## Zadanie 4.1. (0–1)

| Wymagania egzaminacyjne 2023 i 2024 | |
|---|---|
| **Wymaganie ogólne** | **Wymagania szczegółowe** |
| I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. | Zdający:<br>I.7) wyodrębnia z tekstów, […] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska […].<br>XII.1) wskazuje niezależność prędkości światła w próżni od prędkości źródła i prędkości obserwatora. |

**Zasady oceniania**

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

**Pełne rozwiązanie**

B1

## Zadanie 4.2. (0–1)

| Wymagania egzaminacyjne 2023 i 2024 | |
|---|---|
| **Wymaganie ogólne** | **Wymagania szczegółowe** |
| I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. | Zdający:<br>I.7) wyodrębnia z tekstów, […] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska […].<br>X.11) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska. |

**Zasady oceniania**

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

**Rozwiązanie**

D

## Zadanie 4.3. (0–1)

| Wymagania egzaminacyjne 2023 i 2024 | |
|---|---|
| **Wymagania ogólne** | **Wymagania szczegółowe** |
| II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.<br><br>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. | Zdający:<br>VIII.5) [SP] posługuje się pojęciami […] częstotliwości i długości fali do opisu fal oraz stosuje do obliczeń związki między tymi wielkościami wraz z ich jednostkami.<br>I.7) wyodrębnia z tekstów, […] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu […].<br>X.11) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska. |

**Zasady oceniania**
1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch zdaniach.
0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

**Pełne rozwiązanie**
PP

## Zadanie 4.4. (0–2)

| Wymagania egzaminacyjne 2023 i 2024 | |
|---|---|
| **Wymagania ogólne** | **Wymagania szczegółowe** |
| V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.<br><br>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. | Zdający:<br>I.2) posługuje się […] kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;<br>I.7) wyodrębnia z tekstów, […] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu […].<br>X.11) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska. |

**Zasady oceniania**

2 pkt – poprawna metoda obliczenia wartości prędkości sondy **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego z jednostką.

1 pkt – poprawne zastosowanie przybliżonego wzoru na efekt Dopplera w przypadku oddalającego się źródła fali **oraz** prawidłowa identyfikacja wielkości występujących w tym wzorze (tzn. podstawienie danych do wzoru albo zapisanie obok wartości wielkości występujących we wzorze)

*LUB*

– poprawne zastosowanie ścisłego wzoru na efekt Dopplera w przypadku oddalającego się źródła fali **oraz** prawidłowa identyfikacja wielkości występujących w tym wzorze (tzn. podstawienie danych do wzoru albo zapisanie obok wartości wielkości występujących we wzorze)

*LUB*

– poprawne zastosowanie przybliżonego lub ścisłego wzoru na efekt Dopplera w przypadku oddalającego się źródła fali **oraz** prawidłowe przekształcenie tego wzoru i wyprowadzenie wzoru pozwalającego obliczyć prędkość sondy.

0 pkt – rozwiązanie, w którym zastosowano niepoprawną metodę, albo brak rozwiązania.

**Uwaga dodatkowa 1.**

Gdy zdający zastosuje przybliżony wzór na efekt Dopplera w wersji z wartością bezwzględną:

$$\frac{|\Delta f|}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c}$$

to w rozwiązaniu nie wymaga się obliczenia/określenia częstotliwości odbieranej przez obserwatora (zobacz sposób 1. rozwiązania).

**Uwaga dodatkowa 2.**

Przybliżony wzór na efekt Dopplera, gdy źródło się oddala, zdający może zapisać w równoważnych (równoważnie przekształconych) postaciach. Poniżej kilka z nich:

$$f_{ob} \approx f_{źr}\left(1-\frac{v}{c}\right) \quad \text{albo} \quad \frac{f_{źr}-f_{ob}}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c} \quad \text{albo}$$

$$f_{żr}-|\Delta f| \approx f_{źr}\left(1-\frac{v}{c}\right) \quad \text{albo} \quad \frac{|\Delta f|}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c} \quad \text{albo}$$

$$f_{ob} \approx f_{źr}\left(\frac{c-v}{c}\right) \quad \text{albo} \quad v \approx \left(1-\frac{f_{ob}}{f_{źr}}\right)c \quad \text{albo}$$

$$f_{ob}c \approx f_{źr}(c-v) \quad \text{albo} \quad v \approx c - c\frac{f_{ob}}{f_{źr}}$$

Ponadto zdający może wykorzystać fakt, że $c = \lambda_{źr}\, f_{źr}$. W takiej sytuacji wzór na efekt Dopplera może być zapisany w postaci „mieszanej” (z częstotliwością i długością fali):

$$c - v \approx \lambda_{źr}\, f_{ob}$$

**Przykładowe pełne rozwiązania**

Sposób 1. (z zastosowaniem przybliżonego wzoru Dopplera)

Sonda kosmiczna porusza się względem Ziemi z prędkością o wartości $v$ dużo mniejszej od prędkości światła: $v \ll c$, a zatem możemy zastosować przybliżony wzór na efekt Dopplera dla fali świetlnej:

$$\frac{|\Delta f|}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c} \qquad \rightarrow \qquad v \approx \frac{|\Delta f|}{f_{źr}} \cdot c$$

Zatem:

$$v \approx \frac{750 \cdot 10^3 \text{ Hz}}{3 \cdot 10^9 \text{ Hz}} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \rightarrow \quad v \approx 750 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 75\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 75 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

*Uwaga!*

Wzór $\frac{|\Delta f|}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c}$ jest słuszny zarówno w przypadku, gdy źródło oddala się od obserwatora (wtedy: $\frac{f_{źr}-f_{ob}}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c}$) jak i w przypadku, gdy źródło zbliża się do obserwatora (wtedy: $\frac{f_{ob}-f_{źr}}{f_{źr}} \approx \frac{v}{c}$).

Sposób 2. (z zastosowaniem ścisłego wzoru Dopplera)

Sonda kosmiczna oddala się od Ziemi, zatem zastosujemy wzór na efekt Dopplera dla fali elektromagnetycznej w przypadku, gdy źródło fali oddala się (częstotliwość fali odbieranej przez obserwatora jest mniejsza od częstotliwości źródła fali):

$$f_{ob} = f_{źr}\sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$$

Powyższy wzór przekształcimy i wyznaczymy $v$:

$$\frac{f_{ob}^2}{f_{źr}^2} = \frac{c-v}{c+v}$$

$$f_{ob}^2 c + f_{ob}^2 v = f_{źr}^2 c - f_{źr}^2 v$$

$$f_{ob}^2 v + f_{źr}^2 v = f_{źr}^2 c - f_{ob}^2 c$$

$$v = \frac{f_{źr}^2 - f_{ob}^2}{f_{ob}^2 + f_{źr}^2} \cdot c$$

oraz

$$f_{ob} = f_{źr} - |\Delta f| = 3\,000\,000 \text{ kHz} - 750 \text{ kHz} = 2\,999\,250 \text{ Hz}$$

$$v = \frac{3^2 - 2{,}99925^2}{3^2 + 2{,}99925^2} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0{,}00025 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 75\,000 \text{ m/s}$$

Sposób 3. (z zastosowaniem przybliżonego wzoru Dopplera i wzoru na długość fali)

Przybliżony wzór na efekt Dopplera, gdy źródło się oddala, możemy zapisać w postaci:

$$v \approx c - c\frac{f_{ob}}{f_{źr}} = c - \lambda_{źr} f_{ob} \qquad \text{gdzie} \qquad \lambda_{źr} = \frac{c}{f_{źr}}$$

Wykonamy obliczenia pośrednie:

$$\lambda_{źr} = \frac{c}{f_{źr}} = \frac{3 \cdot 10^8 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{3 \cdot 10^9 \ \frac{1}{\mathrm{s}}} = 0{,}1 \ \mathrm{m}$$

$$f_{ob} = f_{źr} - |\Delta f| = 3{,}000000 \cdot 10^9 \ \frac{1}{\mathrm{s}} - 0{,}000750 \cdot 10^9 \ \frac{1}{\mathrm{s}} = 2{,}999250 \cdot 10^9 \ \frac{1}{\mathrm{s}}$$

Otrzymane wartości podstawimy do pierwszego wzoru:

$$v \approx 3 \cdot 10^8 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} - 0{,}1 \ \mathrm{m} \cdot 2{,}999250 \cdot 10^9 \ \frac{1}{\mathrm{s}} = 0{,}00075 \cdot 10^8 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 75\,000 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$