Informator o egzaminie maturalnym

z fizyki

od roku szkolnego 2022/2023

dla zdających niewidomych

1. Opis egzaminu maturalnego z fizyki

Wstęp

Fizyka jest jednym z przedmiotów do wyboru na egzaminie maturalnym. Każdy maturzysta może przystąpić do egzaminu maturalnego z fizyki na poziomie rozszerzonym jako przedmiotu dodatkowego.

Egzamin maturalny z fizyki sprawdza, w jakim stopniu zdający spełnia wymagania określone w podstawie programowej kształcenia ogólnego dla szkoły ponadpodstawowej.

Podstawa programowa dzieli wymagania na ogólne i szczegółowe. Wymagania szczegółowe odwołują się do ściśle określonych wiadomości i konkretnych umiejętności. Wymagania ogólne mają podstawowe znaczenie, gdyż syntetycznie ujmują nadrzędne cele kształcenia w nauczaniu fizyki.

„Informator” prezentuje przykładowe zadania egzaminacyjne wraz z rozwiązaniami. Zadania w „Informatorze”nie ilustrują wszystkich wymagań z zakresu fizyki określonych w podstawie programowej, nie wyczerpują również wszystkich typów zadań, które mogą wystąpić w arkuszu egzaminacyjnym. Tylko realizacja wszystkich wymagań z podstawy programowej, zarówno ogólnych, jak i szczegółowych, może zapewnić wszechstronne wykształcenie w zakresie fizyki, w tym – właściwe przygotowanie do egzaminu maturalnego.

Przed przystąpieniem do dalszej lektury *Informatora* warto zapoznać się z ogólnymi zasadami obowiązującymi na egzaminie maturalnym od roku szkolnego 2022/2023. Są one określone w rozporządzeniu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 26 lutego 2021 r. w sprawie egzaminu maturalnego (Dz.U. poz. 482) oraz – w skróconej formie – w części ogólnej *Informatora o egzaminie maturalnym od roku szkolnego 2022/2023*, dostępnej na stronie internetowej Centralnej Komisji Egzaminacyjnej (https://cke.gov.pl/) i na stronach internetowych okręgowych komisji egzaminacyjnych.

Zadania na egzaminie

W arkuszu egzaminacyjnym znajdą się zarówno zadania zamknięte, jak i otwarte.   
  
Zadania zamknięte to takie, w których zdający wybiera odpowiedź spośród podanych. Wśród zadań zamkniętych znajdą się m.in.:

– zadania wyboru wielokrotnego

– zadania typu prawda-fałsz

– zadania na dobieranie.

Zadania otwarte to takie, w których zdający samodzielnie formułuje odpowiedź. Wśród zadań otwartych na egzaminie maturalnym z fizyki znajdą się m.in.:

– zadania z luką, wymagające uzupełnienia zdania albo zapisania odpowiedzi lub kilkoma wyrazami, symbolami lub wzorami fizycznymi, w tym wybieranie lub uzupełniania rysunku, diagramu, tabeli, wykresu, zależności między wielkościami, równania

– zadania krótkiej odpowiedzi, wymagające (1) przeprowadzenia obliczeń lub wyprowadzenia zależności pomiędzy wielkościami fizycznymi, (2) ustalania i/lub uzasadniania prawidłowych stwierdzeń dotyczących zjawisk fizycznych i ich modeli, opisywania zjawisk fizycznych lub doświadczeń, przedstawiania tez i formułowania hipotez.

Przedstawione przez zdającego rozwiązanie zadania otwartego, w którym zdający m.in. oblicza, wyprowadza, wykazuje, uzasadnia, musi prezentować pełny tok rozumowania, uwzględniać warunki zadania, a także odwoływać się do praw i zależności fizycznych oraz matematycznych. Oznaczenia stosowane w rozwiązaniu przez zdającego muszą jednoznacznie umożliwiać identyfikację wielkości fizycznych opisanych w treści zadania i polecenia.

Wszystkie zadania egzaminacyjne będą sprawdzały poziom opanowania umiejętności opisanych w następujących wymaganiach ogólnych w podstawie programowej kształcenia ogólnego dla szkoły ponadpodstawowej (w nawiasach zapisano numery celów kształcenia podstawy programowej):

– wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości (I)

– rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych (II)

– planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników (III)

– posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym – tekstów popularnonaukowych (IV)

– budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych (V).

Zadania egzaminacyjne będą dotyczyły następujących obszarów tematycznych fizyki (w nawiasach zapisano numery treści nauczania podstawy programowej):

– mechanika punktu materialnego i bryły sztywnej (II, III)

– grawitacja i elementy astronomii (IV)

– drgania, fale i optyka (V, X)

– elektryczność i magnetyzm (VII, VIII, IX)

– własności materii, termodynamika, hydrostatyka i aerostatyka (II, VI)

– elementy fizyki atomowej i jądrowej (XI, XII).

Niezależnie od wymienionych powyżej obszarów tematycznych, zadania egzaminacyjne sprawdzą również umiejętności określone w wymaganiach przekrojowych (określonych w pkt I treści nauczania podstawy programowej).

Opis arkusza egzaminacyjnego  
  
 Egzamin maturalny z fizyki trwa do 270 minut. W arkuszu egzaminacyjnym znajdzie się od 25 do 35 zadań. Łączna liczba punktów, jakie można uzyskać za prawidłowe rozwiązanie wszystkich zadań, jest równa 60.

Liczbę zadań oraz liczbę punktów możliwych do uzyskania za poszczególne rodzaje zadań w całym arkuszu przedstawiono poniżej.

Rodzaj zadań: Zamknięte  
Liczba zadań: 10–15  
Łączna liczba punktów: 10–15

Udział w wyniku sumarycznym: ok. 20%

Rodzaj zadań: Otwarte  
Liczba zadań: 15–20

Łączna liczba punktów: 45–50

Udział w wyniku sumarycznym: ok. 80%

Razem:  
Liczba zadań: 25–35

Łączna liczba punktów: 60

Udział w wyniku sumarycznym: 100%

W arkuszu egzaminacyjnym będą występowały wiązki zadań lub pojedyncze zadania. Wiązka zadań może zawierać od dwóch do czterech zadań występujących we wspólnym kontekście tematycznym, którym jest opisane zjawisko fizyczne, doświadczenie, obserwacja, materiał źródłowy itp. Każde z zadań wiązki będzie można rozwiązać niezależnie od rozwiązania innych zadań w danej wiązce. Wiązka zadań może się składać zarówno z zadań zamkniętych jak i zadań otwartych.

Zasady oceniania

Zadania zamknięte

Zadania zamknięte są oceniane – w zależności od maksymalnej liczby punktów, jaką można uzyskać za rozwiązanie danego zadania – zgodnie z poniższymi zasadami:

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

albo

2 pkt – odpowiedź całkowicie poprawna.

1 pkt – odpowiedź częściowo poprawna lub odpowiedź niepełna.

0 pkt – odpowiedź całkowicie niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Zadania otwarte

Za poprawne rozwiązanie zadania otwartego będzie można otrzymać maksymalnie 1, 2, 3 lub 4 punkty. Za każde poprawne rozwiązanie, inne niż opisane w zasadach oceniania, można przyznać maksymalną liczbę punktów, o ile rozwiązanie jest merytorycznie poprawne, zgodne z poleceniem i warunkami zadania.

Zadania otwarte są oceniane – w zależności od maksymalnej liczby punktów, jaką można uzyskać za rozwiązanie danego zadania – zgodnie z poniższymi zasadami:

Zadania otwarte, w których zdający udziela odpowiedzi opisowej

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 1 pkt:

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 2 pkt:

2 pkt – odpowiedź całkowicie poprawna.

1 pkt – odpowiedź częściowo poprawna lub odpowiedź niepełna.

0 pkt – odpowiedź całkowicie niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Zadania otwarte, w których zdający wybiera lub uzupełnia rysunek, wykres, diagram, tabelę, zależność lub uzupełnia tekst kilkoma wyrazami albo wykonuje proste obliczenie

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 1 pkt:

1 pkt – rozwiązanie poprawne.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne lub niepełne albo brak rozwiązania.

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 2 pkt:

2 pkt – rozwiązanie całkowicie poprawne.

1 pkt – rozwiązanie częściowo poprawne lub rozwiązanie niepełne.

0 pkt – rozwiązanie całkowicie niepoprawne albo brak rozwiązania.

Zadania otwarte, dla których określono poszczególne etapy ich rozwiązania (np. niewielki postęp, istotny postęp, zasadnicze trudności zadania)

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 2 pkt:

2 pkt – rozwiązanie poprawne.

1 pkt – rozwiązanie, w którym zostały pokonane zasadnicze trudności zadania, ale rozwiązanie nie zostało doprowadzone poprawnie do końcowej postaci.

0 pkt – rozwiązanie, w którym nie zostały pokonane zasadnicze trudności zadania, albo brak rozwiązania.

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 3 pkt:

3 pkt – rozwiązanie poprawne.

2 pkt – rozwiązanie, w którym zostały pokonane zasadnicze trudności zadania, ale rozwiązanie nie zostało doprowadzone poprawnie do końcowej postaci.

1 pkt – rozwiązanie, w którym dokonany został istotny postęp, ale nie zostały pokonane zasadnicze trudności zadania.

0 pkt – rozwiązanie, w którym nie ma istotnego postępu, albo brak rozwiązania.

– w przypadku zadania, za którego rozwiązanie można otrzymać maksymalnie 4 pkt:

4 pkt – rozwiązanie poprawne.

3 pkt – rozwiązanie, w którym zostały pokonane zasadnicze trudności zadania, ale rozwiązanie nie zostało doprowadzone poprawnie do końcowej postaci.

2 pkt – rozwiązanie, w którym dokonany został istotny postęp, ale nie zostały pokonane zasadnicze trudności zadania.

1 pkt – rozwiązanie, w którym dokonany został niewielki postęp, ale konieczny do rozwiązania zadania.

0 pkt – rozwiązanie, w którym nie ma niewielkiego postępu, albo brak rozwiązania.

W rozwiązaniu zadań otwartych, dla których określono poszczególne etapy ich rozwiązania, wyróżniony został najważniejszy etap, nazywany pokonaniem zasadniczych trudności zadania. Przyjęto zasadę, że za pokonanie zasadniczych trudności zadania przyznaje się co najmniej połowę punktów, jakie można otrzymać za bezbłędne rozwiązanie danego zadania. Przed pokonaniem zasadniczych trudności zadania wyróżnia się jeszcze jeden etap (w przypadku zadań za 3 pkt) lub dwa etapy poprzedzające (w przypadku zadań za 4 pkt): dokonanie istotnego postępu w rozwiązaniu zadania oraz/lub dokonanie niewielkiego postępu, który jest konieczny do rozwiązania zadania.

Etapy rozwiązania dla każdego zadania będą opisane w zasadach oceniania dla danego zadania. Ponadto dla różnych sposobów rozwiązania danego zadania te same etapy będą opisywały w zasadach oceniania jakościowo równoważny postęp na drodze do rozwiązania zadania.

Materiały i przybory pomocnicze na egzaminie z fizyki

Przybory pomocnicze, z których mogą korzystać zdający na egzaminie maturalnym z fizyki, to:

– linijka

– kalkulator naukowy

– wybrane wzory fizyczne.

Szczegółowe informacje dotyczące materiałów i przyborów pomocniczych, z których mogą korzystać zdający na egzaminie maturalnym (w tym osoby, którym dostosowano warunki przeprowadzenia egzaminu), będą ogłaszane w komunikacie dyrektora Centralnej Komisji Egzaminacyjnej.

2. Przykładowe zadania z rozwiązaniami

W „Informatorze” dla każdego zadania podano:  
 – liczbę punktów możliwych do uzyskania za jego rozwiązanie (po numerze zadania)

– zasady oceniania rozwiązań zadań  
 – poprawne rozwiązanie każdego zadania zamkniętego oraz przykładowe rozwiązanie każdego zadania otwartego.

W przykładowych rozwiązaniach zadań otwartych są zamieszczone dodatkowe komentarze, w których omówiono zapisy poszczególnych etapów rozwiązania i które nie podlegają ocenie. Początek i koniec komentarza oznaczono nawiasami kwadratowymi [ ].

Słowo kalkulator zamieszczony w nagłówku zadania zwraca uwagę na to, że do rozwiązania zadania będzie niezbędne użycie kalkulatora naukowego.

MECHANIKA PUNKTU MATERIALNEGO I BRYŁY SZTYWNEJ

Zadanie 1. Impulsowe działanie siły   
 Na rysunku poniżej przedstawiono ruch ciała o masie m = 0,5 kg w inercjalnym układzie odniesienia, we współrzędnych (x, y). Położenia ciała w chwilach 1–7 oznaczono A1–A7.   
W pierwszym etapie ruchu (A1–A4) ciało poruszało się swobodnie ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością . W punkcie A4 na ciało zadziałała siła , przy czym czas jej działania był bardzo krótki i wynosił = 0,02 s. W drugim etapie ruchu (A4–A7) gdy siła przestała działać, ciało poruszało się dalej ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością . Czas ruchu wzdłuż każdego z odcinków: A1A2, A2A3, … , A6A7 był taki sam i wynosił ∆t = 1 s. Na osi pionowej znajduje się współrzędna y położenia ciała, a na osi poziomej znajduje się współrzędna x położenia ciała. Obie współrzędne wyrażone są w m.

8

6

0

2   10 14 19 29

A1

A4

A7

A3

A5

Przyjmij model zjawiska, w którym zakładamy, że siła była stała. Na rysunkach pominięto bardzo krótki paraboliczny fragment toru, gdy na ciało działała siła .

Zadanie 1.1. (0–1)  
 Na którym z diagramów A–D prawidłowo przedstawiono kierunek i zwrot siły ?

Zapisz właściwą odpowiedź spośród podanych.

A.

A3

A4

A5

B.

C.

A3

A4

A5

A3

A4

A5

D.

A3

A4

A5

Zasady oceniania

1 pkt – odpowiedź poprawna.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Rozwiązanie

C

[ Komentarz

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki, kierunek siły jest taki jak kierunek wektora zmiany pędu ciała (różnicy pędów po zadziałaniu siły i przed zadziałaniem siły).]

Zadanie 1.2. (0–3)  
 Oblicz wartość siły .

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia siły oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1., 2. i 3.).

2 pkt – wykorzystanie drugiej zasady dynamiki wyrażonej w postaci związku między zmianą pędu i siłą oraz obliczenie wartości zmiany prędkości (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – wykorzystanie drugiej zasady dynamiki wyrażonej w postaci związku między zmianą wektora pędu, czasem, w którym ta zmiana nastąpiła, a siłą – łącznie z wyrażeniem zmiany pędu jako (np. jak w kroku 1.) lub

– wykorzystanie drugiej zasady dynamiki wyrażonej w postaci związku między masą, siłą a przyśpieszeniem – łącznie z wyrażeniem wektora przyśpieszenia jako zmiany wektora prędkości w czasie lub

– obliczenie wartości różnicy wektorów prędkości lub obliczenie wartości różnicy wektorów pędu  (np. jak w kroku 2.).

Uwaga! Obliczenie różnicy wartości wektorów prędkości lub pędów jest błędem rzeczowym.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Do obliczenia wartości siły wykorzystamy II zasadę dynamiki: iloraz zmiany wektora pędu ciała i czasu, w którym ta zmiana nastąpiła, jest równy sile działającej na ciało w tym czasie:

]

[ Komentarz (krok 2.)  
Wyznaczymy zmianę wektora prędkości, a następnie obliczymy jej wartość. Na podstawie położeń ciała określimy składowe i w kierunku x oraz y. Pierwsza liczba w nawiasie kwadratowym to będzie współrzędna składowej x, druga – składowej y:

Odejmowanie wektorów prędkości. ]

Różnica prędkości ma współrzędne:

[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczymy wartość siły (dane i wynik w kroku 2. podstawimy do wzoru w kroku 1.).]

Zadanie 2. Spadająca kulka

Pionowo w dół rzucono metalową kulkę o masie m = 0,250 kg. Na wysokości h = 1,80 m ponad podłożem, w chwili początkowej t0 = 0, kulka osiągnęła prędkość o wartości  = 3,20 . Licząc od wysokości h, aż do podłoża, kulka spadała swobodnie i nie obracała się. Po upadku na twarde podłoże kulka odbiła się od niego, a czas oddziaływania (zderzenia) kulki z podłożem był równy . Podczas pierwszego zderzenia   
z podłożem kulka straciła 25% swojej energii mechanicznej.

Do analizy zjawiska przyjmij jego uproszczony model, w którym:

- pomiń opory powietrza podczas ruchu kulki;  
- załóż, że siła reakcji podłoża działająca na kulkę podczas zderzenia była stała;

- przyjmij do obliczeń wartość przyspieszenia ziemskiego równą 9,81 .

Zadanie 2.1. (0–2)   
 Na podstawie danych przedstawionych w opisie zadania 2. oblicz czas trwania ruchu kulki od chwili początkowej t0 = 0 do chwili pierwszego uderzenia w podłoże.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawne zastosowanie i rozwiązanie równania ruchu jednostajnie przyśpieszonego oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – zapisanie równania zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyśpieszonym prostoliniowym – łącznie z prawidłową identyfikacją drogi, przyśpieszenia i prędkości początkowej (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz (krok 1.)  
Zapiszemy wzór na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym z prędkością początkową. W naszym przypadku przebytą drogą jest wysokość h, a przyspieszeniem jest g. Do równania ruchu podstawimy dane podstawione domyślnie w jednostkach podstawowych układu SI): ]

[ Komentarz (krok 2.)

Rozwiążemy równanie kwadratowe i wybierzemy dodatnie rozwiązanie: ]

[Uwaga! Rozwiązanie równania kwadratowego można przedstawić na symbolach ogólnych:

Zadanie 2.2. (0–2)  
 Wykaż, że wartość prędkości jaką uzyskała kulka tuż przed pierwszym uderzeniem w podłoże wynosi 6,75 .

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wykazania podanej wartości prędkości oraz prawidłowe obliczenia (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – poprawne zapisanie zasady zachowania energii, łącznie z poprawnym użyciem wzorów na energię mechaniczną (w tym – potencjalną i kinetyczną) oraz poprawną identyfikacją wielkości we wzorze (np. jak w kroku 1.) lub

– skorzystanie z równania na prędkość i obliczonego czasu (np. jak w uwadze na końcu).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz (krok 1.)  
Skorzystamy – zgodnie z przyjętym modelem – z zasady zachowania energii mechanicznej. Energię mechaniczna E0 na wysokości h jest równa energii j E1 tuż przed uderzeniem w ziemię:  
Wykorzystamy wzory na energię kinetyczną i potencjalną: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Przekształcamy powyższe równanie, podstawiamy dane i wykonujemy obliczenia: ]

[ Uwaga! Wartość prędkości można obliczyć z równania na prędkość w ruchu jednostajnie przyśpieszonym, z wykorzystaniem obliczonego czasu:

Zadanie 2.3. (0–3)   
 Wyznacz wartość siły reakcji podłoża działającej na kulkę podczas zderzenia z podłożem.   
Wykorzystaj fakt, że wartość prędkości jaką uzyskała kulka tuż przed uderzeniem w podłoże wynosi 6,75 .

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda wyznaczenia wartości siły reakcji i prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1–3.).

2 pkt – skorzystanie z II zasady dynamiki, łącznie z prawidłowym zapisaniem siły wypadkowej, oraz poprawna metoda wyznaczenia prędkości kulki po odbiciu od podłoża (np. jak w kroku 1. i kroku 2.).

1 pkt – skorzystanie z II zasady dynamiki łącznie z prawidłowym zapisaniem siły wypadkowej (np. jak w kroku 1.) lub

– poprawna metoda wyznaczenia prędkości kulki po odbiciu od podłoża (np. jak w kroku 2.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz (krok 1.)  
Siłę reakcji podłoża wyznaczymy z drugiej zasady dynamiki. Zapiszemy drugą zasadę dynamiki jako związek siły wypadkowej ze zmianą wektora pędu w czasie:   
Powyższe równanie wektorowe rozpiszemy na składową wzdłuż osi pionowej. Składową wektora skierowaną do góry oznaczymy z plusem, a do dołu – z minusem. ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Obliczymy wartość prędkości kulki po odbiciu. Zapiszemy związek pomiędzy energią mechaniczną przed odbiciem i po odbiciu kulki:  
 ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczoną wartość v2 podstawimy do wzoru na siłę reakcji wyznaczonego z równań   
w kroku 1. i wykonamy obliczenia:

Zadanie 3. Zderzenie ciał

Ciało A o masie 200 g poruszało się na poduszce powietrznej bez oporów ruchu i następnie zderzyło się z początkowo nieruchomym ciałem B. Oba ciała po zderzeniu dalej poruszały się bez oporów ruchu. Ruch ciał przed i po zderzeniu odbywał się w płaszczyźnie poziomej.

Opisany ruch fotografowano z góry, a zdjęcia nałożono na siebie i uzyskano poniższy diagram. Kolejne zdjęcia wykonywano w jednakowych odstępach czasu i oznaczono numerami 1–5. Położenia ciała A w chwilach 1–5 oznaczono A1–A5, analogiczne położenia ciała B oznaczono B1–B5. (Zapis na diagramie B13 oznacza, że położenia B1–B3 się pokrywały).

A3

B13

B5

A1

A5

Przyjmij, że zilustrowany na diagramie ruch odbywa się w układzie inercjalnym w płaszczyźnie poziomej. Położenia ciał A i B opisano za pomocą współrzędnych (x, y). Współrzędne ciał A i B wyrażone w umownych jednostkach położenia podano w tabelach  
1. i 2.

Tabela 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | x | y |
| A1 | 3,5 | 25 |
| A2 | 22 | 25 |
| A3 | 40,5 | 25 |
| A4 | 49 | 17,5 |
| A5 | 57,5 | 10 |

Tabela 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | x | y |
| B13 | 41,5 | 25,5 |
| B4 | 49,5 | 31,5 |
| B5 | 57,5 | 37,5 |

Zadanie 3.1. (0–3)  
 Wykaż, że masa ciała B wynosi 250 g. Odczytaj dane z tabel 1. i 2., a następnie przeprowadź obliczenia.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia masy ciała B i prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1–3.).

2 pkt – poprawne zapisanie zasady zachowania pędu całkowitego układu, łącznie z prawidłowym wyrażeniem współrzędnych prędkości ciał A i B przed zderzeniem i po zderzeniu w umownych jednostkach (np. jak w kroku 1. i kroku 2.).

1 pkt – przyrównanie pędu ciała A przed zderzeniem do wektorowej sumy pędów ciał A i B po zderzeniu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Wykorzystamy zasadę zachowania pędu całkowitego układu: wektorowa suma pędów ciał A i B przed zderzeniem jest równa wektorowej sumie pędów ciał A i B po zderzeniu:

]

[ To oznacza, że pęd całkowity jest zachowany w kierunku x oraz w kierunku y, z czego dalej skorzystamy.]

[ Komentarz (krok 2.)   
Ustalimy współrzędne prędkości ciał A i B wyrażone w jednostkach umownych (ju). Jednostka długości wynika z jednostek, w jakich określono położenia ciał A i B w tabelach 1. i 2. Za jednostkę czasu przyjmiemy czas upływający między kolejnymi zdjęciami. Skorzystamy z wygodnego sposobu zapisu składowych wektora we współrzędnych (pierwsza w nawiasie kwadratowym to współrzędna składowej x, druga – składowej y): ]

[ Komentarz (krok 3.)

Podstawimy współrzędne prędkości do zasady zachowania pędu:

Przyrównamy współrzędne x i y pędu układu przed i po zderzeniu: ]

Zadanie 3.2. (0–3) uzasadnianie stwierdzeń  
 Ustal i zapisz, czy zderzenie było doskonale sprężyste. Powołaj się na odpowiednie prawa i zależności fizyczne oraz wykonaj niezbędne obliczenia uzasadniające twoje stwierdzenie.

Przyjmij do obliczeń masę ciała B równą 250 g.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda, prawidłowy rezultat obliczeń oraz ustalenie i zapisanie, że zderzenie nie było sprężyste (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – poprawne zapisanie i porównywanie wyrażeń opisujących całkowitą energię kinetyczną układu przed zderzeniem oraz całkowitą energię kinetyczną układu po zderzeniu, łącznie z prawidłową identyfikacją współrzędnych wszystkich prędkości (np. jak w kroku 1. i kroku 2.).

1 pkt – zastosowanie metody polegającej na sprawdzeniu, czy całkowita energia kinetyczna zostanie zachowana przy zderzeniu, czy też nie lub

– powołanie się (wystarczy opis słowny) na własność zderzenia sprężystego łącznie z identyfikacją energii mechanicznej układu jako energii kinetycznej układu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Powołamy się na własność zderzenia sprężystego.]

W zderzeniu sprężystym całkowita energia mechaniczna układu po zderzeniu byłaby równa całkowitej energii mechanicznej układu przed zderzeniem. W zderzeniu, które nie jest sprężyste, całkowita energia mechaniczna układu po zderzeniu będzie mniejsza od energii przed zderzeniem. Ponieważ ruch odbywa się w płaszczyźnie poziomej, a ciała poza zderzeniem nie oddziałują, to całkowita energia mechaniczna układu jest energią kinetyczną układu.

[ Komentarz (krok 2.)

Zapiszemy wyrażenia na energię mechaniczną układu przed i po zderzeniu:

Do obliczenia kwadratów wartości prędkości musimy ustalić współrzędne prędkości wyrażone w  jednostkach umownych ju. Za jednostkę długości przyjmiemy dane z obu tabel, a za jednostkę czasu przyjmiemy czas upływający między kolejnymi zdjęciami: ]

[ Komentarz (krok 3.)

W celu zbadania, czy energia mechaniczna układu jest zachowana, obliczymy iloraz energii po i przed zderzeniem (tak uniezależnimy wynik od jednostek, ponadto gdyby zderzenie miało być sprężyste, iloraz ten byłby równy jeden): ]

W wyniku zderzenia ciało straciło 26% energii mechanicznej. Taka rozbieżność nie może wynikać z niedokładności pomiarów z diagramu, zatem zderzenie nie było sprężyste.

Zadanie 4. Kołowrót

Dwa jednorodne walce połączono na sztywno tak, że tworzą bryłę obrotową (rysunek). Bryła ta może obracać się wokół nieruchomej poziomej osi, która pokrywa się z jej osią symetrii.   
Na walec o promieniu cm i masie  nawinięto sznurek, do którego  
przymocowano ciężarek o masie .   
Na walec o promieniu  cm i masie nawinięto sznurek, do którego przymocowano ciężarek o masie .

Rysunek. Widok z boku

m1

m2

Początki obu nierozciągliwych sznurków są przytwierdzone – odpowiednio – do każdego   
z walców, a kierunki ich nawinięcia na oba walce są przeciwne. Sznurki nawinięto prostopadle do osi walców tak, że nie zostawiono luzów. Podczas ruchu obrotowego bryły sznurki mogą nawijać się i odwijać. Układ znajduje się w ziemskim polu grawitacyjnym, przyśpieszenie ziemskie wynosi . W chwili początkowej układ jest nieruchomy.

Opisany układ odblokowano: umożliwiono połączonym walcom obracanie się wokół nieruchomej, poziomej osi. Pomiń opory ruchu oraz masę i grubość sznurków. Moment bezwładności jednorodnego walca o masie i promieniu jest równy  .

Zadanie 4.1. (0–1) uzasadnianie stwierdzeń  
 Ustal i zapisz, czy ciężarek o masie  zacznie opadać, czy zacznie się wznosić. Powołaj się na odpowiednie prawa i zależności fizyczne oraz wykonaj niezbędne obliczenia uzasadniające twoje stwierdzenie.

Zasady oceniania

1 pkt – powołanie się na porównanie momentów sił w sytuacji statycznej (lub równoważny mu warunek równowagi kołowrotu), obliczenie i porównanie momentów sił oraz poprawne stwierdzenie, że ciężarek o masie zacznie się wznosić.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Żeby stwierdzić, w którą stronę zacznie obracać się kołowrót, należy porównać momenty sił napięcia sznurów. Gdy kołowrót utrzymujemy nieruchomo (działając dodatkowym momentem siły), to siły napięcia sznurków są równe co do wartości odpowiednim siłom ciężkości ciężarków. W związku z tym momenty tych sił są w takiej sytuacji równe odpowiednio: ]

Moment siły napięcia sznurka, na którym wisi ciężarek o masie jest większy. Zatem, gdy zniknie moment siły równoważący układ, to ciężarek o masie zacznie opadać, a ciężarek o masie zacznie się wznosić (pomimo, że jest cięższy).

Zadanie 4.2. (0–4)  
 Oblicz wartość przyspieszenia ciężarka o masie .

Zasady oceniania

4 pkt – poprawna metoda obliczenia przyśpieszenia oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–4.).

3 pkt – poprawne rozwiązanie układu równań, z którego można wyznaczyć przyśpieszenie kątowe na podstawie danych w zadaniu ( np. jak w kroku 3.).

2 pkt – poprawne zapisanie trzech równań ruchu, łącznie z uwzględnieniem związków między przyśpieszeniami liniowymi a przyśpieszeniem kątowym, oraz zapisanie wzoru na moment bezwładności bryły (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – poprawne zapisanie trzech równań ruchu wyrażających drugą zasadę dynamiki: równania ruchu obrotowego bryły, równania ruchu postępowego ciężarka o masie oraz równania ruchu postępowego ciężarka o masie – łącznie z odróżnieniem przyśpieszeń liniowych obu ciężarków (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Na walec oraz ciężarki działają sznurki siłami o wartościach i . Równania ruchu ciężarków oraz walca zapisano poniżej. Uwzględnimy fakt, że ciężarek opada oraz fakt, że oba ciężarki mają przeciwne przyśpieszenia: ]

[ Komentarz (krok 2.)

Uwzględnimy związki między przyspieszeniem kątowym bryły połączonych walców i przyspieszeniami liniowymi ciężarków. Ponadto zapiszemy moment bezwładności I kołowrotu jako sumę momentów bezwładności obu walców: ]

[ Komentarz (krok 3.)   
Z powyższych równań wyznaczymy przyspieszenie kątowe bryły obrotowej: ]

[ Komentarz (krok 4.) Obliczamy : ]

GRAWITACJA I ELEMENTY ASTRONOMII

Zadanie 5. Wenus i Ziemia

Wenus i Ziemia obiegają Słońce po orbitach, które z dobrym przybliżeniem możemy uznać za kołowe. Rysunek poniżej przedstawia położenie względne orbit obu planet. Na rysunku zachowano skalę między rozmiarami orbit. Średnice okręgów na rysunku w umownej skali wynoszą: dla Wenus dW = 8,7 cm, a dla Ziemi dZ = 12,0 cm. Przyjmij do obliczeń, że okres obiegu Ziemi dookoła Słońca wynosi  = 1 rok, a każda z planet oddziałuje tylko ze Słońcem.

Opis oznaczeń na rysunku

– Wenus

– Ziemia

– Słońce

Zadanie 5.1. (0–2)  
 Oblicz okres obiegu Wenus dookoła Słońca. Wynik podaj w latach ziemskich z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyznaczenia okresu orbitalnego Wenus i prawidłowy wynik liczbowy podany w latach ziemskich.

1 pkt – zapisanie równania III prawa Keplera łącznie z prawidłową identyfikacją wielkości.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz. Promień orbity okołosłonecznej Ziemi i Wenus oznaczymy odpowiednio oraz . Zastosujemy III prawo Keplera: ]

[ Komentarz. Do obliczenia okresu orbitalnego Wenus, potrzebujemy znać stosunek promieni orbitalnych. Ponieważ rysunek wykonany jest z zachowaniem skali pomiędzy rozmiarami orbit, to stosunki promieni orbit w rzeczywistości i na rysunku są w przybliżeniu równe (i takie jak stosunki średnic).]

[ Wykonujemy obliczenia: ]

Zadanie 5.2. (0–2)

Wartość prędkości liniowej Ziemi w ruchu orbitalnym względem Słońca wynosi   
ok. 30 km/s.

Oblicz wartość prędkości liniowej Wenus w ruchu orbitalnym względem Słońca.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia prędkości Wenus i prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

1 pkt – zapisanie siły grawitacji jako siły dośrodkowej (albo wykorzystanie wzoru na prędkość orbitalną) łącznie z prawidłową identyfikacją wielkości lub

– .

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

Przykładowe rozwiązanie

[ Komentarz

Wyznaczymy wzór na prędkość orbitalną. Siła grawitacji działająca na planetę (poruszającą się po orbicie kołowej o promieniu r) od Słońca pełni rolę siły dośrodkowej, a zatem: ]

Skoro na rysunku zachowano skalę rozmiarów orbit, otrzymujemy:

Zadanie 6. Ruch po orbicie eliptycznej (0–2)  
 Ciało niebieskie o masie m krąży po wydłużonej orbicie eliptycznej dookoła innego ciała niebieskiego o masie M. Środek masy układu przypada praktycznie w środku M. Ciało M znajduje się w jednym z ognisk elipsy. Punkt orbity eliptycznej znajdujący się najbliżej środka M to perycentrum, a punkt orbity znajdujący się najdalej od środka M to apocentrum. Jeden spośród podanych poniżej opisów 1. –3. prawidłowo przedstawia opisany ruch.

Opis 1.  
Gdy ciało niebieskie o masie m zbliża się do perycentrum (jednocześnie oddalając od apocentrum) to jego prędkość rośnie, a to gdy to ciało wyminie perycentrum i następnie zbliża się do apocentrum (jednocześnie oddalając się od perycentrum), to jego prędkość maleje.

Opis 2.  
Wartość prędkości, z jaką ciało m porusza się po orbicie eliptycznej jest stała.

Opis 3.

Gdy ciało niebieskie o masie m zbliża się do perycentrum (jednocześnie oddalając od apocentrum) to jego prędkość maleje, a gdy to ciało wyminie perycentrum i następnie zbliża się do apocentrum (jednocześnie oddalając się od perycentrum), to jego prędkość rośnie.  
  
Dokończ zdanie. Zapisz właściwą odpowiedź oraz uzasadnij ją, odwołując się do odpowiednich praw lub zasad.

Ruch po orbicie eliptycznej prawidłowo przedstawia opis nr. ….

Uzasadnienie: ….

Zasady oceniania

2 pkt – poprawne wpisanie odpowiedzi oraz poprawne jej uzasadnienie odwołujące się do relacji między wielkościami wynikającymi z II zasady dynamiki lub prawa pól Keplera, lub zasady zachowania momentu pędu, lub zasady zachowania energii.

1 pkt – poprawne wpisanie odpowiedzi oraz brak uzasadniania albo uzasadnienie niepełne.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Przykładowe pełne rozwiązanie

Ruch po orbicie eliptycznej prawidłowo przedstawia opis nr 1.

Uzasadnienie:

Sposób 1. (Zastosowanie drugiej zasady dynamiki)

[ Komentarz

Porównamy zwroty wektorów: prędkości i stycznej składowej siły grawitacji, gdy ciało oddala się od masy M. ]

Zauważmy, że poza punktami perycentrum i apocentrum siła grawitacji działająca na ciało o masie m (skierowana od m do środka M) posiada składową styczną do elipsy. Gdy ciało oddala się od masy M (ruch od perycentrum do apocentrum), to styczna do elipsy składowa siły grawitacji ma przeciwny zwrot do wektora prędkości ciała poruszającego się po orbicie eliptycznej.

[ Komentarz

Wykorzystamy drugą zasadę dynamiki. ]

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki, w takiej sytuacji ciało posiada przyspieszenie (opóźnienie) w kierunku stycznym przeciwne do zwrotu prędkości. Zatem wartość prędkości od perycentrum do apocentrum maleje.

[ Komentarz   
Analogicznie opiszemy sytuację, gdy ciał zbliża się do masy M. ]

Gdy ciało porusza się od apocentrum do perycentrum (czyli zbliża do M), to styczna do elipsy składowa siły grawitacji ma ten sam zwrot co wektor prędkości ciała – a zatem prędkość ciała rośnie.

Sposób 2. (Zastosowanie zasady zachowania energii)

[ Komentarz

Wykorzystamy zasadę zachowania energii mechanicznej w ruchu ciała jedynie pod wpływem siły grawitacji. W tym celu przeanalizujemy wzór na energię mechaniczną:

Gdy ciało oddala się od centrum grawitacyjnego (masy M), to energia potencjalna rośnie (rośnie w zakresie wartości ujemnych). Ponieważ energia mechaniczna musi być zachowana, to przy wzroście energii potencjalnej maleje energia kinetyczna. To z kolei oznacza, że maleje wartość prędkości ciała. Analogicznie dowodzimy wzrostu prędkości, gdy ciało zbliża się do masy M.  
  
 Zadanie 7. Ruch Eris dookoła Słońca   
 Planeta karłowata Eris obiega Słońce po orbicie eliptycznej w czasie około 557 lat ziemskich. Prędkość planety w peryhelium ma wartość km/s, natomiast prędkość  
planety w aphelium ma wartość  km/s. Wektory prędkości planety w aphelium   
i peryhelium są prostopadłe do promienia wodzącego – łączącego planetę ze Słońcem.

Wiadomo, że III prawo Keplera – zastosowane do orbit eliptycznych – ma postać:  
gdzie a jest długością półosi wielkiej elipsy (rysunek w dodatkowej informacji poniżej).

Informacja do zadań 7.1.– 7.3.

Na rysunku poniżej przedstawiono orbitę eliptyczną ruchu ciała niebieskiego dookoła centrum grawitacyjnego, oraz oznaczono i opisano niektóre charakterystyczne punkty i odcinki opisujące geometrię takiej orbity.

Opis oznaczeń na rysunku.

F – jedno z ognisk elipsy (centrum grawitacyjne).

S – środek elipsy.

P – punkt orbity leżący najbliżej centrum grawitacyjnego.

A – punkt orbity leżący najdalej od centrum grawitacyjnego.

SP lub SA – wielka półoś orbity.

– ciało niebieskie

– centrum grawitacyjne

P

A

F

S

rP =|FP|

rA =|FA|

c = |FS|

a =|SA|=|SP|

Relacje między długościami odcinków:

Kształt orbity eliptycznej opisuje mimośród orbity, zdefiniowany jako:

Zadanie 7.1. (0–3)  
 Oblicz mimośród orbity Eris. Wykorzystaj podane informacje o elipsie oraz odpowiednie zależności lub zasady fizyczne. Wynik podaj w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda wyznaczenia mimośrodu oraz prawidłowy wynik liczbowy (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – poprawne wyrażenie wzoru na mimośród za pomocą prędkości (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – zapisanie równania zasady zachowania momentu pędu łącznie z prawidłową identyfikacją wielkości z danymi (np. jak w pierwszym wzorze w kroku 2.) lub

– częściowe wyprowadzenie wzoru na mimośród, tzn. zapisanie go za pomocą odległości (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Zapiszemy wzór na mimośród. Skorzystamy z dwóch ostatnich informacji w zadaniu. Wynik wyrazimy za pomocą stosunku odległości: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Powyższy wzór wyrazimy za pomocą prędkości. Skorzystamy z zasady zachowania momentu pędu punktu materialnego poruszającego się pod działaniem siły centralnej. Przyrównamy momenty pędu w peryhelium i aphelium: ]

[ Wyrazimy wzór na mimośród za pomocą stosunku prędkości: ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczymy mimośród orbity: ]

Zadanie 7.2. (0–2)   
 Oblicz długość półosi wielkiej a orbity eliptycznej Eris. Wykorzystaj podaną w treści zadania informację o III prawie Keplera dla orbity eliptycznej. Wynik podaj w jednostkach astronomicznych w zaokrągleniu do trzech cyfr znaczących.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyznaczenia półosi wielkiej oraz prawidłowy wynik liczbowy podany z odpowiednią dokładnością i jednostką.

1 pkt – zapisanie równania wynikającego z III prawa Keplera łącznie z prawidłową identyfikacją wielkości z danymi – dla planety Eris i dla Ziemi.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz   
Zastosujemy III prawo Keplera dla orbity eliptycznej Eris i dla orbity kołowej ziemi. Półoś wielką orbity Eris oznaczymy , a promień orbity Ziemi oznaczymy . Analogicznie oznaczymy okresy obiegu planet dookoła Słońca. Zapiszemy równanie III prawa Keplera: ]

[ Skorzystamy ze znanych parametrów ruchu Ziemi po orbicie kołowej dookoła Słońca:  
 ]

Zadanie 7.3. (0–3)   
 Wyprowadź poniższe wzory, pozwalające wyznaczyć wartości prędkości planety w punktach peryhelium i aphelium za pomocą parametrów orbity eliptycznej, masy Słońca M i stałej grawitacji G:

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda wyprowadzenia wzorów i prawidłowa postać wzorów na prędkość planety w peryhelium i aphelium (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – zapisanie zasad zachowania z prawidłowym użyciem wzorów na energie kinetyczne, potencjalne, momenty pędu, łącznie z prawidłowym oznaczeniem wielkości (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – skorzystanie z zasady zachowania momentu pędu i zasady zachowania energii mechanicznej w ruchu orbitalnym planety (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe rozwiązanie  
[ Komentarz (krok 1.)  
Wykorzystamy zasadę zachowania momentu pędu oraz zasadę zachowania energii mechanicznej. Moment pędu planety względem centrum grawitacyjnego nie zmienia się podczas jej ruchu orbitalnego, ponieważ siła grawitacji jest siłą centralną. Energia mechaniczna E planety jest stała podczas jej ruchu orbitalnego, ponieważ siła grawitacji jest siłą zachowawczą. Przyrównamy obie wielkości do siebie w punkcie peryhelium P i punkcie aphelium A: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Wykorzystamy wzory na moment pędu oraz energię mechaniczną w punktach P i A: ]

[ Komentarz (krok 3.)

Z powyższego układu równań wyznaczymy prędkości w funkcji parametrów orbity i masy Słońca: ]

Zadanie 8. Rozszerzanie się Wszechświata   
 Załóżmy, że na poniższym rysunku przedstawiono w pewnej skali położenie względem siebie trzech galaktyk α, β, γ. Odległości między tymi galaktykami są rzędu dziesiątek megaparseków. Na płaszczyźnie rysunku naniesiono siatkę ukazującą stosunki względnych odległości galaktyk. Długość boku kratki odpowiada umownej jednostce odległości. Przyjmij, że prędkości względne tych galaktyk wynikają jedynie z rozszerzania się Wszechświata.

α

β

γ

Zadanie 8.1. (0–2)  
 Oblicz stosunek wartości prędkości względnej galaktyk α i β do prędkości względnej galaktyk i γ.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawne zastosowanie prawa Hubble’a do wyrażenia prędkości względnych, prawidłowa identyfikacja wielkości z danymi oraz prawidłowy wynik liczbowy.

1 pkt – poprawne zastosowanie prawa Hubble’a.

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

Przykładowe rozwiązanie

[ Komentarz

Zastosujemy prawo Hubble’a – prędkość względna v oddalania się galaktyk (związana z rozszerzaniem się Wszechświata) jest proporcjonalna do odległości d między nimi: ]

.

[ Wielkość H jest stałą Hubble’a. Zatem stosunek prędkości względnych będzie równy stosunkowi odległości między galaktykami wyrażonymi w umownych jednostkach: ]

Zadanie 8.2. (0–1)  
 Po pewnym bardzo długim czasie (np. rzędu setek milionów lat), w wyniku rozszerzania się Wszechświata, względne położenia galaktyk α, β, γ się zmienią.   
Które z poniższych zdań prawidłowo opisuje możliwe położenia galaktyk po bardzo długim czasie? Zapisz właściwą odpowiedź wybraną spośród podanych.

A. Odległości pomiędzy galaktykami α, β, γ pozostaną takie same.  
B. Odległość pomiędzy galaktykami α, β, zwiększy się o 100% oraz odległość pomiędzy galaktykami β, γ zwiększy się o 100%.  
C. Odległość pomiędzy galaktykami α, β, zwiększy się o 100%, a odległość pomiędzy galaktykami β, γ zwiększy się o 50%.  
D. Odległość pomiędzy galaktykami α, β, zwiększy się o 100%, a odległość pomiędzy galaktykami β, γ pozostanie taka sama.  
  
 Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź.   
0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.  
  
 Rozwiązanie

B

Zadanie 9. Przesunięcie widma ku czerwieni

W pewnym miejscu w przestrzeni kosmicznej źródło wyemitowało promieniowanie

elektromagnetyczne. Fragment widma tego promieniowania zarejestrował detektor w innym

miejscu Kosmosu. Długości fal linii widmowych przedstawiono w tabeli 1. Przyjmij, że między źródłem a detektorem promieniowanie z niczym nie oddziaływało.

Oznaczenia tabeli

L – linie widmowe  
λ – długość fali w nm

Tabela 1.

|  |  |
| --- | --- |
| L | λ |
| L1 | 530 |
| L2 | 473 |
| L3 | 447 |

Naukowcy przypuszczają, że zarejestrowane promieniowanie jest emitowane przez wzbudzone atomy wodoru. Długości fal linii widmowych części widma promieniowania wodoru, zarejestrowana w układzie odniesienia, w którym próbka wodoru spoczywa

przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2.

|  |  |
| --- | --- |
| L | λ |
| L1Z | 486 |
| L2Z | 434 |
| L3Z | 410 |

Długości fal linii widmowych podanych w tabeli 1. są wprost proporcjonalne do tych z tabeli 2. Odpowiadające sobie linie widmowe oznaczono: L1 i L1*Z*; L2 i L2*Z*; L3 i L3*Z*.

Informacja do zadań 9.1.– 9.3.  
 Gdy źródło Z fali elektromagnetycznej porusza się względem obserwatora O (detektora) wzdłuż prostej OZ z prędkością o wartości v, to występuje efekt Dopplera. Częstotliwość , jaką odbiera obserwator (detektor), jest dana dokładnym wzorem:

gdzie c jest prędkością światła, a jest częstotliwością emitowanego promieniowania w układzie spoczynkowym źródła. Powyższe wzory są słuszne dla dowolnej v < c.

Zadanie 9.1. (0–1)   
 Na podstawie danych przedstawionych w tabelach 1. i 2. wykaż, że źródło promieniowania oddala się od detektora. Powołaj się na odpowiednie prawa i zależności fizyczne oraz określ niezbędne relacje uzasadniające twoje stwierdzenie.

Zasady oceniania

1 pkt – stwierdzenie, że albo oraz odwołanie się do wzorów Dopplera (dla częstotliwości lub długości fali).

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne lub niepełne albo brak rozwiązania.

Przykładowe rozwiązanie

Analizujemy dane z tabel. Długości fal odpowiadające liniom widmowym z tabeli 1. są wprost proporcjonalne do długości fal z tabeli 2., a współczynnik proporcjonalności wynosi około 1,09. Dla każdej pary linii zachodzi:

Z tej relacji oraz ze związku wynika, że:

Zatem częstotliwość promieniowania zarejestrowanego od ruchomego źródła jest mniejsza od częstotliwości promieniowania w układzie spoczynkowym źródła. Zgodnie ze wzorami Dopplera, to oznacza, że źródło fali oddala się.

Zadanie 9.2. (0–3)   
 Oblicz prędkość oddalania się źródła promieniowania od obserwatora (detektora).  
  
 Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia prędkości oddalania źródła oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – wyprowadzenie wzoru Dopplera z długościami fal oraz prawidłowe podstawienie odpowiednich długości fal lub

– wyznaczenie prędkości oddalania się źródła w funkcji długości fal (np. jak w kroku 2.).

1 pkt – poprawna metoda wyprowadzenia wzoru Dopplera z długościami fal dla oddalającego się źródła, tzn.: zastosowanie podanego wzoru Dopplera z częstotliwościami łącznie z zastosowaniem związku falowego (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)  
Zastosujemy wzór na efekt Dopplera dla światła, w przypadku, gdy źródło fali oddala się. W tym celu przekształcimy podany wzór z częstotliwościami na wzór z długościami fal. Skorzystamy ze związku między długością fali, jej częstotliwością oraz prędkością: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Z powyższego wzoru wyznaczymy prędkość oddalania się źródła w funkcji długości emitowanej i rejestrowanej fali: ]

[ Do obliczenia v z powyższego wzoru wykorzystamy długość fali promieniowania w układzie źródła (z tabeli 2.) i rejestrowanego przez detektor (tabeli 1.). Do obliczeń możemy wykorzystać dowolną parę linii widmowych. ]

[ Komentarz (krok 3.)

Odczytujemy dane z tabel i podstawiamy do wyprowadzonego wzoru: ]

Sposób 1. Obliczenia dla linii L1Z i L1:

Sposób 2. Obliczenia dla linii L2Z i L2:

Sposób 3. Obliczenia dla linii L3Z i L3:

Zadanie 9.3. (0–2)  
 Na podstawie wyników pewnej obserwacji – podobnej do tej opisanej w informacji wstępnej do zadania 9. – naukowcy obliczyli, że inne badane źródło promieniowania oddala się od obserwatora z prędkością około 26 000 km/s. Przyjmij, że w tym przypadku ruch względny źródła i detektora wynika tylko z rozszerzania się Wszechświata.

Oszacuj odległość między źródłem tego promieniowania i detektorem.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia odległości oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

1 pkt – poprawne zastosowanie prawa Hubble’a, łącznie z prawidłową identyfikacją wielkości z danymi oraz stałymi.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz

Do obliczenia odległości d, pomiędzy źródłem a detektorem, zastosujemy prawo Hubble’a: ]

[ gdzie H jest stałą Hubble’a odczytaną z tablic, a v jest prędkością względną źródła i detektora: ]

DRGANIA, FALE I OPTYKA

Zadanie 10. Fala płaska   
 Fala dźwiękowa płaska przechodzi przez nieruchomą granicę ośrodków z ośrodka 1. do ośrodka 2. Prędkość fali w ośrodku pierwszym jest prostopadła granicy ośrodków 1. i 2. Wartość prędkości fali w ośrodku 1. jest większa od wartości prędkości fali w ośrodku 2.  
  
 Zadanie 10.1. (0–1)  
 Oceń prawdziwość podanych zdań. Po każdym numerze zdania zapisz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1. Natężenie fali padającej na granicę ośrodków jest zawsze równe natężeniu fali, która przeszła do ośrodka drugiego.  
2. Długość fali padającej na granicę ośrodków jest zawsze równa długości fali, która przeszła do ośrodka drugiego.  
3. Częstotliwość fali padającej na granicę ośrodków jest zawsze równa częstotliwości fali, która przeszła do ośrodka drugiego.

Zasady oceniania

1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Rozwiązanie  
1. F, 2. F, 3. P

Zadanie 10.2 (0–2)

Prędkość fali w ośrodku 1. ma wartość  m/s. Długość fali w ośrodku 1. jest równa

 m, a długość fali w ośrodku 2. jest równa m.

Oblicz wartość prędkości fali w ośrodku 2. Wynik podaj w m/s w zaokrągleniu do trzech

cyfr znaczących.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia prędkości fali: wyprowadzenie zależności , wyznaczenie wartości liczbowej stosunku długości fal oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką: 1 900 m/s.

1 pkt – wyprowadzenie zależności (lub równoważnej).

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

Przykładowe rozwiązanie  
[ Komentarz  
Zapiszemy stosunek wartości prędkości i wykorzystamy związek między prędkością fali, jej długością oraz częstotliwością. Kluczowym będzie fakt, że częstotliwość fali przy przejściu przez granicę ośrodków nie zmienia się: ]

[Komentarz

Stosunki długości fal są równe. ]

[ Obliczamy prędkość fali w ośrodku 2.: ]

Zadanie 10.3. (0–3)   
 Fala płaska pada na granicę ośrodków 1. i 2., ale tym razem w sposób przedstawiony na rysunku poniżej. Powierzchnie falowe są nachylone do granicy ośrodków pod kątem w ośrodku 1. i pod kątem w ośrodku 2.

Opis oznaczeń na rysunku  
Punkty A, B to punkty przecięcia powierzchni falowej i kierunku biegu fali w ośrodku 1.,   
a punkty C, D to punkty przecięcia powierzchni faliowej i kierunku biegu fali w ośrodku 2.

– granica ośrodków 1. i 2.  
  
 – powierzchnie falowe  
   
 – kierunek biegu fali przez oba ośrodki

A

B

D

C

Wartości prędkości fali w obu ośrodkach wynoszą odpowiednio v1 i v2. Prawo załamania fali na granicy tych ośrodków opisano wzorem wyrażającym prawo Snelliusa:

Wyprowadź powyższy wzór. Wykorzystaj obraz powierzchni falowych przedstawiony na rysunku, zależności pomiędzy parametrami fali oraz związki matematyczne.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawne wykazanie żądanej zależności: wykazanie, że stosunek sinusów i stosunek prędkości są sobie równe lub równe odpowiedniemu stosunkowi długości fal.

2 pkt – doprowadzenie do wyrażenia stosunku sinusów jako ilorazu długości fal (np. jak w krokach 1.–3.) oraz zapisanie związku dla prędkości fali w obu ośrodkach  
lub  
– doprowadzenie do wyrażenia (np. jak w kroku 4.) oraz zapisanie stosunku sinusów jako ilorazu odpowiednich odcinków (np. jak w kroku 1.).

1 pkt – zapisanie związków (np. jak w kroku 1. i kroku 2.) pozwalających wyrazić stosunek sinusów jako iloraz odpowiednich długości fal lub

– zapisanie związków (np. jak w kroku 4.) pozwalających otrzymać równanie .

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

Przykładowe rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Zapiszemy wzory na sinus kąta oraz kąta z użyciem oznaczeń na rysunku, następnie wyrazimy stosunek sinusów za pomocą ilorazu długości odpowiednich odcinków: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Długości odpowiednich odcinków wyrazimy przez długości fal w obu ośrodkach: ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Stosunek sinusów wyrazimy przez stosunek długości fal: ]

[ Komentarz (krok 4.)  
Wykorzystamy związek oraz fakt, że częstotliwość fali w obu ośrodkach jest taka sama, do wyrażenia stosunku prędkości przez stosunek długości. ]  
  
Komentarz krok 5. Wykorzystamy zależności otrzymane w kroku 3. i kroku 4.: ]

Zadanie 11. Soczewka (0–1) Na rysunku poniżejprzedstawiono fragment biegu jednego z promieni światła wychodzącego z punktu P i przechodzącego przez cienką soczewkę skupiającą.

P

Na którym z rysunków A–C przedstawiono prawidłową konstrukcję ogniska soczewki? Zapisz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Na rysunkach A–C użyto następujących oznaczeń

– bieg promienia

– oś optyczna soczewki

– punkt P

– obraz punktu P  
  
 – ognisko soczewki

A.

P

B.

P

C.

P

Zasady oceniania

1 pkt – poprawny wybór rysunku

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Rozwiązanie

B

Zadanie 12. Światłowód   
 Do przesyłania informacji za pomocą światła stosuje się światłowody. W klasycznym światłowodzie wyróżniamy dwa obszary – centralnie położony rdzeń wykonany ze szkła o współczynniku załamania światła oraz otaczający go płaszcz o współczynniku załamania światła .   
  
Powierzchnia czołowa rdzenia światłowodu stanowi granicę dwóch ośrodków – powietrza o współczynniku załamania = 1 i szkła, z którego wykonano rdzeń. Dzięki odpowiednio dobranym współczynnikom oraz możliwe jest wprowadzenie wiązki światła do rdzenia światłowodu i przez wielokrotne odbicie tej wiązki w rdzeniu przesłanie informacji na duże odległości, wzdłuż toru o dowolnym kształcie, bez wyraźnych strat i zakłóceń.  
  
Rysunki poniżej przedstawiają bieg promienia padającego na czoło światłowodu pod kątem (rysunek 1.), bieg promienia przez światłowód (rysunek 2.).

Na rysunkach 1.– 2. użyto następujących oznaczeń

– płaszcz światłowodu ()

– rdzeń światłowodu ()

– promień światła

– normalna, prostopadła do powierzchni ośrodków

n0 – współczynnik załamania światła w powietrzu  
n1 – współczynnik załamania światła w szkle

Rysunek 1. Bieg promienia padającego na czoło światłowodu pod kątem

Rysunek 2. Bieg promienia przez światłowód oraz opuszczającego światłowód.

W pewnym światłowodzie kąt graniczny (dla przejścia rdzeń – płaszcz) jest równy  = 58°, natomiast odpowiednie kąty oznaczone na rysunku 1. wynoszą:  = 65° oraz  = 60°.

Zadanie 12.1. (0–3)   
 Oblicz bezwzględny współczynnik załamania światła w materiale, z którego wykonano płaszcz światłowodu opisanego w zadaniu 12.   
  
 Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia oraz prawidłowa wartość współczynnika załamania (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – poprawne zapisanie związków między a oraz między a , łącznie z prawidłową identyfikacją kątów (np. jak w krokach 1. i 2.).

1 pkt – poprawne zapisanie związków między a (warunku na kąt graniczny), łącznie z prawidłową identyfikacją kątów (np. jak w kroku 1.) lub

– prawidłowe wyznaczenie współczynnika (np. jak w kroku 2.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Wykorzystamy informację o kącie granicznym i zapiszemy związek między współczynnikami załamania światła w rdzeniu i płaszczu oraz kątem granicznym dla przejścia rdzeń – płaszcz: ]

[ Komentarz (krok 2.)

Do wyznaczenia potrzebujemy znać . Ten współczynnik wyznaczymy na podstawie danych kątów padania i załamania na powierzchni czoła światłowodu: ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Łączymy zależności otrzymane w kroku 1. oraz kroku 2. i obliczamy : ]  
Sposób 1.

Sposób 2.

[ Komentarz

Zapiszemy na symbolach zależności opisane w kroku 1. i kroku 2. w sposobie 1. rozwiązania: ]

[ Z powyższych dwóch równań wyznaczymy względem pozostałych wielkości, następnie podstawimy dane i obliczymy wartość tego współczynnika. ]

Zadanie 12.2. (0–3)   
 Foton biegnący w światłowodzie przebywa dłuższą drogę niż wynosi długość światłowodu. Prędkość światła w rdzeniu światłowodu oraz prędkość przenoszenia sygnału przez światłowód się różnią. Przyjmij, że rdzeń światłowodu wykonano z materiału, dla którego współczynnik załamania światła wynosi = 1,8, a kąt, pod jakim odbija się promień światła w rdzeniu od płaszcza światłowodu wynosi  = 60° (jak na rysunku w treści zadania).

Oblicz czas t, w jakim zostanie przekazany sygnał wzdłuż tego światłowodu o długości s = 100 km. Wynik podaj w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda oszacowania oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

2 pkt – poprawna metoda obliczenia oraz zapisanie związku między czasem a prędkością sygnału i długością światłowodu (np. jak wkrokach 1.–3.).

1 pkt – zapisanie związku między czasem, prędkością sygnału a długością światłowodu oraz zapisanie związku trygonometrycznego między prędkością światła w światłowodzie a prędkością sygnału i kątem odbicia (np. jak w krokach 1. i 2.) lub

*–*poprawna metoda wyznaczenia : zapisanie związku trygonometrycznego między prędkością światłą w światłowodzie a prędkością sygnału i kątem odbicia (np. jak w kroku 2.) oraz zapisanie zależności definiującej współczynnik .

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[Komentarz  
Zaznaczono kąt, pod jakimi odbija się promień światła w światłowodzie oraz oznaczono wektor prędkości światła w rdzeniu (), a także wektor prędkości rozchodzenia się sygnału w światłowodzie (w kierunku światłowodu).]

60°

30°

[ Komentarz (krok 1.)   
Zapiszemy związek między czasem, prędkością sygnału oraz długością światłowodu: ]

[ Komentarz (krok 2.)

Zapiszemy związek między oraz : ]

[ Komentarz (krok 3.)

Zapiszemy związek między  oraz i (definiujący ) i obliczymy prędkość sygnału w światłowodzie: ]

Zatem:

[ Komentarz (krok 4.)

Obliczymy czas t przekazania sygnału wzdłuż światłowodu: ]

Zadanie 13. Wzmocnienie natężenia dźwięku od dwóch głośników (0–4)   
 W wysokiej hali zawieszono obok siebie dwa identyczne głośniki. Każdy z nich emituje z tą samą mocą kulistą falę dźwiękową o częstotliwości 440 Hz.

Gdy włączono tylko jeden głośnik, to w odległości  = 1 m od tego głośnika natężenie emitowanego przez niego dźwięku było równe  = 0,1 W/m2.

Następnie włączono oba głośniki i zarejestrowano natężenie wypadkowej fali dźwiękowej (pochodzącej od obu włączonych głośników) w punkcie P odległym o  = 2,5 m od każdego z głośników. Membrany głośników drgają zgodnie w fazie. Pomiń wpływ innych źródeł dźwięku, a także efekty związane z odbiciem fal oraz z ich tłumieniem w powietrzu.

Oblicz natężenie dźwięku w punkcie P.

Zasady oceniania

4 pkt – poprawna metoda obliczenia oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

3 pkt – zapisanie zależności równoważnych , (np. jak w krokach 1.–3.)– łącznie z prawidłowym podstawieniem danych.

2 pkt – zapisanie zależności równoważnej oraz zauważenie, że w odległości od każdego z głośników zachodzi interferencja konstruktywna i amplitudy się dodadzą (np. jak w krokach 1. i 2.) lub

– zapisanie zależności równoważnej oraz zapisanie zależności równoważnej (np. jak w krokach 3. i 1.).

– zapisanie zależności równoważnej (np. jak w krokach 2. i 3.).

Uwaga! Zapisanie, że natężenie fali wypadkowej jest sumą natężeń od obu głośników jest błędem i jest sprzeczne z kryterium za 2 pkt.

1 pkt – wykorzystanie zależności natężenia fali kulistej od odległości od źródła i zapisanie wyrażenia, z prawidłową identyfikacją wielkości z danymi, pozwalającego wyznaczyć  (np. jak w kroku 1.) lub

– wykorzystanie proporcjonalności natężenia fali do kwadratu amplitudy fali i zapisanie wyrażenia pozwalającego wyznaczyć ze stosunku amplitud oraz (np. jak w kroku 3.) lub

– zauważenie, że w odległości od każdego z głośników zachodzi interferencja konstruktywna i amplitudy się dodadzą, oraz zapisanie (np. jak w kroku 2.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

Wprowadzimy oznaczenia wielkości, których nie wymieniono w treści zadania:

– natężenie dźwięku pochodzące od jednego głośnika, określone w punkcie P.

– amplituda fali dźwiękowej pochodzącej od jednego głośnika, określona w punkcie P.

– amplituda wypadkowej fali dźwiękowej pochodzącej od dwóch głośników, określona w punkcie P.

[ Komentarz (krok 1.)

Wyznaczymy korzystając z zależności natężenia fali kulistej od odległości od źródła:

[ Komentarz (krok 2.)   
Stwierdzamy – zgodnie z warunkiem interferencji konstruktywnej – że, gdy działają oba głośniki (zgodnie w fazie), to amplituda fali wypadkowej w punkcie odległym o od każdego z głośników jest sumą amplitud fal pochodzących od każdego głośnika osobno (drogi obu fal są równe). Uwaga: natężenie fali wypadkowej nie jest zwykłą sumą natężeń fal pochodzących osobno od obu głośników! Zapiszemy, że: ]

[ Komentarz (krok 3.)   
Wykorzystamy proporcjonalność natężenia fali do kwadratu amplitudy tej fali:

]

[ Komentarz (krok 4.)

Obliczamy : ]

Zadanie 14. Polaryzacja światła (0–3)   
 Wiązka niespolaryzowanego światła pada na pierwszy polaryzator liniowy. Po przejściu przez ten polaryzator natężenie spolaryzowanej liniowo fali elektromagnetycznej jest równe  = 20 W/m2. Amplitudę wektora natężenia pola elektrycznego po przejściu przez pierwszy polaryzator oznaczymy jako . Następnie światło tak spolaryzowane pada prostopadle na drugi polaryzator liniowy, którego płaszczyzna polaryzacji P2 jest ustawiona pod kątem do płaszczyzny polaryzacji P1 pierwszego polaryzatora. Amplitudę wektora natężenia pola elektrycznego po przejściu przez drugi polaryzator oznaczymy jako .

Jak przedstawiono na poniższym rysunku, jest rzutem wektora na P2.

P2

60°

90°

P1

Uwaga! Słowo „natężenie” pojawiające się w treści i poleceniu dotyczy dwóch różnych wielkości: natężenia fali elektromagnetycznej oraz natężenia pola elektrycznego.

Oblicz natężenie fali elektromagnetycznej po przejściu przez drugi polaryzator.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia natężenia światła po przejściu przez polaryzatory oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w kroku 3.).

2 pkt – zapisanie zależności równoważnej oraz prawidłowe wyrażenie wartości amplitudy wektora natężenia pola elektrycznego poprzez (np. jak w krokach 1.   
i 2.).

1 pkt – wykorzystanie proporcjonalności natężenia fali do kwadratu amplitudy fali i zapisanie wyrażenia równoważnego wyrażeniu (np. jak w kroku 1.) lub

– poprawne wyrażenie wartości amplitudy wektora natężenia pola elektrycznego poprzez (np. jak w kroku 2.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Amplituda fali elektromagnetycznej, to amplituda zmian wektora natężenia pola elektrycznego:

Wykorzystamy proporcjonalność natężenia fali do kwadratu jej amplitudy:

czyli

Zatem:]

[ Komentarz (krok 2.)

Wyrazimy wartość amplitudy wektora natężenia pola elektrycznego poprzez : ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczymy wartość liczbową : ]

ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM

Zadanie 15. Indukcja elektrostatyczna  
 Uczniowie wykonali dwa doświadczenia: D1 i D2. Na początku każdego z doświadczeń umieścili metalowy klocek na nieprzewodzącej podstawie.   
W doświadczeniu D1 całkowity ładunek elektryczny klocka wynosił 0.   
W doświadczeniu D2 całkowity ładunek elektryczny klocka był uczniom nieznany.  
  
W obu doświadczeniach do klocka (z jego prawej strony) powoli zbliżono na niewielką odległość lekką kulkę wykonaną z izolatora i naładowaną dodatnio. Kulka była zawieszona na izolującej nici. Podczas obu doświadczeń kulka i klocek się nie dotykały. Po zbliżeniu kulki do klocka uczniowie obserwowali jej zachowanie się oraz analizowali oddziaływanie kulki z klockiem.

Zadanie 15.1. (0–1)  
 Dokończ zdanie. Zapisz odpowiedź A, B albo C oraz odpowiedź 1., 2. albo 3.

W doświadczeniu D1, po zbliżeniu kulki do klocka, na jego powierzchni  
A. nie powstaną żadne ładunki,  
B. z prawej strony (bliżej kulki) wystąpią ładunki ujemne, a z lewej – dodatnie,  
C. z lewej strony (dalej od kulki) wystąpią ładunki ujemne, a z prawej – dodatnie,  
a kulka

1. nie oddziałuje z klockiem  
2. jest przyciągana przez klocek  
3. jest odpychana przez klocek 

Zasady oceniania

1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Pełne rozwiązanie  
B2  
  
 Zadanie 15.2. (0–2)  
 W doświadczeniu D2, po zbliżeniu kulki do klocka na pewną odległość, zaobserwowano, że kulka nie jest ani przyciągana ani odpychana przez klocek.

Ustal i zapisz, czy ładunek całkowity klocka jest dodatni, ujemny czy równy 0. Powołaj się na odpowiednie prawa lub zasady fizyczne oraz przedstaw logiczny tok rozumowania uzasadniający twoje stwierdzenie.

Ładunek całkowity klocka: ….  
Uzasadnienie: ….  
  
 Zasady oceniania

2 pkt – poprawna odpowiedź i poprawne uzasadnienie. Uzasadnienie musi odwoływać się do: 1) rozkładu ładunków na obie strony przewodnika, 2) równowagi sił działających na kulkę od ładunków dodatnich i ujemnych, 3) zależności oddziaływania od odległości.

1 pkt – poprawna odpowiedź i brak lub niepełne uzasadnienie.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Przykładowe pełne rozwiązanie  
Ładunek całkowity klocka: dodatni  
Uzasadnienie:   
Sposób 1.

Jeżeli kulka nie jest przyciągana ani odpychana przez metalowy klocek, to oznacza, że siła przyciągania od ładunków ujemnych zgromadzonych na powierzchni po prawej stronie klocka równoważy siłę odpychania od ładunków dodatnich, które występują po lewej stronie klocka. Ponieważ ładunki dodatnie w klocku są dalej od kulki niż ładunki ujemne, to musi być ich więcej od ujemnych, aby siła odpychania równoważyła siłę przyciągania.

Sposób 2. (eksperyment myślowy)

Załóżmy, że całkowity ładunek klocka jest równy 0. W takiej sytuacji dodatnio naładowana kulka zostanie przyciągnięta, ponieważ ładunki elektryczne ujemne zgromadzą się na powierzchni klocka od strony kulki.

[ Komentarz

W takiej sytuacji wypadkowa siła przyciągania działająca na kulkę od położonych bliżej ładunków ujemnych ma większą wartość od wypadkowej siły odpychania od położonych dalej ładunków dodatnich (o tej samej wartości co ujemnych). Zatem wypadkowa siła oddziaływania od wszystkich ładunków będzie przyciągająca. ]

Wyobraźmy sobie teraz, że klocek ładujemy dodatnio, powoli i w sposób ciągły. W takiej sytuacji wypadkowa siła przyciągająca kulkę maleje w sposób ciągły, ponieważ wzrasta wkład sił odpychania od ładunków dodatnich. Wartość siły przyciągającej maleje w sposób ciągły wraz ze wzrostem ładunku dodatniego i w pewnym momencie osiąga wartość 0.

[Komentarz

Dalsze dodatnie ładowanie klocka poskutkuje powstaniem siły wypadkowej o odpychającym charakterze. ]

Zadanie 16. Indukcja elektromagnetyczna   
 Magnes sztabkowy zwrócony północnym biegunem N do aluminiowego pierścienia oddala się od niego z prędkością pionowo w górę, wzdłuż linii prostej będącej osią symetrii pierścienia. Na poniższym rysunku przedstawiono widok (rzut) pierścienia z góry.   
  
Magnes oddala się od pierścienia. Punkt A leży na osi symetrii w środku pierścienia. W chwili w punkcie A wektor indukcji magnetycznej , pochodzącej od magnesu, posiada kierunek pionowy, zwrot w dół. Przyjmij, że kształt linii pola jest symetryczny względem osi symetrii. Pomiń wpływ innych pól.

A

Zadanie 16.1. (0–2)

Oceń prawdziwość podanych zdań. Po każdym numerze zdania zapisz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.  
  
1. W sytuacji, gdy magnes oddala się od pierścienia, to pierścień i magnes przyciągają się wzajemnie.  
2. Zwrot indukowanego prądu w pierścieniu zależy od zwrotu prędkości magnesu.  
3. Odpowiednio silne pole magnetyczne pochodzące od magnesu spoczywającego względem pierścienia indukuje prąd elektryczny w pierścieniu.  
4. Natężenie prądu indukowanego w pierścieniu zależy od wartości prędkości magnesu.

Zasady oceniania  
2 pkt – poprawne zapisanie wszystkich odpowiedzi.  
1 pkt – poprawne zapisanie odpowiedzi w zdaniach 1. i 2. lub w zdaniach 3. i 4.  
0 pkt – odpowiedź całkowicie niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.  
  
 Pełne rozwiązanie  
1.P, 2.P, 3.F, 4.P  
  
 Zadanie 16.2. (0–1)  
 Dokończ zdanie. Zapisz odpowiedź A albo B oraz odpowiedź 1. albo 2.

Pierścień wytworzy takie indukowane pole magnetyczne, które od strony oddalającego się magnesu (czyli przed płaszczyzną rysunku), posiada  
A. południowy biegun magnetyczny,  
B. północny biegun magnetyczny,  
a prąd indukowany w pierścieniu płynie  
1. zgodnie z ruchem wskazówek zegara.  
2. przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Zasady oceniania

1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Pełne rozwiązanie  
A1

Zadanie 17. Badanie własności baterii płaskiej   
 Uczniowie wykonali doświadczenie, w którym wyznaczali siłę elektromotoryczną 𝓔 baterii oraz jej opór wewnętrzny Rw. W tym celu zbudowali obwód złożony z tej baterii, woltomierza, amperomierza, opornika z przesuwanym suwakiem oraz wyłącznika K (jak na rysunku 1.).

Przyjmij, że opór suwaka jest równy 0. Węzły obwodu oznaczono symbolami X, Z.

Na rysunku 1. użyto następujących oznaczeń

A

– amperomierz

– opornik z suwakiem

V

– woltomierz

– źródło napięcia

– wyłącznik

K

Rysunek 1.

Y

X

Z

K

V

A

𝓔, Rw

Następnie, dla różnych położeń suwaka na oporniku, uczniowie mierzyli natężenie I prądu przepływającego przez opornik oraz napięcie U na tym oporniku. Wyniki pomiarów uczniowie przedstawili na wykresie na rysunku 2. – uczniowie nanieśli na wykres punkty pomiarowe

i dopasowali do nich prostą. Na osi poziomej znajduje się natężenie wyrażone mA, a na pionowej napięcie wyrażone w V.

Rysunek 2.

5,0  
  
4,5  
  
4,0  
  
3,5  
  
3,0

0 200 600 1000

Zadanie 17.1. (0–2)  
 Wykaż, że napięcie UXZ pomiędzy punktami X i Z (na rysunku 1.) jest równe napięciu UXY na części opornika pomiędzy punktami X i Y. Powołaj się na odpowiednie zależności fizyczne, uzasadniające to stwierdzenie.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawne wykazanie, że *,* tzn. wykazanie, że napięcie pomiędzy Y a Z jest równe 0, łącznie z powołaniem się na zasadę dodawania napięć na elementach obwodu połączonych szeregowo.

1 pkt – stwierdzenie, że od punktu Y cały prąd płynie przez suwak lub

– wyznaczenie oporu zastępczego RzastYZ oraz wykazanie, że jest on równy 0 lub

– zapisanie albo stwierdzenie, że , oraz zastosowanie związku między napięciem, oporem a natężeniem prądu.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

Sposób 1. (Wyjaśnienie słowne)

Ponieważ suwak nie ma oporu, to cały prąd od punktu Y do Z przepłynie przez suwak. Oznacza to jednocześnie, że prąd nie płynie przez opornik od punktu Y do Z. Zatem napięcie między Y a Z wynosi 0. Ponieważ napięcia wzdłuż gałęzi obwodu się dodają, to całe napięcie między X a Z jest równe napięciu między X a Y .

[ Komentarz

]

Sposób 2. (Obliczanie oporu zastępczego)

[ Komentarz

Napięcie między punktami X, Z jest sumą napięć między punktami X, Y oraz Y, Z: ]

[ Obliczymy opór zastępczy dla prądu od punktu Y do Z: ]

[ Zastosujemy związek między napięciem, oporem a natężeniem prądu: ]

Dodatkowa informacja do zadań 17.2–17.4.  
 Na podstawie modelu zjawiska uczniowie przyjęli, że zależność U(I), badana w opisanym doświadczeniu, jest liniowa, tzn. opisuje ją wyrażenie:   
 dla pewnych współczynników a i b  
  
 Zadanie 17.2. (0–2)   
 Na podstawie wykresu na rysunku 2. odczytaj i oblicz współczynniki a i b tej prostej. Zapisz niezbędne obliczenia.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyznaczenia obu współczynników oraz prawidłowe ich wartości z jednostkami.

1 pkt – prawidłowe obliczenie wartości współczynnika (wraz z jednostką) na podstawie danych odczytanych z wykresu. Obliczona wartość współczynnika musi się mieścić wprzedziale od –1,5 Ω do –1,1 Ω lub

– prawidłowe wyznaczenie wartości współczynnika (wraz z jednostką) na podstawie danych odczytanych z wykresu. Wyznaczona wartość współczynnika musi się mieścić w przedziale od 4,6 V do 5,0 V.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz   
Do obliczenia wybieramy dwa punkty leżące na prostej. Następnie zapiszemy ich współrzędne: P1 ≈ (0,200 A; 4,5 V), P2 ≈ (1,000 A; 3,5 V). Z tych punktów obliczamy współczynnik kierunkowy : ]

[ Współczynnik wyznaczymy odczytując rzędną punktu przecięcia wykresu z osią U: ]

Zadanie 17.3. (0–2)   
 Uczniowie dorysowali na wykresie dwie dodatkowe proste o możliwie największym i najmniejszym nachyleniu. Obie proste dopasowali do punktów pomiarowych w granicach niepewności. Następnie wyznaczyli współczynniki a i b tych prostych i zapisali ich równania:

Wyznacz niepewności ∆a oraz ∆b współczynników a i b w równaniu prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych. Zapisz obliczenia niepewności.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyznaczenia niepewności obu współczynników oraz prawidłowe wartości liczbowe podane z jednostkami.

1 pkt – poprawna metoda wyznaczenia niepewności jednego ze współczynników oraz prawidłowa wartość liczbowa podana z jednostką.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Niepewności obu współczynników określimy ze wzorów:

gdzie

]

Zadanie 17.4. (0–2)   
 Przyjmij, że współczynniki a i b w równaniu prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych w opisanym doświadczeniu wynoszą:

Na podstawie teoretycznego modelu badanego zjawiska oraz wyników doświadczenia wyznacz opór wewnętrzny Rw i siłę elektromotoryczną 𝓔 baterii. Zapisz odpowiednie zależności fizyczne. Wyniki zapisz z uwzględnieniem niepewności pomiarowych.  
  
 Zasady oceniania

2 pkt – zapisanie równania , poprawna identyfikacja wielkości i ze współczynnikami prostej oraz prawidłowy zapis wyników wraz z jednostkami i uwzględnieniem niepewności (np. jak w kroku 1. i kroku 2.).

1 pkt – wyznaczenie równania równoważnego równaniu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Wyznaczymy U(I) z modelu zjawiska. W tym celu wykorzystamy II prawo Kirchhoffa dla obwodu oraz związek między napięciem, oporem a natężeniem:

]  
Zapiszemy związek U(I):

[ Komentarz (krok 2.)  
Zestawimy wynik doświadczenia z modelem zjawiska. W tym celu przyrównamy zależność U(I) otrzymaną w doświadczeniu z zależnością U(I) przewidzianą przez model zjawiska:

Identyfikujemy współczynniki prostej z wielkościami w równaniu U(I): ]   
Zapiszemy wyniki z uwzględnieniem niepewności:

Zadanie 18. Mostek Wheatstone’a

Przedstawiony poniżej obwód (tzw. mostek Wheatstone’a) jest wykorzystywany do wyznaczania nieznanego oporu . Mostek zawiera dwie gałęzie obwodu oznaczone ABC  
i ASC oraz źródło napięcia U zasilającego obwód.

Gałąź ABC to połączone szeregowo dwa oporniki: jeden o nieznanym oporze i drugi o znanym oporze .

Gałąź ASC, między węzłami A i C, to jednorodny drut oporowy, którego opór na jednostkę długości jest stały.

Opis oznaczeń obwodu

A

– drut oporowy

– oporniki Rx i R

U

– amperomierz

– źródło napięcia

R

U

A

B

C

S

A

Wyznaczanie oporu polega na takim dobraniu położenia suwaka, aby amperomierz dołączony między punktami B i S wskazywał 0 – wtedy napięcie między tymi punktami także jest równe 0.   
  
W takiej sytuacji (tzw. zrównoważenia mostka) spełnione jest równanie:  
gdzie  
– długość od początku drutu oporowego do punktu S.  
– długość od punktu S do końca drutu oporowego.   
Z powyższego wzoru można wyznaczyć , gdy znany jest opór oraz zmierzono długości i .

Zadanie 18.1. (0–1)   
 Natężenie prądu płynącego przez któryś z oporników mostka oznaczymy indeksami (np. IAB, ISC, itp.) wskazującymi na to, pomiędzy którymi punktami mostka jest dany opornik.

Dokończ zdanie. Zapisz odpowiedź A, B albo C oraz odpowiedź 1., 2. albo 3.  
  
Prawidłowe relacje pomiędzy natężeniami prądów płynących przez poszczególne oporniki mostka w sytuacji jego zrównoważenia, to  
A.  
B.

C.  
oraz  
1.   
2.   
3.

Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź.   
0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.  
  
 Pełne rozwiązanie  
C3  
  
 Zadanie 18.2. (0–2)   
 Wyprowadź wzór podany we wstępie do zadania 18. Powołaj się na odpowiednie zależności lub prawa fizyczne, niezbędne do wyprowadzenia tego wzoru.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyprowadzenia równania (np. jak w krokach 1.–3.).

1 pkt – wyprowadzenie (lub zauważenie) i zapisanie faktu, że napięcia na oporach  i są sobie równe oraz że napięcia na oporach i  są sobie równe (np. jak w kroku 1.) lub

– zauważenie i zapisanie faktu, że przez opory i płynie prąd o takim samym natężeniu, np. , oraz skorzystanie ze związku między napięciem, natężeniem prądu a oporem – do zapisania napięć na tych oporach (np. jak w kroku 2.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Z II prawa Kirchhoffa wynika, że jeśli UBS = 0, to: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Ponieważ IBS = 0, to przez Rx i R płynie prąd o takim samym natężeniu IB (I prawo Kirchhoffa), a przez drut oporowy płynie prąd o natężeniu . Wykorzystamy związek U = IR dla każdego z oporników: ]  
  
[ Komentarz (krok 3.)  
Skorzystamy z faktu, że opór drutu jest proporcjonalny do jego długości: ]

Zadanie 18.3. (0–3)   
 W pewnym doświadczeniu z mostkiem Wheatstone’a użyto oporu R = 20,00 Ω, napięcia zasilającego obwód równego U = 6,00 V, a także jednorodnego drutu oporowego. Mostek był zrównoważony, gdy stosunek długości obu części (AS, SC) drutu oporowego wynosił  d1: d2 = 2.   
  
Oblicz moc wydzielaną (w postaci ciepła Joule’a – Lenza) na oporniku Rx w sytuacji, gdy  
mostek był zrównoważony.  
  
 Zasady oceniania (dla sposobu 1. rozwiązania)

3 pkt – poprawna metoda obliczenia mocy oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – zapisanie wzoru na moc z napięciem i oporem z prawidłową identyfikacją wielkości (np. jak wzór w kroku 3.), prawidłowe wyznaczenie oporu (np. jak w kroku 1.) oraz poprawna metoda wyznaczenia napięcia, tzn. wyznaczenie stosunku napięć oraz skorzystanie z dodawania napięć (np. metoda jak w krokach 2a. i 2b.).

1 pkt – zapisanie wzoru na moc z napięciem i oporem z prawidłową identyfikacją wielkości (np. jak wzór w kroku 3.) oraz prawidłowe wyznaczenie oporu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

Sposób 1. (z wyznaczeniem napięcia)

[ Komentarz (krok 1.)

Do obliczenia mocy wydzielanej na oporniku Rx potrzebujemy znać jego opór oraz napięcie

na tym oporniku. W celu obliczenia oporu Rx. wykorzystamy wzór podany w zadaniu:

[ Komentarz (krok 2a.)  
Następnie obliczymy stosunek napięć na oporach Rx i R. Wykorzystamy fakt, że przez opory R, Rx płynie prąd o tym samym natężeniu IB :  
  
[ Komentarz (krok 2b.)  
Wyznaczymy napięcie UAB na oporniku Rx. Skorzystamy z faktu, że napięcia wzdłuż odcinka ABC obwodu się dodają oraz skorzystamy z wyznaczonego stosunku napięć: ]  
  
[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczymy moc wydzielaną na oporniku: ]

Zasady oceniania(dla sposobu 2. rozwiązania)

3 pkt – poprawna metoda obliczenia mocy oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – zapisanie wzoru na moc z natężeniem prądu i oporem z prawidłową identyfikacją wielkości (np. jak wzór w kroku 3.), prawidłowe wyznaczenie oporu (np. jak w kroku 1.), oraz poprawna metoda wyznaczenia natężenia prądu, tzn. skorzystanie z dodawania napięć wzdłuż AC (lub z metody oporu zastępczego) i związku między napięciem, oporem a natężeniem prądu (np. metoda jak w kroku 2.).

1 pkt – zapisanie wzoru na moc z natężeniem prądu i oporem z prawidłową identyfikacją wielkości (np. jak wzór w kroku 3.) oraz prawidłowe wyznaczenie oporu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

Sposób 2. (z wyznaczeniem natężenia prądu)

[ Komentarz (krok 1.)

Do obliczenia mocy wydzielanej na oporniku Rx potrzebujemy znać jego opór oraz natężenie

prądu przepływającego przez ten opornik. W celu obliczenia oporu Rx. wykorzystamy wzór

podany w zadaniu:

[ Komentarz (krok 2.)  
Następnie obliczymy natężenie IC prądu płynącego w odcinku ABC obwodu:

[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczymy moc wydzielaną na oporniku, zastosujemy wzór z natężeniem prądu i oporem: ]  
   
  
 Zadanie 19. Zależność oporu półprzewodnika od temperatury (0–1)   
 Badano zależność oporu typowego półprzewodnika od temperatury. Opór półprzewodnika w temperaturze pokojowej T0 jest równy R0.  
  
Na którym wykresie A–D prawidłowo przedstawiono zależność oporu półprzewodnika od temperatury? Zapisz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Na osi poziomej znajduje się temperatura, a na pionowej opór półprzewodnika.  
  
A.

R0

T0

R

T

B.

T0

R0

R

T

C.

T

R

R0

T0

D.

R0

T0

R

T

Zasady oceniania

1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Rozwiązanie

C

Zadanie 20. Dioda w układzie prostowniczym

Mostek Graetza składa się z układu czterech diod półprzewodnikowych połączonych tak, aby wymusić określony kierunek przepływu prądu przez odbiornik R. Na wejściu układu diod znajdują się zaciski X, Y, do których podłącza się źródło napięcia zmiennego sinusoidalnie. Natomiast na wyjściu układu znajdują się zaciski W, Z, do których można podłączyć opornik Rlub inny odbiornik (zobacz rysunki 1. i 2.).

Na rysunku 1. przedstawiono sytuację w tej połowie okresu T zmian napięcia wejściowego, gdy większy potencjał jest na zacisku X, natomiast na rysunku 2. przedstawiono sytuację   
w kolejnej połowie okresu zmian napięcia.

Na rysunkach 1.– 2. użyto następujących oznaczeń.

– opornik R

– dioda

Węzły obwodu oznaczono literami A, B, C, D a zaciski X, Y, W, Z.

Rysunek 1.

X

Z

Y

A

B

D

**+**

**–**

C

W

Rysunek 2.

X

Z

Y

A

B

D

**–**

**+**

C

W

Zadanie 20.1. (0–2)

Na którym z diagramów A–B oraz na którym z diagramów C–D prawidłowo przedstawiono zwrot przepływu prądu w obwodzie pomiędzy zaciskami X, Y? Zapisz odpowiedź A albo B oraz odpowiedź C albo D.

Uwaga! Dla lepszej czytelności, na diagramach oznaczono węzły obwodu oraz zaciski, natomiast pominięto symbole diod. Przypomnij sobie położenia diod w układzie.

A.

A

X

Z

B

D

**+**

Y

W

C

**–**

B.

X

Y

A

Z

W

B

C

D

**+**

**–**

C.

X

Y

Z

W

A

B

C

D

**–**

**+**

D.

X

Y

Z

W

A

B

C

D

**–**

**+**

Zasady oceniania

2 pkt – poprawny wybór dwóch diagramów.

1 pkt – poprawny wybór jednego diagramu.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.  
  
 Pełne rozwiązanie  
AD

Zadanie 20.2. (0–1)

Na którym wykresie A–C prawidłowo przedstawiono zależności napięcia od czasu na zaciskach WZ? Zapisz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Wykresy sporządzono dla przedziału czasu od t = 0 do t = 2T. Przyjmij, że UXY(0) = 0 oraz UmaxXY = UmaxZW = Umax.

Na osi poziomej oznaczono czas, a na osi pionowej napięcie pomiędzy zaciskami WZ.

A.

(0,0)

T

2T

B.

(0,0)

T

2T

C.

(0,0)

T

2T

Zasady oceniania

1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Rozwiązanie  
B

WŁASNOŚCI MATERII, TERMODYNAMIKA, HYDROSTATYKA I AEROSTATYKA

Zadanie 21. Ciepło właściwe i ciepło topnienia lodu   
 Kawałek lodu o masie m = 50,0 g i temperaturze początkowej Tp = 253 K ogrzewano przy stałym ciśnieniu. W wyniku tego procesu lód ogrzał się do temperatury topnienia i stopił się całkowicie. Kontynuowano nieprzerwanie dalsze ogrzewanie masy m wody powstałej z lodu. Podczas całego procesu do ogrzewanej masy m dostarczana była energia w postaci ciepła. Szybkość dostarczania ciepła była stała i wynosiła J/min.  
  
Wykres poniżej przedstawia zależność T(t) – temperatury T ogrzewanej masy m od czasu t ogrzewania. Na osi poziomej przedstawiono czas w minutach, a na osi pionowej temperaturę w K.

293

273  
  
   
 253

0 2     18 22

Zadanie 21.1. (0–2)  
 Oblicz ciepło topnienia lodu L na podstawie danych odczytanych z wykresu T(t) oraz treści zadania.  
  
 Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyznaczenia ciepła topnienia lodu oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

1 pkt – zapisanie wzoru na ciepło dostarczone w procesie topnienia lodu oraz zapisanie wyrażenia określającego tempo dostarczania energii do topionej masy m.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz  
Korzystamy ze wzoru na ciepło dostarczone w procesie topnienia lodu oraz z wyrażenia określającego tempo dostarczania energii do topniejącej masy m:

[ Komentarz

Podstawiamy dane liczbowe z treści zadania i z wykresu: ]

Zadanie 21.2. (0–2)

Wyznacz stosunek ciepła właściwego wody do ciepła właściwego lodu na podstawie danych odczytanych z wykresu T(t).

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia ilorazu ciepeł właściwych i prawidłowy wynik liczbowy.

1 pkt – zapisanie wyrażeń na ciepło właściwe wody oraz lodu łącznie z zapisaniem wyrażenia określającego tempo dostarczania energii do ogrzewanej masy m.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Korzystamy ze wzorów: na ciepło dostarczone w procesie ogrzewania lodu, ciepło dostarczone w procesie ogrzewania wody oraz z wyrażenia określającego tempo dostarczania energii do ogrzewanej masy m: ]

[ Wyznaczamy stosunek ciepeł właściwych wody i lodu, dane odczytamy z wykresu: ]

Zadanie 22. Cykle   
 Cykl przemian termodynamicznych ustalonej masy gazu, który pełni rolę czynnika roboczego działającej pompy ciepła lub chłodziarki, przebiega w odwrotnym kierunku niż analogiczny cykl przemian w działającym silniku cieplnym.

Zadanie 22.1. (0–2)  
 Na poniższym diagramie przedstawiono zależności ciśnienia p od objętości V w pewnym cyklu przemian ustalonej masy gazu. Ten gaz podlega rozprężaniu od objętości VK do VL

w przemianie P1, a następnie podlega sprężaniu od objętości VL do VK w przemianie P2.  
Na osi poziomej znajduje się objętość V, a na pionowej ciśnienie p.

L

0

K

VL

P1

P2

V

p

Wykaż, że ilość ciepła |Qodd| oddanego w cyklu K–L–K jest większa od ilości ciepła pobranego |Qpob| w tym cyklu. W tym celu powołaj się na odpowiednie prawa lub zasady fizyczne i wyprowadź poniższą nierówność:

|Qodd| > |Qpob|

Symbol wartości bezwzględnej |·| wprowadzono, aby uniezależnić nierówności od przyjętej konwencji znaków dla wymienionego ciepła i wykonanej pracy.  
  
 Zasady oceniania

2 pkt – poprawne wykazanie relacji, odwołujące się prawidłowo do: I zasady termodynamiki oraz tego, że w danym cyklu, .

1 pkt – zapisanie I zasady termodynamiki z uwzględnieniem odpowiednich znaków (w przyjętej konwencji) wymienionych ciepeł i wykonanych prac, oraz uwzględnienie, że zmiana energii wewnętrznej w cyklu jest równa zero lub

– zapisanie zależności, że .

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Zapiszemy I zasadę termodynamiki dla cyklu. Zmiana energii wewnętrznej w całym cyklu wynosi zero, zatem:

Pracę przeciwko sile parcia podczas sprężania gazu oznaczymy , a pracę sił parcia podczas rozprężania oznaczymy . Użyjemy konwencji znaków, w której „–” oznacza przepływ energii z układu do otoczenia (tzn. stratę energii przez układ). ]  
[ Powyższe równanie przekształcimy do postaci: ]

[ Komentarz

Zauważmy, że pole obszaru pod krzywą sprężania LP2K jest większe od pola obszaru pod krzywą rozprężania KP1L. Na podstawie interpretacji pola pod wykresem ciśnienia od objętości jako pracy siły parcia (lub przeciwko sile parcia), stwierdzamy, że: ]

W związku z powyższą nierównością i poprzedzającym je równaniem mamy:

Zadanie 22.2. (0–3)  
 Na diagramie poniżej przedstawiono wykres zależności ciśnienia p od objętości V w cyklu A–B–C–D–A przemian termodynamicznych ustalonej masy gazu doskonałego. Ciepło molowe tego gazu przy stałej objętości wynosi , gdzie R to stała gazowa.

Oblicz całkowite ciepło pobrane w cyklu A–B–C–D–A.

Wskazówka: iloczyn nT (liczby moli i temperatury) można wyznaczyć z równania stanu.  
Na osi poziomej przedstawiono objętość V w 10-4 m3, a na osi pionowej ciśnienie p w 105 Pa.

12VK

A

0

D

C

B

24

1,0

2,0

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia ciepła pobranego oraz wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – wykonanie czynności opisanych poniżej za 1 pkt oraz skorzystanie z równania stanu gazu dla przemiany izobarycznej oraz izochorycznej (np. jak w kroku 1. i kroku 2.).

1 pkt – zidentyfikowanie przemian A–B i B–C, w których jest pobierane ciepło, oraz zapisanie wyrażenia określającego związek całkowitego ciepła pobranego w cyklu z przyrostami temperatur w poszczególnych przemianach (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Dla porządku zapiszemy dane:

]

[ Komentarz (krok 1.)

Ciepło jest pobierane w przemianach A–B i B–C. Zapiszemy wyrażenie określające co do wartości bezwzględnej związek całkowitego ciepła pobranego w cyklu z przyrostami temperatur w poszczególnych przemianach: ]

[ Komentarz (krok 2.)

Z równania stanu wyprowadzimy związki pomiędzy parametrami stanu na początku i końcu przemiany izobarycznej A–B oraz na początku i końcu przemiany izochorycznej B–C. ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Obliczymy ciepło pobrane z wykorzystaniem wzorów w kroku 1. i kroku 2. oraz danych: ]  
  
Zadanie 23. Pompa ciepła  
 W pompie ciepła tzw. czynnik roboczy pobiera ciepło z obszaru o niższej temperaturze T1 i oddaje ciepło do obszaru o wyższej temperaturze T2. Podczas wymiany ciepła czynnik roboczy może się rozprężać lub sprężać albo zmieniać stan skupienia z ciekłego w gazowy i odwrotnie. Praca wykonana przez siły zewnętrzne przy sprężaniu czynnika roboczego jest większa od – pracy sił parcia czynnika roboczego przy rozprężaniu. Różnicę tych prac nazwiemy pracą całkowitą , jaką należy (efektywnie) wykonać nad czynnikiem roboczym pompy pracującej w jednym cyklu.

Zadanie 23.1. (0–1)  
 Dokończ zdanie. Zapisz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Prawidłowe relacje pomiędzy formami przekazywania energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w pompie cieplnej, to

Uwaga! Nierówności odnoszą się do wartości bezwzględnych podanych wielkości.

A. <,  
 <  
B. >,  
 >  
C. >,  
 <

D. <,  
 >

Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź.   
0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.

Rozwiązanie

A

Informacja do zadań 23.2.–23.3.  
 Efektywność pompy ciepła (którą oznaczymy jako EPC) określa się w jednym cyklu jako:

Z praw termodynamiki wynika, że nie może istnieć pompa ciepła pracująca pomiędzy dwoma obszarami o temperaturach T1 i T2, która miałaby efektywność większą niż (temperatury w poniższym wzorze wyrażone są w kelwinach):

Zadanie 23.2. (0–1)  
 Oceń prawdziwość podanych zdań. Po każdym numerze zdania zapisz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1. Jeżeli dwie pompy oddają do otoczenia takie same ilości ciepła, to większą efektywność ma ta spośród pomp, która pobiera więcej ciepła.  
2. Ciepło, które oddaje pompa ciepła w jednym cyklu pracy jest mniejsze (co do wartości bezwzględnej) od ciepła pobranego przez nią w jednym cyklu pracy.  
3. Podczas pracy takiej pompy ciepło samorzutnie przepływa z obszaru o niższej temperaturze do obszaru o wyższej temperaturze.  
  
 Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Pełne rozwiązanie

1. P, 2. F, 3. F

Zadanie 23.3. (0–3)  
 W pomieszczeniu zamontowano system grzewczy z pompą ciepła. Ma ona dostarczać do pomieszczenia 85 300 kJ ciepła w ciagu godziny, pracując między obszarami o temperaturach 10 oC i 25 oC. Pompę zaprojektowano tak, aby pracowała z największą efektywnością, na jaką pozwalają prawa termodynamiki. Przyjmij, że w ciągu godziny pompa wykonuje całkowitą liczbę cykli termodynamicznych.

Oblicz najmniejszą pracę całkowitą , jaką należy wykonać nad czynnikiem roboczym pompy pracującej z największą możliwą efektywnością w opisanych warunkach.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia pracy całkowitej oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

1 pkt – przyrównanie pompy ciepła do efektywności maksymalnej pompy idealnej, łącznie z prawidłową identyfikacją wielkości fizycznych w obu wzorach lub

– prawidłowe obliczenie .

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz

Zgodnie z założeniem w zadaniu, przyrównamy EPC pompy ciepła do efektywności maksymalnej EPCmax pompy idealnej: ]

[ Podstawiamy dane i wykonujemy obliczenia: ]

Zadanie 24. Barometr i rtęć   
 Jednostronnie zamkniętą rurkę wypełniono do pełna rtęcią. Następnie rurkę odwrócono do góry dnem, a jej część zanurzono w zbiorniczku z rtęcią w ten sposób, że do wnętrza rurki nie dostało się powietrze (jak na rysunku).

Po pewnym czasie, przy ustalonej temperaturze otoczenia i rtęci oraz przy ustalonym ciśnieniu zewnętrznym, w tak ustawionej rurce ustalił się słup rtęci o pewnej wysokości. Obszar pomiędzy powierzchnią rtęci w rurce a zamkniętą częścią rurki, w którym początkowo była próżnia, po pewnym czasie wypełniła para rtęci o maksymalnym ciśnieniu dla aktualnej temperatury otoczenia. Przyspieszenie ziemskie skierowane jest pionowo w dół. Wokół szklanej rurki nad powierzchnią rtęci znajduje się powietrze.  
  
Maksymalne ciśnienie par rtęci w temperaturze 293 K wynosi około 0,16 Pa. Wpływ zjawisk związanych z napięciem powierzchniowym pomijamy.  
  
Opis oznaczeń na rysunku

– para rtęci

– rtęć

h

Zadanie 24.1. (0–1)  
 Przy ustalonych warunkach opisanych w treści zadania 24., rtęć paruje do powietrza.  
  
Dokończ zdanie. Zapisz odpowiedź A, B albo C oraz odpowiedź 1., 2. albo 3.   
  
W czasie, gdy rtęć paruje do powietrza w opisanej sytuacji, to  
A. pobiera ciepło z otoczenia,  
B. oddaje ciepło do otoczenia,  
C. nie wymienia ciepła z otoczeniem,  
a ciśnienie pary w rurce  
1. maleje.  
2. rośnie.  
3. pozostaje stałe.   
  
 Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Pełne rozwiązanie

A3

Zadanie 24.2. (0–1)  
 Podczas opisanego we wstępie do zadania 24. doświadczenia, ciśnienie atmosferyczne powietrza wynosiło .  
  
Ustal, czy uwzględnienie ciśnienia par rtęci do obliczenia wysokości słupa rtęci z dokładnością do czterech cyfr znaczących ma wpływ na wynik, czy nie ma wpływu na wynik. Zapisz i uzasadnij odpowiedź.  
  
Odpowiedź: ….  
Uzasadnienie: ….  
  
 Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź i jej uzasadnienie.   
0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Przykładowe pełne rozwiązanie  
Odpowiedź: Uwzględnienie ciśnienia par rtęci do obliczenia wysokości słupa rtęci z dokładnością do czterech cyfr znaczących nie ma wpływu na wynik.  
  
Uzasadnienie: Ciśnienie atmosferyczne wynosi 101300 Pa, natomiast ciśnienie par rtęci jest równe 0,16 Pa. Tak mały wkład może wnosić poprawkę do wyniku w siódmej lub szóstej cyfrze znaczącej – tzn. ciśnienie par rtęci należałoby uwzględnić, jeżeli wynik miałby być podany z dokładnością do sześciu lub więcej cyfr znaczących.

Zadanie 24.3. (0–2)  
 Ciśnienie atmosferyczne powietrza wynosi , gęstość rtęci w temperaturze pokojowej jest równa  kg/m3, a przyśpieszenie ziemskie wynosi 9,807 m/s2.  
  
Oblicz wysokość słupa rtęci w podanych warunkach. Wynik zapisz w zaokrągleniu do czterech cyfr znaczących.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia wysokości słupa rtęci oraz prawidłowy wynik liczbowy podany z odpowiednią dokładnością i jednostką.

1 pkt – przyrównanie ciśnienia rtęci wewnątrz rurki do ciśnienia rtęci na zewnątrz rurkina tym samym poziomie oraz prawidłowe zastosowanie wzoru (z poprawną identyfikacją wielkości) na ciśnienie wysokości słupa rtęci.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Zgodnie z prawem Pascala ciśnienie w cieczy jednorodnej na tym samym poziomie jest stałe. Zatem rozważmy punkt A, który znajduje się w naczyniu z rtęcią, przy samej powierzchni rtęci, oraz punkt B, który znajduje na tym samym poziomie co punkt A, ale jest wewnątrz szklanej rurki wypełnionej rtęcią.

Porównujemy ciśnienia na tym samym poziomie rtęci w punktach A i B:

Ciśnienie w A jest równe ciśnieniu atmosferycznemu, a ciśnienie w B jest równe sumie ciśnienia słupa rtęci i ciśnienia pn(T) pary nad słupem rtęci. Zastosujemy wzór na ciśnienie słupa rtęci, a ciśnienie pary rtęci pominiemy:

ELEMENTY FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

Zadanie 25. Jądro technetu   
 W diagnostyce i terapii medycznej stosuje się m.in. jądrowe promieniowanie gamma   
z zakresu niskich energii. Źródłem takiego promieniowania są procesy zachodzące w jądrach izotopów pierwiastków promieniotwórczych.

Jednym z takich procesów, wykorzystywanym w medycynie, jest przejście jądra technetu ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego (lewy górny indeks m oznacza stan wzbudzony). W tym procesie emitowany jest kwant gamma.   
  
Czas połowicznego rozpadu (w tym przypadku przejścia do stanu podstawowego) wzbudzonych jąder technetu wynosi  = 6 h. Masa jądra technetu w stanie podstawowym wynosi  kg.

Jądra wzbudzonego technetu otrzymuje się m.in. w wyniku przemiany , której podlegają jądra izotopu molibdenu . W innej metodzie jądra wzbudzonego technetu otrzymuje się w wyniku ostrzeliwania wiązką rozpędzonych protonów tarczy z izotopu molibdenu .   
  
Gdy jeden proton uderzy w jądro , to dochodzi do reakcji jądrowej, której produktami są: jądro oraz dwie pewne cząstki elementarne.

Zadanie 25.1. (0–3)

Poniżej zapisano równania 1.–3. reakcji/przemian jądrowych. W tych równaniach literami X, Y oznaczono cząstki lub fotony lub jądra biorące udział w reakcji, symbolami Z i A (także z indeksami) oznaczono liczby atomowe i masowe jąder, symbolem k oznaczono liczbę naturalną.

Pod każdym równaniem reakcji 1.–3. zapisz nazwy (albo symbole) obiektów oznaczonych literami X lub Y oraz zapisz wartości liczbowe Z, A oraz k.

1. Reakcja przemiany jądra technetu ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego:  
X – ....

2. Reakcja przemiany , w wyniku której z jądra powstaje jądro technetu w stanie

wzbudzonym:

Z = ....  
X – ....  
Y – ....

3. Reakcja zderzenia protonu z jądrem , w wyniku której powstaje jądro technetu

w stanie wzbudzonym i dwie cząstki elementarne:

X – ....  
A = ....  
Z = ....  
Z1 = ....  
k = ....  
Y = ....  
A2 = ....  
Z2 = ....

Zasady oceniania

3 pkt – poprawne zapisanie trzech reakcji.

2 pkt – poprawne zapisanie dwóch reakcji.

1 pkt – poprawne zapisanie jednej reakcji.

0 pkt – rozwiązanie całkowicie niepoprawne albo brak rozwiązania.

Pełne rozwiązanie

1.

X –

2.

Uwaga: zapis w reakcji antyneutrina nie jest wymagany, a elektron można zapisać jako β–.

Z – 42, X – , Y –

3.  
X – p, A – 1, Z – 1, Z1 – 42, k – 2, Y – n, A2 – 1, Z2 – 0  
  
 Zadanie 25.2. (0–2)

Obserwowano próbkę zawierającą jądra technetu w stanie wzbudzonym.

Czas połowicznego rozpadu (tzn. przejścia do stanu podstawowego) wzbudzonych jąder technetu wynosi T = 6 h.

Oblicz, jaka część z początkowej liczby wzbudzonych jąder technetu w próbce przejdzie do stanu podstawowego po czasie t = 2 h (licząc od pewnej ustalonej chwili początkowej). Wynik podaj w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda obliczenia stosunku Nr(t)/N0 oraz prawidłowy wynik liczbowy.

1 pkt – poprawna metoda obliczenia stosunku N(t)/N0 oraz prawidłowy wynik liczbowy lub

– zapisanie pierwszego prawa rozpadu promieniotwórczego do obliczenia N(t) łącznie

z prawidłowym określeniem wykładnika t/T potęgi liczby 1/2 oraz zapisanie wyrażenia na liczbę jąder wzbudzonych która przeszła do stanu podstawowego po czasie t:   
Nr(t) = N0 – N(t).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Zastosujemy statystyczne prawo rozpadu promieniotwórczego. Obliczymy, jaka część liczby jąder wzbudzonych pozostanie w próbce po czasie *.* Oznaczymy przez liczbę jąder wzbudzonych w chwili początkowej, a przez – liczbę jąder wzbudzonych pozostających w próbce po czasie od chwili początkowej:

[ Obliczenie potęgi wykonujemy na kalkulatorze naukowym: ]

[ Komentarz  
Liczba jąder wzbudzonych Nr(t), która przeszła do stanu podstawowego po czasie t wynosi:  
 a zatem: ]

Zadanie 25.3. (0–3)  
 Podczas przejścia jądra technetu ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego został wyemitowany – z tego jądra – kwant gamma o długości fali λ = 8,69 pm.   
Masa jądra technetu w stanie podstawowym wynosi  kg.  
Oblicz masę jądra technetu w stanie wzbudzonym. Pomiń efekt związany z odrzutem jądra przy emisji kwantu. Wynik podaj w zaokrągleniu do ośmiu cyfr znaczących.  
  
 Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia masy wzbudzonego jądra technetu oraz prawidłowy wynik liczbowy podany z odpowiednią dokładnością (taką, z jaką wyrażono masę jądra w stanie podstawowym) i jednostką (np. jak w kroku 3.).

2 pkt – zapisanie zasady zachowania energii dla układu jądro – foton z uwzględnieniem wzorów Einsteina na energie spoczynkowe oraz wzoru Plancka na energię fotonu, łącznie z prawidłowym podstawieniem wszystkich danych oraz odpowiednich stałych przyrody (np. jak w kroku 2.).

1 pkt – zapisanie zasady zachowania energii dla układu jądro – foton z uwzględnieniem wzorów Einsteina na energie spoczynkowe jąder oraz z uwzględnieniem energii fotonu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Zapiszemy zasadę zachowania energii dla układu jądro – foton z uwzględnieniem energii spoczynkowych jąder technetu (wzór Einsteina) i energii fotonu. Energię kinetyczną jądra po emisji fotonu pominiemy : ]

[ Komentarz (krok 2.)  
W powyższym wzorze zastosujemy wzór Plancka na energię fotonu, następnie podstawimy odpowiednie wartości liczbowe do uzyskanego wyrażenia: ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Wykonujemy obliczenie , a wynik zaokrąglamy do ośmiu cyfr znaczących: ]

Zadanie 26. Odrzut atomu przy emisji fotonu   
 W wyniku przejścia elektronu pomiędzy pewnymi poziomami energetycznymi w atomie cezu, został wyemitowany foton o energii Ef  = 59,5 eV. Wskutek emisji fotonu atom cezu  
doznał odrzutu. Masa atomu cezu jest równa .  
Przyjmij, że pomiar energii fotonu wykonano w układzie odniesienia, w którym atom cezu początkowo spoczywał.

Zadanie 26.1. (0–3)  
 Oblicz wartość prędkości odrzutu, którą uzyskał atom cezu podczas emisji fotonu.   
  
 Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia prędkości odrzutu oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w kroku 3.).

2 pkt – poprawne zapisanie zasady zachowania pędu dla układu atom – foton, łącznie z zastosowaniem wzoru na pęd fotonu i pęd atomu cezu, zapisanie związku między pędem fotonu (lub długością fali) a energią fotonu, prawidłowa identyfikacja wielkości (np. jak w kroku 2.).

1 pkt – poprawne zapisanie zasady zachowania pędu dla układu atom – foton łącznie z zastosowaniem wzoru na pęd atomu cezu (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie[ Komentarz (krok 1.)Zapiszemy zasadę zachowania pędu dla układu atom – foton. Pęd początkowy układu wynosi zero, zatem pęd całkowity układu po emisji fotonu też wynosi zero:

]   
gdzie:

[ Komentarz (krok 2.)  
Ze wzorów na energię fotonu i pęd fotonu:

wyznaczymy związek między energią fotonu a jego pędem: ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Otrzymane związki podstawimy do zasady zachowania pędu i wykonamy obliczenia: ]

Informacja do zadań 26.2.–26.3.  
 Poniższy wzór pozwala wyznaczyć stosunek energii kinetycznej Ekin jaką uzyskał atom w wyniku odrzutu przy emisji fotonu, do energii Ef emitowanego fotonu:

gdzie m oznacza masę atomu, a *c* oznacza wartość prędkości światła w próżni.  
  
 Zadanie 26.2. (0–2)   
 Wyprowadź podany w powyższej informacji wzór. Podaj wszystkie zależności niezbędne do jego wyprowadzenia.   
  
 Zasady oceniania

2 pkt – poprawne wyprowadzenie żądanej zależności z wykorzystaniem wzoru na energię kinetyczną odrzuconego atomu, związku między pędem fotonu i energią fotonu oraz z wykorzystaniem zasady zachowania pędu.

1 pkt – zapisanie zasady zachowania pędu dla układu atom – foton, łącznie z zapisaniem wzorów na energię kinetyczną odrzuconego atomu i energię fotonu lub

– zapisanie zasady zachowania pędu dla układu atom – foton, łącznie   
z zastosowaniem wzorów na pęd atomu i pęd fotonu.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie  
[ Komentarz  
Wyrazimy energię kinetyczną odrzuconego atomu za pomocą jego pędu, z wykorzystaniem wzorów:

[ Zastosujemy związek między pędem fotonu a energią fotonu: ]

[ Komentarz  
Zastosujemy zasadę zachowania pędu układu atom – foton: ]

[ Komentarz  
Obliczamy stosunek energii kinetycznej atomu do energii fotonu z wykorzystaniem powyższych zależności: ]  
  
 Zadanie 26.3. (0–1)   
 Oblicz stosunek energii kinetycznej Ekin jaką uzyskał atom cezu w wyniku odrzutu, do energii Ef emitowanego fotonu. Zapisz wniosek wynikający z tych obliczeń.  
  
 Zasady oceniania

1 pkt – poprawna metoda obliczenia, prawidłowy wynik liczbowy oraz zapisanie poprawnego wniosku.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne lub niepełne albo brak rozwiązania.

Przykładowe pełne rozwiązanie

Sposób 1. (ze wzoru podanego w zadaniu)

Wniosek: Energia kinetyczna odrzuconego atomu jest do pominięcia w porównaniu z energią emitowanego fotonu.  
  
Sposób 2. (z obliczonej prędkości odrzutu)

Wniosek: Foton unosi prawie cała energię wydzieloną w procesie przeskoku elektronu w atomie.

Zadanie 27. Interferencja elektronu na podwójnej szczelinie  
 Wiązkę elektronów rozpędzono w polu elektrycznym napięciem U = 610 eV i skierowano prostopadle na ekran (jak na rysunku). Pomiędzy działkiem elektronowym, a ekranem, na drodze wiązki elektronów, ustawiono płytkę ze szczelinami. Odległość pomiędzy środkami szczelin wynosiła  = 270 nm, a szerokość szczelin w stosunku do odległości między nimi była bardzo mała.  
Elektrony padające na ekran po przejściu przez płytkę utworzyły obraz interferencyjny w postaci jedenastu prążków. Miejsca, w których obserwuje się na ekranie lokalne maksima liczby elektronów (prążki), oznaczono L1–L5, O oraz P1–P5. Na rysunku zaznaczono tylko 5 prążków L1­ i L5, O oraz P1­ i P5.  
Przyjmij, że elektrony poruszały się w próżni i wystrzeliwane były z działka pojedynczo.

Opis oznaczeń na rysunku

– ekran

– wiązki elektronów

– działko elektronowe

– płytka ze szczelinami

L1

O

P1

P5

L5

Zadanie 27.1. (0–1)  
 Dokończ zdanie. Zapisz odpowiedź A, B albo C i jej uzasadnienie 1., 2. albo 3.

Jeżeli napięcie U przyspieszające elektrony wzrośnie, a inne warunki doświadczenia pozostaną bez zmian, to kąty, pod którymi obserwuje się na ekranie lokalne maksimum liczby elektronów   
A. wzrosną,  
B. zmaleją,  
C. nie ulegną zmianie,  
ponieważ długość fali de Broglie’a każdego elektronu w przyśpieszonej wiązce

1. się nie zmieni.  
2. zmaleje.  
3. wzrośnie.

Zasady oceniania

1 pkt – poprawna odpowiedź.

0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi

Pełne rozwiązanie

B2

Zadanie 27.2. (0–3)   
 Wykaż, że wartość pędu pojedynczego elektronu w rozpędzonej wiązce wynosi  
. Wykonaj odpowiednie obliczenia.  
  
 Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia wartości pędu oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – doprowadzenie do wyrażenia równoważnego wyrażeniu po wykorzystaniu związków oraz (np. jak w kroku 1. i 2.) oraz prawidłowe podstawienie wartości liczbowych.

1 pkt – zapisanie związku między energią kinetyczną, którą uzyskał elektron w polu elektrycznym, a pracą sił w polu elektrycznym – łącznie z zastosowaniem wzoru  
 na tę pracę oraz na energię kinetyczną (np. jak w kroku 1.) lub

– zapisanie związku między energią kinetyczną, którą uzyskał elektron w polu elektrycznym, a pracą w polu elektrycznym – łącznie z wyrażeniem energii kinetycznej za pomocą pędu (bez podania wzoru na tę pracę).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz (krok 1.)

Zastosujemy związek między energią kinetyczną, którą uzyskał elektron w polu elektrycznym, a pracą siły elektrycznej działającej na ten elektron, łącznie ze wzorem na energię kinetyczną:

Ponadto zastosujemy wzór na pracę w polu elektrycznym:

Z tego wynika, że: ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Wyrazimy energię kinetyczną za pomocą pędu i masy elektronu: ]

[ Z powyższych zależności otrzymujemy: ]

[ Komentarz (krok 3.)  
Wykonujemy obliczenia: ]

Zadanie 27.3. (0–2) kalkulator  
 Oblicz kąt określony pomiędzy osią układu a kierunkiem (rysunek poniżej), pod jakim obserwuje się na ekranie pierwsze lokalne maksimum liczby rejestrowanych elektronów (L1).   
  
Do obliczeń przyjmij, że wartość pędu pojedynczego elektronu w rozpędzonej wiązce jest  
równa . Odległość pomiędzy środkami szczelin wynosiła d = 270 nm, a szerokość szczelin w stosunku do odległości między nimi była bardzo mała.

L1

O

Zasady oceniania

2 pkt – poprawna metoda wyznaczenia kąta oraz prawidłowa wartość kąta .

1 pkt – zastosowanie wzoru de Broglie’a oraz prawidłowe obliczenie długości fali elektronu lub

– zastosowanie wzoru de Broglie’a łącznie z zastosowaniem wzoru na wzmocnienie interferencyjne fali przechodzącej przez układ dwóch szczelin.

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz

Wyznaczymy długość fali prawdopodobieństwa (fali de Broglie’a) elektronu ze związku między długością fali a pędem swobodnej cząstki:

[ Komentarz

Do obliczenia kąta wykorzystamy wzór na wzmocnienie interferencyjne fali elektronu przechodzącej przez układ dwóch szczelin (dla n = 1):

Uwaga! Opisany eksperyment dyfrakcji pojedynczych elektronów – jeden z najdonioślejszych w fizyce – jest realizacją eksperymentu myślowego Richarda Feynmana. Sam Feynman pisał o tym zjawisku jako mającym w sobie serce mechaniki kwantowej i zawierającym tajemnicę.

Efekty zaobserwowane w opisanym doświadczeniu są niezwykle subtelne. Uzyskano bardzo małe kąty obserwacji wzmocnień interferencyjnych, ale znacząco większe od stosunku /(odległość płytki do ekranu). Dlatego otrzymany na ekranie obraz dyfrakcji i interferencji elektronów także był bardzo mały. Uzyskany wzór powiększono za pomocą elektrostatycznej soczewki kwadrupolowej i zobrazowano na specjalnym ekranie.

Wyniki doświadczenia potwierdzają falowe własności pojedynczych elektronów.

Zadanie 27.4. (0–1)   
 Dokończ zdanie. Zapisz właściwą odpowiedź spośród podanych.  
  
Gdy elektron wyleci z działka elektronowego, to miejsce na które padnie na ekranie po przejściu przez płytkę z dwoma szczelinami   
A. może być jednoznacznie przewidziane na podstawie zasad dynamiki, położenia początkowego i prędkości początkowej elektronu oraz działających na niego sił.  
B. może być jednoznacznie przewidziane jedynie na podstawie toru ruchu elektronu przed płytką i położenia szczelin w płytce względem tego toru.   
C. nie może być ściśle przewidziane, ale może być określone z pewnym prawdopodobieństwem, zależącym od pędu elektronu i odległości między szczelinami.  
D. nie może być ściśle przewidziane, ale może być określone z pewnym prawdopodobieństwem, zależącym od tego, przez którą szczelinę przeszedł elektron.  
  
 Zasady oceniania  
1 pkt – poprawna odpowiedź.   
0 pkt – odpowiedź niepoprawna albo brak odpowiedzi.  
  
 Rozwiązanie  
C

Zadanie 28. Energia całkowita, spoczynkowa i kinetyczna cząstki   
 Cząstka o masie m porusza się w układzie inercjalnym z prędkością v. Energię kinetyczną cząstki oznaczymy jako Ek, jej energię spoczynkową oznaczymy jako E0, a energię całkowitą cząstki oznaczymy przez E.

Zadanie 28.1. (0–2)  
Wykaż, że jeżeli energia spoczynkowa cząstki jest znacznie mniejsza od energii kinetycznej, tzn. gdy:   
to cząstka porusza się z prędkością bliską prędkości światła, tzn.:

Zasady oceniania

2 pkt – poprawne wykazanie tezy: tzn. poprawna analiza zależności między stosunkiem a stosunkiem , łącznie z powołaniem się na założenie oraz na związek między energią całkowita, spoczynkową i kinetyczną (np. jak w krokach 1.–2.).

1 pkt – wyprowadzenie (lub zapisanie) związku między stosunkiem a stosunkiem  (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

Sposób 1.

[ Komentarz (krok 1.)

Skorzystamy ze wzorów na energię całkowitą i spoczynkową:

Zapiszemy związek między tymi energiami. ]

[ Z powyższego równania wyznaczymy stosunek v/c i dalej zbadamy, jak on zależy od energii całkowitej oraz energii kinetycznej. ]

[ Komentarz (krok 2.)  
Następnie przeprowadzimy analizę wzoru. Wykorzystamy założenie zadania oraz związek między energią całkowitą i kinetyczną:

]

Dlatego:

Sposób 2.

[ Komentarz(krok 1.)

Skorzystamy ze wzorów na energię całkowitą i spoczynkową:

Zapiszemy stosunek E0/E: ]

[ Komentarz (krok 2.)

Następnie przeprowadzimy analizę powyższego wzoru. Wykorzystamy założenie zadania oraz związek między energią całkowitą i kinetyczną:

]

Ponieważ E0Ek to także E0E, gdyż E jest sumą E0i Ek. W takiej sytuacji pierwiastek w powyższym wzorze musi być bliski 0, co oznacza, że stosunek v/c jest bliski 1.]

Zadanie 28.2. (0–3)   
 Elektron został rozpędzony w polu elektrycznym napięciem U = 8,0 · 105 V. Pomiń wpływ innych pól na ruch elektronu oraz przyjmij, że elektron poruszał się w próżni, a jego prędkość początkowa wynosiła 0. Przyjmij do obliczeń masę elektronu równą m = 9,1·10–31 kg oraz wartość bezwzględną ładunku elementarnego równą e = 1,6·10–19 C.  
  
Oblicz prędkość, jaką elektron uzyskał w polu elektrycznym.  
  
 Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia prędkości elektronu oraz prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (np. jak w krokach 1.–3.).

2 pkt – poprawna metoda obliczenia energii całkowitej elektronu, prawidłowy wynik liczbowy z jednostką, oraz zastosowanie związku między energią całkowitą cząstki a jej prędkością (np. jak w krokach 1.–2.).

1 pkt – poprawna metoda obliczenia energii spoczynkowej elektronu, energii kinetycznej elektronu oraz prawidłowy wynik liczbowy w co najmniej jednym przypadku (np. jak w kroku 1.).

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

Przykładowe pełne rozwiązanie

[ Komentarz(krok 1.)

Na początku musimy rozstrzygnąć, czy będziemy stosowali wzory mechaniki klasycznej, czy mechaniki relatywistycznej. Wzory mechaniki klasycznym moglibyśmy zastosować, gdyby energia kinetyczna elektronu okazała się znacznie mniejsza od energii spoczynkowej elektronu. Dlatego najpierw obliczymy energię spoczynkową elektronu. ]

[ Następnie obliczymy energię kinetyczną elektronu. Zastosujemy związek między energią kinetyczną, którą uzyskał elektron w polu elektrycznym, a pracą sił elektrycznych działających na ten elektron:

]

[ Komentarz (krok 2.)

Energia kinetyczna elektronu jest porównywalna z energią spoczynkową a nawet jest od niej większa. Dlatego prędkość elektronu obliczymy ze wzoru relatywistycznego na energię całkowitą. W tym celu najpierw obliczymy energię całkowitą jako sumę energii kinetycznej i spoczynkowej. ]

[ Do obliczenia prędkości elektronu wykorzystamy związek między energią całkowitą a prędkością elektronu: ]

[ Komentarz(krok 3.)

Z powyższego wzoru wyznaczymy prędkość elektronu i obliczymy jej wartość. ]

Uwaga! Zastosowanie wzoru klasycznego na energię kinetyczną byłoby w tym przypadku błędne i doprowadziłoby do wyniku v ≈ 5,3 · 108 m/s, w którym prędkość elektronu byłaby większa od prędkości światła (co jest niemożliwe).

Z opinii Recenzentów:

[…] Treści zadań dotyczą bardzo różnorodnych zjawisk i sytuacji fizycznych. W skali rozmiarów wędrujemy od jądra atomowego i atomu, poprzez wiele przykładów wprost dostępnych naszej obserwacji aż do ruchu ciał niebieskich i rozszerzania się Wszechświata. Obok zadań, gdzie dominują aspekty teoretyczne, są zadania nawiązujące do prostych pomiarów bądź wybranych zastosowań fizyki (np. pompy cieplne, światłowody). Dość licznie są reprezentowane zadania, w których należy uzasadnić stwierdzenia bądź zależności. Wszystkie zadania są zgodne z podstawą programową […].

W sformułowaniu treści zadań widać nadzwyczajną wprost dbałość o precyzyjne podanie poleceń oraz upraszczających założeń koniecznych do stworzenia adekwatnego opisu sytuacji fizycznej. Bardzo dobrym pomysłem są ramki z komentarzami, którymi bardzo często są opatrzone poszczególne kroki przykładowych rozwiązań. […] Informator zawiera bardzo starannie dopracowane rysunki i diagramy. Odgrywają one różnoraką rolę w zadaniach: obok typowych […] jest kilka zadań, w których część danych można uzyskać po analizie rysunków albo wręcz po zmierzeniu ich elementów. […]

Osobno chciałbym wyrazić zadowolenie z uwzględnienia następujących „motywów”: (1) nawiązanie do geometrycznych metod Newtona w dynamice, […]; (2) podanie podstawowych informacji o elipsie bez czego nie sposób myśleć o rozsądnym potraktowaniu zagadnienia ruchu planet; (3) wykorzystanie schematu blokowego przepływu energii w pompie cieplnej; (4) przypomnienie mostka Wheatstone’a, […]; (5) zilustrowanie tematu soczewki zadaniem konstrukcyjnym w pewnym sensie odwrotnym do tego, co zwykle się robi; (6) przeanalizowanie głównych aspektów wykonanego w ostatnich latach doświadczenia z dwoma szczelinami dla elektronów. […]

dr Waldemar Berej

[…] Najważniejszą rolą Informatora jest prezentacja typów zadań jakich mogą spodziewać się maturzyści. Egzamin maturalny z fizyki jest dość wymagający, wiec wiedza taka jest bardzo przydatna. Zadania z rozwiązaniami pomagają w przygotowaniu do matury i ułatwiają samodzielną prace uczniów. Warto tez dodać, że Informator stanowi nieoceniona pomoc w nauczaniu fizyki, bez wahania wiec mogę polecić go wszystkim nauczycielom. […].

Bez wątpienia zadania zawarte w Informatorze są bardzo dobrze przemyślane, przygotowane i dobrane do danego tematu. Wiele zadań jest opatrzonych bardzo starannie wykonanymi ilustracjami. Cześć z nich ułatwia i pomaga zrozumieć treść stawianych problemów, a cześć stanowi integralny składnik zadań umożliwiający ich rozwiązanie. […].

Treści niektórych zadań są blisko związane ze zjawiskami obserwowanymi w życiu codziennym […]. Inne opisują zjawiska, na których opiera się działanie wielu urządzeń wokół nas […]. Innym przykładem jest zadanie z fizyki jądrowej, z którego dowiadujemy się o zastosowaniu promieniotwórczego izotopu Technetu do celów diagnostycznych w medycynie. […].

Ważny jest sposób formułowania treści zadań tak, by uwidoczniona została rola modelu niezbędnego do odpowiedniego opisu danego zjawiska i w konsekwencji do prawidłowego rozwiązania zadanego problemu. […] Konieczne są liczne przybliżenia, stosowanie uproszczeń oraz – co nierzadko najtrudniejsze – dostrzeganie najistotniejszych, dominujących aspektów danego zjawiska. W taki sposób stosujemy teorie fizyczne do zrozumienia otaczającego nas świata. Uważam, że słuszne jest podejście Autora by w taki sposób były konstruowane zadania.

dr hab. Adam Szereszewski