

# XXXV OLIMPIADA FIZYCZNA

(1985/1986)

## ZAWODY I STOPNIA

### Zadanie doświadczalne – D2

**Nazwa** – Badanie spadku papierowych stożków w zależności od obciążenia i zależności siły oporu od prędkości.

**Źródła** – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej  
– Waldemar Gorzkowski, Piotr Nowicki: *Fizyka w Szkole* nr 3, 1986  
– T.M. Molenda, IF US, [www.OF.szc.pl](http://www.OF.szc.pl).

---

Wykonaj kilka stożków papierowych bez dna o różnych wielkościach (promień podstawy stożka od kilku do kilkunastu centymetrów). Stożki powinny być wykonane z jednakowego papieru, jednakową metodą i mieć ten sam (duży) kąt rozwarcia.

- Puść dwa stożki jednocześnie z wysokości kilku metrów wierzchołkami w dół. Który stożek – mały czy duży – upadnie szybciej? Jakie własności siły oporu powietrza można wywnioskować z tego doświadczenia?
- Mierząc czasy spadania stożków obciążonych różnymi ciężarkami sprawdź, że zależność siły oporu  $F$  od prędkości ma charakter

$$F \sim v^\alpha$$

i wyznacz wartość wykładnika  $\alpha$ .

**Wskazówka:** Do opracowania danych wykorzystaj papier podwójnie logarytmiczny, a w razie jego braku posłuż się logarytmowaniem.

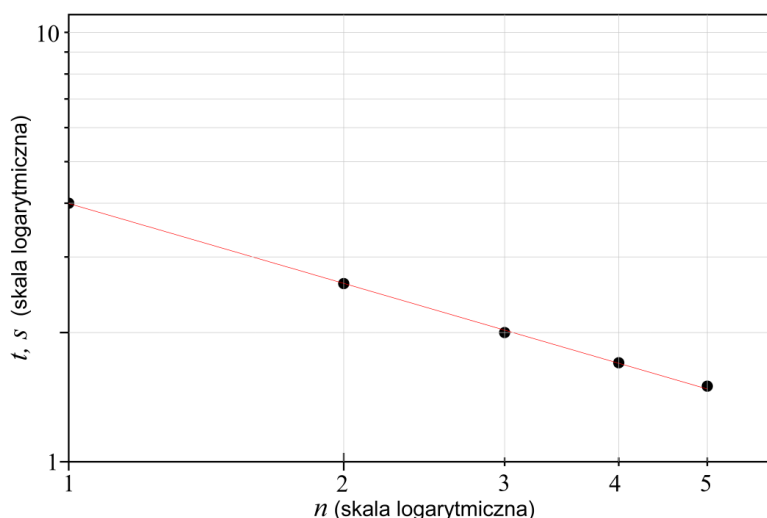
## Rozwiązanie zadania D2 – XXXV OF, I stopień

- a) Doświadczenie wskazuje, że stożki spadają mniej więcej jednakowo szybko. Wynika stąd, że siła oporu jest proporcjonalna do pola przekroju stożka (powierzchni podstawy).
- b) Jeżeli zaniedbać czas rozpędzania stożka, co zawsze można uczynić rozpatrując odpowiednio długie czasy ruchu (można to osiągnąć puszczając stożki z odpowiednio dużej, kilkumetrowej wysokości), to ruch stożka powinien być jednostajny: zależna od prędkości siła oporu równoważy po pewnym czasie ciężar stożka.

Badamy eksperymentalnie czas spadania stożka w zależności od obciążenia. Zamiast obciążać stożki obciążnikami, możemy składać po kilka stożków razem (jeden w drugi). Wtedy masa spadającego stożka będzie równa wielokrotności masy jednego ze stożków.

Recenzent badał stożki wykonane z papieru takiego, jakiego używa się do produkcji papieru milimetrowego oraz wykonane z brystolu (inne stożki nie były badane). Tworzące stożków wynosiły po kilka centymetrów. Stożki były wykonane z krążków, z których usunięto sektor  $45^\circ$  (papier) lub  $135^\circ$  (brystol). Czas spadania mierzono na drodze 2,5 m (papier) i 7 m (brystol).

Typową zależność czasu spadania  $t$  od liczby stożków  $n$  pokazuje rysunek 1.



Rys. 1<sup>1</sup>. Wykres zależności czasu spadania stożków od ich liczby przedstawionych na papierze podwójnie logarytmicznym dla wartości logarytmu z wartości liczbowej  $t$  i logarytmu  $n$  (przyp. red.)

Zależność czasu spadania  $t$  od liczby stożków  $n$  można zapisać w postaci<sup>2</sup>

$$\ln t = a' - k \ln n, \quad (1)$$

gdzie  $a'$  i  $k$  są stałymi. Stąd

$$t = an^{-k}, \quad (2)$$

gdzie  $a$  jest pewną stałą<sup>3</sup>. We wszystkich zbadanych przypadkach wartość  $k$  była prawie taka

<sup>1</sup>Podczas oprac. zad. w KGOF wykonany wykres został uzupełniony o wstawienie siatki logarytmicznej (przyp. red.).

<sup>2</sup>Ponieważ argumentem  $\ln$  powinna być liczba, więc stosowanym oznaczeniem wartości liczbowej wielkości fizycznej jest nawias klamrowy „{ }”, zatem należałoby zapisać  $\ln\{t\}$  (przyp. red.).

<sup>3</sup>Stała  $a'$  w r. (1) jest wyznaczana z wykresu (rys. 1), która ze stałą  $a$  z r. (2) jest związana zależnością  $a' = \ln a$ , przy czym stała  $a$  ma jednostkę tą samą co czas spadku  $t$  (przyp. red.).

sama. Zawierała się ona w przedziale od 0,45 do 0,51.

Można przyjąć, że

$$k = 0,48 \pm 0,03, \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1}{k} = 2,08 \pm 0,13. \quad (4)$$

Czas spadania stożków jest odwrotnie proporcjonalny do prędkości:

$$t = \frac{1}{v}. \quad (5)$$

Zatem:

$$\frac{1}{v} \sim n^{-k}, \quad (6)$$

$$n \sim v^\alpha. \quad (7)$$

Ale  $n$  jest proporcjonalne do ciężaru stożka (złożonego z kilku) a ciężar stożka w ruchu jednostajnym jest równy sile oporu  $F$ . Wobec tego:

$$F \sim v^\alpha, \quad \alpha \cong 2. \quad (8)$$

### Proponowana punktacja

1. Opis wykonanych czynności w przypadkach a) i b) ..... 6 pkt.
2.  $F \sim$  pola powierzchni podstawy stożka ..... 4 pkt.
3.  $F \sim v^\alpha$ , gdzie  $\alpha \cong 2$  ..... 10 pkt.

### Komentarz

Zadanie to okazało się mniej więcej trzy razy mniej popularne niż poprzednie zadanie doświadczalne D1. Wydaje się, że przyczyną większości trudności doświadczalnych uczniów było obserwowanie ruchu stożków na zbyt krótkiej drodze. Rozwiązania poprawne uzyskało 2/3 rozwiązujących.