

## XXXV OLIMPIADA FIZYCZNA (1985/1986). Stopień wstępny, zad. dośw. – D2

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Źródło:</b>         | Komitet Główny Olimpiady Fizycznej.  |
| <b>Nazwa zadania:</b>  | Badanie ruchu spadających papierowych stożków.   |
| <b>Działy:</b>         | Mechanika  |
| <b>Słowa kluczowe:</b> | siła oporu, ciężar, masa, prędkość, szybkość, ruch jednostajny, czas, stożek, spadanie |

### Zadanie doświadczalne – D2, zawody stopnia wstępnego, XXXV OF.

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.

- A) 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?
- B) 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

- 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).

Zależność czasu spadania  $t$  od liczby stożków  $n$  można zapisać w postaci

$$\ln t = a' - k \ln n,$$

gdzie  $a'$  i  $k$  są stałymi. Stąd

$$t = an^{-k}$$

gdzie  $a$  jest pewną stałą. We wszystkich zbadanych przypadkach wartość  $k$  była prawie taka sama. Zawierała się ona w granicach  $0,45 \div 0,51$ .

Można przyjąć, że

$$k = 0,48 \pm 0,03, \quad r = 1/k = 2,09 \pm 0,13.$$

Czas spadania stożków jest odwrotnie proporcjonalny do prędkości

$$t \sim \frac{1}{v}.$$

Zatem

$$\frac{1}{v} \sim n^{-k},$$

$$n \sim v^r.$$

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

$$F \sim v^r, \quad r \approx 2.$$

### Proponowana punktacja

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Opis wykonanych czynności w przypadkach A i B | 6 pkt.  |
| 2. $F \sim$ pola powierzchni podstawy stożka     | 4 pkt.  |
| 3. $F \sim v^r$ , gdzie $r \approx 2$            | 10 pkt. |

---

### Uwagi

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