



LI OLIMPIADA FIZYCZNA
(2001/2002)
ZAWODY I STOPNIA
CZĘŚĆ II

Zadanie 3, teoretyczne – T3

Nazwa – Wyznaczenie liczby częstotliwości słyszanych przez nietoperza odbierającego echo w jaskini.

Źródła – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej¹
– Andrzej Dragan²
– *Fizyka w Szkole* nr 1, 2002, s. 40–46³.
– T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Nietoperz leci wzdłuż prostej prostopadłej do dwóch pionowych przeciwległych ścian jaskini. W czasie lotu wysyła on do przodu i do tyłu fale dźwiękowe o częstotliwości ν . Fale te ulegają wielokrotnym odbiciom od ścian jaskini i docierają do uszu nietoperza. Ile różnych częstotliwości słyszy nietoperz? Oblicz te częstotliwości zakładając, że prędkość nietoperza wynosi v_n , a prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu jest równa v_d , oraz że $v_n \ll v_d$.

¹Wówczas sekretarzem naukowym ds. zadań teoretycznych w KGOF był dr hab. Marek Trippenbach (od L do LIII OF); współautor artykułów w *Fizyce w Szkole* z L OF i LI OF st. II (przyp. red.).

²Andrzej Dragan (wówczas mgr) był sekretarzem naukowym ds. zadań teoretycznych w KGOF podczas LII OF i LIII OF; współautor/autor artykułów w *Fizyce w Szkole* z LI OF (st. I), z LII OF i z LIII OF – st. I i II (przyp. red.).

³W czasopiśmie brak autora/ów, więc opracowanie zad. było przekazane do redakcji *Fizyka w Szkole* przez dra Pawła Janiszewskiego, który był Kierownikiem Organizacyjnym Olimpiady Fizycznej od XLII OF do LVIII OF; w tym okresie był też autorem artykułów w *Fizyce w Szkole* (do czasu ich publikowania w tym czasopiśmie, tj. do LV OF), dot. informacji o przebiegu i wynikach olimpiad fizycznych; współautorem książki *50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami* (przyp. red.).

Rozwiązanie zadania T3 – LI OF, I stopień, część II

Rozważmy najpierw falę dźwiękową, którą nietoperz wysyła do przodu. Wyobraźmy sobie, że na ścianie, w kierunku której leci nietoperz, umieściliśmy detektor. W wyniku zjawiska Dopplera (przypadek ruchomego źródła dźwięku i nieruchomego obserwatora) detektor zarejestruje falę o częstotliwości

$$\nu_s = \nu \frac{v_d}{v_d - v_n}. \quad (1)$$

Ściana, na której umieściliśmy detektor, odbijając falę wysłaną przez nietoperza, sama staje się źródłem fal dźwiękowych. W efekcie ucha nietoperza (mamy tu przypadek ruchomego obserwatora i nieruchomego źródła dźwięku) zarejestruje falę odbitą od ściany jako falę o częstotliwości

$$\nu_1 = \nu_s \frac{v_d + v_n}{v_d} = \nu \frac{v_d + v_n}{v_d - v_n}. \quad (2)$$

Jest to nowa, różna od ν częstotliwość, jaką nietoperz będzie słyszał w czasie lotu w jaskini. Analogicznie można przeanalizować przypadek fali wysyłanej do tyłu. Otrzymamy wówczas trzecią (poza ν i ν_1) częstotliwość docierającą do ucha nietoperza:

$$\nu_2 = \nu \frac{v_d - v_n}{v_d + v_n}. \quad (3)$$

Do tej pory uwzględniliśmy fale jednokrotnie odbite od ścian jaskini. Są także możliwe odbicia wielokrotne. Fala odbita parzystą ilość razy od ścian jaskini trafi do ucha nietoperza jako fala o częstotliwości ν , natomiast fala odbita nieparzystą ilość razy jako fala o częstotliwości ν_1 bądź ν_2 , w zależności od tego, czy ostateczne odbicie nastąpiło od ściany, do której się zbliża nietoperz, czy od ściany, od której się on oddala.

Odpowiedź: nietoperz słyszy trzy częstotliwości: ν , $\nu_1 = \nu \frac{v_d + v_n}{v_d - v_n}$ oraz $\nu_2 = \nu \frac{v_d - v_n}{v_d + v_n}$.

Punktacja

1. Obliczenie częstotliwości ν_s 2 pkt.
2. Obliczenie częstotliwości ν_1 2 pkt.
3. Obliczenie częstotliwości ν_2 2 pkt.
4. Wykazanie, że wielokrotne odbicie nie wprowadza dodatkowych częstotliwości 4 pkt.