Pierwsza Ławka · zestaw działowy · liceum i technikum

Dział 17

Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki

Prawo odbicia i załamania, kąt graniczny, światłowód, zdolność skupiająca, konstrukcje obrazów i równanie soczewki, wyznaczanie współczynnika załamania i ogniskowej; zjawiska optyczne w przyrodzie (fakultatywnie). Osiem kart: najważniejsze wiadomości z przykładami, ćwiczenia, zadania typu maturalnego, doświadczenie i materiał źródłowy, kartkówka (A i B) i sprawdzian (A i B) – z kluczem i zasadami oceniania.

Fizyka | klasa 3 LO i technikum | Dział 17 | zakres rozszerzony (ZR)

	Karta	Rodzaj	Poziom	Zadania
1	**Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – najważniejsze wiadomości** Teoria w pigułce, przykłady rozwiązane krok po kroku, rozgrzewka	Najważniejsze wiadomości	ZR	4 zad. · 10 pkt
2	**Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – ćwiczenia podstawowe** Ćwiczę umiejętności z działu	Ćwiczenia	ZR	7 zad. · 17 pkt
3	**Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – zadania typu maturalnego** Polecenia i punktacja jak na maturze 2027 z fizyki	Zadania typu maturalnego	ZR	7 zad. · 16 pkt
4	**Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – w praktyce: doświadczenie i materiał źródłowy** Pomiary, wykres, niepewność, tekst i dane	Praca z materiałem źródłowym	ZR	3 zad. · 17 pkt
5	**Kartkówka: optyka geometryczna – grupa A**	Kartkówka	ZR	4 zad. · 8 pkt · 15 min
6	**Kartkówka: optyka geometryczna – grupa B**	Kartkówka	ZR	4 zad. · 8 pkt · 15 min
7	**Sprawdzian: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – grupa A**	Sprawdzian	ZR	9 zad. · 20 pkt · 45 min
8	**Sprawdzian: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – grupa B**	Sprawdzian	ZR	9 zad. · 20 pkt · 45 min

Jak korzystać z zestawu

- Karta 1 przypomina najważniejsze prawa i wzory działu oraz pokazuje przykłady rozwiązane krok po kroku – od niej warto zacząć.
- Karta 2 to ćwiczenia podstawowe, karta 3 – zadania w formule matury 2027 z fizyki (polecenia i punktacja jak w arkuszach CKE), karta 4 – doświadczenie i materiał źródłowy (pomiary, wykres, tekst, dane).
- Karty 5–6 to kartkówka (15 minut), a karty 7–8 – sprawdzian (45 minut), każda w grupach A i B: te same typy zadań i ta sama punktacja, inne dane.
- Klucz na końcu: odpowiedzi, wymaganie z podstawy przy każdym zadaniu, przykładowe rozwiązania i zasady oceniania etapami, jak w zasadach oceniania CKE. Osobny plik „Powtórka": prawa i wzory (co jest w broszurze CKE), typowe błędy, test „Sprawdź się".

Oznaczenia

ZP	zakres podstawowy
ZR	zakres rozszerzony (treści tylko dla ZR)
(0–2 pkt)	liczba punktów możliwych do zdobycia za zadanie
Zadanie 4.1.	wiązka zadań do wspólnego materiału źródłowego

Wymagania z podstawy programowej (Dz.U. 2024 poz. 1019)

- **ZR X.6** stosuje prawo odbicia i prawo załamania fal na granicy dwóch ośrodków; posługuje się pojęciem współczynnika załamania ośrodka; oblicza kąt graniczny;
- **ZR X.7** opisuje działanie światłowodu jako przykład wykorzystania zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia;
- **ZR X.15** opisuje jakościowo zależność ogniskowej soczewki od jej krzywizny oraz współczynnika załamania; stosuje do obliczeń pojęcie zdolności skupiającej wraz z jej jednostką;
- **ZR X.16** rysuje konstrukcyjnie obrazy wytworzone przez soczewki; stosuje do obliczeń równanie soczewki;
- **ZR X.17** opisuje przykłady zjawisk optycznych w przyrodzie;
- **ZR X.18e** doświadczalnie: e) wyznacza wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego
- **ZR X.18f** doświadczalnie: f) bada związek między ogniskową soczewki a położeniami przedmiotu i obrazu

Materiał oryginalny – zadania nie są kopiami zadań CKE ani podręczników. Podstawa programowa LO i technikum w brzmieniu z 2024 r. (Dz.U. 2024 poz. 1019). Wymagania (PR): X.6, X.7, X.15, X.16, X.17, X.18e, X.18f. Stałe fizyczne – według broszury CKE „Wybrane wzory i stałe fizykochemiczne na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki". Do użytku własnego i pracy z własnymi uczniami.

Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – najważniejsze wiadomości

Teoria w pigułce, przykłady rozwiązane krok po kroku, rozgrzewka

ZR KARTA 1/8

Imię i nazwisko: Klasa: Data: Wynik: ... / 10 pkt

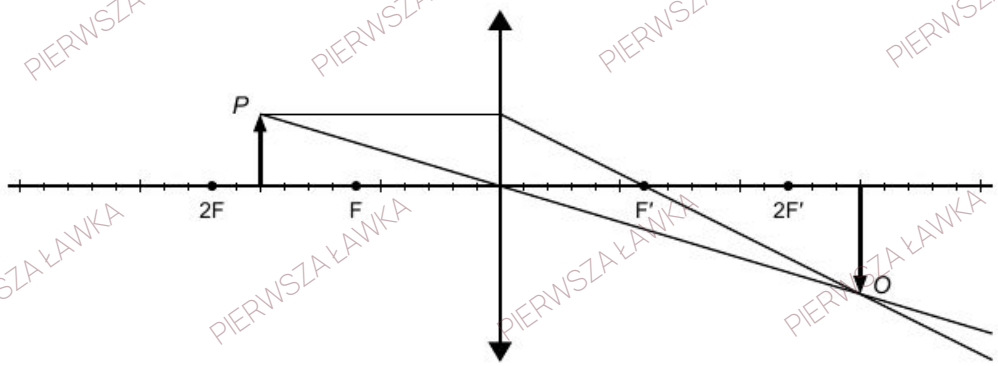
Najważniejsze wiadomości · 10 pkt

Przypomnij sobie

- **Prawo odbicia:** promień padający, promień odbity i normalna do powierzchni leżą w jednej płaszczyźnie, a kąt odbicia jest równy kątowi padania. Kąty mierzymy zawsze **od normalnej**, nie od powierzchni.
- **Prawo załamania:** $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$, czyli $n_1\sin\alpha_1 = n_2\sin\alpha_2$. Bezwzględny współczynnik załamania ośrodka: $n = \frac{c}{v}$ (powietrze ≈ 1,00, woda ≈ 1,33, szkło 1,5–1,6). Przy przejściu do ośrodka o większym n promień zbliża się do normalnej.
- Przy załamaniu **częstotliwość fali się nie zmienia**, zmienia się prędkość i długość fali: $\lambda_2 = \frac{\lambda_1 n_1}{n_2}$, w ośrodku $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$.
- **Kąt graniczny** – kąt padania, przy którym kąt załamania jest równy 90°; istnieje tylko przy przejściu z ośrodka o większym n_1 do ośrodka o mniejszym n_2: $\sin\alpha_{gr} = \frac{n_2}{n_1}$. Dla $\alpha > \alpha_{gr}$ zachodzi **całkowite wewnętrzne odbicie** – promienia załamanego nie ma.
- **Światłowód:** rdzeń o większym współczynniku załamania otoczony płaszczem o mniejszym. Promień, który pada na granicę rdzeń–płaszcz pod kątem większym od granicznego, odbija się całkowicie i biegnie w rdzeniu nawet po zgiętym włóknie (telekomunikacja, endoskopy).
- **Ogniskowa soczewki** (wzór z broszury CKE): $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_s}{n_o} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ – promień powierzchni wypukłej ze znakiem +, wklęsłej ze znakiem –, płaskiej $\frac{1}{R} = 0$. Silniej zakrzywiona soczewka (mniejsze R) i większy stosunek $\frac{n_s}{n_o}$ dają krótszą ogniskową; w wodzie soczewka szklana skupia słabiej niż w powietrzu.
- **Zdolność skupiająca:** $Z = \frac{1}{f}$, jednostka **dioptria**: 1 D = 1 m^{-1} (ogniskowa w metrach!). Soczewka skupiająca: $f > 0$, $Z > 0$; rozpraszająca: $f < 0$, $Z < 0$. Soczewki cienkie złożone ściśle: $Z = Z_1 + Z_2$.
- **Równanie soczewki:** $\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$ (x – odległość przedmiotu, y – obrazu od soczewki). $y > 0$ – obraz rzeczywisty (po drugiej stronie soczewki), $y < 0$ – obraz pozorny. Powiększenie: $p = \frac{|y|}{x} = \frac{h'}{h}$.

Przedmiot (soczewka skupiająca)	Obraz	Zastosowanie
dalej niż 2f	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony (między f a 2f)	aparat fotograficzny, oko
w odległości 2f	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości (w 2f)	kopiowanie 1 : 1
między f a 2f	rzeczywisty, odwrócony, powiększony (dalej niż 2f)	rzutnik
bliżej niż f	pozorny, prosty, powiększony	lupa
soczewka rozpraszająca – dowolnie	pozorny, prosty, pomniejszony	okulary dla krótkowidzów

- **Konstrukcja obrazu** – wystarczą dwa z trzech promieni charakterystycznych: równoległy do osi (po soczewce przez ognisko F′ albo – w rozpraszającej – tak, jakby wychodził z ogniska F), przechodzący przez środek soczewki (bez zmiany kierunku), przechodzący przez ognisko F (po soczewce równoległy do osi).



Podziałka na osi co 1 cm; |OF| = |OF′| = 6 cm.

Dla zainteresowanych (wymaganie X.17 – fakultatywne, realizuje się z decyzji nauczyciela; nie ma go na maturze). Zjawiska optyczne w przyrodzie: tęcza powstaje, gdy światło słoneczne załamuje się w kroplach wody, odbija się od ich tylnej ścianki i załamuje ponownie – a każda barwa załamuje się nieco inaczej. Miraż to zakrzywienie biegu promieni w warstwach powietrza o różnej temperaturze (różnym współczynniku załamania) nad rozgrzaną drogą.

Przykłady z rozwiązaniem

Przykład 1. **Promień światła pada z powietrza na powierzchnię szkła o współczynniku załamania 1,52 pod kątem 40°. Oblicz kąt załamania. Wynik podaj z dokładnością do 0,1°.**

$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$, $n_1 = 1{,}00$.

$\sin \alpha_2 = \dfrac{\sin \alpha_1}{n_2} = 0{,}6428 : 1{,}52 = 0{,}4229 \rightarrow \boldsymbol{\alpha_2 \approx 25{,}0°}$.

Kąt załamania jest mniejszy od kąta padania – promień zbliżył się do normalnej (szkło ma większe n).

Przykład 2. **Oblicz kąt graniczny dla światła biegnącego ze szkła ($n_1 = 1{,}52$) do wody ($n_2 = 1{,}33$). Wynik podaj z dokładnością do 0,1°.**

Kąt graniczny istnieje, bo $n_1 > n_2$. $\sin \alpha_{gr} = \dfrac{n_2}{n_1} = 1{,}33 : 1{,}52 = 0{,}875 \rightarrow \boldsymbol{\alpha_{gr} \approx 61{,}0°}$.

Dla granicy szkło–powietrze kąt graniczny jest mniejszy (≈ 41,1°), bo różnica współczynników jest większa.

Przykład 3. **Przedmiot stoi w odległości 18 cm od soczewki skupiającej o ogniskowej 12 cm. Oblicz odległość obrazu od soczewki, powiększenie i zdolność skupiającą soczewki. Opisz obraz.**

$\dfrac{1}{y} = \dfrac{1}{f} - \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{12} - \dfrac{1}{18} = \dfrac{1}{36}$ (cm^{-1}) $\rightarrow$ $\boldsymbol{y = 36}$ **cm** (> 0 – obraz rzeczywisty).

$p = \dfrac{|y|}{x} = 36 : 18 = \mathbf{2{,}0}$. Obraz rzeczywisty, odwrócony, dwa razy powiększony.

$Z = \dfrac{1}{f} = 1 : 0{,}12 \text{ m} \approx \mathbf{8{,}3\ D}$ (ogniskowa w metrach!).

Zadania

Zadanie 1. (0–2 pkt) ..... / 2

Współczynnik załamania szkła jest równy 1,50. Oblicz wartość prędkości światła w tym szkle. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 2. (0–4 pkt) ..... / 4

Oceń, czy zdanie jest prawdziwe (P), czy fałszywe (F).

1. Przy przejściu światła z powietrza do wody częstotliwość fali się nie zmienia.	P	F
2. Całkowite wewnętrzne odbicie może zajść przy przejściu światła z powietrza do szkła.	P	F
3. Zdolność skupiająca soczewki rozpraszającej jest ujemna.	P	F
4. Obraz pozorny można zobaczyć na ekranie ustawionym za soczewką.	P	F

Zadanie 3. (0–3 pkt) ..... / 3

Uzupełnij zdania.

1. Jednostką zdolności skupiającej jest _____ (1 D = 1 m^{-1}).
2. Kąt odbicia jest równy kątowi _____ ; oba mierzymy od normalnej.
3. Soczewka o ogniskowej 25 cm ma zdolność skupiającą równą _____ D.

Zadanie 4. (0–1 pkt) ..... / 1

Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.
Ogniskowa szklanej soczewki skupiającej umieszczonej w powietrzu zmaleje, gdy

A. zastąpimy ją soczewką o tym samym kształcie z szkła o większym współczynniku załamania.

B. zanurzymy ją w wodzie.

C. odsuniemy przedmiot dalej od soczewki.

D. zwiększymy promienie krzywizny jej powierzchni.

Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – ćwiczenia podstawowe

Ćwiczę umiejętności z działu

ZR

KARTA 2/8

Imię i nazwisko: Klasa: Data: Wynik: ..... / 17 pkt

Ćwiczenia · 17 pkt

Zadanie 1. (0–3 pkt) ..... / 3

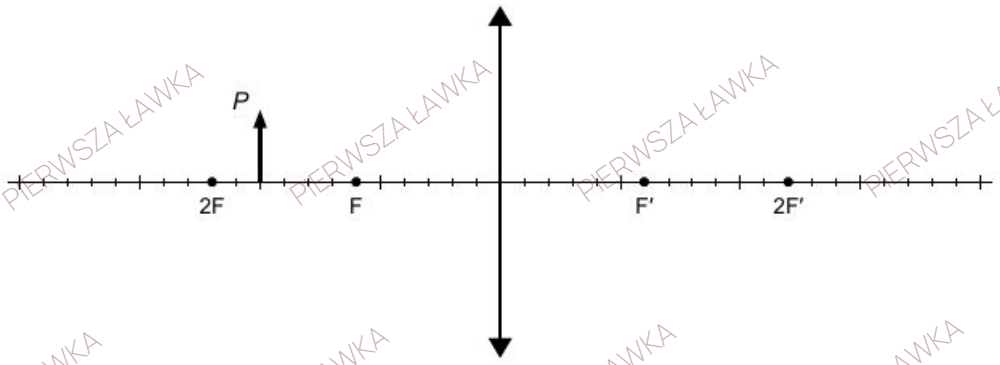
Promień światła biegnie w wodzie (n = 1,33) i pada na granicę woda–powietrze pod kątem 30°. Oblicz kąt załamania. Następnie oblicz kąt graniczny i ustal, co stanie się z promieniem, który pada na tę granicę pod kątem 55°. Kąty podaj z dokładnością do 0,1°. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 2. (0–2 pkt) ..... / 2

Na rysunku przedstawiono soczewkę skupiającą i przedmiot P. Narysuj konstrukcyjnie obraz przedmiotu (co najmniej dwa promienie charakterystyczne) i zapisz trzy cechy obrazu.

Miejsce na odpowiedź



Podziałka na osi co 1 cm; |OF| = |OF'| = 6 cm.

Zadanie 3. (0–4 pkt) ..... / 4

Przyporządkuj każdemu położeniu przedmiotu (1–4) cechy obrazu (a–d).

1. przedmiot dalej niż $2f$ od soczewki skupiającej
2. przedmiot między f a $2f$ od soczewki skupiającej
3. przedmiot bliżej niż f od soczewki skupiającej
4. przedmiot w dowolnej odległości od soczewki rozpraszającej

a) rzeczywisty, odwrócony, powiększony
b) pozorny, prosty, powiększony
c) rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony
d) pozorny, prosty, pomniejszony

1 ____ 2 ____ 3 ____ 4 ____

Zadanie 4. (0–3 pkt) ..... / 3

Soczewka dwuwypukła ze szkła o współczynniku załamania 1,50 ma obie powierzchnie o promieniu krzywizny 20 cm. Oblicz jej ogniskową i zdolność skupiającą w powietrzu oraz ogniskową po zanurzeniu w wodzie (n_o = 1,33). Ogniskową w wodzie podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 5. (0–1 pkt) ..... / 1

Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.
Przedmiot ustawiono w odległości $2f$ od soczewki skupiającej. Obraz powstaje

A. w ognisku za soczewką i jest punktowy.
B. bardzo daleko za soczewką (promienie wychodzą równolegle).
C. w odległości f za soczewką i jest dwa razy pomniejszony.
D. w odległości $2f$ za soczewką, ma tę samą wielkość i jest odwrócony.

Zadanie 6. (0–2 pkt) ..... / 2

Wiązka lasera o długości fali 633 nm (w powietrzu) wchodzi do wody o współczynniku załamania 1,33. Oblicz wartość prędkości i długość fali światła w wodzie. Długość fali podaj w nanometrach z dokładnością do trzech cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Podgląd – Pierwsza Ławka

Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – zadania typu maturalnego

Polecenia i punktacja jak na maturze 2027 z fizyki

ZR

KARTA 3/8

Imię i nazwisko: Klasa: Data: Wynik: ..... / 16 pkt

Zadania typu maturalnego · 16 pkt

Zadanie 1. (0–1 pkt) ..... / 1

Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.
Promień światła biegnie w szkle o współczynniku załamania 1,50 w stronę granicy z powietrzem. Kąt graniczny jest równy

A. 33,7°. B. 41,8°. C. 48,2°. D. 56,3°.

Zadanie 2. (0–1 pkt) ..... / 1

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1. Promień światła przechodzący z wody do szkła oddala się od normalnej.	P	F
2. Szklana soczewka dwuwypukła zanurzona w wodzie ma dłuższą ogniskową niż w powietrzu.	P	F

Zadanie 3. (0–6 pkt)

Prosty, długi pręt szklany o współczynniku załamania $n = 1{,}50$ ma płaskie czoło prostopadłe do osi. Promień światła pada na czoło pod kątem θ (od osi pręta), załamuje się i pada na boczną powierzchnię pręta. Pręt może być otoczony powietrzem albo zanurzony w cieczy o współczynniku załamania $n_0 < n$; promień wchodzi do pręta z tego samego ośrodka, który otacza pręt.
Przyjmij, że współczynnik załamania powietrza jest równy 1,00.

Zadanie 3.1. (0–3 pkt) ..... / 3

Wyznacz sinus największego kąta θ, przy którym promień ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu na bocznej powierzchni pręta – w zależności tylko od n i n_0. Zapisz odpowiednie równania i przekształcenia oraz podaj postać wzoru na $\sin\theta_{max}$.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 3.2. (0–2 pkt) ..... / 2

Pręt zanurzono w wodzie (n_0 = 1,33). Oblicz największy kąt θ, przy którym promień wchodzący z wody biegnie w pręcie dzięki całkowitemu wewnętrznemu odbiciu. Skorzystaj z zależności $\sin\theta_{max} = \frac{\sqrt{n^2 - n_0^2}}{n_0}$. Wynik podaj z dokładnością do 1°. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 3.3. (0–1 pkt) ..... / 1

Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.
Gdy pręt otacza powietrze, z zależności dla $\sin\theta_{max}$ wynika, że całkowicie odbija się na bocznej ścianie

A. tylko promień, który padł na czoło prostopadle.

B. tylko promień, który padł na czoło pod kątem mniejszym niż 41,8°.

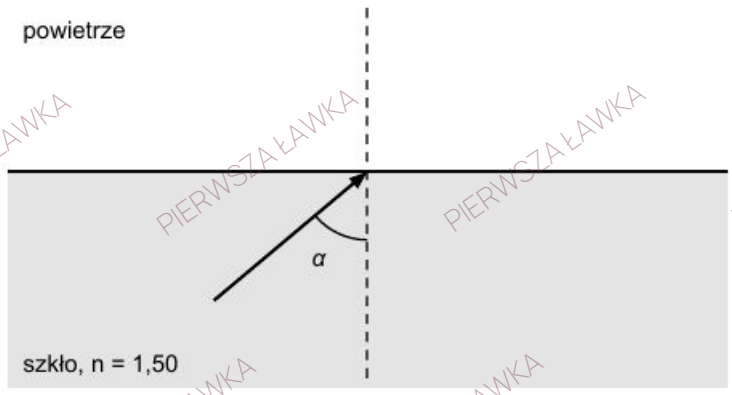
C. każdy promień, który wszedł do pręta przez czoło.

D. żaden promień, który wszedł do pręta przez czoło.

Zadanie 4. (0–2 pkt) ..... / 2

Promień światła biegnie w szkle o współczynniku załamania 1,50 i pada na granicę z powietrzem pod kątem 50°. Narysuj dalszy bieg promienia (lub promieni) i zaznacz kąt (kąty), który tworzy on z normalną.

Miejsce na odpowiedź



Zadanie 5. (0–3 pkt) ..... / 3

Rzutnik daje na ekranie ostry obraz slajdu 24 razy powiększony. Odległość slajdu od ekranu jest równa 2,50 m. Soczewkę obiektywu traktujemy jak soczewkę cienką. Oblicz ogniskową obiektywu. Wynik podaj w centymetrach z dokładnością do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 6. (0–2 pkt) ..... / 2

Wykaż, że obraz przedmiotu ustawionego w odległości $2f$ od soczewki skupiającej o ogniskowej f jest rzeczywisty i ma taką samą wysokość jak przedmiot. Powołaj się na równanie soczewki.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 7. (0–1 pkt) ..... / 1

Przyjmij, że zdolności skupiające soczewek cienkich złożonych ściśle ze sobą się sumują.
Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.
Dwie cienkie soczewki o zdolnościach skupiających 5,0 D i −2,0 D złożono ściśle ze sobą. Ogniskowa takiego układu jest równa

A. 14 cm. B. 20 cm. C. 33 cm. D. 50 cm.

Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – w praktyce: doświadczenie i materiał źródłowy

Pomiary, wykres, niepewność, tekst i dane

ZR KARTA 4/8

Imię i nazwisko: Klasa: Data: Wynik: ..... / 17 pkt

Praca z materiałem źródłowym · 17 pkt

Zadanie 1. (0–5 pkt)

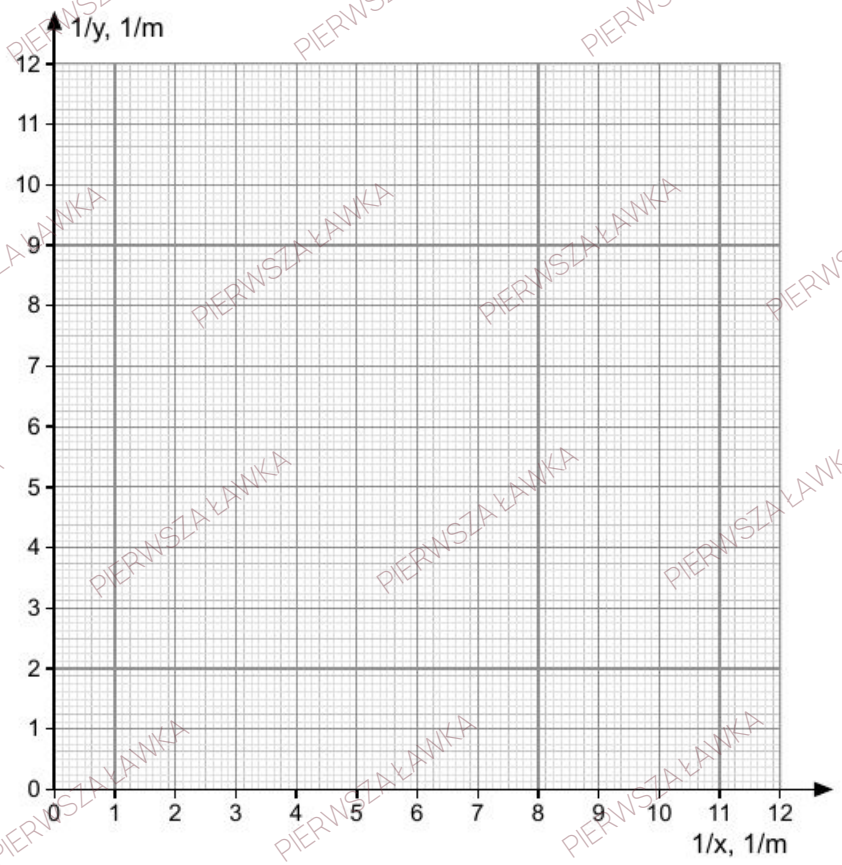
Na ławie optycznej stały: świecąca strzałka, soczewka skupiająca i biały ekran. Uczniowie pięć razy zmieniali położenie strzałki; za każdym razem szukali takiego ustawienia ekranu, przy którym strzałka była na nim najostrzejsza, i zapisywali obie odległości od soczewki: x (strzałka) i y (ekran). Tabela zawiera też obliczone odwrotności. Niepewności pomiarowe pomiń.

Pomiar	1	2	3	4	5
x, m	0,150	0,200	0,250	0,300	0,400
y, m	0,300	0,200	0,165	0,150	0,135
$1/x$, 1/m	6,67	5,00	4,00	3,33	2,50
$1/y$, 1/m	3,33	5,00	6,06	6,67	7,41

Zadanie 1.1. (0–2 pkt) ..... / 2

Na siatce zaznacz punkty o współrzędnych $(1/x, 1/y)$ i narysuj prostą najlepiej do nich dopasowaną.

Miejsce na odpowiedź



Zadanie 2.3. (0–2 pkt) ..... / 2

Oblicz współczynnik załamania pleksi. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 2.4. (0–1 pkt) ..... / 1

Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.
Gdy kąt padania α na płaską ścianę przekroczy kąt graniczny,

A. wiązka odbita znika, a załamana wychodzi pod kątem 90°.

B. wiązka załamana znika, a cała wiązka odbija się od płaskiej ściany.

C. wiązka załamana biegnie wzdłuż płaskiej ściany przy każdym większym kącie.

D. wiązka przechodzi przez płaską ścianę bez załamania.

Zadanie 3. (0–7 pkt)

Przeczytaj tekst i wykonaj zadania.

Światło w szklanym włóknie

Szklane włókno telekomunikacyjne składa się z rdzenia o średnicy kilku mikrometrów i otaczającego go płaszcza o średnicy 125 µm. Dla popularnego włókna jednomodowego SMF-28 Ultra producent podaje: średnicę rdzenia 8,2 µm, aperturę numeryczną NA = 0,14, tłumienie nie większe niż 0,18 dB/km dla fali 1550 nm (po 100 km pozostaje ok. 1,6% mocy) oraz efektywny grupowy współczynnik załamania n_g = 1,4682 dla fali 1550 nm.

Apertura numeryczna łączy współczynniki załamania rdzenia (n_1) i płaszcza (n_2): $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Jest też równa sinusowi największego kąta (od osi włókna), pod jakim wiązka z powietrza może wejść do rdzenia i dalej się w nim prowadzić – tu ok. 8,0°.

Opracowano na podstawie: parametry włókna Corning Ultra SMF-28 09/125 µm w karcie produktu TDE (https://shop.tde.de/en/fo-simplex-cord-9-125-g-657-a1-ultra-lsoh-1-8mm-l-ivh01e09x-1-8-49776.html) oraz karta Corning PI1424 (https://csmedia.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/product-information-sheets/PI-1424-AEN.pdf).

Zadanie 3.1. (0–2 pkt) ..... / 2

Oblicz czas, w jakim impuls światła przebiega w tym włóknie odcinek o długości 100 km. Przyjmij, że impuls porusza się z prędkością $v = \frac{c}{n_g}$. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Miejsce na rozwiązanie

CO JESZCZE JEST W ŚRODKU

Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – kartkówka, sprawdzian i karty pracy z powtórką, fizyka, klasa 3 LO i technikum (zakres…

Podgląd pokazał 12 z 40 stron. Pełna wersja: 40 stron A4, PDF do druku i DOCX do edycji.

- Karta 1: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – najważniejsze wiadomości – 4 zadania, 10 pkt
- Karta 2: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – ćwiczenia podstawowe – 7 zadań, 17 pkt
- Karta 3: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – zadania typu maturalnego – 7 zadań, 16 pkt
- Karta 4: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – w praktyce: doświadczenie i materiał źródłowy – 3 zadania, 17 pkt
- Karta 5: Kartkówka: optyka geometryczna – grupa A – 4 zadania, 8 pkt
- Karta 6: Kartkówka: optyka geometryczna – grupa B – 4 zadania, 8 pkt
- Karta 7: Sprawdzian: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – grupa A – 9 zadań, 20 pkt
- Karta 8: Sprawdzian: Optyka geometryczna: załamanie, światłowód i soczewki – grupa B – 9 zadań, 20 pkt Karta 1 przypomina teorię i pokazuje przykłady rozwiązane krok po kroku, dale

Kup pełną wersję – plik od razu na e-mail

pierwszalawka.pl/material/fizyka-liceum-klasa-3-dzial-17-optyka-geometryczna-soczewki-zakres-rozszerzony