Fizyka fal cyrklem i linijką

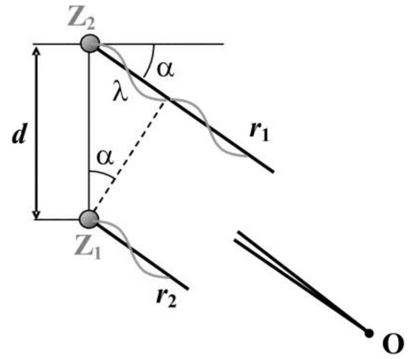
Jerzy Ginter
Wydział Fizyki UW

Istotnym elementem nauki geometrii na poziomie elementarnym były zadania konstrukcyjne, w których problem rozwiązywało się za pomocą cyrkla i linijki. Podobne podejście można zastosować do fizyki fal. W tym przypadku przydać się może jeszcze kątomierz. Istotne jest przy tym, że nie musimy do rozwiązywania zadań znać funkcji trygonometrycznych.

Nie jest jasne, komu takie podejście mogłoby się teraz przydać. Fizyka fal w obecnej podstawie programowej gimnazjum pozostała w formie szczątkowej. W podstawie programowej liceum trygonometria występuje zarówno w zakresie podstawowym, jak i rozszerzonym. Może jednak wspomniana możliwość kogoś zainteresuje ze względu na podejście rozwijające myślenie przestrzenne?

Interferencja fal z wielu źródeł

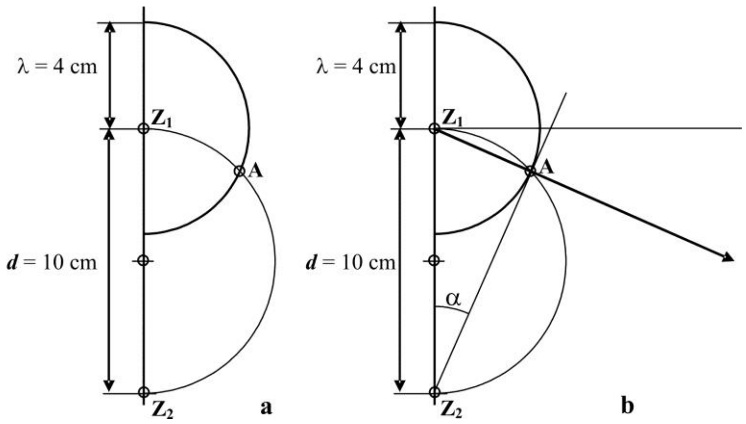
Podręcznikowy rysunek 1 przedstawia interferencję fal z dwóch źródeł drgających w zgodnych fazach, w sytuacji, kiedy obserwator znajduje się w dużej odległości od źródeł. Stanowi to podstawę rozumowań w zadaniach konstrukcyjnych 1 i 2.



Rys. 1

Zadanie 1

Dwa źródła fal o długości $\lambda = 4$ cm znajdują się w odległości $d = 10$ cm. Jakiemu kątowi α odpowiada maksymalne wzmocnienie dla różnicy dróg równej λ?



Rys. 2

Konstrukcyjne rozwiązanie zadania przedstawia rys. 2.

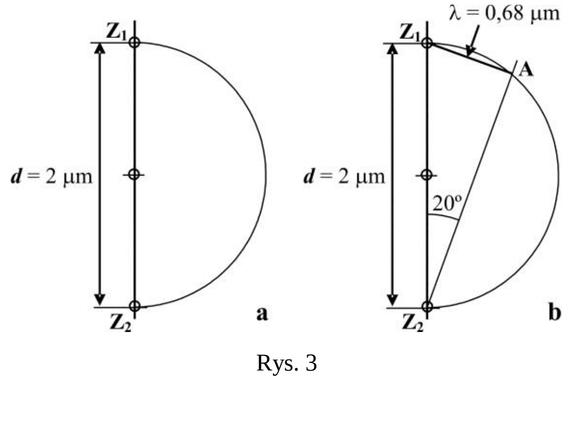
1. Na papierze w kratkę rysujemy odcinek Z_1Z_2 o długości 10 cm (rys. 2a).
2. Kreślimy łuk okręgu o promieniu 5 cm ze środkiem w środku odcinka Z_1Z_2.
3. Kreślimy łuk okręgu o promieniu λ = 4 cm ze środkiem w punkcie Z_1. Okręgi przecinają się w punkcie A.
4. Łączymy linią prostą punkty A i Z_2. Kąt A Z_2Z_1 to poszukiwany przez nas kąt α.

   Pomiar kąta α kątomierzem daje $\alpha \approx 23{,}5°$.

   Dokładniejsza wartość to $\alpha = \arcsin\frac{\lambda}{d} \approx 23{,}5782°$.

Zadanie 2

Przeprowadzono dyfrakcję światła wskaźnika laserowego na siatce dyfrakcyjnej 500rys/mm. Pierwsza boczna wiązka ugięta została pod katem α = 20°. Ile wynosi długość fali światła λ?



Rys. 3

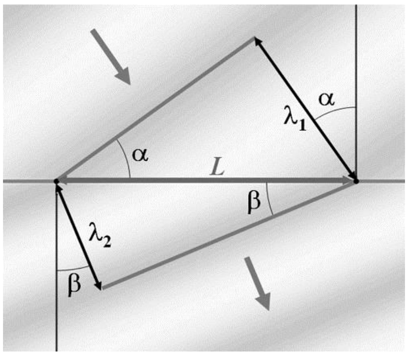
Rysunek musimy wykonać w odpowiedniej skali. Stała siatki jest równa d = 2 μm. Niech na rysunku odpowiada jej 20 cm.

1. Rysujemy na papierze w kratkę odcinek d = 20 cm (rys. 3a).
2. Kreślimy łuk okręgu o promieniu 10 cm ze środkiem w środku odcinka Z_1Z_2.
3. Z punktu Z_2 rysujemy odcinek prostej, tworzącej kąt 20° z kierunkiem odcinka Z_1Z_2.
4. Odcinek Z_1A to w naszej skali długość fali λ.

Pomiar linijką daje 6,8cm, co oznacza, że długość fali λ = 0,68 μm.
Dokładniejszy wynik to $\lambda = d\sin\alpha = 2\ \mu\text{m}\cdot\sin 20° \approx 0{,}68404\ \mu\text{m}$.

Załamanie światła

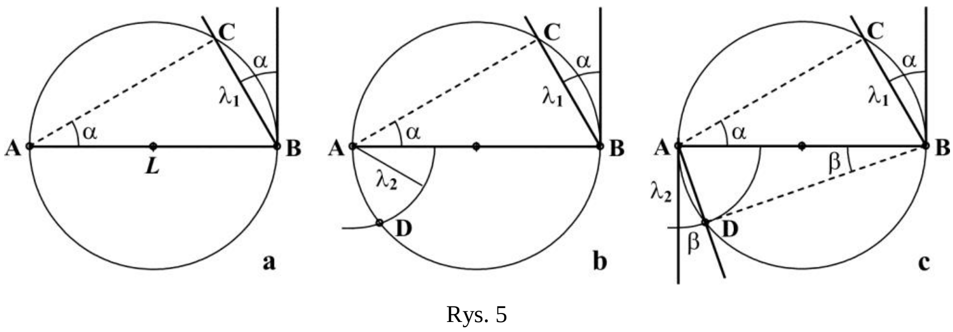
Rysunek 4 przedstawia konstrukcję, na podstawie której wyprowadza się wzór Snelliusa dla załamania światła. Bedzie on podstawą dwóch dalszych zadań konstrukcyjnych.



Rys. 4

Zadanie 3

Na powierzchnię szkła o współczynniku załamania światła n = 1,5 pada promień światła pod kątem α = 30°. Ile wynosi kat załamania β?
Rozwiązanie konstrukcyjne zagadnienia przedstawia rys. 5.



Rys. 5

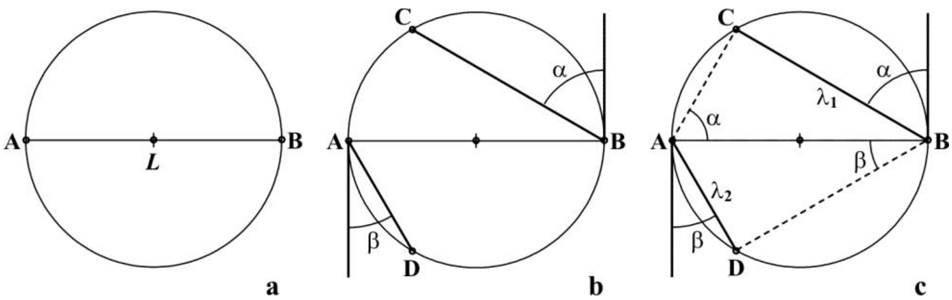
3. Rysujemy poziomy odcinek AB o dowolnej długości L. Może to być na przykład 12 cm (rys. 5a).
4. Kreślimy okrąg o promieniu 6 cm i o środku w środku odcinka AB.
5. Przy punkcie B rysujemy prostą pionową i prostą odchyloną od pionu o $\alpha = 30°$. Prosta ta przecina okrąg w punkcie C. Odcinek BC o długości 6 cm będzie odpowiadał λ_1.
6. Długość fali. $\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{n} \approx \frac{6\text{ cm}}{1{,}5} = 4\text{ cm}$.
7. Zakreślamy łuk o środku w punkcie A i promieniu $\lambda_2 = 4$ cm. Przecina on okrąg w punkcie D (rys. 5b).
8. W punkcie A rysujemy prostą pionową i prostą przechodzącą przez punkt D. Uzyskujemy w ten sposób kąt β (rys. 5c).
9. Ten sam kąt β jest kątem DBA.

Mierząc kąt β kątomierzem uzyskujemy wartość $\beta \approx 18°$.
Dokładniejsza wartość jest równa

$$\beta = \arcsin\frac{\lambda_2}{L} = \arcsin\frac{4}{12} = \arcsin 0{,}3 \approx 17{,}458° .$$

Zadanie 4

Kąt padania $\alpha = 60°$. Kat załamania $\beta = 30°$. Ile wynosi współczynnik załamania światła n?



Rys. 6

Rozwiązanie konstrukcyjne zagadnienia przedstawia rysunek 6.

1. Rysujemy poziomy odcinek AB o dowolnej długości L. Tym razem może to być 10 cm (rys. 6a).
2. Kreślimy okrąg o promieniu 5 cm i o środku w środku odcinka AB.

3. W punkcie B rysujemy prostą pionową i prostą odchyloną od pionu o $\alpha = 60°$. Prosta ta przecina okrąg w punkcie C. Odcinek BC będzie pełnił rolę λ_1 (rys. 6c).
4. W punkcie A rysujemy prostą pionową i prostą odchyloną od pionu o $\beta = 30°$. Prosta ta przecina okrąg w punkcie D. Odcinek AD będzie pełnił rolę λ_2.
5. Odcinek AD ma długość $\lambda_1 = 5$ cm.
6. Mierzymy długość odcinka CB. Uzyskujemy wartość $\lambda_2 \approx 8{,}6$ cm.

Współczynnik załamania światła jest równy $n = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2} \approx \dfrac{8{,}6\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 1{,}72$.

Dokładniejszy wynik jest równy $n = \dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \dfrac{\sqrt{3}/2}{1/2} = \sqrt{3} \approx 1{,}732$.

W artykule przedstawiono kilka prostych zagadnień z fizyki fal, które można rozwiązać metodą konstrukcyjną z zupełnie przyzwoitą dokładnością. Czy ktoś z czytelników uważałby taki sposób rozwiązywania zadań za przydatny w praktyce szkolnej? Byłbym bardzo wdzięczny za wszelkie uwagi. Mój adres mailowy: jerzy.ginter@fuw.edu.pl.