

**L MIĘDZYSZKOLNY TURNIEJ FIZYCZNY**  
**dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych**  
**w roku szkolnym 2007/08**  
**WZORCOWE ROZWIĄZANIE ZADANIA NR 3**

Prawo załamania ma postać:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 . \quad (1)$$

a) Jeżeli zastosujemy zamiast standardowego kąta padania kąt dopełniający kąt padania do  $90^\circ$  i to samo dla kąta załamania, czyli  $\beta_1 = 90^\circ - \alpha_1$  oraz  $\beta_2 = 90^\circ - \alpha_2$ , to prawo załamania przyjmie postać:

$$n_1 \sin 90^\circ - \beta_1 = n_1 \sin 90^\circ - \beta_1 , \quad (2)$$

skąd po wykorzystaniu tożsamości trygonometrycznej  $\sin 90^\circ - \beta = \cos \beta$  otrzymujemy prawo załamania w postaci

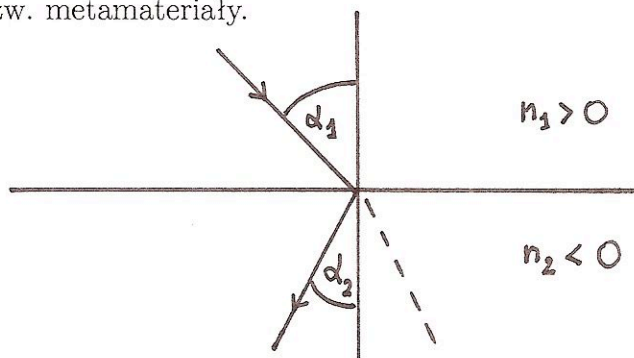
$$n_1 \cos \alpha_1 = n_2 \cos \alpha_2 . \quad (3)$$

b) Najciekawszą możliwością wydaje się założenie, że może istnieć ośrodek o ujemnym współczynniku załamania. Załóżmy, że jest to  $n_2 < 0$ . Wobec tego pisząc  $n_2 = - |n_2|$  mamy

$$n_1 \sin \alpha_1 = - |n_2| \sin \alpha_2 , \quad (4)$$

co natychmiast implikuje, że  $\alpha_2 < 0$  a zatem promień załamany znajduje się *po tej samej stronie* względem płaszczyzny prostopadłej do płaszczyzny rozgraniczającej ośrodki co promień padający bowiem kąt załamania w dalszym ciągu odmierzamy od płaszczyzny prostopadłej do powierzchni rozgraniczającej ośrodki! Pokazane to jest na rys. 1. Taką możliwość dopuszczają odkryte niedawno tzw. metamateriały.

Rys. 1.



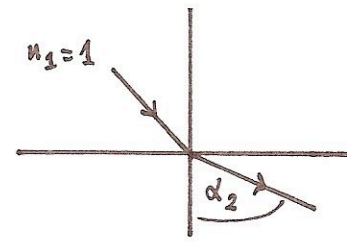
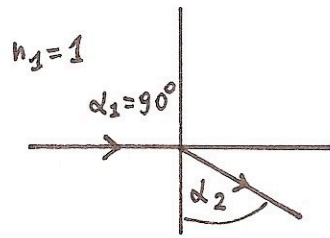
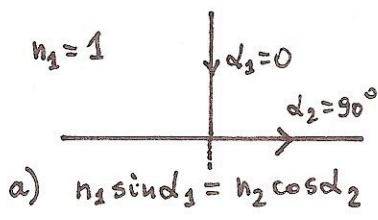
Inne prawdopodobne możliwości to takie, które prowadzą do następujących postaci prawa załamania:

$$n_1 \cos \alpha_1 = n_2 \cos \alpha_2 , \quad (5)$$

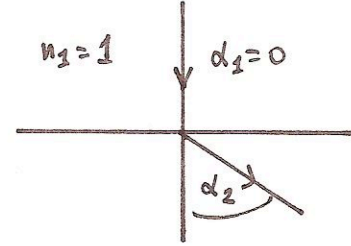
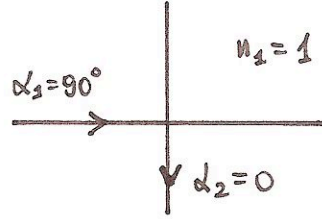
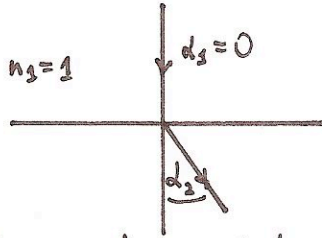
$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \cos \alpha_2 , \quad (6)$$

$$n_1 \cos \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 . \quad (7)$$

Kilka możliwości torów promienia świetlnego dla niektórych przypadków powyższych praw przedstawiono na rys.2. W końcu dochodzą jeszcze możliwe wersje powyższych praw uzupełnione o możliwość ujemnego współczynnika załamania  $n_2 < 0$ .



Rys. 2.  
( $n_2 > 0$ )



b)  $n_1 \cos \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$

O metamateriałach dopuszczających ujemny współczynnik załamania fali elektromagnetycznej i związanym z tym efekcie "czapki niewidki" utworzonej z metamateriałów można dowiedzieć się więcej w artykule Eryka Wolarza w czasopiśmie "Postępy Fizyki" Tom 58, Zeszyt 6, Rok 2007 str. 242-249.

Proponowana punktacja:

1. Prawidłowa dyskusja i sformułowanie prawa załamania (3) - max. 2 pkt.
2. Dyskusja możliwości wystąpienia ujemnego współczynnika załamania za pomocą rysunku i formuły (4) - max. 4 pkt.
3. Zaproponowanie i dyskusja relacji (5) - max. 3 pkt.
4. Zaproponowanie możliwości ujemnego współczynnika załamania dla relacji (4) - max. 1 pkt.