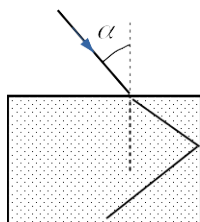


1 Optyka geometryczna

Zad 1.1. Na płasko-równoległą płytkę szklaną pada promień światła pod kątem α . Wyprowadź wzór na przesunięcie jakiego doznaje promień świetlny po przejściu przez płytkę, jeśli grubość płytki wynosi h a współczynnik załamania światła w szkle wynosi n .

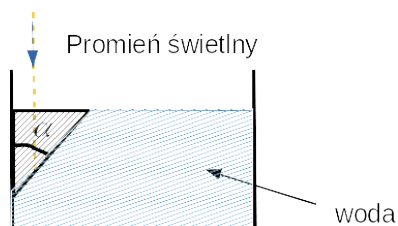
Zad 1.2. Promień światła pada na pod kątem α na dwie płasko-równoległe płytki sklejone ze sobą. Wyprowadź wzór na przesunięcie promienia świetlnego jeśli płytki mają grubość odpowiednio g_1 i g_2 a współczynniki załamania światła wynosi odpowiednio n_1 i n_2 . Rozważ ponadto przypadek gdy płytki są ustawione równoległe w odległości d . Wyznacz jak zależy przesunięcie promienia od odległości d pomiędzy płytkami.

Zad 1.3. Wiązka światła o długości $\lambda_p = 750\text{nm}$ pada na powierzchnię klocka wykonanego z materiału przezroczystego pod kątem $\alpha = 45^\circ$. Wyznacz współczynnik załamania światła materiału klocka i długość fali świetlnej w klocku jeśli światło załamuje się pod kątem $\beta = 30^\circ$.



Rysunek 1. Odbicie wewnętrzne, rysunek do zad. 1.4

Zad 1.4. Na ściankę prostopałocznego klocka pada strumień światła w kierunku jednej ze ścian. Dla jakiego kąta padania wiązka światła ulegnie całkowitemu odbiciu wewnętrznemu od ścianki pionowej bocznej (rys. 1)



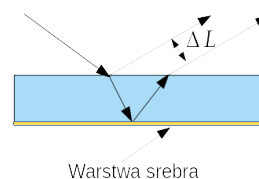
Rysunek 2. Pryzmat w wodzie, rysunek do zad. 1.5

Zad 1.5. Pryzmat wykonany z materiału o współczynniku załamania $n_p = 1,6$ zanurzono do wody jak

na rysunku 2. Promień światła pada na pryzmat prostopadle do ściany bocznej pryzmatu. Przy jakim kącie łamiącym α pryzmatu światło nie wniknie do wody? Zapisz warunek w postaci nierówności.

Zad 1.6. Przekrój pryzmatu jest trójkąt równoboczny. jaki powinien być współczynnik załamania światła w materiale, z którego zrobiony jest pryzmat, aby promień padający prostopadle na ścianę boczną uległ całkowitemu odbiciu wewnętrznemu.

Zad 1.7. Płytkę szklaną o grubości d pokryta jest z jednej strony warstwą srebra tak, że promień światła poruszający się od strony nieposrebrzonej odbija się od warstwy srebra. Wyprowadź wzór na odległość δL pomiędzy wiązką padającą na płytkę, a wiązką odbitą od warstwy posrebrzonej.



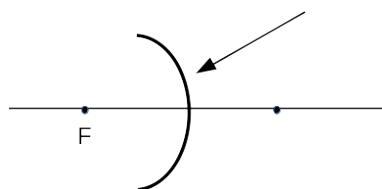
Rysunek 3. płytka lustrzana do zadania 1.7

Zad 1.8. Udowodnij, że

- 1) minimalna wysokość zwierciadła płaskiego powieszono na ścianie pozwalającego na oglądanie całej własnej postaci wynosi połowę wysokości osoby przeglądającej się w lustrze,
- 2) jeśli widać całą postać to dolna krawędź lustra powinna być w połowie wysokości człowieka przeglądającego się w lustrze.

Narysuj bieg promieni rzeczywistych i konstrukcję obrazu pozornego. Zaprojektuj tak lustro (jego wysokość i miejsce powieszenia) aby w rodzinie składającej się z osób o wysokości w przedziale od $h_1 = 1\text{m}$ do $h_2 = 2\text{m}$ każdy mógł zobaczyć całą swoją postać.

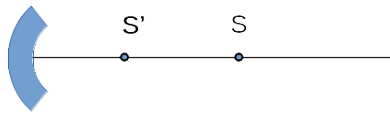
Zad 1.9. Promień 1 pada na zwierciadło sferyczne wypukłe o ognisku F . Wyznacza konstrukcyjnie bieg promienia 1 po odbiciu od zwierciadła. Wskazówka: należy na promieniu 1 wybrać dowolny punkt i skonstruować jego obraz pozorny.



Rysunek 4. konstrukcja promienia odbitego od zwierciadła wypukłego do zadania 1.9

Zad 1.10. Wyznacz konstrukcyjnie i wzorami ognisko zwierciadła jeśli przedmiot S leżący na osi zwierciadła znajduje się w odległości x od zwierciadła a

obraz S' (leżący też na osi) znajduje się w odległości y . Rozważ przypadek zwierciadła wypukłego



Rysunek 5. rysunek do zadania 1.10

Zad 1.11. Przedmiot świecący umieszczono na osi optycznej zwierciadła sferycznego tak, że otrzymano obraz rzeczywisty o powiększeniu $p_1 = 2$, gdy przesunięto przedmiot o $\Delta L = 5\text{cm}$ w kierunku zwierciadła powstał obraz rzeczywisty o powiększeniu $p_2 = 4$. Wyznacz ogniskowa zwierciadła.

Zad 1.12. wyprowadź równanie Newtona dla soczewki zakładając, że promienie równoległe do osi optycznej skupiają się w ognisku.

Zad 1.13. Przedmiot o wysokości $H = 3\text{cm}$ znajduje się w odległości $l = 2\text{m}$ od ściany, spełniającej rolę ekranu. W jakiej odległości od ściany należy umieścić soczewkę skupiającą o zdolności skupiającej (moc optyczna) $D = 4$ dioptrii aby na ścianie powstał obraz rzeczywisty. Jaka będzie wysokość obrazu na ścianie?. Narysuj bieg promieni i wyprowadź odpowiednie wzory.

Zad 1.14. Udowodnij, że powiększenie obrazu wytworzonego przez soczewkę równe jest stosunkowi odległości obrazu od soczewki i odległości przedmiotu od soczewki.

Zad 1.15. Udowodnij że równanie (1.1) opisujące powstawanie obrazu w soczewce można zapisać w postaci wzoru Newtona. (1.2). Wzór opisujący powstawanie obrazu ma postać:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} \quad (1.1)$$

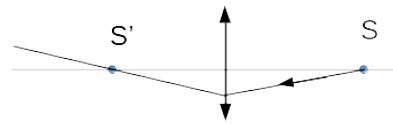
Gdzie x - odległość przedmiotu od środka soczewki, y odległość obrazu od środka soczewki Wzór Newtona ma postać

$$y_0 x_0 = f^2 \quad (1.2)$$

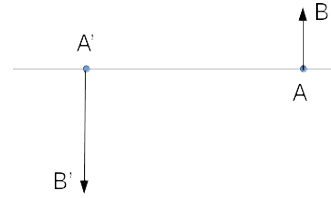
Gdzie x_0 jest położeniem przedmiotu względem ogniska i y_0 jest położeniem obrazu względem ogniska. Udowodnij, że wzór (1.2) wynika wprost z rysunku pokazującego geometryczną konstrukcję obrazu.

Zad 1.16. Na rysunku pokazano bieg promienia z punktu S do punktu S' . Wykonaj geometryczną konstrukcję położenia ogniska soczewki.

Zad 1.17. Na rysunku pokazano przedmiot świecący A, B i jego obraz rzeczywisty A', B' narysowane na prostej będącej osią soczewki. Wyznacz geometrycznie położenie soczewki i położenie ognisk soczewki. Wylicz ogniskową jeśli odległość A, B wynosi $d = 10\text{cm}$ oraz powiększenie $p = 2$



Rysunek 6. konstrukcja ogniska soczewki do zadania 1.16



Rysunek 7. konstrukcja położenia soczewki i ogniskowych do zadania 1.17

Zad 1.18. Mucha leci wzdłuż osi optycznej soczewki o ogniskowej f z prędkością u oddalając się od soczewki. Wyznacz prędkość obrazu muchy w zależności od położenia na osi optycznej. Wyznacz zależność powiększenia od czasu przy założeniu ruchu jednostajnego muchy. Należy założyć, że w chwili $t = 0$ mucha znajdowała się w odległości x_0 od środka soczewki.

Zad 1.19. Przedmiot świecący wytwarza obraz rzeczywisty na ekranie odległym od przedmiotu o L . Między soczewką a ekranem w odległości l_1 od ekranu umieszczono soczewkę rozpraszającą. Aby uzyskać ostry obraz odsunięto ekran o odcinek o długości d . Ile wynosi ogniskowa soczewki rozpraszającej.

Zad 1.20. Równoległa wiązka pada na soczewkę o ogniskowej f . W odległości d od soczewki umieszczono zwierciadło płaskie. Wyznacz punkt w którym wiązka skupia się. Rozpatrz różne relacje pomiędzy f i d . W jakim przypadku wiązka równoległa po odbiciu od zwierciadła pozostanie równoległa. Rozpatrz przypadki: $d < \frac{f}{2}$, $\frac{f}{2} < d < f$, $d > f$.

Zad 1.21. Przedmiot świecący znajduje się w odległości d od soczewki o ogniskowej f_1 . Za soczewką w odległości L od soczewki umieszczono zwierciadło o ogniskowej f_2 . W jakiej odległości od zwierciadła powstanie obraz. Załóż że obraz powstaje po ponownym przejściu przez soczewkę.

Zad 1.22. Soczewka wykonana jest z materiału o współczynniku załamania $n_s = 1,6$. Ogniskowa tej soczewki w powietrzu wynosi $f_1 = 1\text{m}$, a w wodzie $f_2 = 3\text{m}$, Współczynnik załamania powietrza wynosi $n_p = 1.0003$. Wyznacz współczynnik załamania wody.

Wskazówka: ogniskowa soczewki o promieniach krzywizny r_1 i r_2 wynosi: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_0} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$, gdzie n współczynnik załamania materiału soczewki, n_0 - współczynnik załamania światła w ośrodku.

Odpowiedź: $n_w = \frac{n}{\left(\frac{n}{n_p} - 1\right) \frac{f_1}{f_2} + 1}$

Zad 1.23. Wyprowadź wzór na ogniskową obiektywu fotograficznego jeśli obraz przedmiotu fotografowanego w odległości $y_1 = 4\text{cm}$ od soczewki ma wysokość $h_1 = 1,5\text{cm}$ i obraz przedmiotu fotografowanego w odległości $y_2 = 3\text{cm}$ od soczewki ma wysokość $h_2 = 3\text{cm}$

2 Optyka falowa

Zad 2.1. W próżni wzdłuż osi x biegną na przeciw siebie dwie fale płaskie o natężeniu E_0 i długości fali λ . W wyniku nałożenia tych fal (interferencji) powstaje fala stojąca. Napisz równie fali stojące, zapisz zależność natężenia od położenia x na osi oraz podaj odległości maksimów i minimów fali. Natężenie fali proporcjonalne jest do kwadratu amplitudy E_0 : natężenie $I = \frac{1}{\mu_0 c} \frac{E_0^2}{2}$, gdzie μ_0 jest przenikalnością magnetyczną próżni, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$, c - prędkość światła w próżni, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, przy czym $\frac{1}{c^2} = \mu_0 \epsilon_0$, gdzie ϵ_0 - przenikalność elektryczna próżni.

Zad 2.2. Widmo dyfrakcyjne drugiego rzędu obserwuje się pod kątem $\alpha_2 = 10^\circ$. Obliczyć długość fali λ światła monochromatycznego padającego prostopadle na siatkę dyfrakcyjną mającej $n=100$ rys na milimetr. Wyznacz możliwą największą liczbę prążków tego widma.

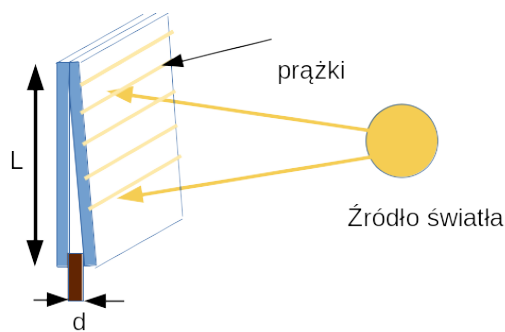
Zad 2.3. Jak powinna być stała d siatki dyfrakcyjnej, aby można było określić przy pomocy niej długość fali światła niebieskiego ($\lambda = 450\text{nm}$). Warunek ten oznacza, że na ekranie zobaczymy przynajmniej prążki pierwszego rzędu.

Zad 2.4. Na ekran pada wiązka dwukolorowa. Na ekranie widać dwukolorowe prążki, prążek rzędu $n_1 = 3$ fali o długości $\lambda_1 = 400\text{nm}$ widać w tym samym miejscu co prążek rzędu $n_2 = 4$ fali o długości λ_2 . Wyznacz długość λ_2 .

Zad 2.5. Duża liczba nadajników radiowych fal o częstotliwości $f = 1 \text{ GHz}$ umieszczono periodycznie na jednej linii. Wyznacz odległość nadajników jeśli wiązki emitowane przez ten układ nadajników nadają sygnał w sześciu kierunkach.

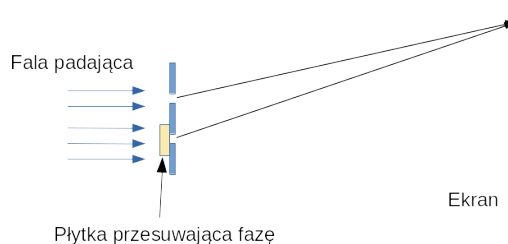
Zad 2.6. Światło pada na siatkę dyfrakcyjną o stałą d pod kątem ϕ . Wyznacz kąt ugięcia n -tego prążka. Długość fali wynosi λ .

Zad 2.7. Dwie płytki szklane o długości $L = 10\text{cm}$ złożono tak, że z jednego końca stykają się a z drugiego przedzielone są papierkiem o grubości $a=0,02\text{mm}$ tak, że kąt pomiędzy płytkami można uznać za bardzo mały (dużo mniejszy od 1 radiana). Na płytki pada prostopadle światło żółte ($\lambda = 500\text{nm}$). Wyznacz odległość prążków widocznych na płytkach gdy patrzymy prostopadle na płytki.



Rysunek 8. Obraz interferencyjny do zadania 2.7, źródło światła monochromatyczne oznaczone jest kulą, strzałka pokazuje kierunek patrzenia przez osobę obserwującą prążki

Zad 2.8. Na płaską przesłonę z dwoma otworami o odległości $d = 0,1\text{mm}$ pada płaska fala monochromatyczna o długości fali $\lambda = 0,5\mu\text{m}$. O ile przesuwnie się obraz dyfrakcyjny jeśli jeden z otworów zakryjemy płaską szybką szklaną o grubości $h = 0,01\text{mm}$ i współczynniku załamania $n = 1,5$.



Rysunek 9. Płytkę przy jednym otworze siatki przesuwającą fazę, do zadania 2.8

3 Optyka kwantowa

Zad 3.1. Kulki metalowe produkowane przez maszynę wylatują rurą plastikową o promieniu $R = 2\text{cm}$. Każda kulka ma masę $m=1\text{g}$. Kulki wpadają do naczynia i są wazone. Po napełnieniu okazało się, że w czasie $t=10\text{min}$ do naczynia nasypało się $M = 1\text{kg}$ kulek. Wyznacz ile kulek w ciągu sekundy wylatuje z maszyny produkującej kulki.

Zad 3.2. Rozważ kulki opisane w zadaniu 3.1. Wyznacz prędkość poruszania się kulek jeśli gęstość nasypana wynosi $\rho = 6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ i kulki lecą całym przekrojem rury.

Zad 3.3. W efekcie fotoelektrycznym wewnętrznym foton padający na półprzewodnik (lub dielektryk) wybija elektron ze stanu podstawowego do stanu przewodnictwa jeśli energia fotonu jest większa od energii przerwy zabronionej, czyli $hf > E_g$, gdzie h stała Plancka, f - częstotliwość fali elektromagnetycznej, E_g - przerwa energetyczna pomiędzy pasmem podstawowym a pasmem przewodnictwa. Każdy elektron

który zostanie wzbudzony ze stanu podstawowego do stanu przewodnictwa tworzy prąd elektryczny płynący przez półprzewodnik. Wyznacz maksymalną długość fali przy której popłynie prąd fotoelektryczny jeśli światło pada na płytkę krzemową. Przerwa zabroniona krzemu wynosi $E_g = 1,1\text{eV}$.

Zad 3.4. Wyznacz moc fotonów emitowanych przez lampę emitującą strumień świetlny $\Phi = 550\text{lm}$ o kolorze zielonym mającym długość fali $\lambda = 555\text{nm}$. Przyjmuje się, że 1W fotonów odpowiada 683 lumenom strumienia świetlnego o długości fali $\lambda = 555\text{nm}$.

Zad 3.5. Wyznacz sprawność fotonową lampy emitującej strumień świetlny $\Phi = 550\text{lm}$ (opisanej w zadaniu 3.4) jeśli moc elektryczna tej lampy wynosi $P = 5,5\text{W}$. Sprawność definiuje się jako moc fotonów podzielona przez moc elektryczną. Porównaj sprawność diody LED z żarówką żarową, jeśli wiadomo, że ten sam strumień $\Phi = 550\text{lm}$ uzyskuje się z żarówki o mocy $P_z = 50\text{W}$.

Zad 3.6. Oblicz graniczną długość fali λ_g przy której popłynie prąd w fotokomórce, jeśli fotokatoda zrobiona jest z miedzi o pracy wyjścia $W = 4,5\text{eV}$.

Zad 3.7. Światło niebieskie o długości fali $\lambda = 350\text{nm}$ pada na płytkę metalową umieszczoną w próżniowej bańce. Jaki musi być metal aby elektrony były wybijane z płytki metalowej i utworzyły prąd katodowy (prąd płynący od fotokatody do anody). Rozważ następujące metale (w nawiasie podana jest praca wyjścia): miedź (4,5 eV), rubid (2,16 eV), cez (1,5 eV), żelazo (4,7 eV), magnez (3,66eV), mangan (4,1 eV), platyna (5,3 eV). Stała Plancka $h = 6,6310^{-34}\text{Js}$, ładunek elektronu $e = 1,610^{-19}\text{C}$, prędkość światła $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zad 3.8. Na powierzchnię fotokatody wykonanej z platyny umieszczonej w próżni pada promieniowanie o długości fali $\lambda = 180\text{nm}$. Aby zahamować przepływ elektronów należy pomiędzy fotokatodę i anodę przyłożyć napięcie hamujące o wartości większej niż $U_z = 1,6\text{V}$. Wylicz pracę wyjścia W elektronów z platyny.

Zad 3.9. Na powierzchnię katody fotokomórki pada światło ultrafioletowe o długości fali $\lambda = 300\text{nm}$. Jaka będzie energia wybitych elektronów jeśli katoda zrobiona jest z magnezu. Praca wyjścia z magnezu wynosi $W = 3,65\text{eV}$.

Zad 3.10. Matryca fotowoltaiczna zrobiona jest z krzemu krystalicznego o przerwie zabronionej $E_g = 1,1\text{eV}$. Jakie będzie napięcie na pojedynczej komórce (diodzie pn) jeśli na diodę padają fotony o długości fali $\lambda = 600\text{nm}$.

Zad 3.11. Krzem został oświetlony lampą czerwoną o długości fali $\lambda = 700\text{nm}$ i o natężeniu oświetlenia $E = 300\text{lx}$. Wyznacz natężenie prądu jaki popłynie w płytce półprzewodnika tworzącej matrycę fotowoltaiczną o wymiarach $10\text{cm} \times 10\text{cm}$. Sprawność matrycy fotowoltaicznej (sprawność kwantowa) wynosi $\eta = 15\%$. Przerwa zabroniona krzemu wynosi $E_g = 1,1\text{eV}$.

Zad 3.12. Czulość czopków oka wynosi $L = 0,035 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ co oznacza, że poniżej takiego oświetlenia czopki przestają działać i widzenie realizowane jest tylko przez pręciki. W takich warunkach obraz ma niską rozdzielczość i jest czarno-biały. Wylicz ile fotonów na sekundę wpada do oka jeśli założymy, że główna część strumienia fotonów ma długość fali 555nm . Kandela (cd) jest jednostką światłości zdefiniowanej jako strumień światła na jednostkę kąta bryłowego. Luminancja L wyrażona jest w kandelach na jednostkę powierzchni wyrażoną w m^2 . Aby wyznaczyć strumień świetlny wpadający do oka należy pomnożyć luminancję przez powierzchnię źrenicy i przez kąt bryłowy opisujący kąty z których pada światło. Kąt bryłowy z którego wpada światło można przyjąć jak $1/4$ kąta pełnego (4π), natomiast średnica źrenicy przy słabym oświetleniu wynosi ok 8mm .

Zad 3.13. Matryca fotowoltaiczna (ogniwo fotoelektryczne) oświetlona jest światłem słonecznym o natężeniu 300lm (lumenów). Wyznacz prąd jaki generuje światło jeśli każdy foton powoduje przejście jednego elektronu do pasma przewodnictwa i każdy elektron pasma przewodnictwa tworzy prąd ogniwa fotoelektrycznego. Należy założyć, że w świetle słonecznym dominują fotony zielone o długości fali $\lambda = 555\text{nm}$, dla tej długości fali strumień $\Phi = 1\text{W}$ fotonów daje strumień $\Phi = 683\text{lm}$. Matryca fotowoltaiczna ma wymiary $7\text{cm} \times 10\text{cm}$. Wyznacz sprawność fotonową tej matrycy fotowoltaicznej jeśli zmierzony prąd generowany przy tym oświetleniu wynosi $I = 1\text{mA}$.

Zad 3.14. Wiązania wodorowe mają energię 4kcal/mol . Wyraż tę energię w eV. Czy fotony czerwone są w stanie rozerwać te wiązania.