



# LXXIV OLIMPIADA FIZYCZNA

## ZAWODY III STOPNIA

CZĘŚĆ TEORETYCZNA, 13.04.2025

Za każde zadanie można otrzymać maksymalnie 20 punktów.

### Zadanie 1

Stacja kosmiczna krąży wokół pewnej kulistej planety karłowatej o masie  $M$  po eliptycznej orbicie o perycentrum  $r_p$  i apocentrum  $r_a$ . Stacja składa się z dwóch modułów: 1 (o masie  $m_1$ ) oraz 2 (o masie  $m_2$ ), przy czym astronauta przebywają w module 1 (ich masa jest wliczona do masy tego modułu). Załoga stacji zbuntowała się i jej celem jest wyrzut modułu 2 w taki sposób, żeby zajmowany przez nich moduł 1 oddalił się od planety poza praktyczny zasięg jej pola grawitacyjnego (formalnie – na nieskończenie dużą odległość, oczywiście w perspektywie bardzo długiego czasu). Rozłączenie modułów następuje w wyniku wybuchu znajdujących się między nimi ładunków. Energia wybuchu wynosi  $E_w$  i połowa tej energii jest zamieniana na energię kinetyczną modułów.

Wyznacz minimalną wartość energii  $E_w$  umożliwiającą wykonanie opisanego manewru. Przyjmij, że kierunek wyrzutu modułu 2 można dowolnie kontrolować, a ponadto wyrzut może nastąpić w dowolnym punkcie orbity. Czas wyrzutu modułu jest na tyle mały, że można w trakcie tego wyrzutu zaniedbać wpływ grawitacji planety, ale na tyle duży, żeby astronautom nie stała się krzywda w wyniku działania dużego przeciążenia. Należy pominąć wzajemne oddziaływanie grawitacyjne modułów i pole grawitacyjne wytwarzane przez inne ciała niebieskie. Pomiń masę ładunków wybuchowych w porównaniu z masami modułów. Ani stacja jako całość, ani moduły po rozłączeniu nie obracają się.

Podaj wynik liczbowy gdy tą planetą karłowatą jest Ceres o masie  $M = 9,4 \cdot 10^{20}$  kg, natomiast  $m_1 = 1,0 \cdot 10^5$  kg,  $m_2 = 4,0 \cdot 10^5$  kg,  $r_p = 1,0 \cdot 10^6$  m,  $r_a = 5,0 \cdot 10^6$  m. Stała grawitacji wynosi  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  N  $\cdot$  m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>.

### Zadanie 2

Kierowca jechał w nocy samochodem po prostej drodze. W pewnym momencie usłyszał krótki sygnał dźwiękowy

o częstotliwości  $f$ , dochodzący z kierunku tworzącego z kierunkiem jazdy kąt  $\alpha$ . Kierowca natychmiast wytężył wzrok i zobaczył na wprost (wzdłuż drogi) światła lokomotywy przejeżdżającej przez przejazd kolejowy. Kierowca wie, że w tej okolicy tor kolejowy jest prostopadły do drogi, pociągi jeżdżą tutaj ze stałą prędkością, a lokomotywy emitują sygnał dźwiękowy o częstotliwości  $f_0$ . Wie też, że prędkość dźwięku w powietrzu wynosi  $v_d$ .

Kierowca natychmiast zaczął hamować, przy czym poruszał się ruchem opóźnionym ze stałym przyspieszeniem o wartości  $a$ , w wyniku czego zatrzymał się tuż przed torami.

Wyznacz odległość lokomotywy od samochodu w chwili jego zatrzymania.

Podaj wynik liczbowy dla  $\alpha = 10^\circ$ ,  $f_0 = 400$  Hz,  $f = 460$  Hz,  $v_d = 340$  m/s,  $a = 5$  m/s<sup>2</sup>.

Pomiń liniowe rozmiary lokomotywy oraz samochodu. Dzień był bezwietrzny, a okolica płaska.

### Zadanie 3

Bardzo długa (tzn. o długości znacznie większej od promienia), jednorodna, sztywna, pusta w środku rura o cienkich ścianach i promieniu  $R$  leży na poziomym podłożu. Rura jest przecięta poziomą płaszczyzną równoległą do płaszczyzny podłoża, znajdującą się w takiej odległości od niego, że powierzchnia górnej części rury stanowi ułamek  $x$  całej powierzchni rury. Przez górną część rury, wzdłuż jej osi, płynie jednorodny prąd o całkowitym natężeniu  $I$ , a przez dolną – jednorodny prąd o całkowitym natężeniu  $-I$ . Masa rury na jednostkę długości wynosi  $\lambda$ . Wyznacz minimalne natężenie prądu  $I_{\min}$ , powyżej którego górna część rury uniesie się nad dolną.

Pomiń siły związane z przewodami podłączeniowymi. Przyspieszenie ziemskie wynosi  $g$ , natomiast przenikalność magnetyczna próżni jest równa  $\mu_0$ .