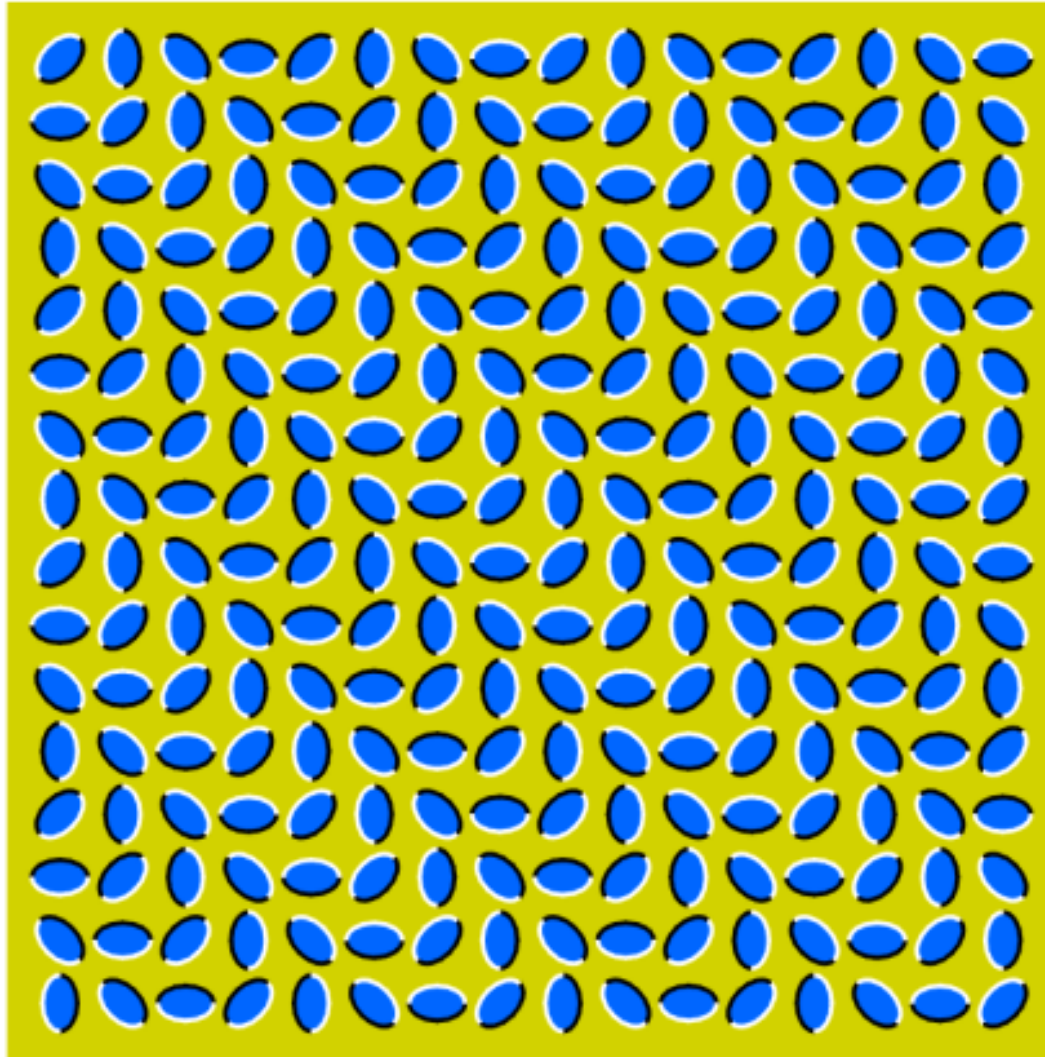
# Złudzenia optyczne



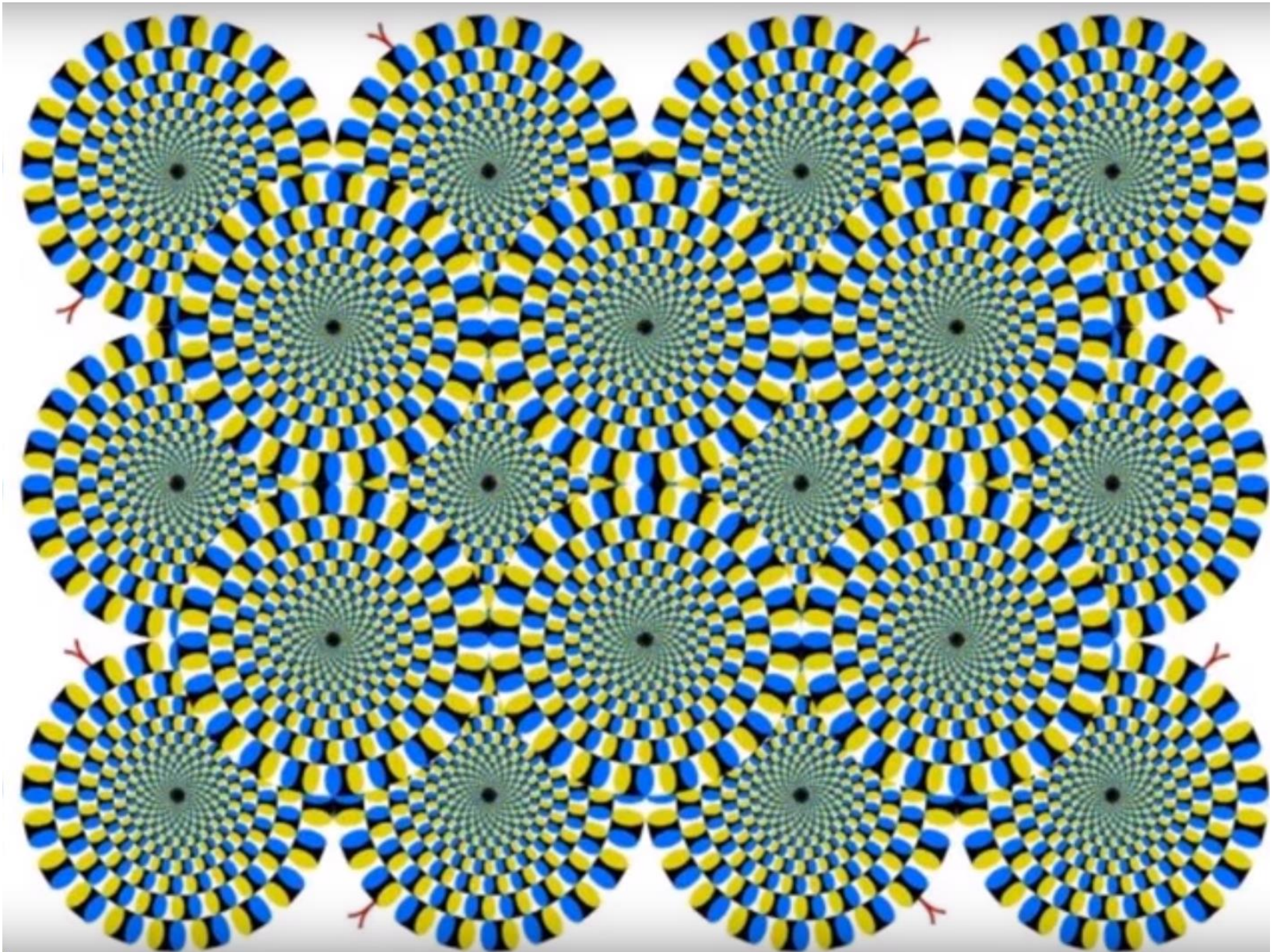
# Złudzenia optyczne



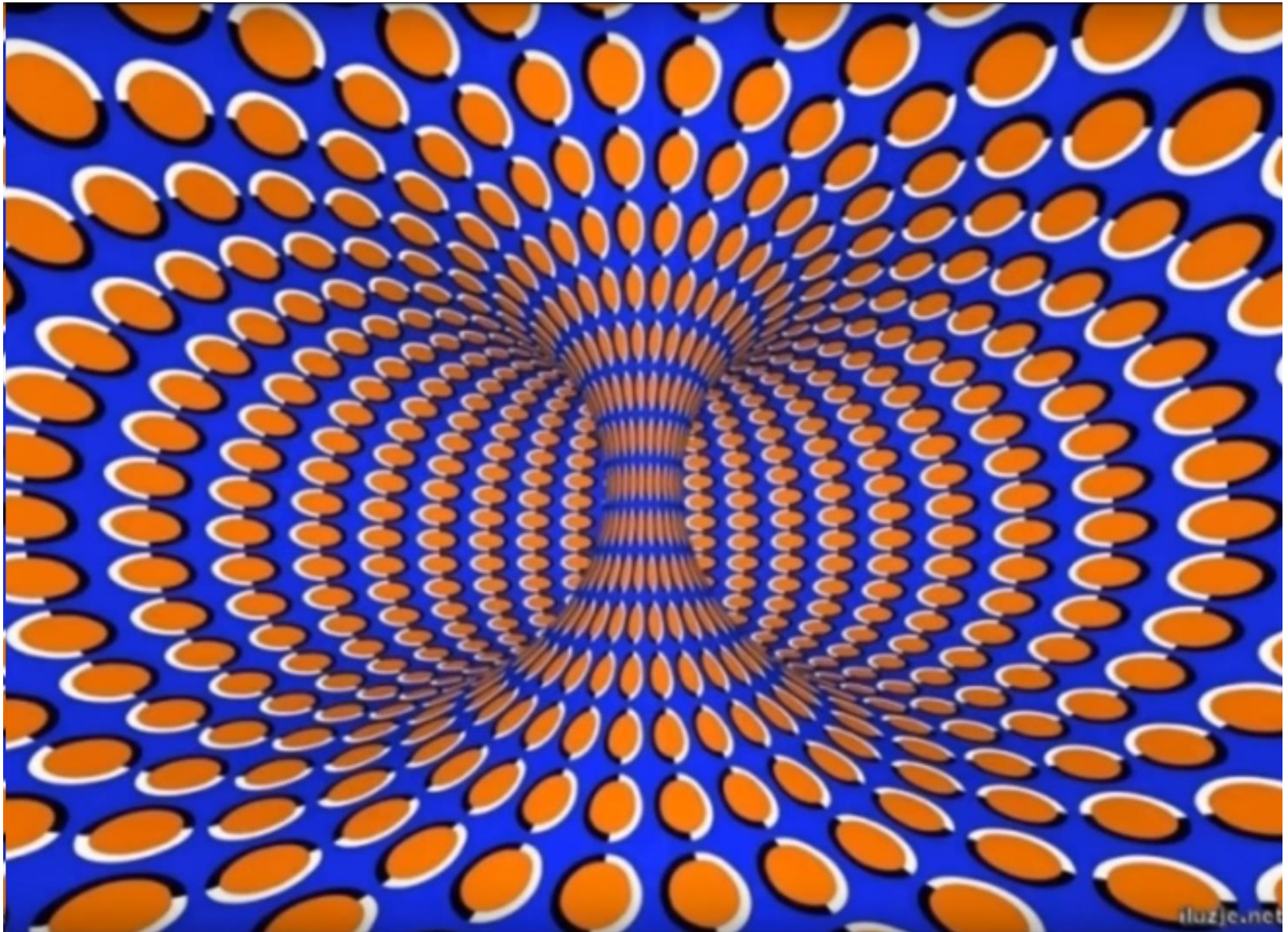
# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne

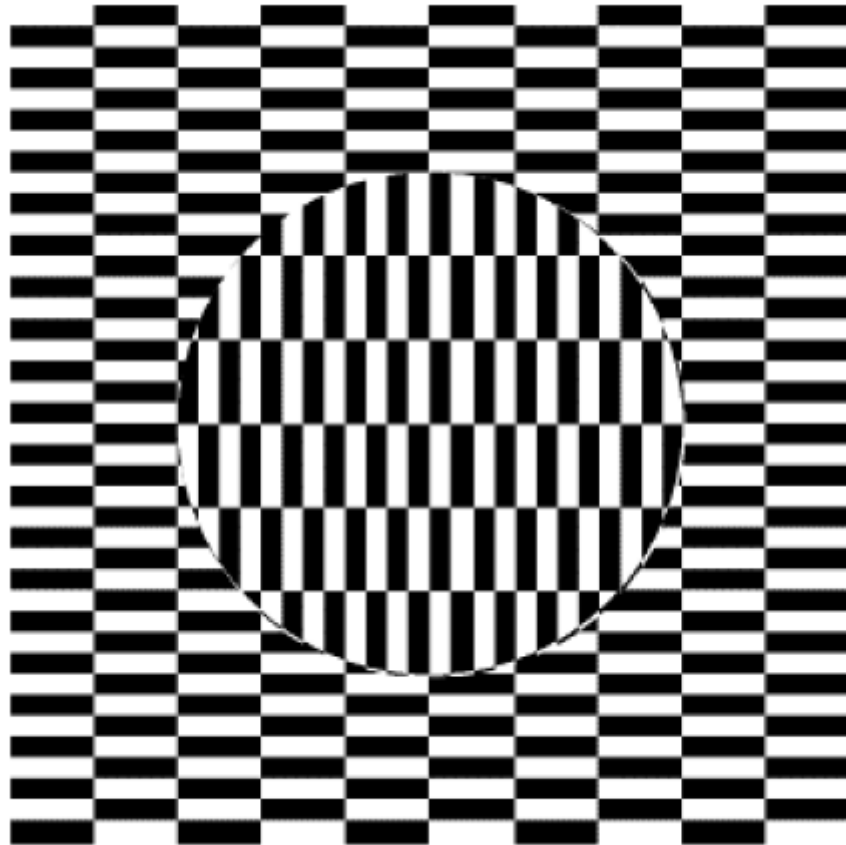


# Złudzenia optyczne

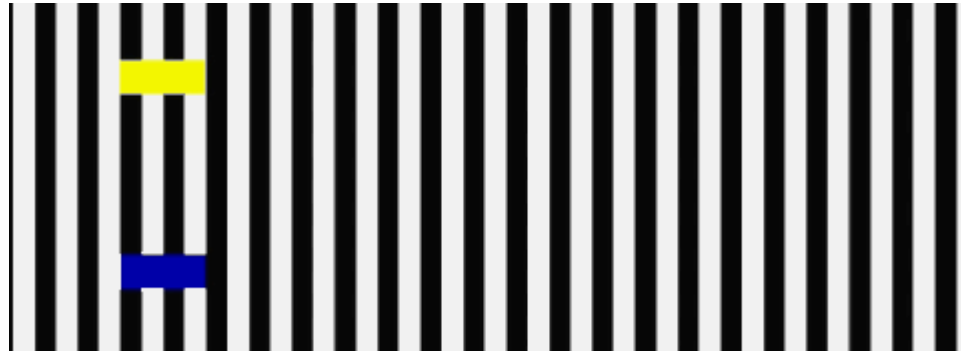


iluzje.net

# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne



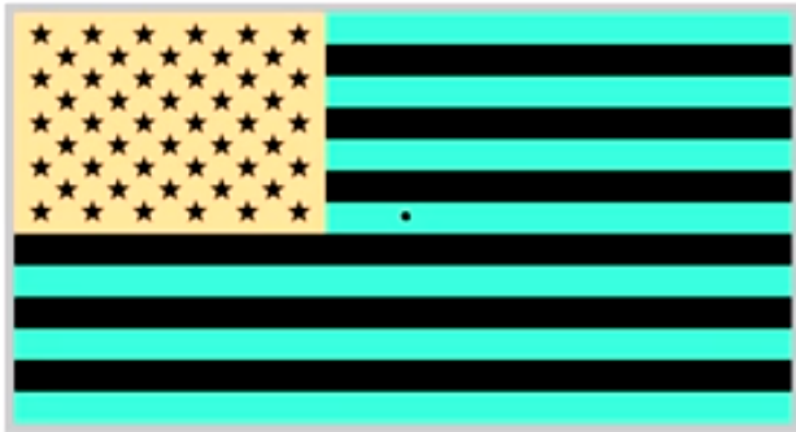


# Złudzenia optyczne

Powidowki



# Złudzenia optyczne

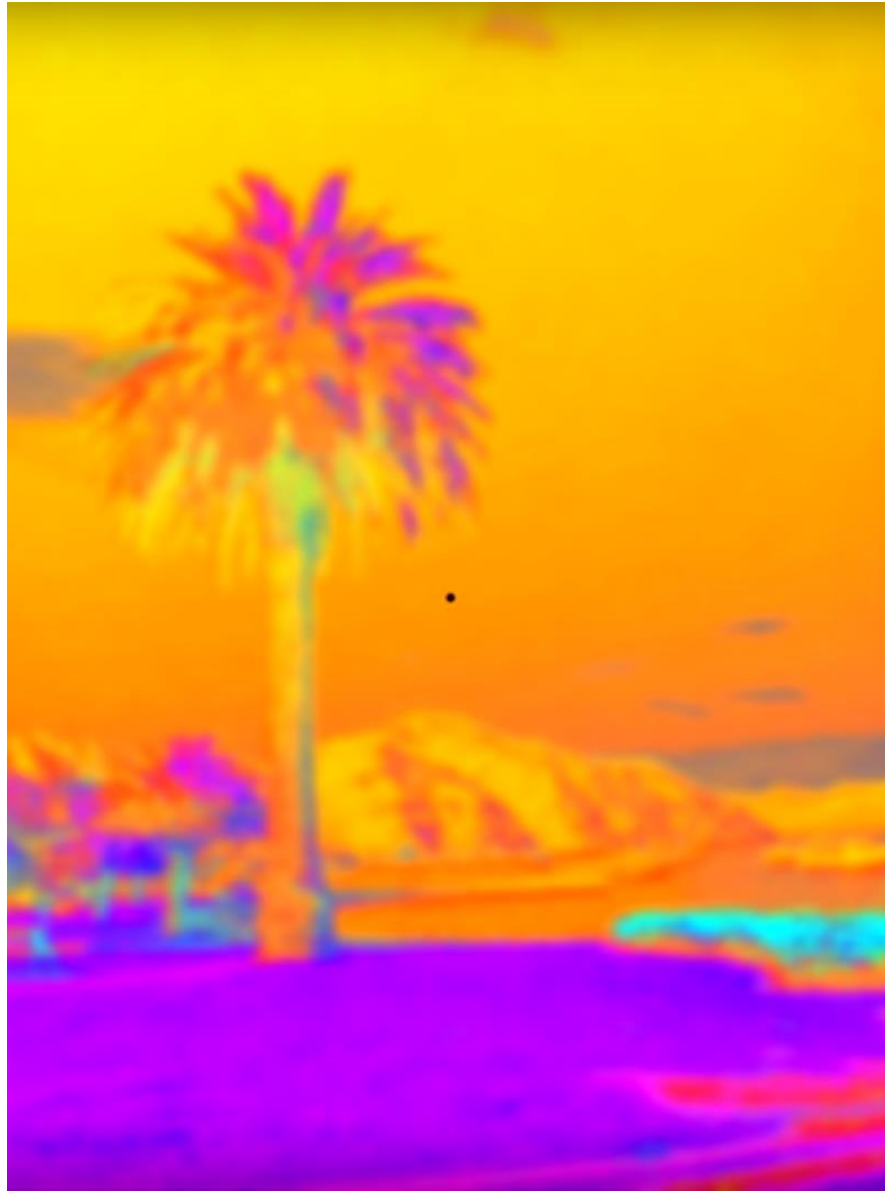


# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne

# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne



## KOLOROWY TEST

Nazwij kolory jakich użyto do napisania poniższych wyrazów  
ZRÓB TO W CIĄGU 15 sekund!!!

**ŻÓŁTY NIEBIESKI POMARAŃCZOWY**  
**CZARNY CZERWONY ZIELONY**  
**FIOLETOWY ŻÓŁTY CZERWONY**  
**POMARAŃCZOWY ZIELONY CZARNY**  
**NIEBIESKI CZERWONY FIOLETOWY**  
**ZIELONY NIEBIESKI POMARAŃCZOWY**

Jeżeli robiłeś to w szybkim tempie to nastąpił konflikt między półkulami mózgowymi!  
PRAWA - próbuje nazwać kolory... natomiast  
LEWA - analizuje definicje wyrazów.

# Złudzenia optyczne

Skojarzenia, obrazy niejednoznaczne





# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne



# Złudzenia optyczne

stereogramy



# Złudzenia optyczne

stereogramy

