

**XVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1966/1967). Stopień wstępny, zadanie teoretyczne – T3.**

<b>Źródło:</b>	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Tadeusz Pniewski: Olimpiady Fizyczne XV i XVI. PZWS, Warszawa 1969.
<b>Nazwa zadania:</b>	Przesunięcie łodzi przy przejściu wioślarza z jednego jej końca na drugi.
<b>Działy:</b>	Dynamika
<b>Słowa kluczowe:</b>	III zasada dynamiki, zasada zachowania pędu, środek ciężkości, moment sił, masa.

**Zadanie teoretyczne – T3, zawody stopnia wstępnego, XVI OF.**

Wioślarz o masie 60 kg przeszedł z jednego końca łodzi na drugi. Łódź posiada masę 120 kg i długość 3 m. Na jaką odległość przesunęła się w tym czasie łódź?

**Rozwiązanie****I sposób:**

Układ wioślarz + łódź znajduje się początkowo w spoczynku. Z chwilą, kiedy wioślarz przechodzi z jednego końca łodzi na drugi, w myśl III zasady dynamiki, oddziałuje on na łódź siłą skierowaną przeciwnie do kierunku swego ruchu i powoduje jej przesunięcie.

Ponieważ działające na układ siły zewnętrzne: siła przyciągania ziemskiego i siła wyporu wody, wzajemnie się równoważą, zatem suma pędów wioślarza i łodzi musi być przez cały czas równa zeru. Wymaga tego zasada zachowania pędu.

Założmy, że czas, w ciągu którego wioślarz przechodzi z jednego końca łodzi na drugi, wynosi  $t$ . Względem nieruchomego układu odniesienia, na przykład względem brzegu, wioślarz przebywa w tym czasie drogę  $(l - x)$ , gdzie  $l$  oznacza długość łodzi, a  $x$  jej przesunięcie, wobec czego prędkość wioślarza względem brzegu wynosi:

$$v_1 = \frac{l - x}{t}, \quad (1)$$

a prędkość łodzi:

$$v_2 = \frac{x}{t}. \quad (2)$$

Z zasady zachowania pędu:

$$m v_1 = M v_2, \quad (3)$$

po podstawieniu wzorów (1) i (2) wynika, że:

$$\frac{m \cdot (l - x)}{t} = \frac{M x}{t}, \quad (4)$$

gdzie:

$m$  – masa wioślarza,

$M$  – masa łodzi.

Stąd przesunięcie łodzi dane jest wzorem:

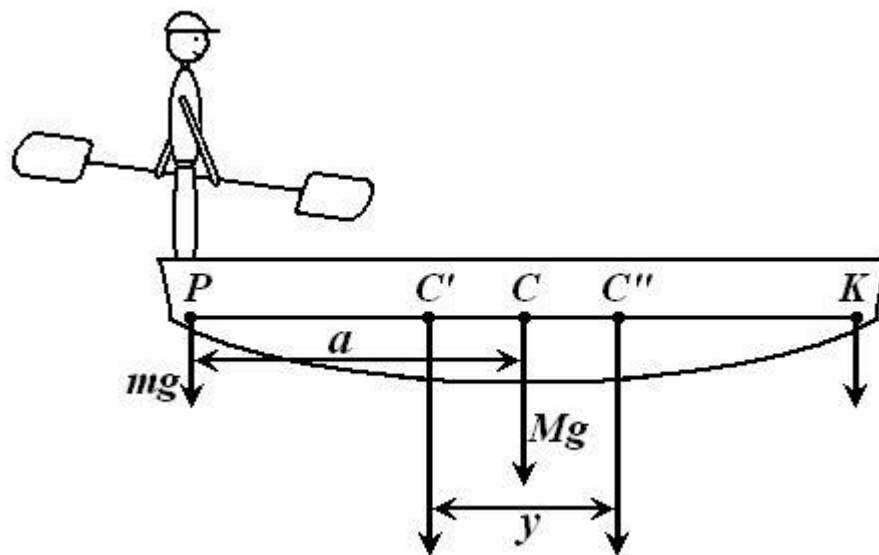
$$x = \frac{m}{M + m} \cdot l. \quad (5)$$

Po podstawieniu wartości liczbowych podanych w warunkach zadania otrzymujemy:

$$x = 1 \text{ m.}$$

**II sposób:**

Zadanie to można również rozwiązać wychodząc z założenia, że jeżeli nie działają siły zewnętrzne, położenie środka ciężkości układu nie może ulec zmianie.



Niech środek ciężkości łodzi znajduje się w punkcie  $C$  (patrz rys.) odległym o  $a$  od końca  $P$  łodzi, na którym początkowo znajduje się wiosłarz. Środek ciężkości układu wiosłarz + łódź oznaczmy przez  $C'$ . Suma momentów sił względem tego punktu, zgodnie z definicją środka ciężkości, musi być równa zero. Zachodzi zatem równość:

$$|C'C| \cdot Mg = |C'P| \cdot mg,$$

a stąd:

$$\frac{|C'C|}{|C'P|} = \frac{m}{M} = \frac{1}{2}. \quad (6)$$

Punkt  $C'$  dzieli więc odcinek  $a$  w stosunku mas wiosłarza i łodzi.

Kiedy wiosłarz przejdzie na drugi koniec łodzi do punktu  $K$ , środek ciężkości układu wiosłarz + łódź będzie się znajdował w punkcie  $C''$  dzielącym odcinek  $(l - a)$  w stosunku:

$$\frac{|C''C|}{|C''K|} = \frac{m}{M}. \quad (7)$$

Oznaczmy przez  $y$  odległość obu położenia środka ciężkości.

Przekształćmy zależności (6) i (7) w następujący sposób:

$$|C'C| = \frac{m}{M} \cdot |C'P| \quad (8)$$

i

$$|C''C| = \frac{m}{M} \cdot |C''K|. \quad (9)$$

Ponieważ:

$$|C''C| = y - |C'C|,$$

zatem wyrażenie (9) można przepisać w postaci:

$$y - |C'C| = \frac{m}{M} \cdot |C''K|. \quad (10)$$

Dodając stronami wyrażenia (8) i (10) otrzymujemy:

$$y = \frac{m}{M} \cdot (|C'P| + |C''K|). \quad (11)$$

Z rysunku wynika, że

$$|C'P| + |C''K| = l - y. \quad (12)$$

Rozwiązując układ równań (11) i (12) znajdujemy przesunięcie środka ciężkości układu wioślarz + łódź względem łodzi.

Dane jest ono wzorem:

$$y = \frac{m}{M + m} \cdot l, \quad (13)$$

skąd po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy:

$$y = \frac{60 \text{ kg}}{120 \text{ kg} + 60 \text{ kg}} \cdot 3 \text{ m} = 1 \text{ m}.$$

Środek ciężkości przemieścił się o 1 m względem łodzi, zatem łódź musiała przesunąć się względem nieruchomego układu odniesienia o taki sam odcinek w przeciwnym kierunku.