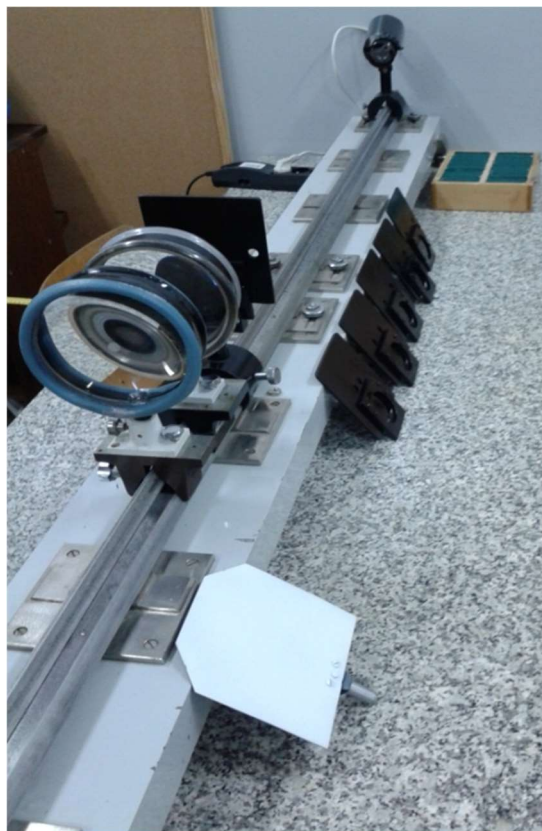


WYZNACZANIE ABERRACJI SFERYCZNEJ SOCZEWEK I ICH UKŁADÓW

Rys. 1. Widok układu pomiarowego.

1. Opis teoretyczny

Na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale

DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE zamieszczone są:

- opis teoretyczny do ćwiczenia,
- przykładowe pytania kontrolne.

Podstawowymi celami ćwiczenia są:

1. wyznaczenie aberracji sferycznej (podłużnej i poprzecznej) pojedynczej soczewki płasko-wypukłej (A lub B);
2. wyznaczenie aberracji sferycznej (podłużnej i poprzecznej) układu soczewek płasko-wypukłych (A oraz B);

Zadania dodatkowe do wyznaczenia i analizy:

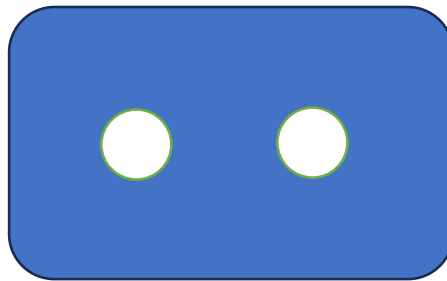
3. Wykonać pomiary jak w punktach 1 i 2 ale ze większą ilością powtórzeń położenia ognisk F_i z użyciem pozostałych przesłon h_i oraz z uwzględnieniem niepewności $u(h_i)$. Wyniki poddać analizie, wyciągnąć wnioski.
4. Wyznaczyć podłużną aberrację sferyczną soczewek płasko-wypukłych w innych wariantach ułożenia względem źródła światła. Wyniki poddać analizie, wyciągnąć wnioski.
5. Wyznaczyć poprzeczną aberrację sferyczną soczewek płasko-wypukłych w innych wariantach ułożenia względem źródła światła. Wyniki poddać analizie, wyciągnąć wnioski.

2. Opis układu pomiarowego

Układ pomiarowy (Rys.1) składa się ze:

- skalowanej ławy optycznej,
- źródła światła Z,
- zestawu wymiennych przesłon w postaci dwóch otworów kołowych oddalonych od siebie o pewną wartość h podanej na każdej przesłonie,
- dwóch uchwytów mocujących soczewki A i B (ich pozycje X_A i X_B w trakcie ćwiczenia są stałe),
- ekranu E zamocowanego na ruchomym uchwycie zaopatrzonym w ostrze wskazujące jego położenie na skalowanej ławie optycznej.

Konstrukcja stanowisk mocujących soczewki pozwala na ich łatwe osadzanie i wyjmowanie oraz na obrót wokół osi mocowania. Zadaniem przesłon jest formowanie dwóch wiązek świetlnych oddległych o wartość h od osi optycznej soczewki (rys. 2).

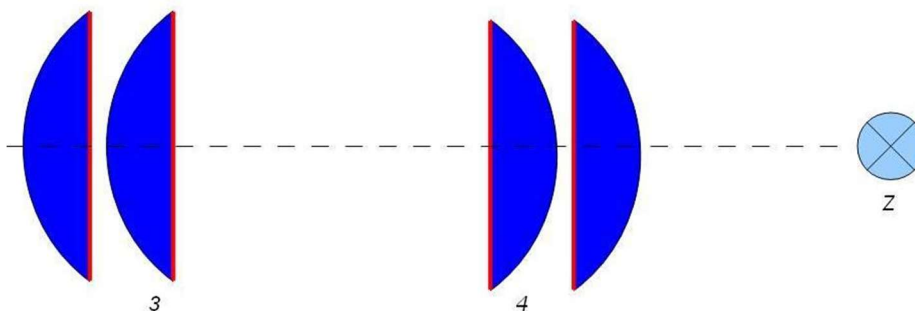


Rys. 2. Kształt przesłon formujących wiązki świetlne .

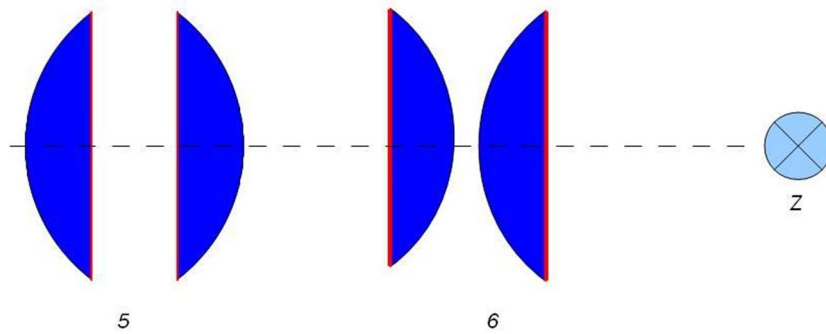
Każda z przesłon wycina ze źródła światła dwa promienie świetlne. Pierwsza w zestawie przesłona (oznaczona h_0) wycina promienie biegnące w pobliżu osi optycznej. Ostatnia (oznaczona h_s) wycina promienie skrajne biegnących tuż przy krawędzi soczewki. Ponadto w zestawie przesłon znajdują się cztery przesłony o pośrednich wartościach h_i , które wykorzystywane są do sporządzenia charakterystyki $c = f(\Delta h_i)$ gdzie $\Delta h_i = h_i - h_0$, $i = 1, 2, \dots, s$.

Dla każdej z przesłon ustalane jest takie położenie ekranu E na skalowanej ławie optycznej w którym obrazy dwóch kołowych otworów z przesłony pokryją się tworząc pojedynczy, wyraźny krążek sygnalizujący osiągnięcie pozycji ogniskowej (ogniska).

Pomiarowi podłużnej aberracji sferycznej podlegają następujące konfiguracje soczewek płasko-wypukłych w stosunku do położenia źródła światła Z (rys. 3 - 4):



Rys. 3. Konfiguracje (1, 2) pojedynczej soczewki płasko-wypukłej.



Rys. 4. Konfiguracje (3, 4, 5, 6) dwóch pojedynczych soczewek płasko-wypukłych.

Zmiana orientacji soczewek w stosunku do źródła światła Z odbywa się poprzez jej obrót na stanowisku mocującym o 180° .

3. Przeprowadzenie pomiarów

Pojedyncza soczewka płasko-wypukła *pomiary wykonać dla obu soczewek A oraz B*

1. Wybrać dla pojedynczej soczewki płasko-wypukłej (A lub B) konfigurację 1 albo 2 (rys. 3) oraz gniazdo mocujące (położenie na ławie optycznej X_A i X_B).
2. Wykonać minimum 5 niezależnych pomiarów położenia ogniska F_o z użyciem przesłony h_o (promień bliskie osi optycznej). Wyniki zanotować.
3. Wykonać minimum 5 niezależnych pomiarów położenia ogniska F_s z użyciem przesłony h_s (promień dalekie od osi optycznej). Wyniki zanotować.
4. Wykonać po minimum 1 pomiarze położenia ognisk F_i z użyciem pozostałych przesłon h_i . Wyniki zanotować.
5. Oszacować niepewność maksymalną pomiarów położenia ogniska ΔF_i (ekranu z ostrym obrazem). Wynik zanotować.

Układ soczewek płasko-wypukłych *pomiary wykonać w konfiguracji w jakiej soczewki były mierzone pojedynczo*

6. Ustawić jednocześnie obie soczewki w tych samych:
 - gniazdach mocujących (położeniach na ławie optycznej X_A i X_B),
 - położeniach względem źródła światła (konfiguracjach 1 albo 2 z rys. 3),
 jak dla pomiarów pojedynczej soczewki.
7. Wykonać minimum 5 niezależnych pomiarów położenia ogniska F_o z użyciem przesłony h_o (promień bliskie osi optycznej). Wyniki zanotować.
8. Wykonać minimum 5 niezależnych pomiarów położenia ogniska F_s z użyciem przesłony h_s (promień dalekie od osi optycznej). Wyniki zanotować.
9. Wykonać po 1 pomiarze położenia ognisk F_i z użyciem pozostałych przesłon h_i . Wyniki zanotować.
10. Oszacować niepewność maksymalną pomiarów położenia ogniska ΔF_i (ekranu z ostrym obrazem). Wynik zanotować.

4. Opracowanie wyników pomiarów

Jeżeli wyznaczana jest tylko aberracja podłużna należy wykonać punkty 1 – 13 Opracowania.

Jeżeli wyznaczana jest tylko aberracja poprzeczna należy wykonać punkty 1 – 9 i 14 – 19 Opracowania.

Położenie ogniska soczewek płasko-wypukłych i jego niepewności
obliczenia przeprowadzić dla: a) soczewki A, b) soczewki B, c) układu soczewek A i B

1. Przyjąć jedną niepewność maksymalną ΔF_i pojedynczego pomiaru położenia dowolnego z elementów (soczewka, ekran) na ławie optycznej w każdym z przypadków jako większą z wartości uzyskanych z pomiarów w punktach 5 i 10.

2. Wyznaczyć wartość średnią położenia ogniska F_o z użyciem przesłony h_o $\bar{F}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n F_{oi}$.

3. Wyznaczyć niepewność standardową położenia ogniska F_o wynikająca z przeprowadzenia n pomiarów

$$u(\bar{F}_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{oi} - \bar{F}_0)^2}{n(n-1)}}$$

4. Wyznaczyć wartość średnią położenia ogniska F_s z użyciem przesłony h_s $\bar{F}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n F_{si}$.

5. Wyznaczyć niepewność standardową położenia ogniska F_s wynikająca z przeprowadzenia

n pomiarów $u(\bar{F}_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{si} - \bar{F}_s)^2}{n(n-1)}}$

6. Wyznaczyć ogniskową dla wiązki skrajnej $f_s = |X_i - \bar{F}_s|$.

gdzie X_i to położenie gniazda w którym właśnie jest zamocowana soczewka (X_A albo X_B)

a przy układzie soczewek gniazda położonego bliżej ekranu.

7. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną ogniskowej dla wiązki skrajnej $u_c(f_s) = \sqrt{\frac{(\Delta F_i)^2}{3} + u(\bar{F}_s)^2}$.

Podłużna aberracja pojedynczej soczewek płasko-wypukłych i jej niepewności
obliczenia przeprowadzić dla: a) soczewki A, b) soczewki B, c) układu soczewek A i B

8. Wyznaczyć wartość podłużnej aberracji sferycznej $c = |F_s - F_0|$.

9. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną (wykonanie 2 razy po n pomiarów z użyciem narzędzi

pomiarowych obarczonych niepewnościami) podłużnej aberracji sferycznej $u_c(c) = \sqrt{u(\bar{F}_0)^2 + u(\bar{F}_s)^2 + 2 \frac{(\Delta F_i)^2}{3}}$

10. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną (ze współczynnikiem rozszerzenia 2) podłużnej aberracji sferycznej $U(c) = 2u_c(c)$

11. Wyznaczyć niepewność względną podłużnej aberracji sferycznej $u_{c,r}(c) = \frac{u_c(c)}{c}$

Wykres 1 - charakterystyka podłużnej aberracji soczewek płasko-wypukłych

12. Na jednym wykresie nanieść wyznaczone wielkości aberracji podłużnej wraz z niepewnościami standardowymi: a) soczewki A, b) soczewki B, c) układu soczewek A i B w funkcji odległości promieni od środka soczewki $c = f(\Delta h_i)$ gdzie $\Delta h_i = h_i - h_0$, $i = 1, 2, \dots, s$.

13. Wykreślić prostą przechodzącą przez zakres niepewności standardowych punktów na Wykresie 1.

Poprzeczna aberracja soczewek płasko-wypukłej i jej niepewności

obliczenia przeprowadzić dla: a) soczewki A, b) soczewki B, c) układu soczewek A i B

14. Wyznaczyć aberrację poprzeczną soczewki płasko-wypukłej $r_0 = c \frac{h_s}{f_s}$.

15. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną poprzecznej aberracji sferycznej

$$u_c(r_0) = \sqrt{\left[\frac{h_s}{f_s} u(c)_c\right]^2 + \left[\frac{ch_s}{f_s^2} u_c(f_s)\right]^2}$$

16. Wyznaczyć niepewność standardową względną poprzecznej aberracji sferycznej $u_{c,r}(r_0) = \frac{u_c(r_0)}{r_0}$

17. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną (ze współczynnikiem rozszerzenia 2) poprzecznej aberracji sferycznej $U(r_0) = 2u_c(r_0)$

Wykres 2 - charakterystyka poprzecznej aberracji soczewek płasko-wypukłych

18. Na jednym wykresie nanieść wyznaczone wielkości aberracji poprzecznej wraz z niepewnościami standardowymi: a) soczewki A, b) soczewki B, c) układu soczewek A i B w funkcji odległości promieni od środka soczewki $r_0 = f(\Delta h_i)$ gdzie $\Delta h_i = h_i - h_0$, $i=1, 2, \dots s$.

19. Wykreślić prostą przechodzącą przez zakres niepewności standardowych punktów na Wykresie 2.

5. Podsumowanie

1. Zestawić wyznaczone wartości wielkości:

aberrację soczewki A (podłużna/poprzeczną) $(c, u_c(c), u_{c,r}(c), U(c)) / (r_0, u_c(r_0), u_{c,r}(r_0), U(r_0))$

aberrację soczewki B (podłużna/poprzeczną) $(c, u_c(c), u_{c,r}(c), U(c)) / (r_0, u_c(r_0), u_{c,r}(r_0), U(r_0))$

aberrację układu (podłużna/poprzeczną) $(c, u_c(c), u_{c,r}(c), U(c)) / (r_0, u_c(r_0), u_{c,r}(r_0), U(r_0))$

2. Przeanalizować uzyskane rezultaty:

a) która z niepewności pomiarowych wnosi największy wkład do niepewności złożonych;

b) czy spełnione są relacje $u_{c,r}(c) < 0,1$ lub $u_{c,r}(r_0) < 0,1$

które mogą wskazywać na popełnienie małych błędów grubych lub systematycznych,

c) czy spełniona są relacje $|c_{max} - c_{min}| < U(c)$ lub $|r_{0-max} - r_{0-min}| < U(r_0)$

które mogą wskazywać na skupienie wyników wokół wartości średniej;

d) czy na wykresach widoczne są wpływy błędów: grubych, systematycznych lub przypadkowych oraz w jaki sposób aberracje pojedynczych soczewek wpływają na aberrację ich układu.

3. Wnioski z analizy rezultatów.

a) Wyciągnąć wnioski pod kątem występowania błędów grubych, systematycznych i przypadkowych oraz ich przyczyn.

b) Zaproponować działania zmierzające do podniesienia dokładności wykonywanych pomiarów.

c) Podać cele ćwiczenia i wyjaśnić czy zostały osiągnięte?

Grupa, zespół w składzie.....

Cele ćwiczenia:

- 1.a. wyznaczenie aberracji sferycznej podłużnej pojedynczej soczewki A;
- 1.b. wyznaczenie aberracji sferycznej podłużnej pojedynczej soczewki B;
- 1.c. wyznaczenie aberracji sferycznej podłużnej układu soczewek A oraz B;

-
- 2.a. wyznaczenie aberracji sferycznej poprzecznej pojedynczej soczewki A;
 - 2.b. wyznaczenie aberracji sferycznej poprzecznej pojedynczej soczewki B;
 - 2.c. wyznaczenie aberracji sferycznej poprzecznej układu soczewek A oraz B;

.....

3.1 Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych:

.....

3.2 Wartości parametrów i ich niepewności (*potwierdzić na stanowisku*):

położenia gniazda soczewki X_a położenia gniazda soczewki X_b

.....

3.3 Pomiary i uwagi do ich wykonania:

niepewność maksymalna położenia ogniska soczewki $A\Delta F_i$

niepewność maksymalna położenia ogniska soczewki $B\Delta F_i$

niepewność maksymalna położenia ogniska układu soczewek ΔF_i

Soczewka A mocowana w gnieździe (szkic układu)						
Przesłona	Kolejne położenia ogniska F_i [cm]					
h_0						
h_1						
h_2						
h_3						
h_4						
$h_5 = h_s$						

Soczewka B mocowana w gnieździe (szkic układu)						
Przesłona	Kolejne położenia ogniska F_i [cm]					
h_0						
h_1						
h_2						
h_3						
h_4						
$h_5 = h_s$						

Układ soczewek A i B (szkic układu)						
Przesłona	Kolejne położenia ogniska F_i [cm]					
h_0						
h_1						
h_2						
h_3						
h_4						
$h_5 = h_s$						