

<i>Rodzaj dokumentu:</i>	<b>Zasady oceniania rozwiązań zadań</b>
<i>Egzamin:</i>	<b>Egzamin maturalny</b> <b>TEST DIAGNOSTYCZNY</b>
<i>Przedmiot:</i>	<b>Fizyka</b>
<i>Poziom:</i>	<b>Poziom rozszerzony</b>
<i>Formy arkusza:</i>	MFAP-R0-660
<i>Termin egzaminu:</i>	13 grudnia 2024 r.
<i>Data publikacji dokumentu:</i>	16 grudnia 2024 r.

## Ogólne zasady oceniania arkuszy egzaminacyjnych z fizyki

1. Jeżeli zdający poprawnie rozwiązał zadanie (użył poprawnej metody, uwzględnił warunki zadania, otrzymał poprawny wynik) metodą, której nie uwzględniały zasady oceniania (chodzi o jakościowo inną metodę – np. użycie prawa / wzoru / twierdzenia / metody rachunkowej spoza podstawy programowej – a nie metodę równoważną tym w zasadach oceniania), to otrzymuje maksymalną liczbę punktów.
2. Jeżeli zdający poda w wyniku końcowym wartość wielkości fizycznej bez jednostki, to nie spełnia warunków określonych w zasadach oceniania na maksymalną liczbę punktów.
3. Ocenie podlegają te fragmenty pracy zdającego, które dotyczą polecenia.
4. Jeżeli na pewnym etapie rozwiązania zadania zdający podaje kilka sprzecznych ze sobą rozwiązań i nie wskazuje, które z nich należy uznać za poprawne, to może uzyskać punkty tylko za wcześniejsze poprawne etapy rozwiązania.
5. Jeżeli na pewnym etapie rozwiązania zadania zdający podaje kilka sprzecznych ze sobą rozwiązań i wskazuje, które z nich należy uznać za poprawne, to zapisów w innych rozwiązaniach nie bierze się pod uwagę w ocenianiu.
6. Jeżeli na dowolnym etapie rozwiązania zadania zdający popełnia błąd rachunkowy (albo błąd przepisania wartości z danych albo wcześniejszych etapów rozwiązania), ale stosuje poprawne metody rozwiązania i konsekwentnie doprowadza rozwiązanie zadania do końca, to ocenę rozwiązania obniża się o 1 punkt.
7. Jeżeli w poleceniu jest dyspozycja o zapisaniu wyniku zaokrąglonego do pewnej liczby cyfr znaczących, to oznacza, że wynik musi być podany w postaci rozwinięcia dziesiętnego liczby i z określonym w poleceniu zaokrągleniem. Jeżeli w zadaniu z takim poleceniem zdający przedstawia wynik w postaci ułamka zwykłego, lub w postaci z występującym  $\pi$  lub np.  $\sqrt{2}$ , albo podaje wynik ze zbyt dużą lub zbyt małą liczbą cyfr znaczących – to nie otrzymuje maksymalnej liczby punktów.
8. Wszelkie wzory / związki / zależności / relacje między wielkościami mogą być równoważnie zapisane za pomocą symboli lub za pomocą liczb, które to liczby są wartościami wielkości występujących w tych wzorach / związkach / zależnościach / relacjach.
9. Jeżeli w zasadach oceniania danego etapu rozwiązania wymienione jest, że zdający korzysta / uwzględnia / zapisuje dane związki / zależności / prawa / wzory, to mogą być one zapisane oddzielnie, albo nawet w jednym równaniu (o ile to możliwe).

*Uwaga: Akceptowane są wszystkie odpowiedzi merytorycznie poprawne i spełniające warunki zadania.*

*Gdy wymaganie dotyczy treści szkoły podstawowej, dopisano (SP), a gdy zakresu podstawowego szkoły ponadpodstawowej – dopisano (P).*

### Zadanie 1.1. (0–2)

Wymagania określone w podstawie programowej <sup>1</sup>	
Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: I.5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, [...]; I.7) wyodrębnia z tekstów, [...], rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. II.11) opisuje ruch niejednostajny po okręgu.

#### Zasady oceniania

2 pkt – poprawne dokończenie dwóch zdań.

1 pkt – poprawne dokończenie jednego zdania.

0 pkt – wszystkie odpowiedzi niepoprawne albo brak odpowiedzi.

#### Pełne rozwiązanie

CA

<sup>1</sup> Rozporządzenie Ministra Edukacji z dnia 28 czerwca 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia (Dz.U. z 2024 r. poz. 1019).

### Zadanie 1.2. (0–2)

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. II.9) stosuje [...] związki między promieniem okręgu, prędkością kątową, prędkością liniową oraz przyspieszeniem dośrodkowym; II.11) opisuje ruch niejednostajny po okręgu. III.4) [...] posługuje się pojęciami przyspieszenia kąowego [...].

#### Zasady oceniania

2 pkt – poprawne zaznaczenia w trzech stwierdzeniach.

1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch stwierdzeniach.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

#### Pełne rozwiązanie

PPF

### Zadanie 1.3. (0–3)

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. II.8) opisuje ruch jednostajny po okręgu, posługując się pojęciami: okresu, częstotliwości, prędkości liniowej oraz przemieszczenia kąowego, prędkości kąowej i przyspieszenia dośrodkowego wraz z ich jednostkami; II.11) opisuje ruch niejednostajny po okręgu. III.4) [...] posługuje się pojęciami przyspieszenia kąowego [...].

**Zasady oceniania<sup>2</sup>**

3 pkt – poprawna metoda obliczenia całkowitej liczby obrotów platformy w czasie 60 s **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego:  $N = 14$

2 pkt – zapisanie równań (albo jednego równania) ruchu obrotowego przyspieszonego jednostajnie, pozwalających (pozwalającego) wyznaczyć prędkość kątową po pierwszym obrocie **oraz** poprawna identyfikacja danych (za pomocą symboli lub podstawionych wartości) w tych równaniach (lub jednym równaniu) **oraz** zapisanie równania pozwalającego wyznaczyć kąt podczas obrotu jednostajnego w zależności od prędkości kątowej i czasu trwania ruchu obrotowego jednostajnego, np. zapisy równoważne poniższym:

$$2\pi = \frac{1}{2}\epsilon t_1^2 \quad \text{oraz} \quad \omega = \epsilon \cdot 8 \text{ s} \quad \text{oraz} \quad \alpha_{\text{jednostajny}} = \omega \cdot 52 \text{ s}$$

albo

$$2\pi = \frac{1}{2}\omega \cdot 8 \text{ s} \quad \text{oraz} \quad \alpha_{\text{jednostajny}} = \omega \cdot 52 \text{ s}$$

1 pkt – zapisanie równania ruchu obrotowego przyspieszonego jednostajnie pozwalającego wyznaczyć prędkość kątową po pierwszym obrocie **oraz** poprawna identyfikacja danych (za pomocą symboli lub wartości), np. zapisy równoważne poniższym:

$$2\pi = \frac{1}{2}\omega \cdot t_1$$

**LUB**

– zapisanie równania ruchu obrotowego przyspieszonego jednostajnie pozwalającego wyznaczyć przyspieszenie kątowe podczas pierwszego obrotu, w zależności od kąta obrotu i czasu trwania ruchu obrotowego przyspieszonego **oraz** poprawna identyfikacja danych (za pomocą symboli lub podstawionych wartości), np. zapisy równoważne poniższym:

$$2\pi = \frac{1}{2}\epsilon t_1^2$$

**LUB**

– zapisanie równania ruchu obrotowego przyspieszonego jednostajnie pozwalającego wyznaczyć prędkość kątową po pierwszym obrocie, w zależności od przyspieszenia kątowego i czasu trwania tego ruchu **oraz** poprawna identyfikacja danych (za pomocą symboli lub wartości), np. zapisy równoważne poniższym:

$$\omega = \epsilon t_1$$

**LUB**

– zapisanie częściowej strategii prowadzącej do obliczenia liczby obrotów platformy podczas ruchu obrotowego jednostajnego, tzn. zapisanie równania pozwalającego wyznaczyć kąt obrotu w zależności od prędkości kątowej i czasu trwania ruchu obrotowego jednostajnego **oraz** poprawna identyfikacja czasu (52 s) **oraz** zapisanie wyrażenia na liczbę obrotów, np. zapisy równoważne poniższym:

$$N_{\text{jednostajny}} = \frac{\omega \cdot 52 \text{ s}}{2\pi}$$

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

<sup>2</sup> Pod opisem warunków za przyznanie punktów, w niektórych przypadkach podano przykładowe zapisy (lub przykładowe zapisy równoważne), które spełniają te warunki w minimalnym stopniu.

### Przykładowe pełne rozwiązanie<sup>3</sup>

#### Sposób 1.

Obliczmy przyspieszenie kątowe platformy podczas pierwszego obrotu:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \epsilon t_1^2 \quad \text{oraz} \quad \alpha_1 = 2\pi \quad \rightarrow \quad \epsilon = \frac{2\alpha_1}{t_1^2} = \frac{2 \cdot 2\pi}{8^2} = \frac{\pi}{16} \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Obliczmy prędkość kątową platformy po pierwszym obrocie:

$$\omega = \epsilon t_1 \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{\pi}{16} \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \cdot 8 \text{ s} = \frac{\pi}{2} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Obliczmy kąt, o jaki obróci się platforma podczas trwania ruchu obrotowego ze stałą prędkością kątową:

$$\alpha_2 = \omega t_2 \quad \text{oraz} \quad t_2 = 60 \text{ s} - 8 \text{ s} \quad \rightarrow \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{2} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 52 \text{ s} = 26 \pi \text{ rad}$$

Obliczmy liczbę obrotów platformy podczas trwania ruchu obrotowego ze stałą prędkością kątową:

$$N_2 = \frac{\alpha_2}{2\pi} = \frac{26\pi}{2\pi} = 13$$

Liczba wszystkich obrotów platformy w czasie 60 s jest równa:

$$N = N_1 + N_2 = 1 + 13 = 14$$

#### Sposób 2.

Obliczmy prędkość kątową platformy po pierwszym obrocie:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \omega t_1 \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{2\alpha_1}{t_1} = \frac{2 \cdot 2\pi \text{ rad}}{8 \text{ s}} = \frac{\pi}{2} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Obliczmy kąt, o jaki obróci się platforma podczas trwania ruchu obrotowego ze stałą prędkością kątową:

$$\alpha_2 = \omega t_2 \quad \text{oraz} \quad t_2 = 60 \text{ s} - 8 \text{ s} \quad \rightarrow \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{2} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 52 \text{ s} = 26 \pi \text{ rad}$$

Obliczmy liczbę obrotów platformy podczas trwania ruchu obrotowego ze stałą prędkością kątową:

$$26 \pi \text{ rad} = N_2 \cdot 2\pi \text{ rad} \quad \rightarrow \quad N_2 = \frac{26\pi}{2\pi} = 13$$

Liczba wszystkich obrotów platformy w czasie 60 s jest równa:

$$N = N_1 + N_2 = 1 + 13 = 14$$

---

<sup>3</sup> Przykładowe rozwiązania mogą zawierać dodatkowe wyjaśnienia/komentarze, które nie podlegają ocenie. Wymagane elementy rozwiązania zdającego podlegające ocenie są wyszczególnione i opisane w kryteriach punktacji zasad oceniania.

**Zadanie 2.1. (0–3)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, [...];</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>II.13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał;</p> <p>II.25) stosuje do obliczeń prawo Archimedesesa i objaśnia warunki pływania ciał.</p>

**Zasady oceniania**

3 pkt – poprawne dokończenie trzech zdań, zapisanie następujących liczb dla zdań 1.–3.:

1. 6
2. 8
3. 8

2 pkt – poprawne dokończenie dwóch zdań.

1 pkt – poprawne dokończenie jednego zdania.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

**Pełne rozwiązanie**

1. Wartość siły grawitacji  $\vec{F}_{g1}$  działającej na ciało  $C_1$  jest równa: **6** ujs.
2. Wartość siły wyporu  $\vec{F}_{w2}$  działającej na ciało  $C_2$  jest równa: **8** ujs.
3. Wartość siły grawitacji  $\vec{F}_{g2}$  działającej na ciało  $C_2$  jest równa: **8** ujs.

**Zadanie 2.2. (0–3)**

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska [...].</p> <p>II.13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał;</p> <p>II.25) stosuje do obliczeń prawo Archimedesesa i objaśnia warunki pływania ciał.</p>

**Zasady oceniania**

3 pkt – poprawna metoda obliczenia gęstości cieczy **oraz** podanie prawidłowego wyniku

liczbowego z jednostką:  $\rho_X = 1,125 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  (lub  $\frac{9}{8} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ) (wynik może być zaokrąglony do  $1,1 \text{ g/cm}^3$ )

2 pkt – zapisanie warunku równowagi sił, gdy ciało  $C_1$  pływa w wodzie **oraz** gdy pływa w cieczy X, **oraz** zastosowanie wzoru na siłę wyporu i uwzględnienie warunku

zadania, gdy ciało  $C_1$  pływa w wodzie albo w cieczy X, np. zapisy równoważne poniższym:

$$(F_{g1} = F_{w1w} \text{ oraz } F_{g1} = F_{w1X}) \text{ oraz } \left( F_{w1w} = \rho_w g \left( \frac{3}{4} V \right) \text{ albo } F_{w1X} = \rho_X g \left( \frac{2}{3} V \right) \right)$$

albo

$$F_{w1w} = F_{w1X} \text{ oraz } \left( F_{w1w} = \rho_w g \left( \frac{3}{4} V \right) \text{ albo } F_{w1X} = \rho_X g \left( \frac{2}{3} V \right) \right)$$

**LUB**

– zapisanie gotowych warunków pływania, gdy ciało  $C_1$  o gęstości  $\rho$  pływa w wodzie **oraz** gdy pływa w cieczy X, np. zapisy równoważne poniższym:

$$\frac{\rho}{\rho_w} = \frac{3}{4} \quad \text{oraz} \quad \frac{\rho}{\rho_X} = \frac{2}{3}$$

1 pkt – zapisanie warunku równowagi sił, gdy ciało  $C_1$  pływa w wodzie albo w cieczy X, np. zapisy równoważne poniższym:

$$F_{g1} = F_{w1w} \quad \text{albo} \quad F_{g1} = F_{w1X}$$

**LUB**

– zastosowanie wzoru na siłę wyporu i uwzględnienie warunku zadania, gdy ciało  $C_1$  pływa w wodzie albo w cieczy X, np. zapisy równoważne poniższym:

$$F_{w1w} = \rho_w g \left( \frac{3}{4} V \right) \quad \text{albo} \quad F_{w1X} = \rho_X g \left( \frac{2}{3} V \right)$$

**LUB**

– zapisanie gotowego warunku pływania, gdy ciało  $C_1$  o gęstości  $\rho$  pływa w wodzie albo w cieczy, np. zapisy równoważne poniższym:

$$\frac{\rho}{\rho_w} = \frac{3}{4} \quad \text{albo} \quad \frac{\rho}{\rho_X} = \frac{2}{3}$$

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

### Przykładowe pełne rozwiązanie

Zapiszemy warunek równowagi sił (grawitacji i wyporu), gdy ciało  $C_1$  pływa w wodzie:

$$1) F_{g1} = F_{w1w}$$

Zapiszemy warunek równowagi sił (grawitacji i wyporu), gdy ciało  $C_1$  pływa w cieczy X:

$$2) F_{g1} = F_{w1X}$$

W równaniach 1) i 2) wykorzystamy wzór na siłę wyporu wynikający z prawa Archimedesesa oraz uwzględnimy warunki zadania:

$$3) F_{g1} = \rho_w g \left( \frac{3}{4} V \right) \quad \text{oraz} \quad 4) F_{g1} = \rho_X g \left( \frac{2}{3} V \right)$$

Lewe strony równań 3) i 4) są takie same, zatem:

$$5) \rho_w g \left( \frac{3}{4} V \right) = \rho_X g \left( \frac{2}{3} V \right) \quad \rightarrow \quad \frac{3}{4} \rho_w = \frac{2}{3} \rho_X \quad \rightarrow$$

$$6) \rho_X = \frac{9}{8} \rho_w \quad \rightarrow \quad \rho_X = \frac{9}{8} \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,125 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$



**Zadanie 3.1. (0–2)**

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: I.5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie [...]); I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...]. II.1) opisuje ruch względem różnych układów odniesienia. III.2) stosuje pojęcie bryły sztywnej; opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi.

**Zasady oceniania**

2 pkt – poprawne zapisanie wartości  $v_A$  prędkości punktu  $A$  oraz poprawne zapisanie wartości  $v_B$  prędkości punktu  $B$ .

1 pkt – poprawne zapisanie wartości  $v_A$  prędkości punktu  $A$

**LUB**

– poprawne zapisanie wartości  $v_B$  prędkości punktu  $B$ .

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

**Rozwiązanie**

$$v_A = \dots\dots\dots 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_B = \dots\dots\dots 2,5 \cdot \sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**Uwaga dodatkowa**

Zapisanie liczby zaokrąglonej do co najmniej dwóch cyfr znaczących:  $v_B = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  należy uznać jako poprawne zapisanie wartości  $v_B$  prędkości punktu  $B$ .

**Zadanie 3.2. (0–4)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>II.13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał;</p> <p>II.17) opisuje opory ruchu ([...] tarcie statyczne, [...]); [...] omawia rolę tarcia na wybranych przykładach.</p> <p>III.2) stosuje pojęcie bryły sztywnej; opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi;</p> <p>III.4) stosuje zasady dynamiki dla ruchu obrotowego; posługuje się pojęciami przyspieszenia kąowego oraz momentu bezwładności jako wielkości zależnej od rozkładu mas, wraz z ich jednostkami.</p>

**Zasady oceniania**

(dla rozwiązania sposobem 1.)

4 pkt – poprawna metoda wyznaczenia współrzędnej  $T_x$  siły tarcia tylko za pomocą  $F$  **oraz** poprawna weryfikacja założenia o zwrocie siły tarcia **oraz** poprawne zapisanie kierunku i zwrotu siły tarcia  $\vec{T}$  w punkcie  $C$  walca.

3 pkt – poprawna metoda wyznaczenia współrzędnej  $T_x$  siły tarcia (zgodnie z założonym zwrotem siły tarcia) tylko za pomocą  $F$  **oraz** zapisanie prawidłowego wyniku równoważnego poniższemu:

$$|T_x| = \frac{1}{3}F \quad \text{lub} \quad \left( T = -\frac{1}{3}F \quad \text{gdy założono} \quad T_x = -T \right)$$

2 pkt – poprawne zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu postępowego walca **oraz** zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu obrotowego walca, **oraz** zapisanie siły wypadkowej i wypadkowego momentu sił w obu równaniach ruchu zgodnie z założonym zwrotem siły tarcia, **oraz** uwzględnienie związku między przyspieszeniem liniowym a przyspieszeniem kąowym walca, np. zapisy równoważne poniższym:

$$ma = F - T \quad \text{oraz} \quad I_0 \cdot \frac{a}{R} = R(F + T)$$

1 pkt – poprawne zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu postępowego walca **oraz** zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu obrotowego walca względem osi symetrii, **oraz** zapisanie wartości siły wypadkowej jako  $F_w = F - T$  lub zapisanie wzoru na wypadkowy moment sił  $M = R(F + T)$ , wszystko zgodnie z założonym zwrotem siły tarcia (przeciwnym do zwrotu osi  $x$ ), np. zapisy równoważne poniższym:

$$ma = F - T \quad \text{oraz} \quad I_0 \epsilon = M$$

albo

$$ma = F_w \quad \text{oraz} \quad I_0 \epsilon = R(F + T)$$

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

**Zasady oceniania**

(dla rozwiązania sposobem 2.)

4 pkt – poprawna metoda wyznaczenia współrzędnej  $T_x$  siły tarcia tylko za pomocą  $F$  **oraz** poprawna weryfikacja założenia o zwrocie siły tarcia **oraz** poprawne zapisanie kierunku i zwrotu siły tarcia  $\vec{T}$  w punkcie  $C$  walca.

3 pkt – poprawna metoda wyznaczenia współrzędnej  $T_x$  siły tarcia (zgodnie z założonym zwrotem siły tarcia) tylko za pomocą  $F$  **oraz** zapisanie wyniku równoważnego poniższemu:

$$|T_x| = \frac{1}{3}F \quad \text{lub} \quad \left( T = \frac{1}{3}F \quad \text{gdy założono} \quad T_x = T \right)$$

2 pkt – poprawne zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu postępowego walca **oraz** zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu obrotowego walca, **oraz** zapisanie siły wypadkowej i wypadkowego momentu sił w obu równaniach ruchu zgodnie z założonym zwrotem siły tarcia, **oraz** uwzględnienie związku między przyśpieszeniem liniowym a przyśpieszeniem kątowym walca, np. zapisy równoważne poniższym:

$$ma = F + T \quad \text{oraz} \quad I_0 \cdot \frac{a}{R} = R(F - T)$$

1 pkt – poprawne zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu postępowego walca **oraz** zapisanie równania ruchu wyrażającego II zasadę dynamiki dla ruchu obrotowego walca względem osi symetrii, **oraz** zapisanie wartości siły wypadkowej jako  $F_w = F + T$  lub zapisanie wzoru na wypadkowy moment sił  $M = R(F - T)$ , wszystko zgodnie z założonym zwrotem siły tarcia (zgodnym ze zwrotem osi  $x$ ), np. zapisy równoważne poniższym:

$$ma = F + T \quad \text{oraz} \quad I_0 \epsilon = M$$

albo

$$ma = F_w \quad \text{oraz} \quad I_0 \epsilon = R(F - T)$$

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

**Przykładowe pełne rozwiązania**Sposób 1.

Na walec w kierunku poziomym działają siły: siła tarcia statycznego  $\vec{T}$  oraz siła  $\vec{F}$ . Obie siły mają niezerowe momenty względem osi obrotu walca.

Przyjmujemy arbitralnie, że siła tarcia statycznego ma zwrot przeciwny do zwrotu osi  $x$ .

Zatem przyjmujemy do równań ruchu, że:

$$T_x = -T$$

dla pewnej liczby  $T$  (o której początkowo myślimy jako o wartości siły tarcia). Nasze założenie zweryfikujemy na podstawie analizy znaku wyznaczonej współrzędnej  $T_x$  siły tarcia  $\vec{T}$ .

Zapiśzemy równania wynikające z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego walca oraz dla ruchu obrotowego walca (względem osi symetrii). Przy założeniu, że siła tarcia ma przeciwny zwrot do siły  $\vec{F}$ , to wartości obu sił się odejmą, a wartości momentów obu sił się dodadzą (obie siły „kręca” prawoskrętnie):

$$\begin{cases} ma = F - T \\ I_0 \epsilon = R(F + T) \end{cases}$$

Zastosujemy związek  $a = \epsilon R$  między przyspieszeniem liniowym a przyspieszeniem kątowym w przypadku toczenia się bez poślizgu oraz wzór na moment bezwładności walca:

$$\begin{cases} ma = F - T \\ \frac{1}{2} mR^2 \frac{a}{R} = R(F + T) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} ma = F - T \\ \frac{1}{2} ma = F + T \end{cases}$$

Z powyższego układu równań wyznaczmy  $T$ :

$$\frac{1}{2}(F - T) = F + T \rightarrow \frac{1}{2}F - \frac{1}{2}T = F + T \rightarrow -\frac{1}{2}F = \frac{3}{2}T$$

Ostatecznie otrzymujemy:

$$T = -\frac{1}{3}F$$

### Ustalenie zwrotu siły tarcia

Przeanalizujemy znak współrzędnej siły tarcia. Zweryfikujemy nasze założenie o zwrocie siły tarcia z wynikiem, który otrzymaliśmy po rozwiązaniu równań:

$$\left( T_x = -T \quad \text{oraz} \quad T = -\frac{1}{3}F \right) \rightarrow T_x = \frac{1}{3}F$$

Współrzędna  $T_x$  siły tarcia okazała się dodatnia, zatem siła tarcia ma zwrot zgodny ze zwrotem osi  $x$ . To oznacza, że wektor siły tarcia  $\vec{T}$  w punkcie  $C$  walca – przy styku walca z podłożem – posiada kierunek poziomy i zwrot w prawo (zgodny ze zwrotem osi  $x$ ).

### Sposób 2.

Na walec w kierunku poziomym działają siły: siła tarcia statycznego  $\vec{T}$  oraz siła  $\vec{F}$ . Obie siły mają niezerowe momenty względem osi obrotu walca.

Przyjmijmy arbitralnie, że siła tarcia statycznego ma zwrot zgodny ze zwrotem osi  $x$ . Zatem przyjmijmy do równań ruchu, że:

$$T_x = +T$$

dla pewnej liczby  $T$  (o której początkowo myślimy jako o wartości siły tarcia). Nasze założenie zweryfikujemy na podstawie analizy znaku wyznaczonej współrzędnej  $T_x$  siły tarcia  $\vec{T}$ .

Zapiszemy równania wynikające z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego walca oraz dla ruchu obrotowego walca (względem osi symetrii). Przy założeniu, że siła tarcia ma ten sam zwrot co siła  $\vec{F}$ , to wartości obu sił się dodadzą, a wartości momentów obu sił się odejmą (siła  $\vec{F}$  „kręci” prawoskrętnie, a  $\vec{T}$  „kręci” lewoskrętnie):

$$\begin{cases} ma = F + T \\ I_0 \epsilon = R(F - T) \end{cases}$$

Zastosujemy związek  $a = \epsilon R$  między przyspieszeniem liniowym a przyspieszeniem kątowym w przypadku toczenia się bez poślizgu oraz wzór na moment bezwładności walca:

$$\begin{cases} ma = F + T \\ \frac{1}{2}mR^2 \frac{a}{R} = R(F - T) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} ma = F + T \\ \frac{1}{2}ma = F - T \end{cases}$$

Z powyższego układu równań wyznaczmy wartość  $T$  siły tarcia:

$$\frac{1}{2}(F + T) = F - T \rightarrow \frac{1}{2}F + \frac{1}{2}T = F - T \rightarrow \frac{3}{2}T = \frac{1}{2}F$$

Ostatecznie otrzymujemy:

$$T = \frac{1}{3}F$$

#### Ustalenie zwrotu siły tarcia

Przeanalizujemy znak współrzędnej siły tarcia. Zweryfikujemy nasze założenie o zwrocie siły tarcia z wynikiem, który otrzymaliśmy po rozwiązaniu równań:

$$\left( T_x = +T \quad \text{oraz} \quad T = \frac{1}{3}F \right) \rightarrow T_x = \frac{1}{3}F$$

Współrzędna  $T_x$  siły tarcia okazała się dodatnia, zatem siła tarcia ma zwrot zgodny ze zwrotem osi  $x$ . To oznacza, że wektor siły tarcia  $\vec{T}$  w punkcie  $C$  walca – przy styku walca z podłożem – posiada kierunek poziomy i zwrot w prawo (zgodny ze zwrotem osi  $x$ ).

### Zadanie 4.1. (0–2)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych [...].  I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...]. IV.4) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej, oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; omawia ruch satelitów wokół Ziemi; IV.5) [...] stosuje do obliczeń III prawo Keplera dla orbit kołowych [...].

#### Zasady oceniania

2 pkt – poprawne zaznaczenia w trzech stwierdzeniach.

1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch stwierdzeniach.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

#### Pełne rozwiązanie

PPF

### Zadanie 4.2. (0–1)

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...]. IV.1) posługuje się prawem powszechnego ciężenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego [...].

#### Zasady oceniania

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

#### Rozwiązanie

D

**Zadanie 4.3. (0–4)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>II.20) [...] wykorzystuje równość między pracą siły wypadkowej i zmianą energii kinetycznej oraz zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń.</p> <p>IV.4) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej, oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu [...];</p> <p>IV.7) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i stosuje zasadę zachowania energii do ruchu pod wpływem siły grawitacji [...].</p>

**Zasady oceniania**

4 pkt – poprawna metoda wyznaczenia pracy  $W_{AB}$  siły ciągu silników tylko przez wielkości:  $r_A$ ,  $m$ ,  $M_Z$ ,  $G$  **oraz** podanie prawidłowego wzoru:

$$W_{AB} = \frac{GM_Z m}{3r_A}$$

3 pkt – zapisanie pracy siły ciągu silników jako różnicy energii mechanicznych **oraz** zapisanie energii mechanicznej satelity  $S_A$  (na orbicie  $O_A$  oraz na orbicie  $O_B$ ) jako sumy energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji, **oraz** poprawne zastosowanie wzorów (zgodnie z oznaczeniami) na oba rodzaje energii, **oraz** identyfikacja siły grawitacji jako siły dośrodkowej z wykorzystaniem wzorów na te siły (**albo** zapisanie wzoru na prędkość orbitalną), np. zapisy równoważne poniższym:

$$W_{AB} = \left( \frac{1}{2} m v_B^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_B} \right) \right) - \left( \frac{1}{2} m v_A^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_A} \right) \right)$$

oraz

$$\left( \frac{m v_A^2}{r_A} = \frac{GM_Z m}{r_A^2} \quad \text{albo} \quad v_A = \sqrt{\frac{GM_Z}{r_A}} \right)$$

**LUB**

– spełnienie warunków opisanych w drugim kryterium za 2 pkt **oraz** wyprowadzenie wzoru na energię mechaniczną z wyeliminowaną prędkością (na orbicie  $O_A$  lub na orbicie  $O_B$ ), np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_A = \frac{1}{2} m v_A^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_A} \right) \quad \text{oraz} \quad \left( \frac{m v_A^2}{r_A} = \frac{GM_Z m}{r_A^2} \quad \text{albo} \quad v_A = \sqrt{\frac{GM_Z}{r_A}} \right) \rightarrow$$

$$E_A = -\frac{1}{2} \frac{GM_Z m}{r_A}$$

2 pkt – zapisanie pracy siły ciągu silników jako różnicy energii mechanicznych **oraz** zapisanie energii mechanicznej satelity  $S_A$  (na orbicie  $O_A$  oraz na orbicie  $O_B$ ) jako sumy energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji, **oraz** poprawne zastosowanie wzorów (zgodnie z oznaczeniami) na oba rodzaje energii, np. zapisy równoważne poniższym:

$$W_{AB} = \left( \frac{1}{2} m v_B^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_B} \right) \right) - \left( \frac{1}{2} m v_A^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_A} \right) \right)$$

**LUB**

– zapisanie energii mechanicznej satelity  $S_A$  (na orbicie  $O_A$  lub na orbicie  $O_B$ ) jako sumy energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji **oraz** poprawne zastosowanie wzorów (zgodnie z oznaczeniami) na oba rodzaje energii, **oraz** identyfikacja siły grawitacji jako siły dośrodkowej z wykorzystaniem wzorów na te siły (albo zapisanie wzoru na prędkość orbitalną), np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_A = \frac{1}{2} m v_A^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_A} \right) \quad \text{oraz} \quad \left( \frac{m v_A^2}{r_A} = \frac{GM_Z m}{r_A^2} \quad \text{albo} \quad v_A = \sqrt{\frac{GM_Z}{r_A}} \right)$$

1 pkt – zapisanie pracy siły ciągu silników jako różnicy energii mechanicznych (z oznaczenia lub innych zapisów musi wynikać, że chodzi o energię mechaniczną), np. zapisy równoważne poniższym:

$$W_{AB} = E_{mech B} - E_{mech A} \quad \text{albo} \quad (W_{AB} = E_B - E_A \quad \text{oraz} \quad E_A = E_{kin A} + E_{pot gr A})$$

**LUB**

– zapisanie energii mechanicznej satelity  $S_A$  (na orbicie  $O_A$  lub na orbicie  $O_B$ ) jako sumy energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji **oraz** poprawne zastosowanie wzorów (zgodnie z oznaczeniami) na oba rodzaje energii, np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_A = \frac{1}{2} m v_A^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_A} \right)$$

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

### Przykładowe pełne rozwiązanie

Praca, jaką wykonała siła ciągu silników podczas przemieszczania satelity  $S_A$  z orbity  $O_A$  na orbitę  $O_B$ , jest równa różnicy energii mechanicznych  $E_B$  i  $E_A$ , jakie ma satelita na orbitach  $O_B$  i  $O_A$ . Zatem:

$$1) \quad W_{AB} = E_B - E_A$$

Wyprowadzimy wyrażenie na energię mechaniczną, gdy satelita porusza się swobodnie z prędkością orbitalną o wartości  $v_A$  po orbicie  $O_A$ .

Energia mechaniczna jest równa sumie energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji:

$$2) \quad E_A = E_{kin A} + E_{pot graw A} = \frac{1}{2} m v_A^2 + \left( -\frac{GM_Z m}{r_A} \right)$$



Następnie wyznaczmy wartość prędkości orbitalnej  $v_A$ . Wykorzystamy fakt, że siła grawitacji pełni rolę siły dośrodkowej:

$$3) \frac{mv_A^2}{r_A} = \frac{GM_Z m}{r_A^2} \quad \rightarrow \quad 3a) \quad v_A^2 = \frac{GM_Z}{r_A}$$

Związek 3a) podstawimy do wzoru 2) na energię mechaniczną satelity na orbicie  $O_A$ :

$$4) \quad E_A = \frac{1}{2} m \frac{GM_Z}{r_A} - \frac{GM_Z m}{r_A} = -\frac{1}{2} \frac{GM_Z m}{r_A}$$

Analogiczny wzór na energię mechaniczną obowiązuje dla satelity krążącego po orbicie  $O_B$ :

$$5) \quad E_B = -\frac{1}{2} \frac{GM_Z m}{r_B}$$

Wyznamy pracę  $W_{AB}$ , jaką wykonała siła ciągu silników podczas przemieszczania satelity  $S_A$  z orbity  $O_A$  na orbitę  $O_B$ . Wzory 4) i 5) podstawimy do 1) oraz uwzględnimy relację pomiędzy promieniami orbit:

$$W_{AB} = -\frac{1}{2} \frac{GM_Z m}{r_B} - \left( -\frac{1}{2} \frac{GM_Z m}{r_A} \right) = \frac{GM_Z m}{2} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

$$W_{AB} = \frac{GM_Z m}{2} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{3r_A} \right) = \frac{GM_Z m}{2r_A} \left( 1 - \frac{1}{3} \right) = \frac{GM_Z m}{2r_A} \cdot \frac{2}{3} = \frac{GM_Z m}{3r_A}$$

### Zadanie 5.1. (0–1)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] wykresów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...].</p> <p>VI.8) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki do analizy przemian gazowych; rozróżnia przemiany: [...] izobaryczną, izochoryczną [...];</p> <p>VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego;</p> <p>VI.14) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach [...] cieplnych.</p>

### Zasady oceniania

1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch stwierdzeniach.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

### Pełne rozwiązanie

PP

### Zadanie 5.2. (0–1)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] wykresów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...].</p> <p>VI.8) [...] rozróżnia przemiany: [...] izobaryczną, izochoryczną [...];</p> <p>VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego;</p> <p>VI.12) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu.</p>

#### Zasady oceniania

1 pkt – poprawne dokończenie zdania: zapisanie prawidłowej wartości ilorazu  $\frac{T_2}{T_4}$ .

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

#### Poprawna odpowiedź

Iloraz temperatur  $\frac{T_2}{T_4}$  gazu w stanach  $G_2$  i  $G_4$ , jest równy  $\frac{1}{2}$ .....

### Zadanie 5.3. (0–4)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] wykresów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...].</p> <p>VI.12) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu;</p> <p>VI.13) posługuje się pojęciem ciepła molowego gazu; interpretuje związek między ciepłem molowym przy stałym ciśnieniu a ciepłem molowym w stałej objętości dla gazu doskonałego;</p> <p>VI.14) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach [...] cieplnych;</p> <p>VI.15) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych.</p>

**Zasady oceniania**

- 4 pkt – poprawna metoda obliczenia sprawności silnika cieplnego **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego (w postaci ułamka lub w procentach):  $\eta \approx 0,12$
- 3 pkt – zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie pracy całkowitej jako różnicy pracy siły parcia w przemianie  $G_2 \rightarrow G_3$  i pracy przeciwko sile parcia w przemianie  $G_4 \rightarrow G_1$  (lub jako pola figury ograniczonej krzywą cyklu), **oraz** zapisanie ciepła pobranego jako sumy ciepł pobranych w przemianach  $G_1 \rightarrow G_2$  i  $G_2 \rightarrow G_3$ , **oraz** wykorzystanie wzorów na pracę w przemianach izobarycznych, **oraz** wykorzystanie wzorów na ciepła w przemianach izochorycznej i izobarycznej, **oraz** wykorzystanie równania stanu do obliczenia różnic temperatur  $\Delta T_{12}$  i  $\Delta T_{23}$ , np. zapisy równoważne poniższym (zgodnie z ogólnymi zasadami mogą to być zapisy łączone):

$$\eta = \frac{W_{\text{całkowita}}}{Q_{\text{pobrane}}} \quad \text{oraz}$$

$$W_{\text{całkowita}} = 3p_1(3V_1 - V_1) - 2p_1(3V_1 - V_1) \quad \text{oraz}$$

$$Q_{\text{pobrane}} = n \frac{3}{2} R \Delta T_{12} + n \frac{5}{2} R \Delta T_{23} \quad \text{oraz}$$

$$\Delta p_{12} V_1 = n R \Delta T_{12} \quad \text{i} \quad 3p_1 \Delta V_{23} = n R \Delta T_{23}$$

- 2 pkt – zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie pracy całkowitej jako różnicy pracy siły parcia w przemianie  $G_2 \rightarrow G_3$  i pracy przeciwko sile parcia w przemianie  $G_4 \rightarrow G_1$  (lub jako pola figury ograniczonej krzywą cyklu), **oraz** zapisanie ciepła pobranego jako sumy ciepł pobranych w przemianach  $G_1 \rightarrow G_2$  i  $G_2 \rightarrow G_3$ , **oraz** wykorzystanie wzorów na pracę w przemianach izobarycznych, **oraz** wykorzystanie wzorów na ciepła w przemianach izochorycznej i izobarycznej, np. zapisy równoważne poniższym:

$$\eta = \frac{W_{\text{całkowita}}}{Q_{\text{pobrane}}} \quad \text{oraz}$$

$$W_{\text{całkowita}} = 3p_1 \Delta V_{23} - 2p_1 |\Delta V_{41}| \quad \text{oraz}$$

$$Q_{\text{pobrane}} = n \frac{3}{2} R \Delta T_{12} + n \frac{5}{2} R \Delta T_{23}$$

- 1 pkt – zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie pracy całkowitej jako różnicy pracy siły parcia w przemianie  $G_2 \rightarrow G_3$  i pracy przeciwko sile parcia w przemianie  $G_4 \rightarrow G_1$  (lub jako pola figury ograniczonej krzywą cyklu), np. zapisy równoważne poniższym:

$$\eta = \frac{W_{\text{całkowita}}}{Q_{\text{pobrane}}} \quad \text{oraz} \quad W_{\text{całkowita}} = |W_{23}| - |W_{41}|$$

**LUB**

- zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie ciepła pobranego jako sumy ciepł pobranych w przemianach  $G_1 \rightarrow G_2$  i  $G_2 \rightarrow G_3$ , np. zapisy równoważne poniższym:

$$\eta = \frac{W_{\text{całkowita}}}{Q_{\text{pobrane}}} \quad \text{oraz} \quad Q_{\text{pobrane}} = Q_{12} + Q_{23}$$

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

### Przykładowe pełne rozwiązanie

Zapiszemy definicję sprawności silnika cieplnego:

$$1) \eta = \frac{W_{\text{całkowita}}}{Q_{\text{pobrane}}}$$

Praca całkowita jest równa różnicy wartości bezwzględnych pracy siły parcia podczas rozprężania izobarycznego  $G_2 \rightarrow G_3$  i pracy siły parcia podczas sprężania izobarycznego  $G_4 \rightarrow G_1$ :

$$2) W_{\text{całkowita}} = |W_{23}| - |W_{41}| \rightarrow W_{\text{całk}} = 3p_1(3V_1 - V_1) - 2p_1(3V_1 - V_1)$$

$$2a) W_{\text{całkowita}} = 2V_1p_1$$

Ciepło pobrane z otoczenia w cyklu jest równe sumie ciepł pobranych z grzejnicy w przemianach  $G_1 \rightarrow G_2$  i  $G_2 \rightarrow G_3$ :

$$3) Q_{\text{pobrane}} = Q_{12} + Q_{23}$$

Wykorzystamy wzory na ciepła w przemianach: izochorycznej  $G_1 \rightarrow G_2$  oraz izobarycznej  $G_2 \rightarrow G_3$ :

$$4) Q_{\text{pobrane}} = nC_V\Delta T_{12} + nC_p\Delta T_{23}$$

Wykorzystamy związek między ciepłem molowym przy stałej objętości a ciepłem molowym przy stałym ciśnieniu oraz informację w zadaniu o ciepłe molowym przy stałej objętości:

$$5) C_p = C_V + R \quad \text{zatem}$$

$$6) Q_{\text{pobrane}} = n\frac{3}{2}R\Delta T_{12} + n\frac{5}{2}R\Delta T_{23}$$

Wykorzystamy związki wynikające z równania stanu gazu doskonałego oraz własności przemiany izochorycznej  $G_1 \rightarrow G_2$  oraz własności przemiany izobarycznej  $G_2 \rightarrow G_3$ :

$$7) pV = nRT \quad \text{zatem}$$

$$8) \Delta p_{12}V_1 = nR\Delta T_{12} \quad \text{dla przemiany } G_1 \rightarrow G_2$$

$$9) 3p_1\Delta V_{23} = nR\Delta T_{23} \quad \text{dla przemiany } G_2 \rightarrow G_3$$

Związki 8) i 9) podstawimy do wzoru 6) na ciepło pobrane:

$$10) Q_{\text{pobrane}} = \frac{3}{2}\Delta p_{12}V_1 + \frac{5}{2}3p_1\Delta V_{23} \rightarrow$$

$$10a) Q_{\text{pobrane}} = \frac{3}{2}(3p_1 - 2p_1)V_1 + \frac{5}{2}3p_1(3V_1 - V_1) = \frac{3}{2}p_1V_1 + \frac{5}{2} \cdot 3p_12V_1 \rightarrow$$

$$10b) Q_{\text{pobrane}} = \frac{3}{2}p_1V_1 + 15p_1V_1 = 16,5p_1V_1$$

Wyniki otrzymane w 10b) oraz 2a) podstawimy do wzoru 1) na sprawność silnika cieplnego:

$$11) \eta = \frac{2p_1V_1}{16,5p_1V_1} = \frac{2}{16,5} = 0,121 \approx 12\%$$

**Zadanie 6.1. (0–2)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] rysunków schematycznych [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>IX.2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej wraz z jego jednostką, analizuje oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem oraz na poruszającą się cząstkę naładowaną (siła elektrodynamiczna, siła Lorentza);</p> <p>IX.12) opisuje cechy prądu przemiennego [...];</p> <p>IX.10) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza; opisuje przemiany energii podczas działania prądnicy.</p>

**Zasady oceniania**

2 pkt – poprawne zapisanie symbolu (YABCDX), określającego zwrot przepływu prądu w prądnicy w chwili  $t = 0$  s **oraz** poprawne oznaczenie biegunowości (+X oraz –Y) źródła napięcia obwodu zewnętrznego w chwili  $t = 0$  s.

1 pkt – poprawne zapisanie symbolu (YABCDX), określającego zwrot przepływu prądu w prądnicy w chwili  $t = 0$  s

**LUB**

– niepoprawne zapisanie symbolu (XDCBAY), określającego zwrot przepływu prądu w prądnicy w chwili  $t = 0$  s **oraz** konsekwentne z tym zapisem oznaczenie biegunowości (–X oraz +Y) źródła napięcia obwodu zewnętrznego w chwili  $t = 0$  s.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

**Pełne rozwiązanie**

Zwrot przepływu prądu: YABCDX

X: +

Y: –

**Zadanie 6.2. (0–4)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.  II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.7) wyodrębnia z [...] wykresów, rysunków schematycznych [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. IX.2) [...] analizuje oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem oraz na poruszającą się cząstkę naładowaną (siła elektrodynamiczna, siła Lorentza); IX.11) oblicza siłę elektromotoryczną indukcji jako szybkość zmiany strumienia; IX.12) opisuje cechy prądu przemiennego; posługuje się pojęciem napięcia i natężenia skutecznego; oblicza napięcie i natężenie skuteczne dla przebiegu sinusoidalnego.

**Zasady oceniania**

4 pkt – poprawne ustalenie trzech wielkości:  $I_{max}$  oraz  $T$ , oraz  $I(t = 0)$ , oraz wybranie wykresu  $I(t)$  nr 1.

3 pkt – poprawne ustalenie trzech wielkości:  $I_{max}$  oraz  $T$ , oraz  $I(t = 0)$ :

$$I_{max} \approx 3,4 \text{ A}, T = 0,02 \text{ s}, I(t = 0) = I_{max}$$

**LUB**

– poprawne ustalenie  $I_{max}$  oraz  $T$  oraz wybranie wykresu  $I(t)$  nr 1:

$$I_{max} \approx 3,4 \text{ A}, T = 0,02 \text{ s}, \text{ wykres nr 1.}$$

2 pkt – poprawne ustalenie dwóch wielkości spośród:  $I_{max}$ ,  $T$ ,  $I(t = 0)$

**LUB**

– poprawne ustalenie  $T$  albo  $I_{max}$  oraz wybranie wykresu  $I(t)$  nr 1.

1 pkt – poprawne ustalenie jednej wielkości:  $I_{max}$  albo  $T$  albo  $I(t = 0)$ .

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

**Uwaga dodatkowa**

Ustalenie fazy początkowej jest równoważne ustaleniu napięcia lub natężenia prądu w chwili  $t = 0$  s, np. poniższe zapisy są równoważne:

$$\phi_0 = \frac{\pi}{2} \quad \text{lub} \quad I(t = 0) = I_{max} \quad \text{lub} \quad U(t = 0) = U_{max}$$

**Przykładowe pełne rozwiązanie**

Ustalimy wielkości dotyczące prądu zmiennego przepływającego przez opornik  $R$ :

- Obliczymy amplitudę  $I_{max}$  natężenia prądu. W tym celu najpierw obliczymy amplitudę napięcia:

$$U_{max} = \sqrt{2}U_{sk} \quad \rightarrow \quad U_{max} = \sqrt{2} \cdot 24 \text{ V} \approx 33,9 \text{ V}$$

zatem

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R} \quad \rightarrow \quad I_{max} \approx \frac{33,9 \text{ V}}{10 \Omega} \approx 3,4 \text{ A}$$

- Obliczymy okres  $T$  zmian natężenia prądu:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \rightarrow \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi \text{ rad}}{100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,02 \text{ s}$$

- Określimy natężenie prądu w chwili  $t = 0$  (równoważnie – fazę początkową):

$$I(t = 0) = I_{max}$$

Wyberzemy wykres zależności natężenia prądu od czasu:

Numer wykresu: 1.

*Poniżej przedstawiamy dodatkowy komentarz dotyczący sposobu ustalenia natężenia prądu w chwili  $t = 0$  s (równoważnie – ustalenia fazy początkowej).*

#### Sposób 1.

Rozważamy ruch boku AB ramki w polu magnetycznym. Napięcie indukowane na boku AB zależy od składowej prędkości prostopadłej do linii pola magnetycznego  $\vec{B}$ . W sytuacji zilustrowanej na rysunku 2. (w chwili  $t = 0$  s) wektor prędkości jest prostopadły do linii pola magnetycznego (wartość składowej prędkości prostopadłej do pola jest największa). Zatem napięcie indukowane na boku ramki jest wtedy największe. Z tego wynika też, że:

$$U(t = 0) = U_{max} \quad \rightarrow \quad I(t = 0) = I_{max}$$

#### Sposób 2.

Rozważamy ruch ładunku elektrycznego  $q$  w polu magnetycznym – ładunku wyodrębnionego w boku AB ramki. Siła Lorentza działająca na ten ładunek zależy od składowej prędkości prostopadłej do linii pola magnetycznego  $\vec{B}$ . W sytuacji zilustrowanej na rysunku 2. (w chwili  $t = 0$ ) wektor prędkości jest prostopadły do linii pola magnetycznego. Zatem siła Lorentza działająca na ładunek będzie wtedy największa. Z tego wynika, że:

$$I(t = 0) = I_{max}$$

#### Sposób 3.

Przeanalizujemy wzór na siłę elektromotoryczną prądnicy:

$$U_{ind} = U_{max} \sin \angle(\vec{S}, \vec{B}) \quad \text{gdzie} \quad \angle(\vec{S}, \vec{B}) = \omega t + \phi_0$$

( $\vec{S}$  oznacza wektor prostopadły do powierzchni ramki). Z rysunku 2. wynika, że w chwili  $t = 0$  mamy:

$$\angle(\vec{S}, \vec{B}) = \phi_0 = 90^\circ$$

Zatem:

$$U_{ind}(t = 0) = U(t = 0) = U_{max} \sin(\omega \cdot 0 + 90^\circ) = U_{max}$$

Z tego (oraz z założenia o pominięciu indukcyjności obwodu) wynika, że:

$$I(t = 0) = I_{max}$$

**Zadanie 6.3. (0–2)**

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.2) posługuje się [...] kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych. IX.11) oblicza siłę elektromotoryczną indukcji jako szybkość zmiany strumienia; IX.12) opisuje cechy prądu przemiennego; posługuje się pojęciem napięcia i natężenia skutecznego; oblicza napięcie i natężenie skuteczne dla przebiegu sinusoidalnego.

**Zasady oceniania**

2 pkt – poprawna metoda obliczenia napięcia skutecznego po zmianie prędkości kątowej ramki **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego z jednostką:  $\tilde{U}_{sk} = 28,8 \text{ V}$

1 pkt – zapisanie wzoru na amplitudę siły elektromotorycznej prądnicy w dwóch przypadkach: przed i po zmianie prędkości kątowej, np. zapisy równoważne poniższym:

$$U_{max} = NBS\omega \quad \text{oraz} \quad \tilde{U}_{max} = NBS\tilde{\omega}$$

**LUB**

– zapisanie odpowiedniego równania, wynikającego z proporcjonalności amplitudy napięcia do prędkości kątowej obrotu ramki prądnicy, zawierającego napięcia oraz prędkości kątowe przed i po zmianie, np. zapisy równoważne poniższym:

$$\frac{\tilde{U}_{max}}{U_{max}} = \frac{\tilde{\omega}}{\omega} \quad \text{albo} \quad \frac{\tilde{U}_{sk}}{U_{sk}} = \frac{\tilde{\omega}}{\omega}$$

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

**Przykładowe pełne rozwiązanie**

Wykorzystamy wzór na amplitudę siły elektromotorycznej (napięcia) prądnicy:

$$U_{max} = NBS\omega$$

Zgodnie z powyższym wzorem, amplituda napięcia po zmianie prędkości kątowej wynosi:

$$\tilde{U}_{max} = NBS\tilde{\omega}$$

Zatem:

$$\frac{\tilde{U}_{max}}{U_{max}} = \frac{\tilde{\omega}}{\omega} \quad \rightarrow \quad \frac{\tilde{U}_{sk}}{U_{sk}} = \frac{\tilde{\omega}}{\omega} \quad \rightarrow \quad \tilde{U}_{sk} = \frac{120\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \cdot 24 \text{ V} = 28,8 \text{ V}$$



**Zadanie 7. (0–4)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...].</p> <p>X.16) rysuje konstrukcyjnie obrazy wytworzone przez soczewki; stosuje do obliczeń równanie soczewki.</p>

**Zasady oceniania**

4 pkt – poprawna metoda obliczenia ogniskowej soczewki **oraz** podanie prawidłowej wartości liczbowej z jednostką.

3 pkt – poprawna metoda obliczenia odległość strzałki od soczewki i odległość jej obrazu od soczewki (zapisanie dwóch równań wynikających z warunków zadania) **oraz** podanie prawidłowych wartości liczbowych z jednostkami **oraz** zapisanie równania soczewki skupiającej dla obrazu rzeczywistego z poprawną identyfikacją wielkości (poprzez symbole lub wartości liczbowe), np. zapisy równoważne poniższym:

$$(x + y = 49 \text{ cm i } \frac{y}{x} = 6) \text{ oraz } (x = 7 \text{ cm i } y = 42 \text{ cm}) \text{ oraz } \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$$

**LUB**

– poprawna metoda obliczenia odległości strzałki od soczewki i odległości jej obrazu od soczewki (zapisanie dwóch równań wynikających z warunków zadania) **oraz** podanie błędnych wartości liczbowych wynikających z błędów rachunkowych **oraz** zapisanie równania soczewki skupiającej dla obrazu rzeczywistego z poprawną identyfikacją wielkości **oraz** konsekwentne (do popełnionych wcześniej błędów) obliczenie tej wartości, np. zapisy równoważne poniższym:

$$(x + y = 49 \text{ cm i } \frac{y}{x} = 6) \text{ oraz } (x = a \text{ cm i } y = b \text{ cm}) \text{ oraz } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\text{oraz } f = \frac{ab}{(a + b)} = \dots$$

2 pkt – poprawna metoda obliczenia odległości strzałki od soczewki i odległości jej obrazu od soczewki **oraz** podanie prawidłowych wartości liczbowych z jednostkami, np. zapisy równoważne poniższym:

$$(x + y = 49 \text{ cm i } \frac{y}{x} = 6) \text{ oraz } (x = 7 \text{ cm i } y = 42 \text{ cm})$$

**LUB**

– zapisanie tylko (bez obliczeń) trzech równań: dwóch równań wynikających z warunków zadania, z których można obliczyć odległość strzałki od soczewki i odległość jej obrazu od soczewki i równania soczewki skupiającej dla obrazu rzeczywistego, np. zapisy równoważne poniższym:

$$x + y = 49 \text{ cm} \quad \text{i} \quad \frac{y}{x} = 6 \quad \text{i} \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$$

1 pkt – zapisanie dwóch równań wynikających z warunków zadania, z których można obliczyć odległość strzałki od soczewki i odległość jej obrazu od soczewki, np. zapisy równoważne poniższym:

$$x + y = 49 \text{ cm} \quad \text{i} \quad \frac{y}{x} = 6$$

**LUB**

– zapisanie dwóch równań: równania soczewki skupiającej dla obrazu rzeczywistego oraz równania wynikającego z warunku zadania, wyrażonych za pomocą odległości strzałki od soczewki i odległości jej obrazu od soczewki, np. zapisy równoważne poniższym:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f} \quad \left( x + y = 49 \text{ cm} \quad \text{albo} \quad \frac{y}{x} = 6 \right)$$

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

### Przykładowe pełne rozwiązanie

Odległość strzałki AB od soczewki S oznaczmy jako  $x$ , a odległość obrazu A'B' tej strzałki na ekranie od soczewki oznaczmy jako  $y$ .

Zgodnie z warunkami zadania mamy:

$$d = 49 \text{ cm} \quad \text{zatem} \quad 1) \quad x + y = 49 \text{ cm}$$

oraz

$$\frac{|A'B'|}{|AB|} = 6 \quad \text{zatem} \quad 2) \quad \frac{y}{x} = 6$$

Rozwiążemy układ równań 1) i 2)

$$\begin{cases} x + y = 49 \text{ cm} \\ \frac{y}{x} = 6 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x + 6x = 49 \text{ cm} \\ \frac{y}{x} = 6 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 7x = 49 \text{ cm} \\ \frac{y}{x} = 6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = 7 \text{ cm} \\ y = 42 \text{ cm} \end{cases}$$

Zastosujemy równanie soczewki skupiającej gdy wytwarza ona obraz rzeczywisty:

$$\frac{1}{|x|} + \frac{1}{|y|} = \frac{1}{|f|} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{7 \text{ cm}} + \frac{1}{42 \text{ cm}} = \frac{1}{|f|}$$

$$\frac{6}{42 \text{ cm}} + \frac{1}{42 \text{ cm}} = \frac{1}{|f|} \quad \rightarrow \quad \frac{7}{42 \text{ cm}} = \frac{1}{|f|}$$

$$|f| = 6 \text{ cm}$$

**Zadanie 8.1. (0–2)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>IV.10) [...] opisuje rozszerzenie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk); stosuje do obliczeń prawo Hubble'a jako proporcjonalność prostą między odległością względną dalekich galaktyk a ich prędkością względną.</p>

**Zasady oceniania**

2 pkt – poprawna metoda obliczenia wartości prędkości galaktyki  $\beta$  względem  $\mathcal{O}$  oraz podanie prawidłowego wyniku liczbowego z jednostką:  $v_\beta = 6 \text{ ujp}$

1 pkt – zastosowanie prawa Hubble'a do obliczenia  $v_\beta$ , tzn. zapisanie odpowiednie proporcji albo dwóch równań, równoważnych poniższym:

$$\frac{v_\alpha}{v_\beta} = \frac{|\mathcal{O}\alpha|}{|\mathcal{O}\beta|}$$

albo

$$v_\alpha = H \cdot |\mathcal{O}\alpha| \quad \text{oraz} \quad v_\beta = H \cdot |\mathcal{O}\beta|$$

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

**Przykładowe pełne rozwiązanie**

Z prawa Hubble'a wynika, że prędkość oddalania się galaktyki od dowolnego ustalonego obserwatora jest wprost proporcjonalna do odległości między galaktyką a obserwatorem. Zatem:

$$\frac{v_\alpha}{v_\beta} = \frac{|\mathcal{O}\alpha|}{|\mathcal{O}\beta|}$$

gdzie  $|\mathcal{O}\alpha|$  i  $|\mathcal{O}\beta|$  są odległościami galaktyk  $\alpha$  i  $\beta$  od obserwatora  $\mathcal{O}$ . Z powyższego wzoru i danych wynika, że:

$$\frac{4 \text{ ujp}}{v_\beta} = \frac{6 \text{ ujo}}{9 \text{ ujo}}$$

$$v_\beta = 6 \text{ ujp}$$

**Zadanie 8.2. (0–1)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>IV.10) [...] opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk); stosuje do obliczeń prawo Hubble'a jako proporcjonalność prostą między odległością względną dalekich galaktyk a ich prędkością względną.</p>

**Zasady oceniania**

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

**Rozwiązanie**

B

*Komentarz do rozwiązania.*

Wykorzystamy zasadę izotropowości przestrzeni, z której wynika, że Wszechświat rozszerza się tak samo we wszystkich kierunkach. To oznacza m.in., że kierunki oddalania się galaktyk i stosunki odległości są zachowane. Zatem:

$$\frac{|O\alpha(t_p)|}{|O\beta(t_p)|} = \frac{|O\alpha|}{|O\beta|} \rightarrow \frac{4 \text{ ujo}}{|O\beta(t_p)|} = \frac{6 \text{ ujo}}{9 \text{ ujo}}$$

Zatem:

$$|O\beta(t_p)| = 6 \text{ ujo}$$

**Zadanie 9.1. (0–2)**

<b>Wymagania ogólne</b>	<b>Wymagania szczegółowe</b>
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] tabel [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...].</p> <p>VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali [...] do opisu fal [...].</p> <p>XI.2) [...] posługuje się pojęciem fotonu oraz oblicza jego energię;</p> <p>XI.3) [...] interpretuje linie widmowe jako skutek przejść między poziomami energetycznymi w atomach z emisją lub absorpcją kwantu światła; rozróżnia stan podstawowy i stany wzbudzone atomu [...];</p> <p>XI.6) opisuje zjawiska jonizacji [...] jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej.</p>

**Zasady oceniania**

2 pkt – poprawne zaznaczenia w trzech stwierdzeniach.

1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch stwierdzeniach.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

**Pełne rozwiązanie**

PPF

**Zadanie 9.2. (0–1)**

<b>Wymagania ogólne</b>	<b>Wymagania szczegółowe</b>
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.7) wyodrębnia z tekstów [...] tabel [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali [...] do opisu fal [...].</p> <p>XI.3) [...] interpretuje linie widmowe jako skutek przejść między poziomami energetycznymi w atomach z emisją lub absorpcją kwantu światła [...];</p> <p>XI.4) [...] oblicza różnice energii między poziomami energetycznymi w atomie wodoru.</p>

### Zasady oceniania

1 pkt – poprawne zapisanie długości fal elektromagnetycznych odpowiadających liniom widmowym L32 oraz L42.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

### Rozwiązanie

L32: 656 nm

L42: 486 nm

#### *Komentarz do rozwiązania*

Z tabeli wynika, że przejściu  $3 \rightarrow 2$  (czyli linii L32) odpowiada emisja fotonu o najmniejszej energii w zakresie światła widzialnego (różnica  $E_3 - E_2$  jest najmniejsza spośród wszystkich różnic  $E_n - E_2$ ). Foton o najmniejszej energii ma największą długość fali. Największej długości fali odpowiada linia widmowa czerwona. Linia L42 musi leżeć najbliżej linii L32.

#### *Informacja dodatkowa*

Długości fal odpowiadające odpowiednim liniom widmowym dla światła widzialnego są następujące:

$$\lambda_{32} \approx 656 \text{ nm} \quad \lambda_{42} \approx 486 \text{ nm} \quad \lambda_{52} \approx 434 \text{ nm} \quad \lambda_{62} \approx 410 \text{ nm}$$

### Zadanie 9.3. (0–3)

Wymaganie ogólne	Wymagania szczegółowe
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.2) posługuje się [...] kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych; I.15) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zaokrąglony do zadanej liczby cyfr znaczących. VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali i prędkości rozchodzenia się fali do opisu fal oraz stosuje do obliczeń związku między tymi wielkościami wraz z ich jednostkami. XI.2) [...] posługuje się pojęciem fotonu oraz oblicza jego energię; XI.4) [...] oblicza różnice energii między poziomami energetycznymi w atomie wodoru.

**Zasady oceniania**

3 pkt – poprawna metoda obliczenia długości fali emitowanego fotonu **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego z jednostką:  $\lambda_{31} \approx 103 \text{ nm}$

2 pkt – zapisanie zasady zachowania energii z uwzględnieniem energii atomu wodoru w stanie  $n = 1$ , w stanie  $n = 3$  i energii emitowanego fotonu **oraz** zapisanie/wyprowadzenie wzoru na energię emitowanego fotonu z uwzględnieniem  $\lambda_{31}$  – długości fali emitowanego fotonu, **oraz** wykorzystanie odpowiednich wartości energii podanych w tabeli albo zastosowanie wzoru na energię atomu wodoru w stanie  $n = 3$ , np. zapisy równoważne poniższym:

$$h \frac{c}{\lambda_{31}} = -1,51 \text{ eV} - (-13,61 \text{ eV}) \quad \text{albo} \quad h \frac{c}{\lambda_{31}} = \frac{E_1}{3^2} - E_1$$

1 pkt – zapisanie zasady zachowania energii z uwzględnieniem energii atomu wodoru w stanie  $n = 1$ , w stanie  $n = 3$  i energii emitowanego fotonu, np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_3 = E_1 + E_{f31}$$

**LUB**

– zapisanie/wyprowadzenie wzoru na energię emitowanego fotonu z uwzględnieniem  $\lambda_{31}$  – długości fali emitowanego fotonu, np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_{f31} = hf_{31} = h \frac{c}{\lambda_{31}}$$

**LUB**

– obliczenie energii atomu wodoru w stanie  $n = 3$ , np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_3 = -\frac{13,606}{3^2} \text{ eV} = -1,51 \text{ eV}$$

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

**Przykładowe pełne rozwiązanie**

Energję układu atom-elektron w stanie  $n = 3$  oznaczymy jako  $E_3$ , a energję w stanie  $n = 1$  oznaczymy o jako  $E_1$ . Energję emitowanego fotonu oznaczymy jako  $E_{f31}$ . Zapiszemy zasadę zachowania energii (zgodnie z założeniem zadania, energję kinetyczną odrzutu atomu pomijamy):

$$1) \quad E_3 = E_1 + E_{f31}$$

$$2) \quad E_{f31} = E_3 - E_1 \quad \rightarrow$$

$$3) \quad E_{f31} = -1,51 \text{ eV} - (-13,61 \text{ eV}) = 12,1 \text{ eV}$$

$$[\text{albo} \quad 3) \quad E_{f31} = E_1 \left( \frac{1}{3^2} - 1 \right) = -13,606 \cdot \left( -\frac{8}{9} \right) \text{ eV} \approx 12,09 \text{ eV}]$$

Wykorzystamy wzór Plancka na energję fotonu oraz związek falowy:

$$4) \quad E_{f31} = hf_{31} = h \frac{c}{\lambda_{31}}$$

Przyrównamy do siebie wyrażenia 3) i 4) na energję fotonu:

$$5) h \frac{c}{\lambda_{31}} = 12,1 \text{ eV}$$

$$6) \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\lambda_{31}} = 12,1 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$7) \lambda_{31} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{12,1 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \approx 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 103 \text{ nm}$$

### Zadanie 10.1. (0–2)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.2) posługuje się [...] tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych.</p> <p>XII.5) posługuje się pojęciami pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron; opisuje skład jądra atomowego na podstawie liczb masowej i atomowej;</p> <p>XII.6) zapisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku.</p>

### Zasady oceniania

2 pkt – poprawne uzupełnienie schematu równania reakcji fuzji dwóch protonów, tzn. zapisanie właściwych liczb atomowej  $Z=1$  i masowej  $A=2$  **oraz** zapisanie symbolu lub nazwy powstałego jądra:



1 pkt – poprawne uzupełnienie schematu równania reakcji fuzji dwóch protonów, tzn. zapisanie właściwych liczb atomowej  $Z=1$  i masowej  $A=2$

**LUB**

– poprawne zapisanie symbolu lub nazwy jądra izotopu pierwiastka X.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne lub niepełne albo brak rozwiązania.

### Pełne rozwiązanie

$$A = 2$$

$$Z = 1$$

X – wodór  ${}^2_1\text{H}$  lub deuter lub  ${}^2_1\text{D}$  lub wodór



**Zadanie 10.2. (0–1)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p>	<p>Zdający:</p> <p>XII.3) opisuje równoważność masy i energii spoczynkowej;</p> <p>XII.6) zapisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku;</p> <p>XII.7) stosuje zasadę zachowania energii do opisu reakcji jądrowych [...].</p>

**Zasady oceniania**

1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch stwierdzeniach.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

**Pełne rozwiązanie**

FP

**Zadanie 10.3. (0–1)**

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.18) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>VII.2) oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków, stosując prawo Coulomba;</p> <p>VII.9) oblicza zmianę energii ładunku w polu centralnym [...].</p> <p>XII. 5) [...] opisuje skład jądra atomowego [...];</p> <p>XII.17) wskazuje reakcję termojądrową przemiany wodoru w hel jako źródło energii gwiazd; analizuje reakcję termojądrową na podstawie podanego schematu reakcji.</p>

**Zasady oceniania**

1 pkt – poprawne uzasadnienie, w którym odwołano się do konieczności pokonania dużej energii (albo siły) wzajemnego odpychania elektrycznego protonów, gdy zbliżają się one na odległości zasięgu oddziaływań jądrowych.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

### Pełne rozwiązanie

Żeby mogło dojść do fuzji, to protony muszą zbliżyć się na odległość zasięgu oddziaływań jądrowych – rzędu femtometrów. Żeby protony mogły zbliżyć się w ogóle na tak małą odległość, to muszą najpierw pokonać wzajemne odpychanie elektryczne, które jest bardzo duże na tak małych odległościach. Zatem energia kinetyczna dwóch protonów musi być co najmniej równa energii potencjalnej oddziaływania (odpychania) elektrycznego protonów.

Energia ta na odległościach rzędu femtometrów jest bardzo duża ( $E_{pot\ el} \propto \frac{1}{r}$ ), zatem i energia kinetyczna protonów musi być bardzo duża.

### Zadanie 10.4. (0–3)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
<p>V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p>	<p>Zdający:</p> <p>I.2) posługuje się [...] tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;</p> <p>I.15) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zaokrąglony do zadanej liczby cyfr znaczących.</p> <p>XII.7) stosuje zasadę zachowania energii do opisu reakcji jądrowych [...];</p> <p>XII.8) oblicza dla dowolnego izotopu energię spoczynkową [...];</p> <p>XII.17) [...] analizuje reakcję termojądrową na podstawie podanego schematu reakcji.</p>

### Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia energii uwalnianej podczas fuzji dwóch protonów **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego wyrażonego w MeV i zaokrąglonego do dwóch cyfr znaczących:  $\Delta E_{kin} \approx 0,42 \text{ MeV}$

2 pkt – poprawne zapisanie równania wynikającego z zasady zachowania energii dla fuzji dwóch protonów z uwzględnieniem energii kinetycznej i energii spoczynkowej obu protonów oraz energii kinetycznej i energii spoczynkowej produktów fuzji: jądra X i cząstki  $e^+$  i neutrino  $\nu_e$ , **oraz** zastosowanie wzoru Einsteina na energie spoczynkowe (z uwzględnieniem każdej masy oprócz masy neutrino), np. zapisy równoważne poniższym:

$$2m_p c^2 + E_{kin\ 2p} = m_X c^2 + m_e c^2 + E_{kin\ X,e,\nu} \quad (E_{0\nu} \approx 0)$$

albo

$$\Delta E_{kin} = (2m_p - m_X - m_e)c^2 \quad (m_\nu \approx 0)$$

1 pkt – zapisanie równania wynikającego z zasady zachowania energii dla fuzji dwóch protonów z uwzględnieniem (wystarczy poprzez oznaczenie) energii kinetycznej i energii spoczynkowej substratów fuzji (dwóch protonów) oraz energii kinetycznej i energii spoczynkowej produktów fuzji (jądra X, cząstki  $e^+$  i neutrino  $\nu_e$ ), np. zapisy równoważne poniższym:

$$E_{kin\ przed} + E_{0\ przed} = E_{kin\ po} + E_{0\ po}$$

albo

$$2E_{0p} + E_{kin\ 2p} = E_{0X} + E_{0\beta} + E_{kin\ X,\beta,\nu} \quad (E_{0\nu} \approx 0)$$

**LUB**

- zapisanie równania wynikającego z zasady zachowania energii dla fuzji dwóch protonów z uwzględnieniem (wystarczy poprzez oznaczenie) różnicy energii kinetycznych całkowitych produktów fuzji i substratów fuzji oraz różnicy całkowitych energii spoczynkowych substratów fuzji i produktów fuzji, np. zapisy równoważne poniższym:

$$\Delta E_{kin} = E_{0\text{ przed}} - E_{0\text{ po}}$$

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

**Przykładowe pełne rozwiązanie**

Zastosujemy zasadę zachowania energii. Energia całkowita układu przed fuzją jest równa energii całkowitej układu po fuzji:

$$E_{kin\ \text{przed}} + E_{0\ \text{przed}} = E_{kin\ \text{po}} + E_{0\ \text{po}}$$

Uwzględnimy fakt, że energia całkowita jest sumą energii kinetycznych oraz energii spoczynkowych wszystkich jąder i cząstek przed i po fuzji:

$$2E_{0p} + E_{kin\ 2p} = E_{0X} + E_{0e} + E_{0\nu} + E_{kin\ X,e,\nu}$$

Wykorzystamy dalej związek między masą a energią spoczynkową (wzór Einsteina) i uwzględnimy założenie zadania o pominięciu masy neutrina (czyli pomijamy energię spoczynkową neutrina:  $E_{0\nu} \approx 0$ ):

$$2m_p c^2 + E_{kin\ 2p} = m_X c^2 + m_e c^2 + E_{kin\ X,e,\nu} \quad \rightarrow$$

$$E_{kin\ e,\beta,\nu} - E_{kin\ 2p} = (2m_p - m_X - m_e) c^2 \quad \rightarrow$$

$$\Delta E_{kin} = (2 \cdot 1,007276\ \text{u} - 2,013553\ \text{u} - 0,000549\ \text{u}) \cdot c^2 \quad \rightarrow$$

$$\Delta E_{kin} = 0,00045 \cdot \text{u} \cdot c^2 = 0,00045 \cdot 931,5\ \text{MeV} \approx 0,42\ \text{MeV}$$