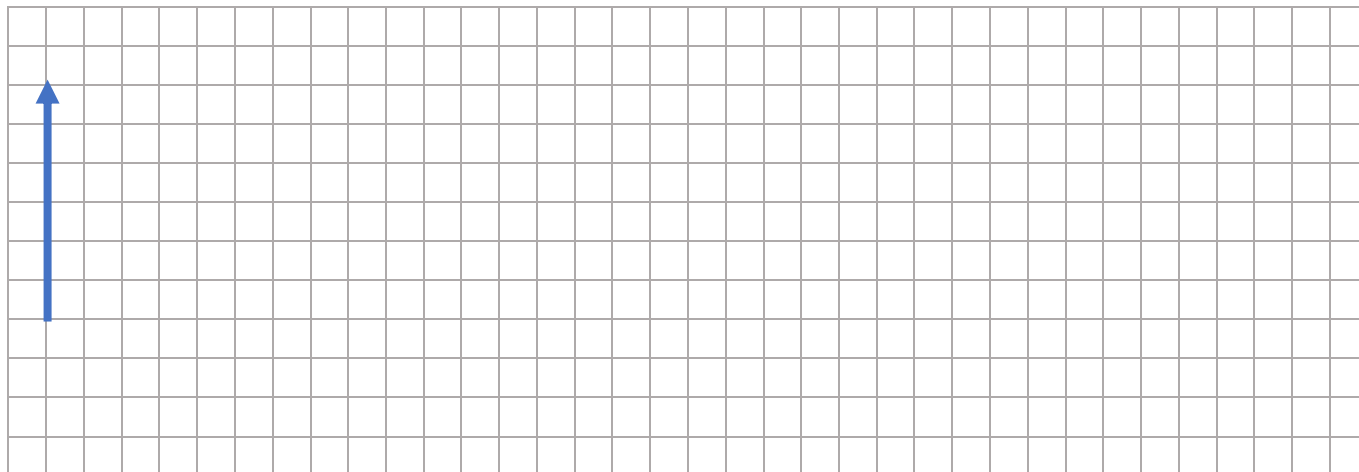


Imię i Nazwisko.....Data.....

Kierunek.....

Oko

3. Konstruowanie obrazu

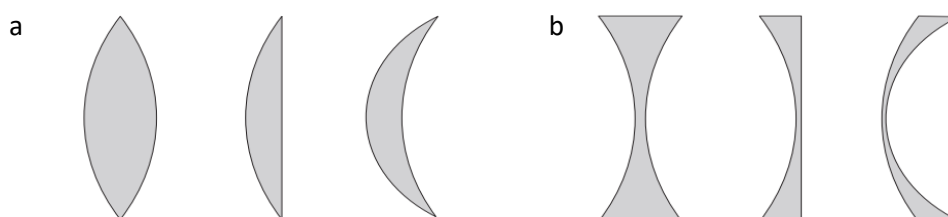


f =cm		x =cm		y (rys) =cm	
y (mod) =cm			$\Delta y =$ %		
4. Badanie zależności ogniskowej od współczynnika załamania otoczenia					
x =cm			$f_u =$cm		
5. Akomodacja					
x = cm			f = cm		
6. Dalekowzroczność			7. Krótkowzroczność		
f =cm		Z = dioptrii		f =cm	
				Z =dioptrii	
8. Astygmatyzm					
kąt pomiędzy osiami soczewek cylindrycznych wnosi około stopni					
9. Ogniskowa układu soczewek					
$f_r =$ cm			R =cm		
$f_s' =$ cm		$f_u =$ cm		$\Delta f_u =$%	

Oko

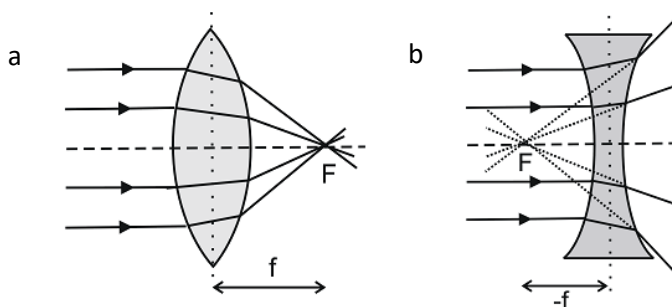
1. Wstęp teoretyczny.

Oko człowieka jest optycznym układem powstałym w sposób naturalny na drodze ewolucji. Jego zadaniem jest wytworzenie obrazu przedmiotów i otoczenia na siatkówce oka. W siatkówce znajdują się komórki wyposażone w detektory fal elektromagnetycznych, przetwarzające odbierane bodźce świetlne w sygnały biologiczne, kierowane do odpowiednich ośrodków w mózgu. Oko, choć jest narządem zbudowanym z tkanek, w swojej „fizycznej” zasadzie działania nie różni się wiele od przyrządów optycznych, które potrafi zbudować człowiek, takich jak np. aparat fotograficzny. Podstawą działania wszelkich przyrządów optycznych są soczewki i na początek spróbujemy zrozumieć w jaki sposób soczewka wytwarza obraz. **Soczewki** są to przezroczyste ciała o dwóch ściankach, z których przynajmniej jedna jest zakrzywiona. Soczewki mogą być **skupiające** lub **rozpraszające** (Rys. 1).



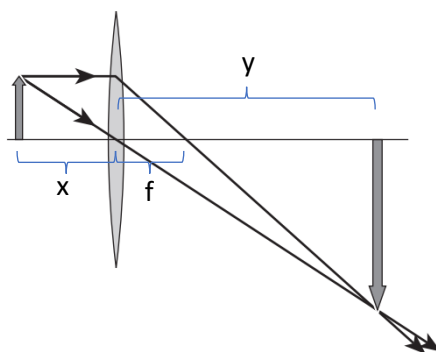
Rys. 1 Kształty soczewek a) skupiających, b) rozpraszających.

Kiedy przez soczewkę przechodzą promienie świetlne, na ściankach dochodzi do **załamania** – zmienia się kierunek promieni. Przyczyną załamania światła jest zmiana prędkości światła, gdy światło przechodzi przez granicę dwóch ośrodków przezroczystych różniących się współczynnikiem załamania. Współczynnik załamania jest właśnie liczbowo wyrażonym stosunkiem prędkości światła w próżni do prędkości światła w danym ośrodku przezroczystym. Gdy padające promienie są równoległe do głównej osi optycznej (Rys. 2), po przejściu przez soczewkę skupiającą promienie krzyżują się w punkcie nazywanym **ogniskiem** soczewki (F). Odległość ogniska od soczewki nosi nazwę **ogniskowej** (f). W soczewce rozpraszającej w ognisku skupiają się przedłużenia wychodzących z soczewki promieni. Takie ognisko nazywa się pozornym, a ogniskowa przyjmuje wartość ujemną.



Rys. 2 Załamanie promieni świetlnych w soczewce a) skupiającej, b) rozpraszającej.

Kiedy przed soczewką zostanie umieszczony przedmiot, promienie świetlne biegnące od tego przedmiotu przechodząc przez soczewkę tworzą jego obraz. Na Rys. 3 możemy zobaczyć jak się konstruuje graficznie obraz jakiegoś punktu za pomocą dwóch promieni. Jeden promień rysujemy równoległe do głównej osi optycznej, a za soczewką prowadzimy go przez ognisko. Drugi promień, z tego samego punktu, rysujemy przez środek soczewki. Ten promień nie zmienia kierunku! Przecięcie obu promieni za soczewką tworzy obraz punktu.



Rys. 3 Konstruowanie obrazu tworzonego przez soczewkę skupiającą.

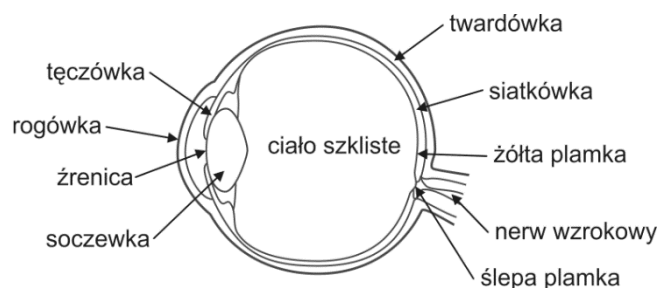
Przyjmijmy, że przedmiot jest w odległości x od soczewki, a obraz jest w odległości y od soczewki (Rys. 3). Ogniskowa f jest związana z odległościami x i y **równaniem soczewkowym**:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} \quad (1)$$

Wartość ogniskowej zależy od promieni krzywizn (R_i) obu powierzchni soczewki oraz od bezwzględnych współczynników załamania materiału soczewki (n) i ośrodka na zewnątrz soczewki (n_o). **Promień krzywizny** jest promieniem kuli o takim samym zakrzywieniu powierzchni, co ścianka soczewki. **Bezwzględny współczynnik załamania** określa ile razy prędkość światła w próżni jest większa od prędkości światła w danym ośrodku.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_o} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2)$$

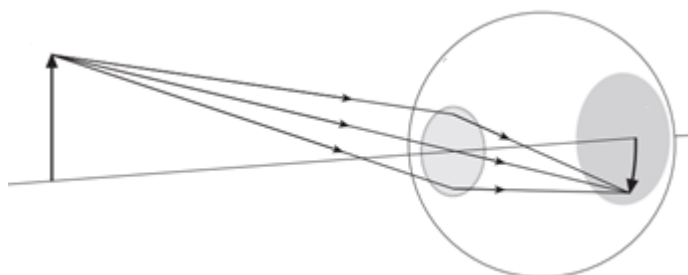
Oko człowieka jest układem optycznym złożonym z dwóch soczewek (Rys. 4).



Rys. 4 Budowa oka.

Soczewką jest nie tylko „soczewka”, ale również **rogówka**. Przestrzeń pomiędzy rogówką i soczewką wypełniona jest **cieczą wodnistą oka**. Pomiędzy rogówką i soczewką jest również kolorowa membrana nazwana **tęczówką**. **Źrenica** jest otworem o zmiennej średnicy, który reguluje ilość światła wpadającego do oka. Wnętrze oka wypełnione jest przezroczystym **ciałem szklistym**. Z tyłu znajduje się **siatkówka** zawierająca światłoczułe komórki nazywane pręcikami i czopkami. **Pręciki** są bardzo czułymi detektorami słabego światła, ale dają tylko czarno białe obrazy o słabej rozdzielczości. **Czopki** są wrażliwe na kolory i dają obrazy wysokiej rozdzielczości, ale wymagają dużej ilości światła. **Żółta plamka** to mały region w centrum siatkówki zawierający tylko czopki. Stąd pochodzi najostre obrazy. **Ślepa plamka** jest miejscem pozbawionym światłoczułych komórek, ponieważ tu zaczyna się nerw wzrokowy, odprowadzający impulsy nerwowe do mózgu.

Rogówka i soczewka tworzą układ dwusoczewkowy, który działa jak pojedyncza soczewka skupiająca. Światło wpadające do oka przechodzi przez ten układ i tworzy odwrócony obraz na siatkówce:

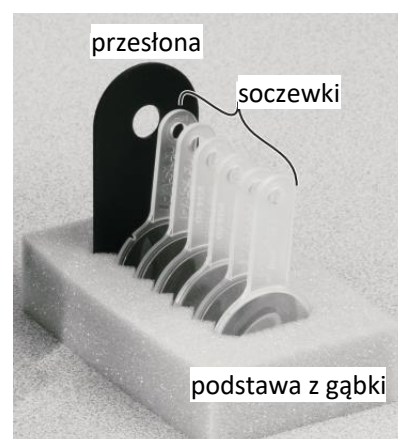
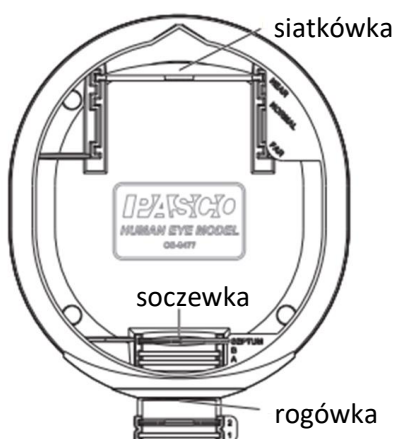


Rys. 5

Soczewka oka, w odróżnieniu od soczewek szklanych czy plastikowych, ma zmienną ogniskową. Dzięki temu oko może dostosować się do widzenia zarówno dalekich, jak i bliskich przedmiotów. Nazywa się to **akomodacją**. Do soczewki przyłączone są wiązadła, których napięcie jest regulowane przez mięsień rzęskowy. Rozluźnienie mięśnia rzęskowego powoduje napięcie wiązadeł, spłaszczenie soczewki i zwiększenie ogniskowej. Oko może wtedy wyraźnie widzieć odległe przedmioty. Skurcz mięśnia rzęskowego rozluźnia wiązadła, zaokrągla soczewkę i zmniejsza ogniskową. Takie oko jest dostosowane do widzenia bliskich obiektów. Aby na siatkówce powstał ostry obraz przedmiotu, ogniskowa układu optycznego oka musi przyjąć odpowiednią wartość tak, aby odległość przedmiotu od oka i odległość obrazu od soczewki spełniły równanie soczewkowe.

2. Przygotowanie układu pomiarowego

UWAGA. Chwytaj soczewki tylko za wystający uchwyt.
Nigdy nie dotykaj i nie wycieraj niczym powierzchni soczewek!!!
Soczewki odkładaj tylko do podstawy z gąbki.



Rys. 6 Model oka.

W ćwiczeniu posłużymy się modelem oka (Rys. 6). Do badania działania oka wykorzystamy zestaw soczewek sferycznych o ogniskowych: +400 mm, +120 mm, +62 mm, -1000 mm, oraz soczewek cylindrycznych -128 mm i +307 mm. Jako „przedmiot” wykorzystamy kartkę z rysunkiem domu

podświetloną od tyłu lampą. Umieść w tylnej parze rowków opisanej NORMAL plastikową siatkówkę, a w przedniej parze rowków opisanej SEPTUM soczewkę +400 mm. Ustaw model oka przed przedmiotem, za przedmiotem ustaw lampę i ją włącz. Przesuwając model spróbuj znaleźć najbliższe położenie względem przedmiotu, przy którym obraz na siatkówce jest ostry.

3. Konstrukcja obrazu

Obraz jaki widzimy na siatkówce modelu jest wytworzony przez rogówkę i włożoną soczewkę. **Ogniskowa układu f** może być z przybliżeniem obliczona za pomocą wzoru

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_r} + \frac{1}{f_s}$$

f_r – ogniskowa rogówki = +140 mm, f_s – ogniskowa soczewki = +400 mm.

Oblicz ogniskową układu f . Za pomocą linijki zmierz odległość x przedmiotu od oka. Do pomiaru odległości wybierz górną krawędź modelu, ponieważ znajduje się po środku pomiędzy obiema soczewkami:



Rys. 7

Na kartce papieru w kratkę narysuj przedmiot (może być strzałka) i soczewkę (lub dwie soczewki obok siebie) w odpowiedniej odległości, przyjmując skalę 1:4. Zaznacz ognisko F i znajdź położenie obrazu. Narysuj obraz. Zwróć uwagę na wielkość obrazu w porównaniu z przedmiotem. Czy obraz jest powiększony czy pomniejszony? Czy obraz jest prosty czy odwrócony? Odczytaj z rysunku odległość obrazu y (**rys**) i porównaj ją z rzeczywistą odległością y (**mod**) (zmierz odległość siatkówki od przedniej krawędzi modelu). Oblicz różnicę procentową Δy pomiędzy odległością wyznaczoną z rysunku i zmierzoną na modelu oka. Jak oceniasz tę różnicę?

4. Badanie zależności ogniskowej od współczynnika załamania otoczenia

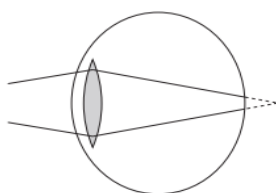
Sprawdź jeszcze raz czy widzisz ostry obraz na siatkówce. Napełnij model oka wodą destylowaną tak, aby soczewka była zakryta. Woda będzie tutaj imitować ciało szkliste wypełniające wnętrze prawdziwego oka. Czy obraz jest nadal ostry? Oczywiście nie jest. Możesz spróbować odsunąć model oka od przedmiotu, ale obraz pozostanie nieostry. Dlaczego woda zmieniła ostrość obrazu? Czy soczewka zanurzona w wodzie nadal ma ogniskową +400 mm? Wyciągnij soczewkę z rowka SEPTUM i zastąp ją soczewką +62 mm. Przesuwając modelem oka znajdź najbliższe położenie modelu względem przedmiotu, przy którym widać ostry obraz. Zmierz odległość x przedmiotu od modelu oka. Oblicz ogniskową f_u takiego układu optycznego za pomocą równania soczewkowego (1).

5. Akomodacja oka

Spróbujmy przysunąć oko bliżej przedmiotu. Zauważymy, że obraz staje się nieostry. W prawdziwym oku wyostrenie obrazu nastąpiłoby na skutek pracy mięśni oka, które regulują grubość soczewki. Zmieniłoby to ogniskową układu soczewek oka. W naszym modelu oka akomodację przeprowadzimy za pomocą drugiej soczewki o ogniskowej $+400$ mm, którą dostawimy do soczewki $+62$ mm. Umieścimy ją w rowku B obok soczewki. Czy obraz się wyostrzył? Jeżeli trzeba, popraw położenie modelu. Policz ogniskową f takiego układu optycznego za pomocą równania soczewkowego (1).

6. Dalekowzroczność

Dalekowzroczność jest wadą wzroku, w wyniku której ostry obraz powstaje za siatkówką:

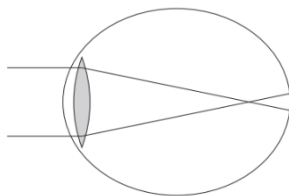


Rys. 8.

Usuń soczewkę $+400$ mm z rowka B i ponownie znajdź ostry obraz. Wadę dalekowzroczności w modelu oka możemy zrealizować przesuwając siatkówkę bliżej soczewki. W tym celu należy plastikową siatkówkę włożyć do rowka opisanego FAR. Obraz zrobił się rozmyty. Spróbuj dobrać odpowiednią soczewkę korekcyjną. Okulary nosimy przed oczami, zatem soczewki wkładaj przed rogówką do rowka 1. Czy soczewka korekcyjna to soczewka skupiająca czy rozpraszająca? W jaki sposób ta soczewka poprawia wadę wzroku? Oblicz zdolność skupiającą Z soczewki korekcyjnej. **Zdolność skupiająca** jest to odwrotność ogniskowej wyrażonej w metrach. Odwrotność metra jest tutaj nazywana **dioptrią**.

7. Krótkowzroczność

Krótkowzroczność jest wadą wzroku, w wyniku której ostry obraz powstaje przed siatkówką:

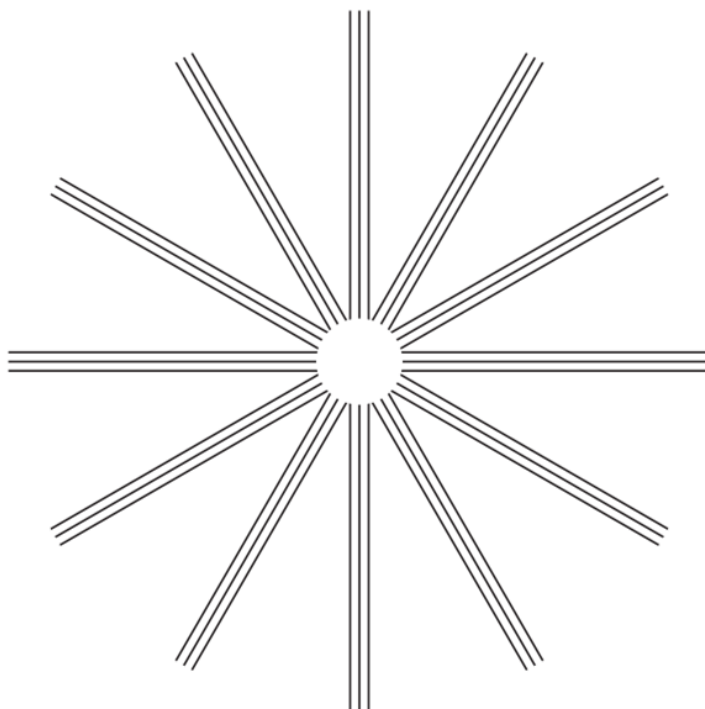


Rys. 9.

Usuń soczewkę korekcyjną z rowka 1. Siatkówkę umieść w rowku NORMAL i znajdź ostry obraz. Imitację krótkowzroczności w modelu oka uzyskamy przenosząc plastikową siatkówkę do rowka opisanego NEAR. Obraz zrobił się rozmyty. Spróbuj dobrać odpowiednią soczewkę korekcyjną. Czy soczewka korekcyjna to soczewka skupiająca czy rozpraszająca? W jaki sposób ta soczewka poprawia wadę wzroku? Oblicz zdolność skupiającą Z soczewki korekcyjnej.

8. Astygmazm

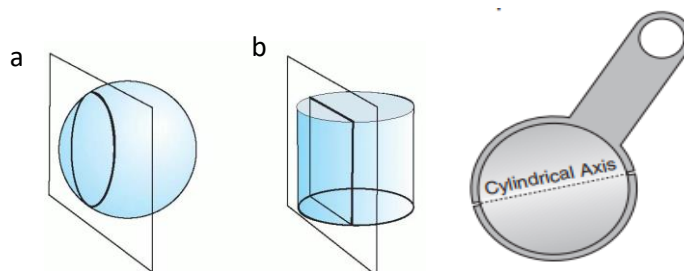
W normalnym oku powierzchnia soczewki jest sferyczna i symetryczna obrotowo. Ale w oku z astygmatyzmem soczewka nie jest symetryczna obrotowo. To powoduje, że pewne kierunki widzenia pozostają nieostre, gdy inne się wyostają. Wadę astygmatyzmu można wykryć przyglądając się poniższemu rysunkowi.



Rys. 10

Zakryj jedno oko i popatrz drugim okiem na rysunek. Czy któreś linie wydają się ciemniejsze niż inne? Jeśli tak, obróć rysunek o 90° i przekonaj się, że linie są takie same, tylko oko inaczej je postrzega.

Aby uzyskać symulację astygmatyzmu w modelu oka, najpierw przywróć go do stanu podstawowego, czyli usuń soczewkę z rowka 1, a siatkówkę umieść w rowku NORMAL. Ustaw ostry obraz na siatkówce. Umieść soczewkę -128 mm w rowku A obok soczewki $+62$ mm. Soczewka -128 mm jest soczewką cylindryczną (Rys. 11). Oś cylindrycznej krzywizny jest wskazana przez parę rowków na obrzeżu soczewki. Zaobserwuj, jak zmienia się obraz, gdy obracasz soczewką za wystający uchwyt. Do korekty astygmatyzmu użyj soczewki $+307$ mm w rowku 1. Zobacz co się dzieje, gdy obracasz soczewką. Spróbuj obracając soczewką -128 mm i soczewką $+307$ mm uzyskać najlepszy obraz.

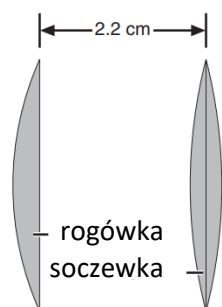


Rys. 11 Skupiająca soczewka a) sferyczna i b) cylindryczna.

Porównaj położenie rowków w obu soczewkach, gdy obraz jest najlepszy. Jaki jest kąt pomiędzy cylindrycznymi osiami obu soczewek?

9. Ogniskowa układu soczewek

Na koniec spróbujemy dokładniej wyliczyć ogniskową układu soczewek na podstawie danych związanych z modelem oka.



$n_{\text{powietrze}}$	1
$n_{\text{szkło}}$	1,524
n_{plastik}	1,585
n_{woda}	1,33
$R_{\text{rogówka}}$	7,1 cm
d	2,2 cm
f_s	6,2 cm

Najpierw obliczmy za pomocą wzoru (2) ogniskową rogówki f_r . Rogówka jest soczewką szklaną płasko-wypukłą, co oznacza, że tylko jedna ścianka ma promień krzywizny R . Płaska ścianka ma nieskończenie duży promień krzywizny, czyli dla płaskiej ścianki $1/R=0$. Następnie obliczmy ogniskową soczewki +62 mm w wodzie f_s' , posługując się tym samym wzorem (2), jednak potrzebujemy do obliczeń promień krzywizny R . Soczewka +62 mm jest sferyczna, o takich samych promieniach krzywizny R z obu stron. Jest zrobiona z plastiku. Ze wzoru (2) policzmy promień krzywizny R , wykorzystując wartość ogniskowej w powietrzu f_s . Mając promień R , obliczmy teraz ogniskową soczewki w wodzie f_s' . Na koniec obliczmy ogniskową układu rogówki i soczewki +62 mm w wodzie (f_u). W tym celu wykorzystamy wzór na ogniskową układu soczewek, z korektą, gdy soczewki nie stykają się ze sobą.

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f_r} + \frac{1}{f_s'} + \frac{d}{f_r \cdot f_s'}$$

Porównaj ogniskową układu obliczoną za pomocą tego wzoru, z ogniskową wyznaczoną za pomocą równania soczewkowego w rozdziale „4. Badanie zależności ogniskowej od współczynnika załamania.” Oblicz różnicę procentową Δf_u . Czy jest duża?

UWAGA! W sprawozdaniu z ćwiczenia należy zamieścić odpowiedzi na wszystkie podkreślone w instrukcji pytania.