

Optyka geometryczna - soczewki

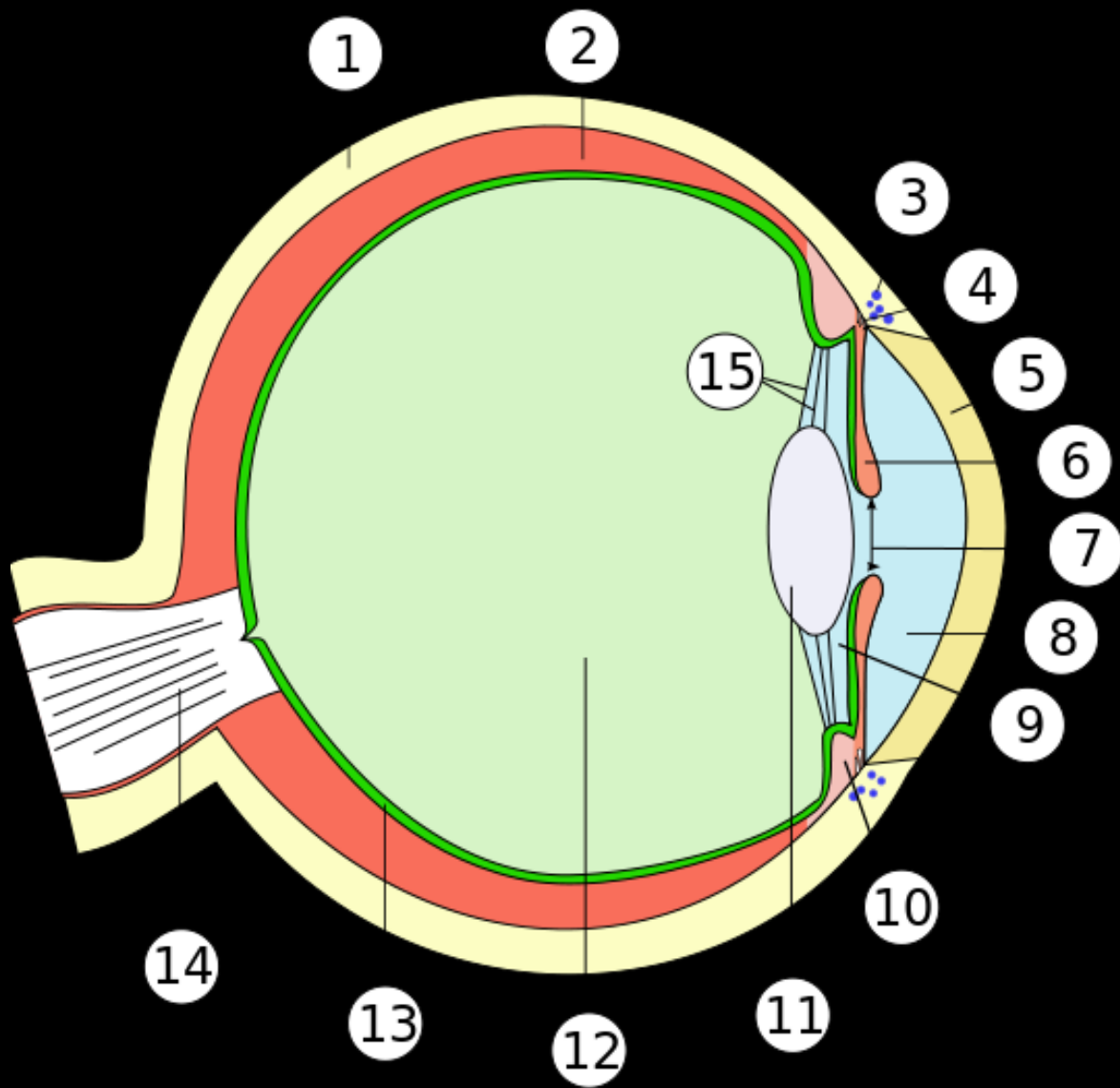
Tadeusz M. Molenda

Instytut Fizyki US



Wydział Matematyczno-Fizyczny
Uniwersytetu Szczecińskiego

Budowa oka



długość ok. = 24,4 mm

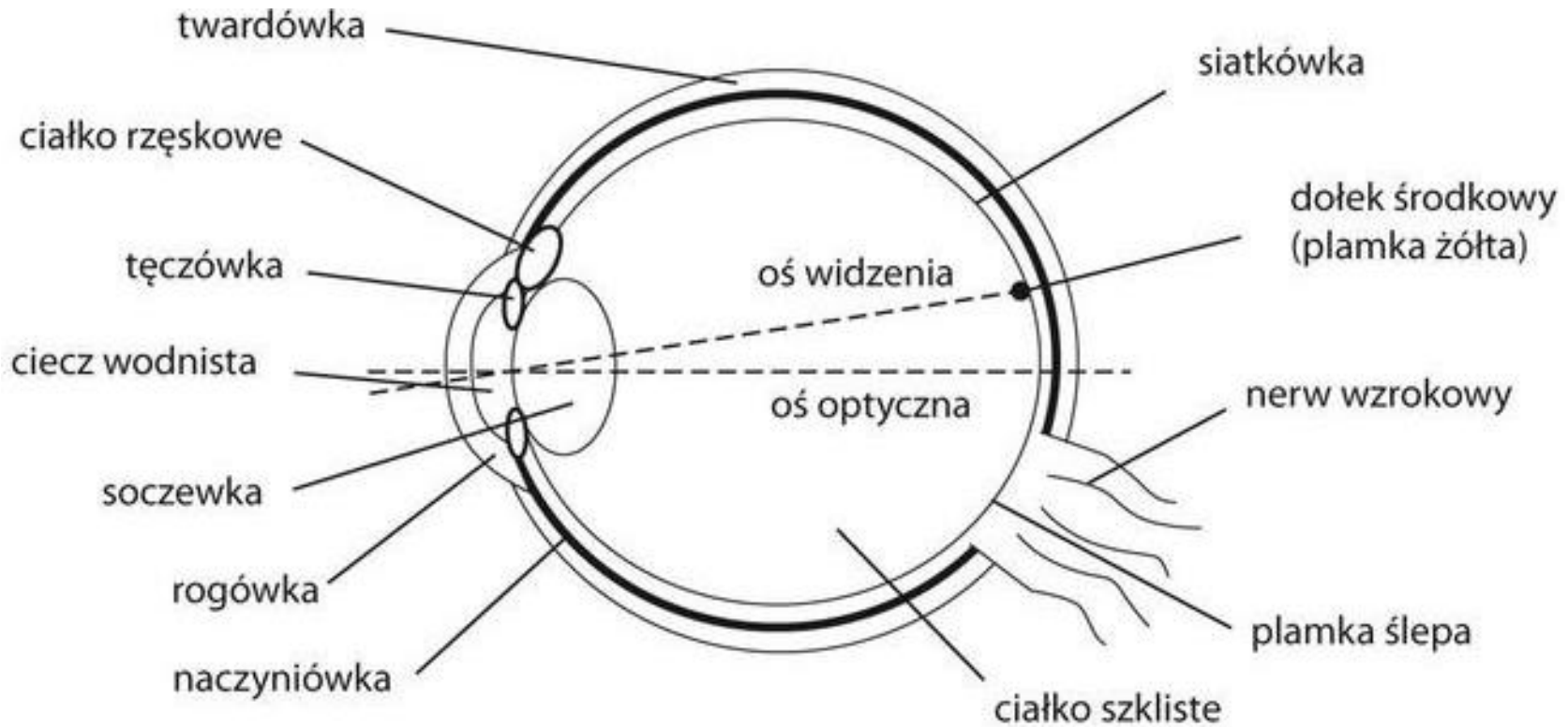
1. twardówka
2. naczyniówka
3. kanał Schlemma
4. wyrostek rzęskowy
5. rogówka
6. tęczówka
7. źrenica
8. komora przednia oka
9. komora tylna oka
10. ciało rzęskowe
11. soczewka
12. ciało szkliste
13. siatkówka
14. nerw wzrokowy
15. więzadełko rzęskow

	<i>n</i>
Rogówka (5)	1,376
Ciecz wodnista (8)	1,336
Ciało szkliste (12)	1,336
Soczewka (11)	1,386
Jądro soczewki	1,406

Wsp. załamania (linia D helu)

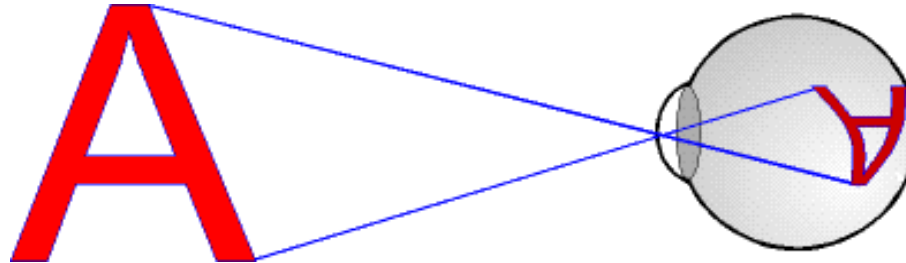
ośrodek	wsp. załamania	
próżnia	1,0000	
powietrze (1013 hPa, 20°C)	1,0003	
woda	1,333	
lód	1,31	
alkohol etylowy	1,37	
rogówka	1,376	
ciecz wodnista i ciało szkliste	1,336	
soczewka	1,386	
Jądro soczewki	1,406	
gliceryna	1,47	
szkło akrylowe (organiczne, PMMA)	1,19 g/cm ³	1,491
Poliwęglany (PC) 1,60; 1,67 i 1,74	1,20 g/cm ³	1,59
szkło crown	(2,55 - 3,12) g/cm ³	1,50 - 1,54
szkło flint	(3,24 - 3,87) g/cm ³	1,66
diament	2,417	

Budowa oka

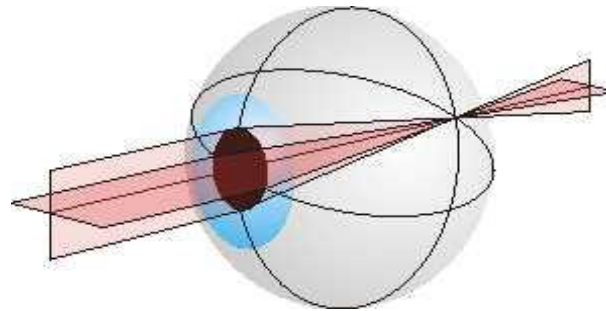


	n
Rogówka	1,376
Ciecz wodnista	1,336
Ciałko szkliste	1,336
Soczewka	1,386
Jądro soczewki	1,406

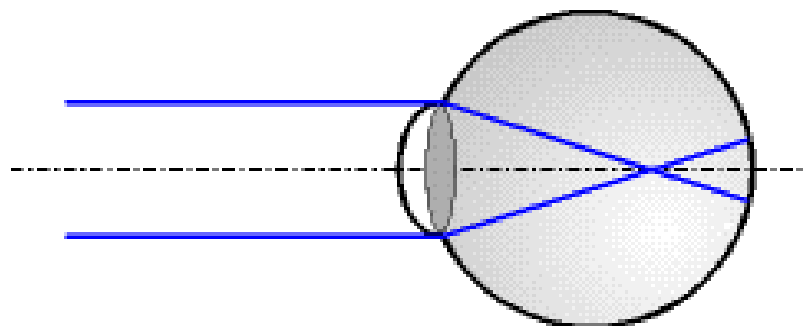
Obraz przedmiotu powstający na siatkówce (schemat).



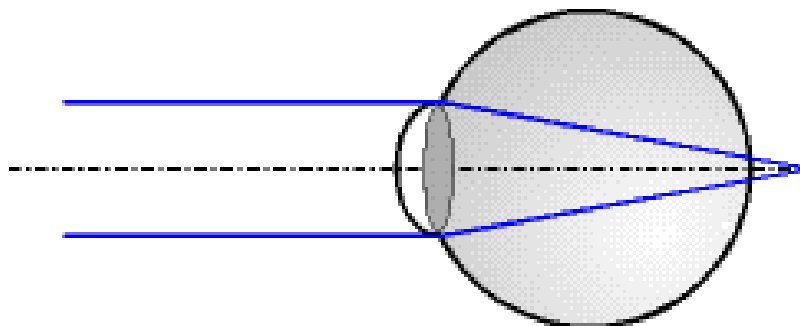
Bieg promieni świetlnych w oku prawidłowym



Bieg promieni w oku krótkowzrocznym.



Bieg promieni świetlnych w oku nadwzrocznym.



Rogówka to najbardziej wypukła **część oka** o kształcie przypominającym szkiełko zegarkowe, która jest całkowicie przezroczysta. Zajmuje około 20 % powierzchni gałki **ocznej**. Jej grubość różni się w poszczególnych częściach - największa jest w części obwodowej (**ok. 0,9 do 1,2 mm**) i stopniowo staje się cieńsza, osiągając najmniejszą grubość w części środkowej (**ok. 0,4 do 0,7 mm**).

Rogówka jest najcieńsza w centrum. Część centralna rogówki, o średnicy 4 mm, jest bardzo regularna i kulista, i nazywa się częścią optyczną.

Rogówka skupia promienie świetlne, które dzięki swemu precyzyjnemu zakrzywieniu kieruje do wewnątrz oka. Około **+40** dioptrii mocy optycznej zdrowego oka (**+60** dioptrii) przypada na rogówkę. Ta wartość jest stała przez cały okres życia ludzkiego.

Twardówka stanowi bezpośrednią kontynuację rogówki, choć rogówka nie przechodzi w nią płynnie, ponieważ obie te części mają inny promień zakrzywienia. Jest to zewnętrzna, gruba błona włóknista o kolorze mlecznobiałym, która zajmuje około 80 % powierzchni **gałki ocznej**. Jej grubość waha się od około **0,3 mm do 2 mm**. Zbudowana jest z gęstej tkanki włóknistej, której warstwy przeplatają się ze sobą, tworząc tym samym mocną warstwę chroniącą oko (stanowi jedną z najmocniejszych struktur oka ludzkiego). Do twardówki przyczepiają się mięśnie poruszające gałką oczną, a w tylnej części przechodzi przez nią nerw wzrokowy.

Ciało szkliste to przejrzyste, bezbarwne, galaretowate ciało o włóknistej strukturze, które wypełnia tylną część gałki ocznej. Jego przednia powierzchnia przylega do tylnej powierzchni soczewki i tworzy zagłębienie, w którym znajduje się soczewka. Pozostała część ciała szklistego spoczywa na wewnętrznej powierzchni siatkówki i ma kształt zbliżony do kulistego. Jego zadaniem jest utrzymywanie właściwego ciśnienia gałki ocznej, a tym samym jej wypukłości i kształtu (działa więc podobnie, jak powietrze w piłce). Ciało szkliste tworzy się wyłącznie w okresie embrionalnym i nie posiada zdolności regeneracji. W wypadku jego uszkodzenia uzupełnia się cieczą wodnistą.

Soczewka to bardzo elastyczne i przejrzyste ciało dwuwypukłe (o bardziej zakrzywionej tylnej powierzchni), o grubości **około 4 milimetrów i średnicy około 10 milimetrów**. Jej tylna powierzchnia nachodzi na ciało szkliste, przednia powierzchnia z kolei zwrócona jest w kierunku tęczówki i ogranicza tylną komorę **oka**.

Soczewkę stanowi głównie przejrzysta galaretowata masa, która znajduje się w cienkiej, włóknistej i elastycznej torebce zewnętrznej. Zawieszona jest ona na kilkudziesięciu włóknach ciała rzęskowego, poprzez które przenoszone są na soczewkę efekty ruchów mięśnia rzęskowego. **Skurcze i rozkurcze tego mięśnia zmieniają zakrzywienie soczewki, a tym samym akomodację oka - dostosowanie widzenia do odległości.**

Główną funkcją soczewki jest więc takie dostosowanie ogniskowej, aby umożliwić ostre widzenie obiektów znajdujących się w różnej odległości od oka. Przy patrzeniu na znajdujące się blisko przedmioty soczewka ulega uwypukleniu - staje się grubsza i w związku z tym silniej załamuje promienie świetlne. Z kolei przy patrzeniu na odległość większą niż około 6 metrów soczewka ulega spłaszczeniu (napina się na boki), przez co słabiej załamuje światło. Soczewka pomaga więc załamywać promienie świetlne tak, by zbiegały się na siatkówce, dzięki czemu pomaga w ostrym widzeniu. **Moc optyczna ludzkiej soczewki wynosi około 15 dioptrii, co stanowi w przybliżeniu jedną czwartą całkowitej mocy optycznej oka.**

Z wiekiem akomodacja ze względu na stwardnienie soczewki znacznie maleje. Przykładowo, w wieku 5 lat wielkość akomodacji wynosi aż 20 dioptrii, w wieku 20 lat spada do 10 dioptrii, a w wieku 70 lat równa jest zeru. Dlatego też starsi ludzie muszą uzupełniać ten brak akomodacji noszeniem szkieł plusowych do patrzenia z bliska.

OKO

moc optyczna zdrowego nieakomodującego oka ok. **+60** dioptrii

Składowe

Rogówka

Część centralna o średnicy 4 mm, bardzo regularna i kulista, część optyczna.

moc optyczna zdrowego oka ok. **+40** dioptrii, $n = 1,376$

Soczewka

Moc optyczna ludzkiej soczewki wynosi ok. **+15** dioptrii, co stanowi w przybliżeniu jedną czwartą całkowitej mocy optycznej oka. ($n = 1,386$ – kora, $n = 1,406$ – jądro)

Ciecz wodnista

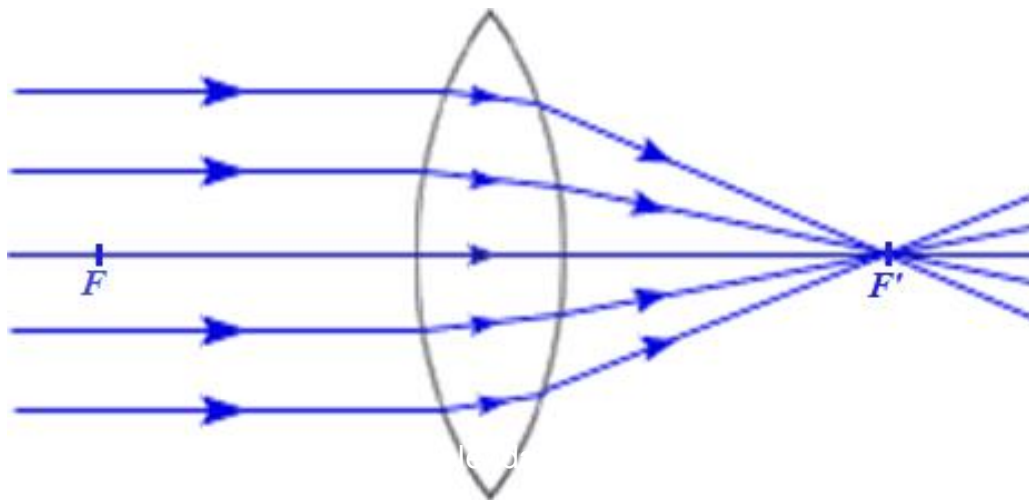
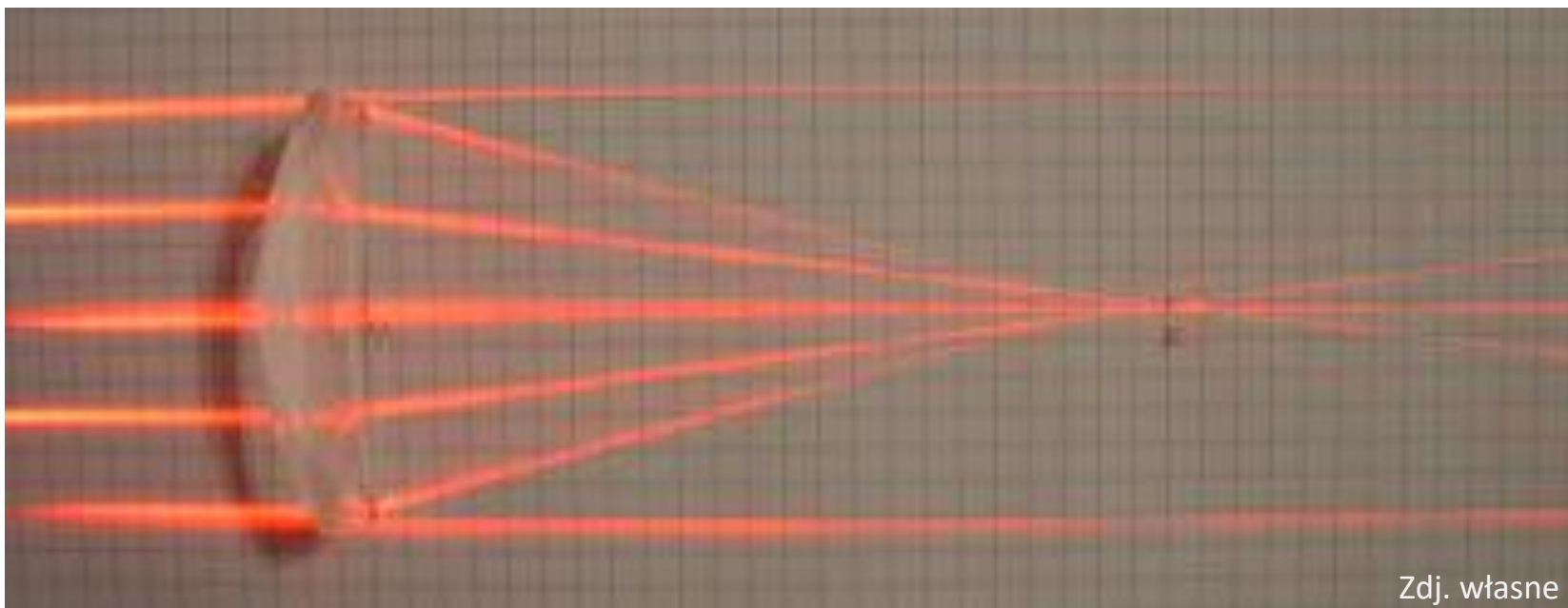
Składa się w 99 % z wody, $n = 1,336$

Ciało szkliste, $n = 1,336$

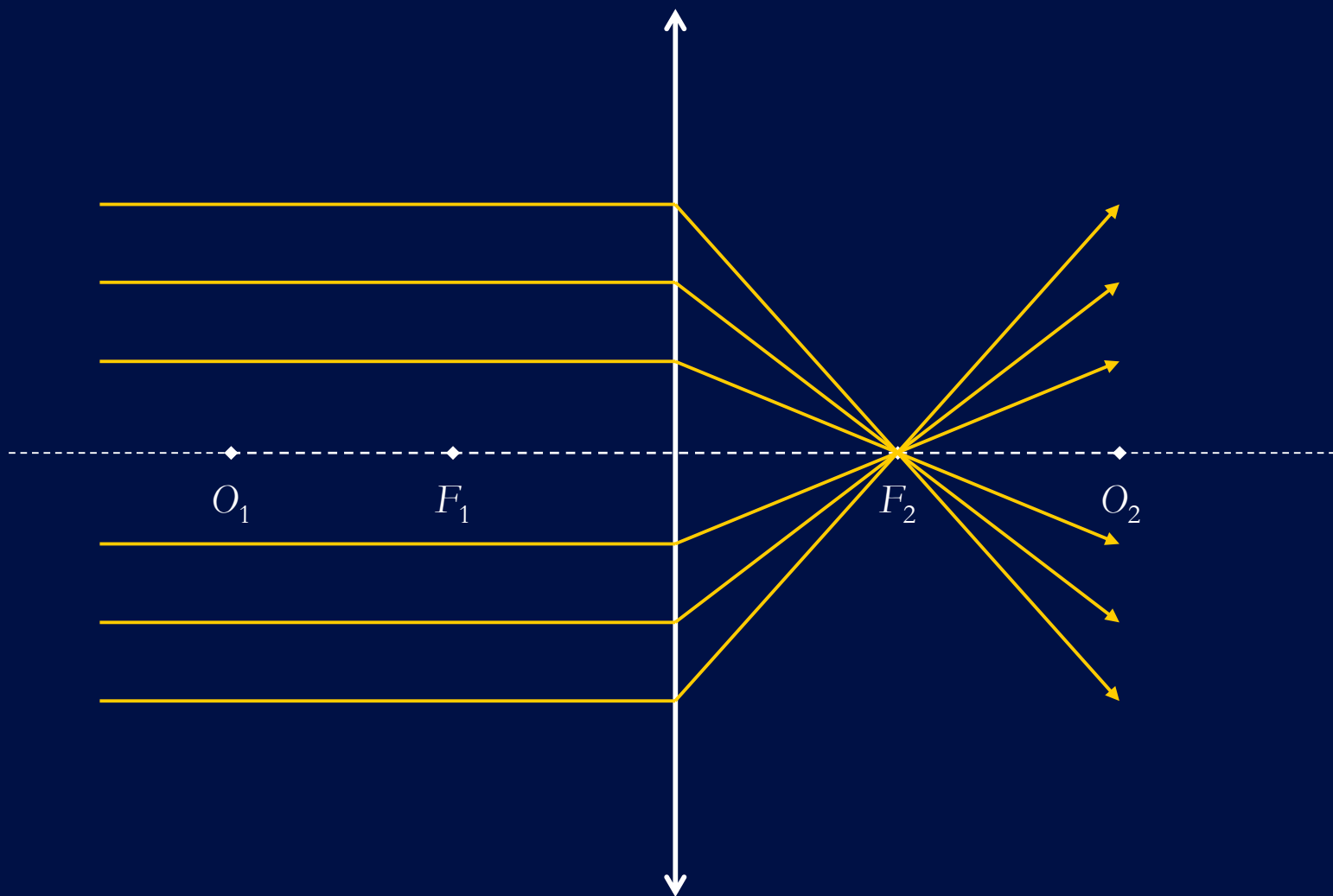
Układ optyczny oka przyrównać można do aparatu fotograficznego, przy czym rolę soczewek obiektywu spełniają rogówka i soczewka oka, rolę przysłony - tęczówka, a warstwy światłoczułej - siatkówka.

Soczewka skupiająca

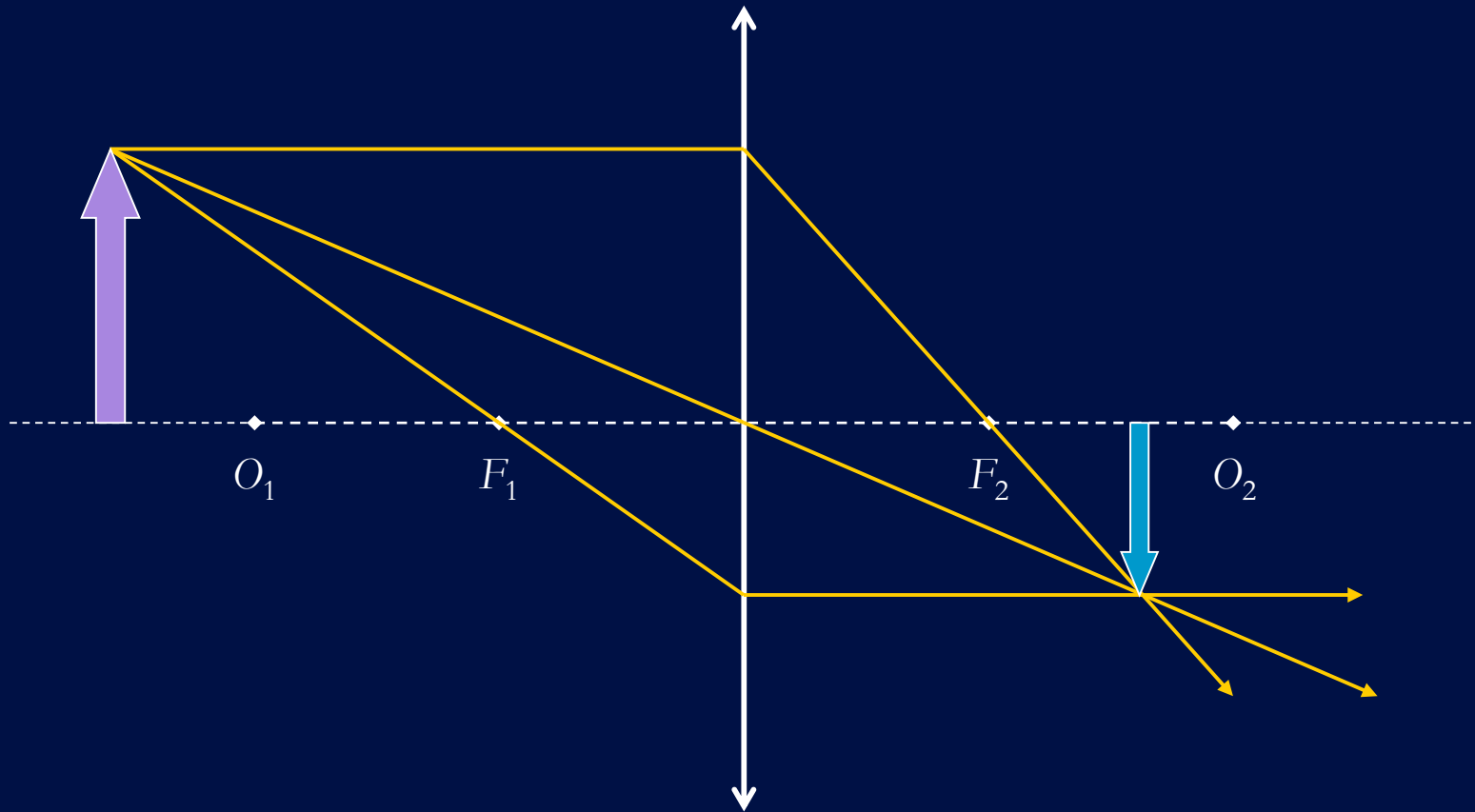
Przebieg promieni świetlnych przez soczewkę skupiającą



SOCZEWKA SKUPIAJĄCA



Powstawanie obrazu rzeczywistego w soczewce

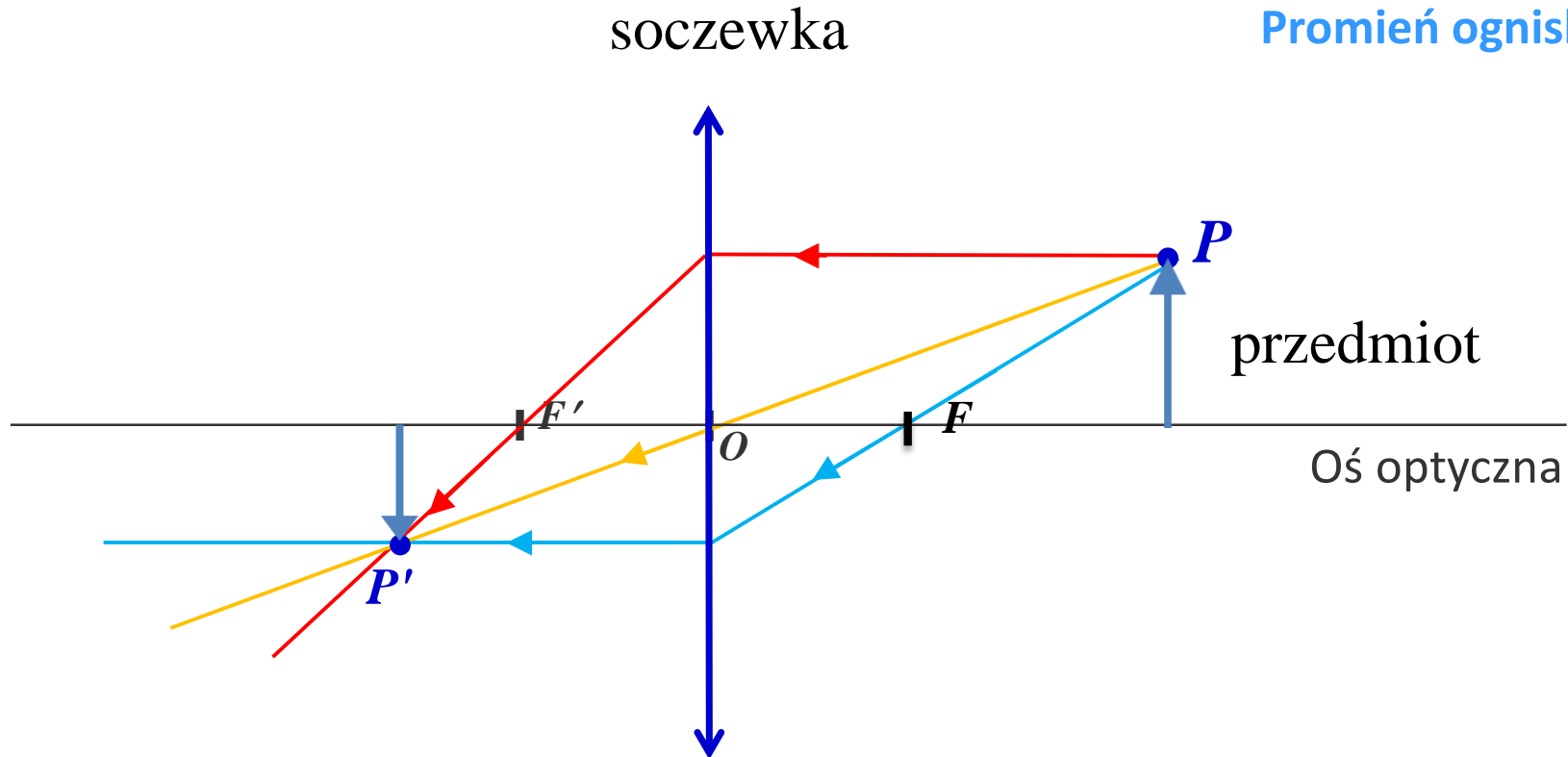


Konstrukcja obrazu w soczewkach skupiających

Promień równoległy

Promień główny

Promień ogniskowy

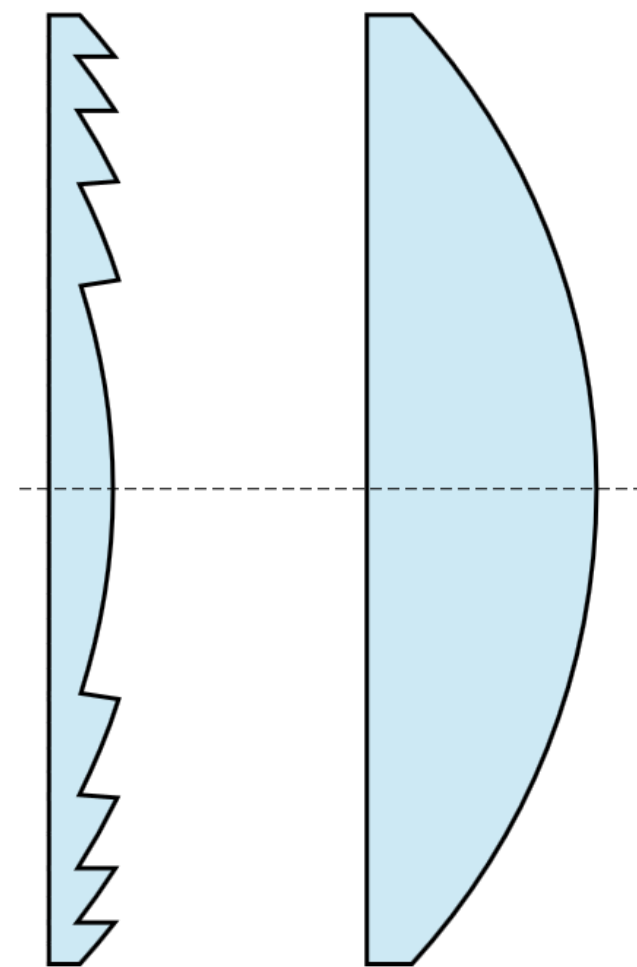
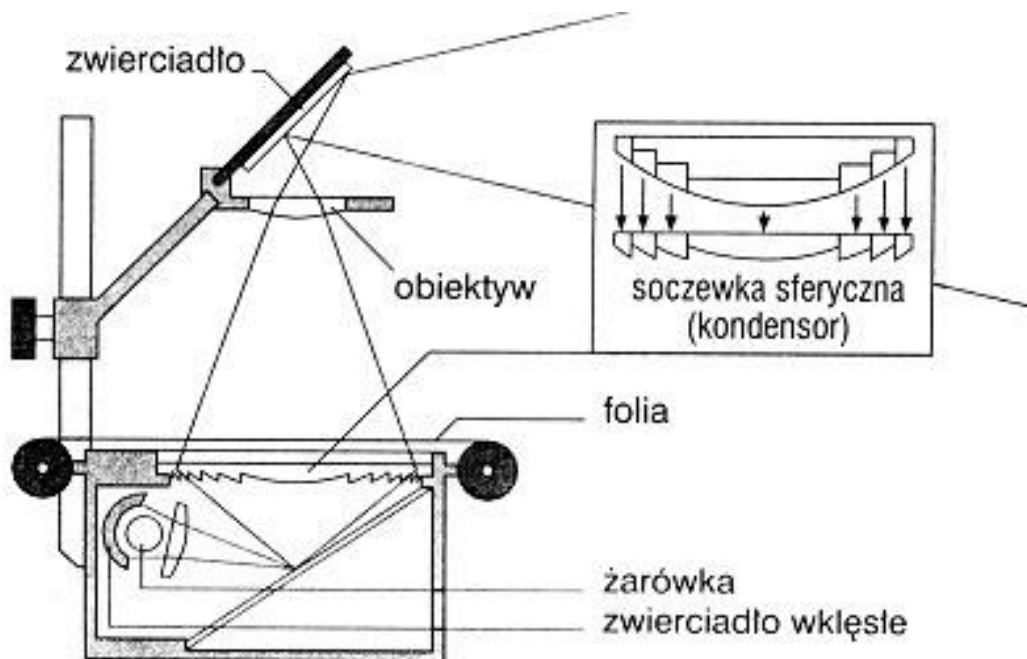






Tadeusz M. Molenda, Instytut Fizyki US

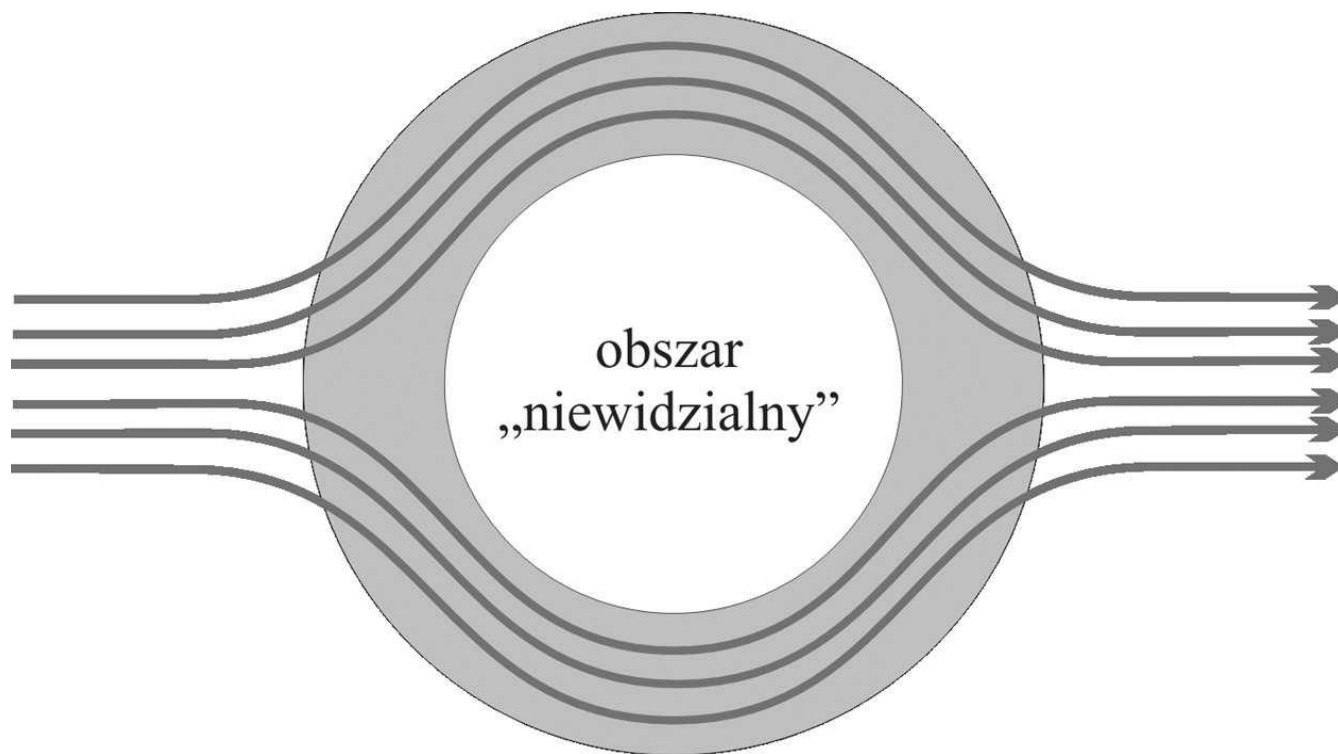
SOCZEWKA FRESNELA - soczewka schodkowa, element optyczny składający się z szeregu pierścieniowych stref o tak dobranych promieniach krzywizny, że ich ogniskowe są jednakowe



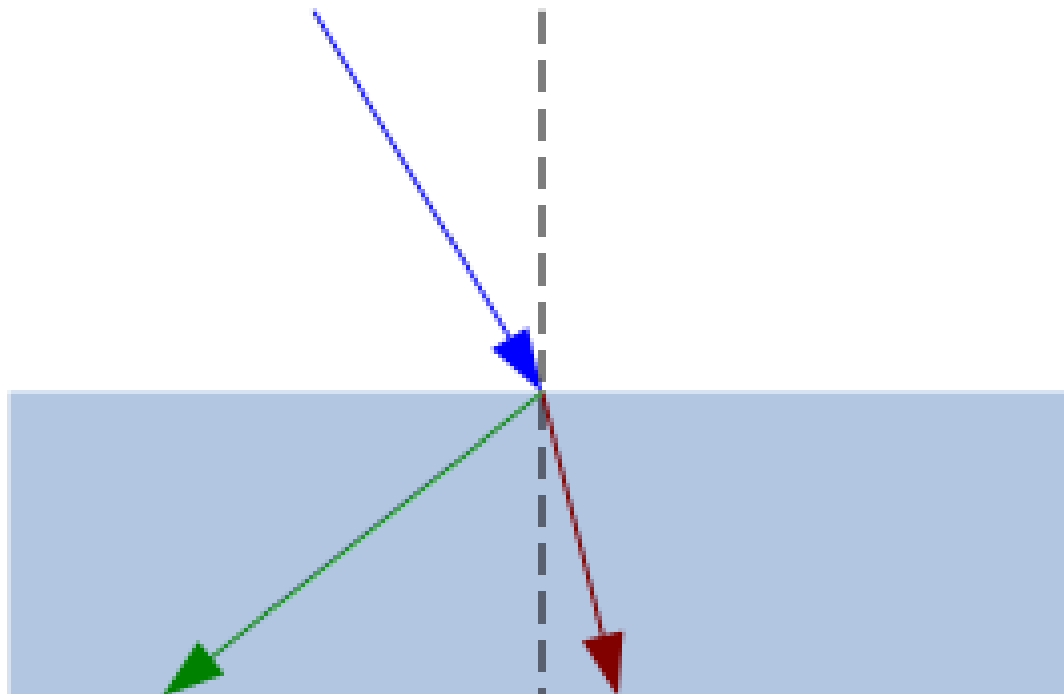
Porównanie soczewki schodkowej z tradycyjną

Czapka niewidka

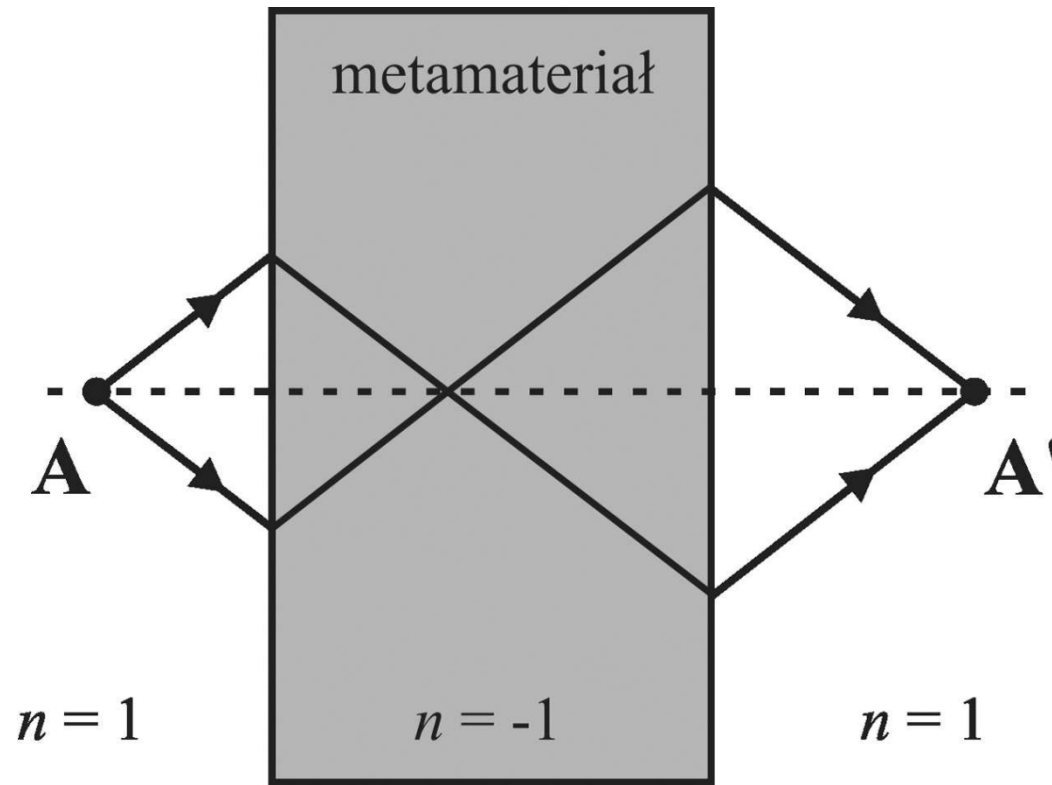
Szklanka z wodą i kulką



Wiązka promieni w dwuwymiarowym modelu „czapki niewidki” z metamateriału



Porównanie załamania padającego promienia (niebieski) w zwykłym materiale (czerwony) i w metamateriale (zielony)



Idealna soczewka płaska z metamateriału