

<i>Rodzaj dokumentu:</i>	Sprawozdanie za rok 2025
<i>Egzamin:</i>	Egzamin maturalny
<i>Przedmiot:</i>	Fizyka
<i>Poziom:</i>	Poziom rozszerzony
<i>Termin egzaminu:</i>	20 maja 2025 r.
<i>Data publikacji dokumentu:</i>	19 września 2025 r.

Sprawozdanie zostało opracowane przez Centralną Komisję Egzaminacyjną we współpracy z okręgowymi komisjami egzaminacyjnymi.

Centralna Komisja Egzaminacyjna

ul. Józefa Lewartowskiego 6, 00-190 Warszawa
tel. 22 536 65 00
www.cke.gov.pl sekretariat@cke.gov.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Gdańsku (województwa: kujawsko-pomorskie, pomorskie)

ul. Na Stoku 49, 80-874 Gdańsk
tel. 58 320 55 90
www.oke.gda.pl komisja@oke.gda.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Jaworznie (województwo śląskie)

ul. Adama Mickiewicza 4, 43-600 Jaworzno
tel. 32 784 16 00
www.oke.jaworzno.pl sekretariat@oke.jaworzno.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Krakowie (województwa: lubelskie, małopolskie, podkarpackie)

os. Szkolne 37, 31-978 Kraków
tel. 12 683 21 01
www.oke.krakow.pl oke@oke.krakow.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Łomży (województwa: podlaskie, warmińsko-mazurskie)

Al. Legionów 9, 18-400 Łomża
tel. 86 473 71 20
www.oke.lomza.pl sekretariat@oke.lomza.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Łodzi (województwa: łódzkie, świętokrzyskie)

ul. Ksawerego Praussa 4, 94-203 Łódź
tel. 42 664 80 50
lodz.oke.gov.pl sekretariat@lodz.oke.gov.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Poznaniu (województwa: lubuskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie)

ul. Gronowa 22, 61-655 Poznań
tel. 61 854 01 60
www.oke.poznan.pl sekretariat@oke.poznan.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Warszawie (województwo mazowieckie)

ul. Józefa Bema 87, 01-233 Warszawa
tel. 22 457 03 35
www.oke.waw.pl info@oke.waw.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna we Wrocławiu (województwa: dolnośląskie, opolskie)

ul. Tadeusza Zielińskiego 57, 53-533 Wrocław
tel. 71 785 18 94
www.oke.wroc.pl sekretariat@oke.wroc.pl

Spis treści

Opis arkusza egzaminu maturalnego	4
Dane dotyczące populacji zdających	5
Przebieg egzaminu	6
Podstawowe dane statystyczne	7
Komentarz	15
Wnioski i rekomendacje	62

Opis arkusza egzaminu maturalnego

W roku szkolnym 2024/2025 egzamin maturalny z fizyki został przeprowadzony na podstawie wymagań podstawy programowej określonej w rozporządzeniu Ministra Edukacji z dnia 28 czerwca 2024 r.¹

Arkusz egzaminacyjny z fizyki na poziomie rozszerzonym zawierał ogółem 25 zadań (ujętych w 12 grup/wiązek tematycznych), na które składało się 9 zadań zamkniętych i 16 zadań otwartych. Za rozwiązanie wszystkich zadań można było otrzymać 60 punktów. Zadania sprawdzały wiadomości oraz umiejętności ujęte w pięciu obszarach wymagań ogólnych:

- I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości (5 zadań łącznie za 8 punktów, w tym: 4 zadania zamknięte łącznie za 7 punktów oraz 1 zadanie otwarte za 1 punkt).
- II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych (9 zadań łącznie za 23 punkty, w tym: 1 zadanie zamknięte za 1 punkt oraz 8 zadań otwartych łącznie za 22 punkty).
- III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników (2 zadania zamknięte łącznie za 4 punkty).
- IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł (4 zadania łącznie za 8 punktów, w tym: 2 zadania zamknięte łącznie za 3 punkty oraz 2 zadania otwarte łącznie za 5 punktów).
- V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych (5 zadań otwartych łącznie za 17 punktów).

Zdający mogli korzystać z *Wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki* oraz linijki i kalkulatora naukowego.

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

Dane dotyczące populacji zdających

TABELA 1. ZDAJĄCY ROZWIĄZUJĄCY ZADANIA W ARKUSZU STANDARDOWYM*

Liczba zdających (Formuła 2023)		13 961
Zdający rozwiązujący zadania w arkuszu standardowym	z liceów ogólnokształcących	11 069
	z techników	2 886
	z branżowych szkół II stopnia	6
	ze szkół na wsi	181
	ze szkół w miastach do 20 tys. mieszkańców	1 768
	ze szkół w miastach od 20 tys. do 100 tys. mieszkańców	4 804
	ze szkół w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców	7 208
	ze szkół publicznych	13 140
	ze szkół niepublicznych	821
	kobiety	3 523
	mężczyźni	10 438
	bez dysleksji rozwojowej	11 717
	z dysleksją rozwojową	2 244
	obywatele Ukrainy ²	42

* Dane w tabeli dotyczą tegorocznych absolwentów.

Z egzaminu zwolniono 53 osoby – laureatów i finalistów Olimpiady Fizycznej.

TABELA 2. ZDAJĄCY ROZWIĄZUJĄCY ZADANIA W ARKUSZACH DOSTOSOWANYCH

Zdający rozwiązujący zadania w arkuszach dostosowanych	z autyzmem, w tym z zespołem Aspergera	258
	słabowidzący	19
	niewidomi	0
	słabosłyszący	27
	niesłyszący	4
	z niepełnosprawnością ruchową spowodowaną mózgowym porażeniem dziecięcym	3
	z zaburzeniem widzenia barw	10
	Ogółem	321

² Zdający – obywatele Ukrainy przystąpili do egzaminu maturalnego na podstawie § 3c ust. 1 rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 marca 2022 r. w sprawie organizacji kształcenia, wychowania i opieki dzieci i młodzieży będących obywatelami Ukrainy (Dz.U. z 2023 r. poz. 2094 z późn. zm.).

Przebieg egzaminu

TABELA 3. INFORMACJE DOTYCZĄCE PRZEBIEGU EGZAMINU

Termin egzaminu			20 maja 2025
Czas trwania egzaminu dla arkusza standardowego			180 minut
Liczba szkół			1 932
Liczba zespołów egzaminatorów			26
Liczba egzaminatorów-weryfikatorów			26
Liczba egzaminatorów			275
Liczba obserwatorów ³ (§ 8 ust. 1)			41
Liczba unieważnień ⁴	w przypadku:		
	art. 44zzv pkt 1	stwierdzenia niesamodzielnego rozwiązywania zadań przez zdającego	0
	art. 44zzv pkt 2	wniesienia lub korzystania przez zdającego w sali egzaminacyjnej z urządzenia telekomunikacyjnego	1
	art. 44zzv pkt 3	zakłócenia przez zdającego prawidłowego przebiegu egzaminu	0
	art. 44zzw ust. 1	stwierdzenia podczas sprawdzania pracy niesamodzielnego rozwiązywania zadań przez zdającego	0
	art. 44zzy ust. 1–9	stwierdzenie naruszenia przepisów dotyczących przeprowadzenia egzaminu maturalnego	1
	art. 44zzy ust. 10	niemożność ustalenia wyniku (np. zaginięcie karty odpowiedzi)	0
Liczba wglądów ⁴ (art. 44zzz)			436

³ Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 sierpnia 2022 r. w sprawie egzaminu maturalnego (Dz.U. z 2024 r. poz. 302, z późn. zm.).

⁴ Ustawa z dnia 7 września 1991 r. o systemie oświaty (Dz.U. z 2025 r. poz. 881).

Podstawowe dane statystyczne

Wyniki zdających

WYKRES 1. ROZKŁAD WYNIKÓW ZDAJĄCYCH

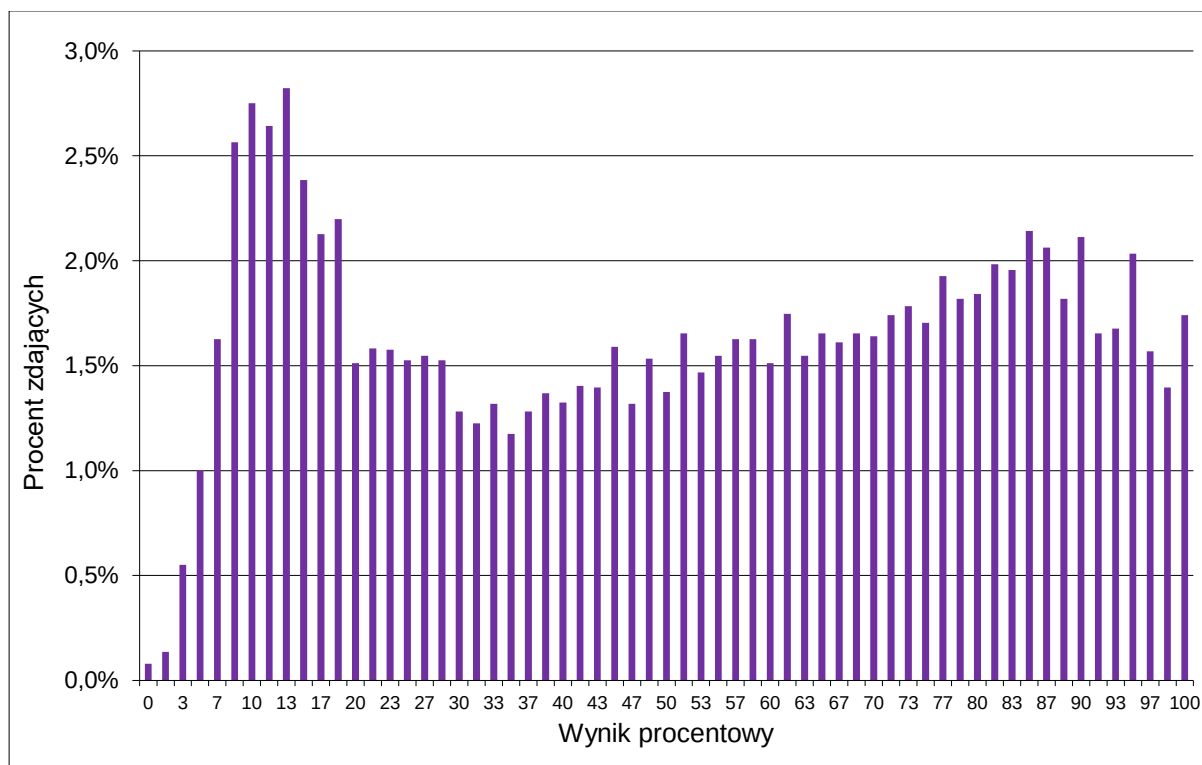


TABELA 4. WYNIKI ZDAJĄCYCH – PARAMETRY STATYSTYCZNE*

Zdający	Liczba zdających	Minimum (%)	Maksimum (%)	Mediana (%)	Modalna (%)	Średnia (%)	Odchylenie standardowe (%)
Ogółem Formuła 2023	13 961	0	100	53	13	52	29
w tym:							
z liceów ogólnokształcących	11 069	0	100	62	85	59	27
z techników	2 886	0	100	17	10	26	22
z branżowych szkół II stopnia	6	-	-	-	-	-	-

* Dane dotyczą tegorocznych absolwentów. Parametry statystyczne są podane dla grup liczących 30 lub więcej zdających.

Poziom wykonania zadań

TABELA 5. POZIOM WYKONANIA ZADAŃ

Wymagania podstawy programowej			
Nr zad.	Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe <i>Gdy wymaganie dotyczy treści szkoły podstawowej, dopisano (SP), a gdy zakresu podstawowego szkoły ponadpodstawowej – dopisano (P).</i>	Poziom wykonania zadania (%)
1.1.	I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: II.3) opisuje ruchy postępowe, posługując się wielkościami wektorowymi: [...] prędkością i przyspieszeniem [...]; II.7) opisuje ruchy złożone jako sumę ruchów prostych; analizuje rzut poziomy jako przykład ruchu dwuwymiarowego.	43
1.2.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: II.16) (SP) opisuje spadek swobodny [...]. I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] wykresów, [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...]. II.4) opisuje ruchy prostoliniowe jednostajne i jednostajnie zmiennie, posługując się zależnościami położenia, wartości prędkości i przyspieszenia oraz drogi od czasu; II.7) opisuje ruchy złożone jako sumę ruchów prostych; analizuje rzut poziomy jako przykład ruchu dwuwymiarowego.	40
2.1.	I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: III.2) stosuje pojęcie bryły sztywnej; opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi; III.4) [...] posługuje się pojęciami [...] momentu bezwładności jako wielkości zależnej od rozkładu mas, wraz z ich jednostkami; III.5) [...] oblicza energię ruchu bryły sztywnej jako sumę energii kinetycznej ruchu postępowego środka masy i ruchu obrotowego wokół osi przechodzącej przez środek masy. II.20) [...] wykorzystuje [...] zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń.	40
2.2.	V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: II.12) wyznacza graficznie siłę wypadkową dla sił działających w dowolnych kierunkach [...]; II.13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał; II.23) opisuje ruch ciał na równi pochyłej. III.2) stosuje pojęcie bryły sztywnej; opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi; III.4) stosuje zasady dynamiki dla ruchu obrotowego; posługuje się pojęciami przyspieszenia kąowego oraz momentu bezwładności jako wielkości zależnej od rozkładu mas, wraz z ich jednostkami. <i>ALBO</i>	29

		II.20) [...] wykorzystuje [...] zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń. III.5) [...] oblicza energię ruchu bryły sztywnej jako sumę energii kinetycznej ruchu postępowego środka masy i ruchu obrotowego wokół osi przechodzącej przez środek masy.	
3.1.	I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali i prędkości rozchodzenia się fali do opisu fal oraz stosuje do obliczeń związki między tymi wielkościami wraz z ich jednostkami. X.6) stosuje prawo odbicia i prawo załamania fal na granicy dwóch ośrodków; posługuje się pojęciem współczynnika załamania ośrodka [...].	46
3.2.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.4) przeprowadza obliczenia liczbowe, posługując się kalkulatorem; I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. X.6) stosuje prawo odbicia i prawo załamania fal na granicy dwóch ośrodków; posługuje się pojęciem współczynnika załamania ośrodka; oblicza kąt graniczny.	43
4.1.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: X.1) analizuje rozchodzenie się fal na powierzchni wody i dźwięku w powietrzu na podstawie obrazu powierzchni falowych; X.2) posługuje się pojęciem natężenia fali wraz z jej jednostką (W/m^2) [...]; X.3) opisuje zależność natężenia [...] fali kulistej od odległości od punktowego źródła.	48
4.2.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali i prędkości rozchodzenia się fali do opisu fal oraz stosuje do obliczeń związki między tymi wielkościami wraz z ich jednostkami. X.9) stosuje zasadę superpozycji fal; wyjaśnia zjawisko interferencji fal; podaje warunki wzmocnienia oraz wygaszenia się fal.	40
5.1.	IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] rysunków schematycznych [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; [...]. II.13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał. IV.1) posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego [...]; IV.3) analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych [...];	77

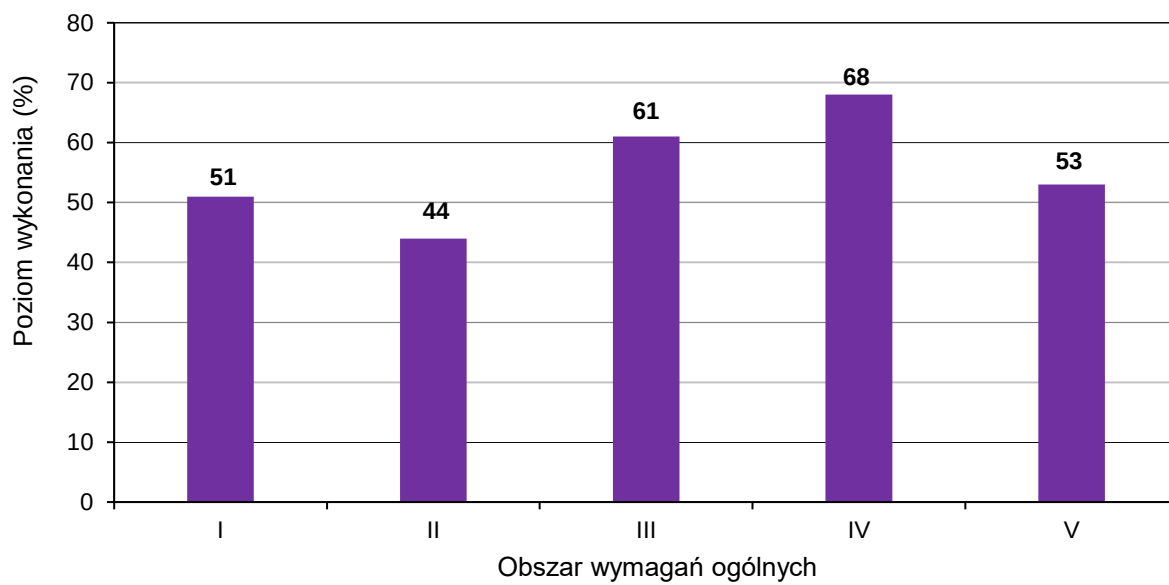
		IV.5) [...] stosuje do obliczeń III prawo Keplera dla orbit kołowych i eliptycznych.	
5.2.	IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] rysunków schematycznych [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; [...]. III.6) posługuje się pojęciem momentu pędu punktu materialnego [...]; III.7) stosuje zasadę zachowania momentu pędu. IV.6) interpretuje II prawo Keplera jako konsekwencję zasady zachowania momentu pędu.	58
5.3.	IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.	Zdający: I.2) posługuje się [...] kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych; I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] rysunków schematycznych [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; [...]. IV.5) [...] stosuje do obliczeń III prawo Keplera dla orbit kołowych i eliptycznych.	64
6.1.	I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: I.7) wyodrębnia z [...] wykresów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VI.8) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki do analizy przemian gazowych; rozróżnia przemiany: izotermiczną, izobaryczną, izochoryczną [...] gazów; VI.10) opisuje związek między temperaturą w skali Kelvina a [...] energią wewnętrzną gazu doskonałego; VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego.	64
6.2.	V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.6) tworzy [...] wykresy [...] dla zilustrowania zjawisk bądź problemu [...]; I.7) wyodrębnia z [...] wykresów [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VI.8) [...] rozróżnia przemiany: izotermiczną, izobaryczną, izochoryczną [...] gazów; VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego; VI.12) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu.	56
6.3.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: VI.8) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki do analizy przemian gazowych; rozróżnia przemiany: izotermiczną, izobaryczną, izochoryczną [...] gazów; VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego; VI.13) posługuje się pojęciem ciepła molowego gazu; interpretuje związek między ciepłem molowym przy stałym ciśnieniu a ciepłem molowym w stałej objętości dla gazu doskonałego; VI.14) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach i pompach cieplnych.	33

7.1.	III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.	Zdający: I.7) wyodrębnia z [...] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. IX.12) (SP) doświadczalnie: a) demonstruje [...] powstawanie obrazów za pomocą zwierciadeł płaskich i soczewek. X.16) rysuje konstrukcyjnie obrazy wytworzone przez soczewki; stosuje do obliczeń równanie soczewki; X.18) doświadczalnie: [...] f) bada związek między ogniskową soczewki a położeniami przedmiotu i obrazu.	73
7.2.	V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.6) tworzy [...] rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu [...]; I.7) wyodrębnia z [...] rysunków schematycznych [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. X.16) rysuje konstrukcyjnie obrazy wytworzone przez soczewki; stosuje do obliczeń równanie soczewki.	64
8.	V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.6) tworzy [...] rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu [...]; I.7) wyodrębnia z [...] rysunków schematycznych lub [...] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. IX.1) posługuje się pojęciem pola magnetycznego; rysuje linie pola magnetycznego w pobliżu [...] przewodników z prądem (przewodnik prostoliniowy [...]); IX.2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej wraz z jego jednostką [...]; IX.6) stosuje do obliczeń związek wartości indukcji pola magnetycznego i natężenia prądu dla prostoliniowego przewodnika [...].	68
9.1.	I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	Zdający: I.5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarnie, wykonuje graficznie działania na wektorach ([...] rozkładanie na składowe); I.6) tworzy [...] rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu [...]; I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska [...]. VII.3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego [...]. IX.14) opisuje [...] rozchodzenie się fal elektromagnetycznych. X.13) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną poprzeczną; rozróżnia światło spolaryzowane i niespolaryzowane; analizuje polaryzację światła po przejściu przez	66

		polaryzator, wynikającą z poprzecznego charakteru fali elektromagnetycznej; X.18) doświadczalnie: a) obserwuje zmiany natężenia światła po przejściu przez dwa polaryzatory, których osie polaryzacji tworzą różne kąty.	
9.2.	III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów, [...] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska [...]. VII.3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego [...]. IX.14) opisuje [...] rozchodzenie się fal elektromagnetycznych. X.2) posługuje się pojęciem natężenia fali [...] oraz proporcjonalnością do kwadratu amplitudy; X.13) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną poprzeczną; rozróżnia światło spolaryzowane i niespolaryzowane; analizuje polaryzację światła po przejściu przez polaryzator, wynikającą z poprzecznego charakteru fali elektromagnetycznej; X.18) doświadczalnie: a) obserwuje zmiany natężenia światła po przejściu przez dwa polaryzatory, których osie polaryzacji tworzą różne kąty.	50
10.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym [...] kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych; I.15) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zaokrąglony do zadanej liczby cyfr znaczących. XII.2) posługuje się związkiem między energią całkowitą, masą cząstki i jej prędkością; posługuje się pojęciem energii spoczynkowej; XII.3) opisuje równowagę masy i energii spoczynkowej.	43
11.1.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali i prędkości rozchodzenia się fali do opisu fal oraz stosuje do obliczeń związki między tymi wielkościami wraz z ich jednostkami. XI.2) [...] posługuje się pojęciem fotonu oraz oblicza jego energię; XI.5) [...] stosuje zasadę zachowania energii [...] do opisu emisji i absorpcji przez swobodne atomy [...].	60
11.2.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.2) posługuje się [...] kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych. VIII.4) (SP) posługuje się pojęciami [...] częstotliwości, długości fali i prędkości rozchodzenia się fali do opisu fal oraz stosuje do obliczeń związki między tymi wielkościami wraz z ich jednostkami. XI.2) [...] posługuje się pojęciem fotonu oraz oblicza jego energię; XI.4) [...] oblicza różnice energii między poziomami energetycznymi w atomie wodoru;	56

		XI.5) [...] stosuje zasadę zachowania energii [...] do opisu emisji i absorpcji przez swobodne atomy [...].	
12.1.	IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych i źródeł internetowych, oraz ocenianie wiarygodności źródeł.	Zdający: I.2) posługuje się [...] tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych. XII.5) posługuje się pojęciami pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron; opisuje skład jądra atomowego na podstawie liczb masowej i atomowej; XII.6) zapisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku; XII.9) [...] opisuje rozpady alfa [...].	70
12.2.	II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: II.15) wykorzystuje zasadę zachowania pędu do opisu zachowania się izolowanego układu ciał; II.20) posługuje się pojęciami [...] energii kinetycznej [...]. XII.5) posługuje się pojęciami pierwiastek, jądro atomowe [...]; XII.9) [...] opisuje rozpady alfa [...].	42
12.3.	V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.4) przeprowadza obliczenia liczbowe, posługując się kalkulatorem; I.15) [...] zapisuje wynik zaokrąglony do zadanej liczby cyfr znaczących. II.20) posługuje się pojęciami [...] mocy [...]. VI.2) rozróżnia przekaz energii w postaci ciepła między układami o różnych temperaturach i przekaz energii w formie pracy. XII.12) opisuje rozpad izotopu promieniotwórczego; posługuje się pojęciem czasu połowicznego rozpadu; oblicza liczbę jąder izotopu promieniotwórczego, które pozostają w próbce po dowolnym czasie [...].	52

WYKRES 2. POZIOM WYKONANIA ZADAŃ W OBSZARZE WYMAGAŃ OGÓLNYCH



Komentarz

W roku 2025 do egzaminu maturalnego z fizyki w Formule 2023 przystąpili po raz trzeci absolwenci liceów ogólnokształcących, a po raz drugi – absolwenci techników. Egzamin odbył się tylko na poziomie rozszerzonym. Średni wynik, jaki osiągnęli wszyscy absolwenci (liceów oraz techników łącznie), wynosi **52%**. Absolwenci liceów osiągnęli średni wynik **59%**, natomiast absolwenci techników osiągnęli średni wynik **26%**.

1. Analiza jakościowa zadań

Tegoroczny arkusz maturalny z fizyki składał się ogółem z 25 pojedynczych zadań ujętych w 12 grup (wiązek) zadaniowych, za które można było uzyskać łącznie 60 punktów.

Poziomy trudności zadań

Poniżej określimy rozkład liczby zadań oraz rozkład punktacji na poszczególne poziomy trudności w arkuszu maturalnym z fizyki w roku 2025.

W praktyce i teorii pomiaru dydaktycznego przyjmuje się, że:

- Zadania bardzo trudne, to takie, których poziom wykonania⁴ zawiera się w przedziale od 0% do 19%. W arkuszu maturalnym z fizyki nie było zadań bardzo trudnych.
- Zadania trudne, to takie, których poziom wykonania zawiera się w przedziale od 20% do 49%. W arkuszu maturalnym z fizyki było 11 zadań trudnych, za które można było uzyskać łącznie 28 punktów (co stanowi 47% punktacji za arkusz).
- Zadania umiarkowanie trudne, to takie, których poziom wykonania zawiera się przedziale od 50% do 69%. W arkuszu maturalnym z fizyki było 11 zadań umiarkowanie trudnych, za które można było uzyskać łącznie 26 punktów (co stanowi 43% punktacji za arkusz).
- Zadania łatwe, to takie, których poziom wykonania zawiera się przedziale od 70% do 89%. W arkuszu maturalnym z fizyki były 3 zadania łatwe, za które można było uzyskać łącznie 6 punktów (co stanowi 10% punktacji za arkusz).
- Zadania bardzo łatwe, to takie, których poziom wykonania zawiera się w przedziale od 90% do 100%. W arkuszu maturalnym z fizyki nie było zadań bardzo łatwych.

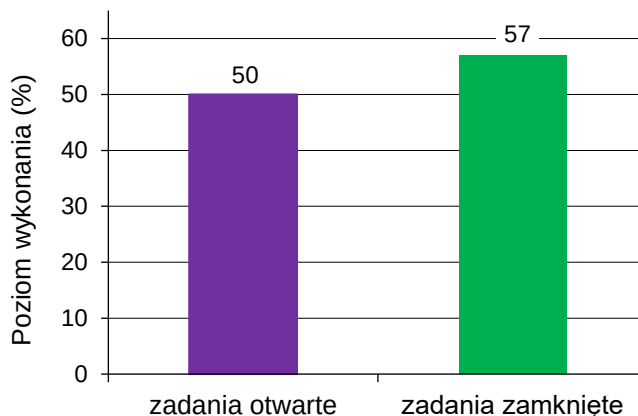
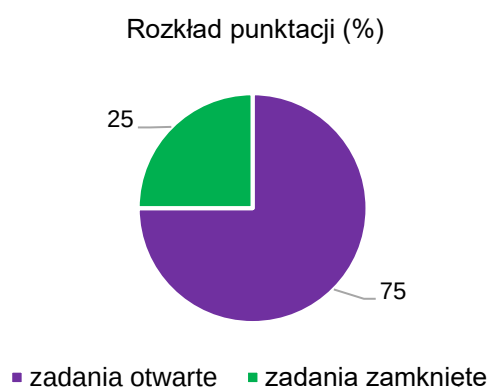
Zauważmy, że w arkuszu egzaminacyjnym nie było zadań o skrajnym poziomie trudności: to znaczy nie było zadań bardzo łatwych oraz nie było zadań bardzo trudnych.

Zadania otwarte i zamknięte

Arkusz maturalny z fizyki w tym roku zawierał 16 zadań otwartych, za które można było uzyskać w sumie 45 punktów (co stanowi 75% całkowitej punktacji), oraz 9 zadań zamkniętych, za które można było dostać łącznie 15 punktów (co stanowi 25% całkowitej punktacji).

Poziom wykonania grupy zadań otwartych wyniósł w tym roku 50%, a poziom wykonania grupy zadań zamkniętych wyniósł 57%. Poniżej znajdują się diagramy ilustrujące te dane.

⁴ Poziom wykonania zadania lub grupy zadań to parametr, który określamy jako iloraz (wyrażony w procentach) średniego wyniku za dane zadanie (lub grupę zadań) i maksymalnej liczby punktów możliwych do uzyskania za to zadanie (lub grupę zadań). Parametr ten nazywany jest także współczynnikiem łatwości. W przypadku zadań za 1 pkt poziom wykonania zadania określa procent zdających, którzy poprawnie wykonali zadanie.



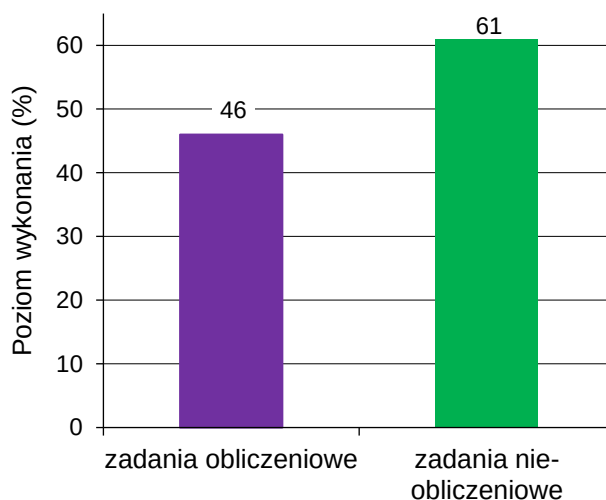
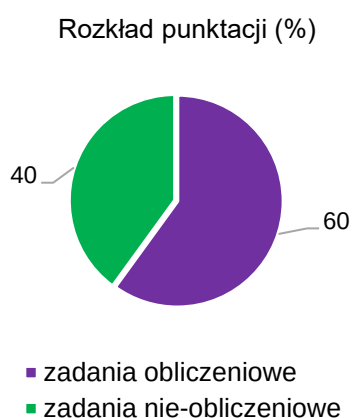
Zadania obliczeniowe i nie-obliczeniowe

Przyjmujemy do naszej analizy, że zadania obliczeniowe to te zadania otwarte (lub w niektórych przypadkach zamknięte), w których zdający – aby uzyskać punkty za rozwiązanie – musiał wykonać obliczenia lub przekształcenia algebraiczne wzorów.

W arkuszu znalazło się 12 zadań obliczeniowych (spośród wszystkich 25 zadań). Można było za nie uzyskać łącznie 36 punktów, co stanowi około 60% maksymalnej liczby punktów możliwych do zdobycia. Zadań, które określimy jako nie-obliczeniowe było w arkuszu 13, przy czym można było za nie uzyskać 24 pkt, co stanowi około 40% maksymalnej liczby punktów możliwych do zdobycia.

Poziom wykonania wszystkich zadań obliczeniowych w arkuszu wyniósł około 46%, a poziom wykonania zadań nie-obliczeniowych – około 61%. Zadania obliczeniowe – tak jak co roku – okazały się dla zdających zdecydowanie trudniejsze.

Poniżej znajdują się diagramy ilustrujące omówione dane.



Korelacja wyników poszczególnych zadań z wynikiem za arkusz

Wyniki, jakie osiągnęli zdający za poszczególne zadania (w tym te najtrudniejsze), bardzo dobrze korelowały z wynikami uzyskanymi za cały arkusz. Przekonuje o tym analiza tzw. współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych zadań.

Współczynnik korelacji liniowej Pearsona może przyjmować wartości od -1 do 1 i jest miarą stopnia zależności/powiązania/korelacji liniowej między dwiema zmiennymi losowymi. W naszym przypadku parami zmiennych losowych są: wyniki zdających za dane zadanie i odpowiadające im wyniki tychże zdających za cały arkusz. W praktyce pomiaru dydaktycznego dodatnie wartości współczynnika korelacji powyżej $0,5$ oznaczają bardzo dobre powiązanie wyniku zadania z wynikiem za cały arkusz – tzn. że wzrost wartości wyniku za dane zadanie w populacji zdających wiąże się ze wzrostem wartości wyniku za cały arkusz.

Większość zadań w arkuszu – bo aż 21 zadań spośród 25 – osiągnęła współczynnik korelacji liniowej wyższy od $0,5$. Ponadto, w tym aż 15 zadań miało ten współczynnik wyższy lub równy $0,70$, co oznacza silną korelację. Tylko 4 zadania miały współczynnik mieszczący się w przedziale $0,19$ – $0,44$.

Dobra i silna korelacja wyniku za zadania z wynikiem za cały arkusz oznacza, że zadania były prawidłowo skonstruowane i bardzo dobrze różnicowały populację zdających.

2. Zadania, z którymi zdający poradzili sobie najslabiej

W tej części *Komentarza* omówimy zadania, z którymi zdający poradzili sobie najslabiej. Przyjmiemy do analizy 7 najtrudniejszych zadań w arkuszu.

Do każdego zadania omawianego w dalszej części komentarza, będziemy podawali dwa parametry: 1) poziom wykonania zadania (**L** % – nazywany też współczynnikiem łatwości) wyrażony w %; 2) współczynnik korelacji liniowej Pearsona (**P**) wyrażony w ułamku dziesiętnym. Parametry te określone są dla całej populacji zdających egzamin maturalny z fizyki w 2025 roku w terminie głównym (w formule 2023).

Zadania, licząc kolejno od najtrudniejszego, to (w nawiasach obok parametrów statystycznych zapisano jakiej tematyki dotyczy zadanie oraz rodzaj zadania):

1. **Zadanie 2.2.** (29%, 0,73, mechanika bryły sztywnej, zadanie otwarte)
2. **Zadanie 6.3.** (33%, 0,70, termodynamika, zadanie otwarte)
3. **Zadanie 4.2.** (40%, 0,75, mechanika falowa, zadanie otwarte)
4. **Zadanie 2.1.** (40%, 0,19, mechanika bryły sztywnej, zadanie zamknięte)
5. **Zadanie 1.2.** (40%, 0,75, mechanika punktu materialnego, zadanie otwarte)
6. **Zadanie 12.2.** (42%, 0,80, fizyka jądrowa i mechanika (rozpadu alfa), zadanie otwarte)
7. **Zadanie 3.2.** (43%, 0,72, mechanika falowa, zadanie otwarte)

Wszystkie – za wyjątkiem jednego – z wymienionych siedmiu najtrudniejszych zadań w arkuszu to zadania otwarte. Rozwiązanie tych zadań otwartych wymagało wyodrębnienia zjawiska z opisanego kontekstu, stworzenia fizycznego i matematycznego modelu zjawiska, zastosowania odpowiedniej zasady / prawa fizycznego, czy też innych zależności fizycznych bądź matematycznych. Te czynniki, niezależnie od działu fizyki, którego dotyczyło zadanie, miały największy wpływ na niski poziom wykonania tych zadań.

W dalszej części omówimy szczegółowo wymienionych powyżej siedem najtrudniejszych zadań w arkuszu i opiszemy błędy, jakie najczęściej popełniali zdający w swoich rozwiązaniach. Przy okazji omówimy pokrótce pozostałe zadania w wiązkach, w których występowały te najtrudniejsze zadania.

Omówienie zadania 2.2. ($\mathcal{L} = 29\%$, $P = 0,73$) oraz zadania 2.1. ($\mathcal{L} = 40\%$, $P = 0,19$)

Wiązka **zadań 2.1.–2.2.** dotyczyła zagadnień związanych z dynamiką bryły sztywnej. Wstęp do wiązki zadań był następujący:

Zadanie 2.

Dany jest jednorodny pełny walec W1 oraz wydrążony częściowo (i osiowoosymetrycznie) jednorodny walec W2. Walec W1 położono na równi pochyłej i puszczono swobodnie. Następnie na tej samej wysokości na tej równi położono walec W2 i także puszczono swobodnie (zobacz rysunek poniżej). Prędkości początkowe obu walców były równe zero. Walce W1 oraz W2 staczały się z równi bez poślizgu. Kąt nachylenia równi do poziomego podłoża wynosi β .

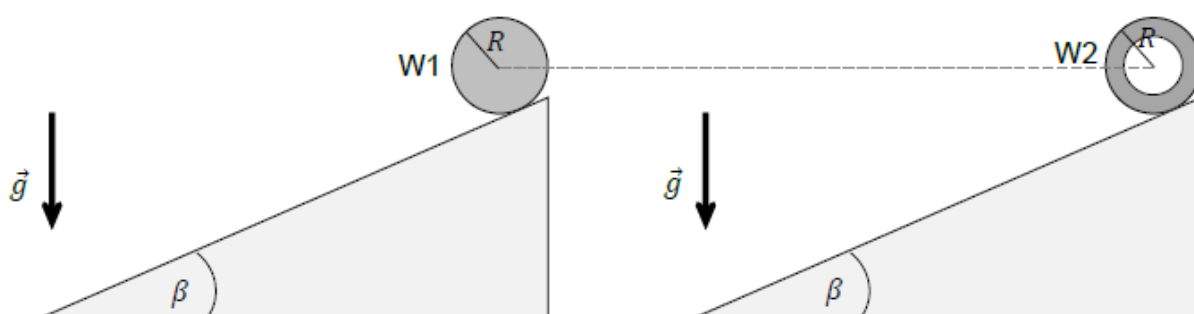
Przyjmij następujące dane:

- promienie walców są sobie równe: $R_1 = R_2 = R$
- masy walców są sobie równe: $m_1 = m_2 = m$ (walce wykonano z różnych materiałów)
- momenty bezwładności walców W1 i W2 względem osi każdego z nich wyrażają się – odpowiednio – wzorami:

$$I_1 = k_1 m R^2 \quad \text{oraz} \quad I_2 = k_2 m R^2$$

gdzie k_1 i k_2 są pewnymi współczynnikami oraz $k_1 \neq k_2$.

Rysunek (widok z boku)



Uwzględnij następujące założenia i warunki:

- siły tarcia statycznego pomiędzy każdym z walców a powierzchnią równi nie osiągnęły wartości maksymalnych
- pomijamy inne (tzn. oprócz tarcia statycznego) opory ruchu
- ruch walców rozpatrujemy w inercjalnym układzie odniesienia związanym z ziemią, w jednorodnym, ziemskim polu grawitacyjnym.

Pierwsze zadanie tej wiązki (**zadanie 2.1.**) było zamknięte. Należało w nim ocenić prawdziwość stwierdzeń związanych z porównaniem momentów bezwładności, całkowitych energii kinetycznych oraz prędkości ruchu postępowego walców W1 oraz W2. To zadanie okazało się 4. pod względem trudności zadaniem w arkuszu (poziom wykonania wyniósł 40%). Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonymi poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 2.1. (0–2)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	$k_2 > k_1$	☒ P	☐ F
2.	U podnóża równi całkowite energie kinetyczne walców W1 i W2 są sobie równe.	☒ P	☐ F
3.	U podnóża równi wartość prędkości ruchu postępowego walca W1 jest mniejsza od wartości prędkości ruchu postępowego walca W2.	☐ P	☒ F

Poprawna ocena pierwszego stwierdzenia (**Zadanie 2.1.1.**) wymagała znajomości pojęcia momentu bezwładności. Z jego definicji wynika fakt, że moment bezwładności bryły o zadanej masie zależy od rozkładu tej masy względem osi obrotu – im dalej od osi obrotu jest rozłożona masa, tym większy jest moment bezwładności bryły względem tej osi. Z treści oraz rysunku wynika, że walec W2 ma większy moment bezwładności ($I_2 > I_1$), z czego wynika nierówność odpowiednich współczynników ($k_2 > k_1$).

Do poprawnej oceny drugiego stwierdzenia (**Zadanie 2.1.2.**) należało zastosować zasadę zachowania energii mechanicznej. Oba walce miały równe masy i znajdowały się początkowo na tej samej wysokości. W związku z tym ich początkowe energie mechaniczne – równe ich energiom potencjalnym – były sobie równe. Zatem zgodnie z zasadą zachowania energii, energie mechaniczne końcowe obu walców – równe ich energiom kinetycznym całkowitym – też były sobie równe.

Zdający najczęściej mylili się w ocenie trzeciego zdania (**Zadanie 2.1.3.**). Poprawna ocena trzeciego zdania wymagała złożonej analizy jakościowej zjawiska. W tym celu należało uwzględnić fakt, że rozkład całkowitej energii kinetycznej na energię ruchu postępowego i energię ruchu obrotowego zależy od momentu bezwładności bryły: im większy moment bezwładności względem osi obrotu, tym większa część energii kinetycznej przypada na ruch obrotowy. Ponieważ u podnóża równi całkowite energie kinetyczne obu walców są sobie równe ($E_{kin\ post\ 1} + E_{kin\ obr\ 1} = E_{kin\ post\ 2} + E_{kin\ obr\ 2}$) oraz $I_2 > I_1$, to zachodzą relacje: $E_{kin\ obr\ 2} > E_{kin\ obr\ 1}$ oraz $E_{kin\ post\ 2} < E_{kin\ post\ 1}$. Z ostatniej nierówności dla energii kinetycznych ruchu postępowego walców oraz z równości mas tych walców wynika, że wartość prędkości walca W1 jest większa od wartości prędkości walca W2.

Zadanie 2.2. było najtrudniejszym zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 29%, a współczynnik korelacji Pearsona 0,73. Wysoki współczynnik korelacji oznacza, że wyniki, jakie otrzymywali zdający za to zadanie, bardzo dobrze korelowały z wynikami za cały arkusz.

Polecenie do zadania było następujące:

Zadanie 2.2. (0–4)

Wyznacz α – wartość przyspieszenia liniowego walca W2 – w zależności tylko od wartości przyspieszenia ziemskiego g , od kąta β oraz od współczynnika k_2 .

Zapisz odpowiednie równania i przekształcenia oraz podaj postać wzoru na α .

Zadanie to można było rozwiązać na kilka sposobów (zobacz [Zasady oceniania rozwiązań zadań](#), strony 14.– 16.). Zdający najczęściej wybierali sposób rozwiązania, w którym należało zastosować zasady dynamiki. Taki sposób rozwiązania wymagał aby:

- (1) poprawnie zapisać równania ruchu wynikające z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego walca W2 oraz dla ruchu obrotowego walca W2 (względem osi symetrii),
- (2) uwzględnić w tych równaniach: wartości siły wypadkowej jako $F_w = mg \sin \beta - T$ oraz wzór na moment siły tarcia $M = RT$,
- (3) uwzględnić związek między przyspieszeniem liniowym a przyspieszeniem kątowym walca oraz wzór na moment bezwładności walca.

Rozwiązanie zadania (podane poniżej skrótnie, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) dla omówionego sposobu przedstawia się następująco:

$$\left(\begin{cases} ma = mg \sin \beta - T \\ I_2 \epsilon = RT \end{cases} \quad \text{oraz} \quad a = \epsilon R \quad \text{oraz} \quad I_2 = k_2 m R^2 \right) \rightarrow a = \frac{\sin \beta}{1 + k_2} g$$

Inne sposoby rozwiązania opierały się na zastosowaniu zasady zachowania energii mechanicznej albo na wykorzystaniu metody chwilowej osi obrotu. Poniżej rozwiązania (w skrócie):

$$\left(\begin{cases} mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k_2mR^2\omega^2 \\ v^2 = 2as \end{cases} \quad \text{oraz} \quad v = \omega R \quad \text{oraz} \quad \frac{h}{s} = \sin \beta \right) \rightarrow a = \frac{\sin \beta}{1 + k_2} g$$

albo

$$(I_{chw}\epsilon = R \cdot mg \sin \beta \quad \text{oraz} \quad a = \epsilon R \quad \text{oraz} \quad I_{chw} = I_2 + mR^2) \rightarrow a = \frac{\sin \beta}{1 + k_2} g$$

Zasadniczą trudnością dla rozwiązujących zadanie z użyciem zasad dynamiki było poprawne zapisanie dwóch równań wynikających z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego walca W2 i dla ruchu obrotowego walca W2 oraz poprawne określenie wartości siły wypadkowej F_w działającej na walec i poprawne określenie wartości momentu siły. Najczęściej popełnianym błędem przez zdających, którzy zapisywali oba równania II zasady dynamiki dla ruchu postępowego i obrotowego, było niepoprawne określenie siły wypadkowej. W innych przypadkach zdający zapisywali II zasadę dynamiki tylko dla ruchu postępowego lub tylko dla ruchu obrotowego walca.

Innym rodzajem poważnego błędu rzeczowego było zapisywanie siły tarcia niezgodnie z warunkiem zadania, który mówi, że siła tarcia statycznego nie osiągnęła wartości maksymalnej. Niektórzy błędnie zapisywali siłę tarcia jako $T = \mu mg \cos \beta$ – wykorzystując wzór na tarcie kinetyczne albo wzór dla przypadku granicznego, gdy tarcie statyczne osiągnęło wartość maksymalną.

Trudnością dla zdających rozwiązujących zadanie metodą energetyczną było powiązanie ze sobą prędkości, przyspieszenia i drogi na podstawie równań ruchu jednostajnie przyspieszonego walca W2. Zdający często kończyli rozwiązanie na etapie wyznaczenia prędkości z równania zasady zachowania energii.

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających opisane powyżej błędy.

Przykład 1 – rozwiązania zdających

Zdający zapisuje równania wynikające z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego walca oraz dla ruchu obrotowego walca oraz poprawnie uwzględnia wzór na moment siły tarcia $M = RT$ (zapisy w zielonych ramkach). Zapisy te stanowią istotny postęp w rozwiązaniu zadania.

Jednak zdający błędnie określa wartość siły wypadkowej jako: $F_w = F_{gx} + T$ (zapis w pierwszej czerwonej ramce), podczas, gdy powinno być $F_w = F_{gx} - T$.

Niepoprawne określenie wartości siły wypadkowej nie pozwoliło zdającemu otrzymać poprawnego wzoru na przyspieszenie: $a = \frac{\sin \beta}{1+k_2} g$.

$$ma = F_{gx} + T$$

$$J\epsilon = TR$$

$$T = \frac{J\epsilon}{R}$$

$$ma = F_{gx} + \frac{J\epsilon}{R}$$

$$ma = mg \sin \beta + \frac{k_2 m R^2 \frac{a}{R}}{R}$$

$$ma = mg \sin \beta + k_2 ma$$

$$ma - k_2 ma = mg \sin \beta$$

$$a(1 - k_2) = g \sin \beta$$

$$a = \frac{g \sin \beta}{1 - k_2}$$

Przykład 2 – rozwiązania zdających

Zdający zapisuje równania wynikające z II zasady dynamiki dla ruchu postępowego walca i dla ruchu obrotowego walca oraz uwzględnia wzór na moment siły tarcia oraz na siłę wypadkową (zapisy w zielonych ramkach). Zapisy te stanowią istotny postęp w rozwiązaniu zadania.

Jednak zdający błędnie określa wartość siły tarcia jako: $T = \mu mg \cos \beta$ (zapisy w czerwonych ramkach), ponieważ jest to niezgodne z warunkiem zadania, który mówi, że siła tarcia statycznego nie osiągnęła wartości maksymalnej. Błędne przyjęcie postaci siły tarcia nie wpłynęło w tym przypadku na postać końcową wzoru, ponieważ algebraiczne rozwiązanie układu równań względem a wiązało się z wyeliminowaniem siły tarcia z układu równań. Z uwagi na to, że rozwiązanie nie było w pełni poprawne, to – pomimo prawidłowej postaci wzoru na a – zdający nie otrzymał maksymalnej liczby punktów.

$$\begin{aligned}
 I_2 &= k_2 m R^2 & a &=? \\
 ma &= mg \sin \beta - \mu mg \cos \beta \\
 a &= g \sin \beta - \mu g \cos \beta \\
 E_1 &= E_2 \\
 mgh &= \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} \\
 a &= g \sin \beta - k_2 a \\
 a + k_2 a &= g \sin \beta \\
 a(1 + k_2) &= g \sin \beta \\
 a &= \frac{g \sin \beta}{1 + k_2} \\
 R \cdot \mu mg \cdot \cos \alpha &= I_2 \epsilon \\
 R \mu g \cdot \cos \alpha &= k_2 \cdot R^2 \cdot \frac{a}{R} \\
 \mu g \cdot \cos \alpha &= k_2 \cdot a \\
 a &= \frac{\mu g \cdot \cos \alpha}{k_2}
 \end{aligned}$$

Przykład 3 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie zapisał równania wynikające z zasady zachowania energii mechanicznej oraz poprawnie zastosował wzory na energię kinetyczną ruchu postępowego walca W2, energię kinetyczną ruchu obrotowego walca W2 i energię potencjalną walca W2, oraz zastosował związek między prędkością kątową walca a prędkością liniową walca (zapis w zielonej ramce).

Jednak zdający nie powiązał ze sobą prędkości, przyspieszenia i drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym walca W2 (zapisy w czerwonej ramce), w związku z czym nie doprowadził rozwiązania zadania do końca.

$$\begin{aligned}
 E_p &= E_{kp} + E_{ko} & \sin \beta &= \frac{h}{s} \\
 E_p &= mgh & h &= \sin \beta \cdot s \\
 E_{kp} &= \frac{1}{2} m v^2 \\
 E_{ko} &= \frac{1}{2} I \omega^2 & \omega &= \frac{v}{R} \\
 E_{ko} &= \frac{1}{2} I \frac{v^2}{R^2} \\
 mgh &= \frac{1}{2} v^2 \frac{I}{R^2} + \frac{1}{2} v^2 m \\
 mgh &= \frac{1}{2} v^2 \frac{k_2 m R^2}{R^2} + \frac{1}{2} v^2 m \\
 gh &= \frac{1}{2} v^2 + \frac{1}{2} v^2 k_2 \\
 v &= \sqrt{\frac{gh}{(\frac{1}{2} k_2 + \frac{1}{2})}} \\
 s &= \frac{at^2}{2} \\
 2s &= at^2 \\
 t &= \frac{2s}{a} \\
 t &= \frac{2s}{\frac{g \sin \beta}{\frac{1}{2} k_2 + \frac{1}{2}}}
 \end{aligned}$$

Omówienie zadania 6.3. (Ł = 33%, P = 0,70) z wiązki zadań 6.1–6.3.

Zadanie wchodziło w skład wiązki **zadań 6.1.–6.3.** dotyczących zagadnień związanych z przemianami termodynamicznymi gazu doskonałego. Wstęp do zadań był następujący:

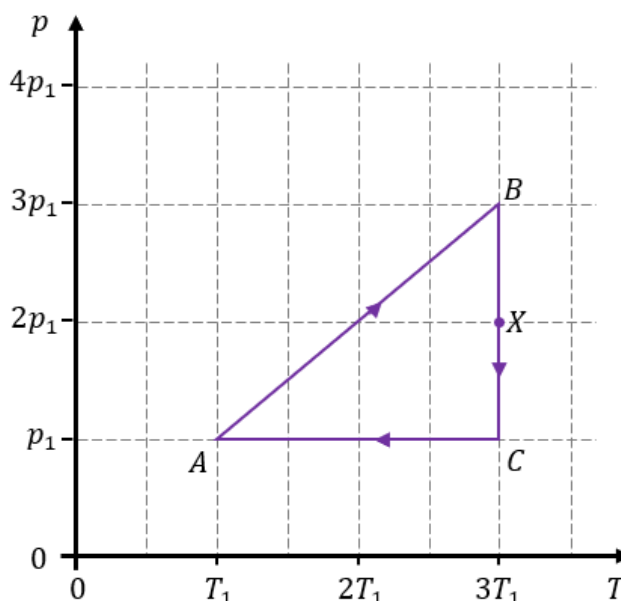
Zadanie 6.

Na wykresie 1. przedstawiono zależność ciśnienia p od temperatury T w cyklu przemian termodynamicznych $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ustalonej masy gazu doskonałego.

Przyjmij, że:

- ciepło molowe tego gazu przy stałej objętości wynosi $C_V = \frac{3}{2}R$, gdzie R jest stałą gazową
- temperatura, ciśnienie i objętość gazu w stanie A są – odpowiednio – równe T_1 , p_1 i V_1
- stany gazu: A , B , C , X , znajdują się w punktach kratowych siatki wykresu
- liczbę moli gazu oznaczmy jako n .

Wykres 1.



Pierwsze zadanie (**zadanie 6.1.**) tej wiązki było zadaniem zamkniętym. Należało w nim ocenić prawdziwość stwierdzeń dotyczących poszczególnych przemian termodynamicznych ustalonej masy gazu doskonałego. Do poprawnej oceny zdań trzeba było wykorzystać własności wynikające z I zasady termodynamiki oraz ze związku temperatury z energią wewnętrzną. Zadanie to okazało się umiarkowanie trudne dla zdających – jego poziom wykonania wyniósł 64% a współczynnik korelacji z arkuszem to 0,39. Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonymi poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 6.1. (0–2)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	W przemianie $A \rightarrow B$ energia wewnętrzna gazu wzrosła.	☒ P	☐ F
2.	W przemianie $C \rightarrow A$ gaz pobrał ciepło z otoczenia.	☐ P	☒ F
3.	Wartość bezwzględna pracy siły parcia gazu w przemianie $B \rightarrow C$ jest równa wartości bezwzględnej ciepła pobranego w tej przemianie.	☒ P	☐ F

Umiarkowanie trudnym dla zdających okazało się być również **zadanie 6.2.** – drugie zadanie wiązki. Uzyskało ono poziom wykonania 56% i współczynnik korelacji Pearsona 0,84. Polecenie do zadania było następujące:

Zadanie 6.2. (0–4)

Wyznacz V_B , V_C oraz V_X – objętości gazu w stanach B , C oraz X – w zależności tylko od V_1 . Zapisz odpowiednie równania oraz podaj wzory na V_B , V_C i V_X .

Na wykresie 2. narysuj zależność ciśnienia p od objętości V w opisanym cyklu przemian $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$. Oznacz stany gazu A , B , C oraz X .

Aby poprawnie rozwiązać zadanie należało:

- (1) określić jakim przemianom ulega gaz doskonały,
- (2) zapisać równania wynikające z równań Clapeyrona dla poszczególnych stanów (lub skorzystać z własności danej przemiany) i wyznaczyć odpowiednie objętości,
- (3) zaznaczyć na wykresie (V, p) stany A , B , C , X oraz narysować zależności ciśnienia p od objętości V (z uwzględnieniem kształtu izotermy, przechodzącej przez punkt X) w cyklu przemian $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$.

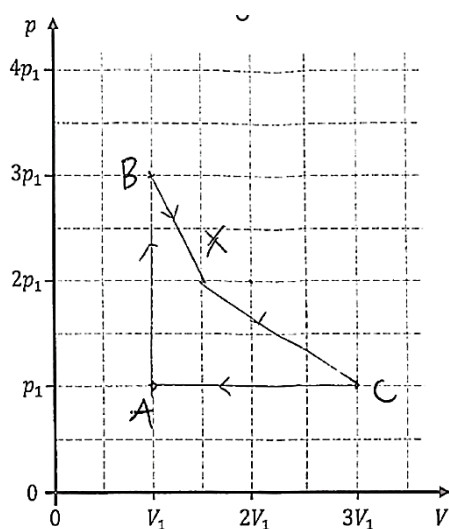
Wielu zdającym największą trudność sprawiło właśnie narysowanie izotermy o poprawnym kształcie – tzn. fragmentu hiperboli przechodzącej przez punkt $X = \left(\frac{3}{2}V_1; 2p_1\right)$.

Poniżej przykłady fragmentów rozwiązań (wykresy) zdających, gdzie zdający poprawnie zaznaczają na wykresie (V, p) stany A , B , C , X , jednak niepoprawnie rysują izotermę.

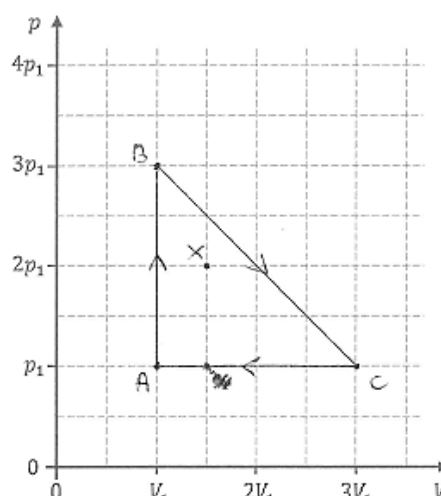
Przykłady 4 a) i 4 b) – rozwiązania zdających (fragmenty)

Zdający niepoprawnie rysują izotermę: po lewej – jako krzywą łamaną złożoną z odcinków prostych BX oraz XC , po prawej – jako jeden odcinek BC , który nie przechodzi przez X .

Przykład 4 a)



Przykład 4 b)



Drugim pod względem trudności zadaniem w arkuszu było **zadanie 6.3**. Poziom wykonania tego zadania to 33%, a współczynnik korelacji Pearsona 0,70. Wysoki współczynnik korelacji oznacza, że wyniki, jakie otrzymywali zdający za to zadanie, bardzo dobrze korelowały z wynikami za cały arkusz. Poniżej treść zadania.

Zadanie 6.3. (0–2)

Ciepło oddane przez gaz do chłodnicy w jednym cyklu $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ oznaczmy jako Q_{odd} .

Wyznacz Q_{odd} w zależności tylko od T_1 oraz od liczby moli gazu n , oraz od stałej gazowej R . Zapisz odpowiednie zależności oraz podaj postać wzoru na Q_{odd} .

W [Zasadach oceniania rozwiązań zadań](#), na stronach 33.– 34. podane są dwa sposoby rozwiązania tego zadania. W pierwszym sposobie rozwiązania wykorzystuje się wzór na ciepło w przemianie izobarycznej. Natomiast w drugim sposobie – I zasadę termodynamiki. Zdający najczęściej wybierali sposób pierwszy. Aby poprawnie rozwiązać zadanie tym sposobem należało:

- (1) zidentyfikować ciepło oddane przez gaz jako ciepło wymienione z otoczeniem w przemianie $C \rightarrow A$ oraz
- (2) poprawnie zapisać związek między ciepłem pobranym w przemianie izobarycznej $C \rightarrow A$ a przyrostem temperatury ΔT_{CA} .

Rozwiązanie zadania pierwszym sposobem (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$(|Q_{odd}| = |Q_{CA}| \text{ oraz } |Q_{CA}| = |nC_p \Delta T_{CA}|) \rightarrow |Q_{CA}| = 5nRT_1$$

W drugim sposobie rozwiązania – po zidentyfikowaniu ciepła oddanego przez gaz jako ciepła wymienionego z otoczeniem w przemianie $C \rightarrow A$ – należało skorzystać z I zasady termodynamiki. Poprawne wykorzystanie tej zasady wymagało uwzględnienia – zgodnie z przyjętą konwencją znaków – że energia w przemianie $C \rightarrow A$ jest oddawana przez gaz w postaci ciepła i jednocześnie pobierana w postaci wykonanej pracy, a energia wewnętrzna gazu maleje. Przy tym należało wykorzystać wzory na pracę i energię wewnętrzną.

Rozwiązanie zadania drugim sposobem (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$(|Q_{odd}| = |Q_{CA}| \text{ oraz } -|\Delta U_{CA}| = -|Q_{CA}| + |W_{CA}| \text{ oraz } -|\Delta U_{CA}| = nC_V|\Delta T_{CA}| \text{ oraz } |W_{CA}| = p_1|\Delta V_{CA}| \text{ oraz } p_1|\Delta V_{CA}| = nR|\Delta T_{CA}|) \rightarrow |Q_{CA}| = 5nRT_1$$

Zasadniczą trudnością zadania, niezależnie od wyboru sposobu rozwiązania, było poprawne zidentyfikowanie ciepła oddanego przez gaz jako ciepła wymienionego z otoczeniem w przemianie $C \rightarrow A$ tj. $Q_{odd} = Q_{CA}$. Zdający, którzy rozwiązywali zadanie pierwszym sposobem i poprawnie zidentyfikowali Q_{odd} często mylili ciepło molowe przy stałym ciśnieniu z ciepłem molowym przy stałej objętości pisząc: $Q_{CA} = n\frac{3}{2}R\Delta T_{CA}$ zamiast $Q_{CA} = n\frac{5}{2}R\Delta T_{CA}$.

W przypadku zdających, którzy rozwiązywali zadanie korzystając z I zasady termodynamiki, najczęściej popełnianym błędem było niepoprawne stosowanie konwencji znaków energii.

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających opisane powyżej błędy.

Przykład 5 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie identyfikuje ciepło oddane jako ciepło wymienione z otoczeniem w przemianie $C \rightarrow A$ (zapisy w zielonej ramce). Zapisuje wzór na ciepło w przemianie izobarycznej, przy czym myli ciepło molowe przy stałym ciśnieniu z ciepłem molowym przy stałej objętości (zapis w czerwonej ramce). Błąd ten nie pozwolił zdającemu na uzyskanie poprawnego wyniku: $|Q_{CA}| = 5nRT_1$.

$Q_{\text{odd}} = ? \quad T_1, m, R$
 $U = 0 \quad W_{\text{gaz}} = W = Q$
 $\Delta pV = nR \cdot \Delta T \quad A-B$
 $p \Delta V = nR \cdot \Delta T \quad 2p_0 V_1 = nR \cdot 2T_1$
 $Q = n C \cdot n \cdot \Delta T$
 $Q_{\text{odd}} = \frac{3}{2} R \cdot n \cdot 2T_1 = 3R \cdot n \cdot T_1$

Gaz oddaje ciepło w przemianie C-A
 $Q_{\text{odd}} = Q_{CA}$

Przykład 6 – rozwiązania zdających

Zdający niepoprawnie identyfikuje ciepło oddane jako sumę ciepła Q_{AB} w przemianie izochorycznej $A \rightarrow B$ i ciepła Q_{CA} w przemianie izobarycznej $C \rightarrow A$ (zapis w czerwonej ramce). Jest to niepoprawne ponieważ tylko w przemianie $C \rightarrow A$ gaz oddaje ciepło. W przemianie $A \rightarrow B$ ciepło jest pobierane przez gaz z otoczenia.

$Q = C \cdot n \cdot \Delta T \quad n = \frac{p_1 V_1}{R T_1} \quad pV = nRT$
 $AB:$
 $Q_{AB} = \frac{3}{2} R \cdot n \cdot 2T_1 = \frac{3 p_1 V_1}{2 R T_1} \cdot 2T_1 = 3 p_1 V_1 = 3 n R T_1$
 $BC:$ izoterma, czyli $\Delta T = 0 \Rightarrow Q_{BC} = 0$
 $CA:$
 $C_p = C_v + R$
 $Q_{CA} = \frac{5}{2} R \cdot n \cdot (-2T_1) = -5 n R T_1$
 $Q_{\text{odd}} = |Q_{AB} + Q_{CA}| = |n R T_1 (3 - 5)| = 2 n R T_1$

Przykład 7 – rozwiązania zdających

Zdający zapisuje I zasadę termodynamiki z poprawną identyfikacją ciepła oddanego jako ciepła wymienionego z otoczeniem w przemianie $C \rightarrow A$ (zapis w pierwszej zielonej ramce). Znak minus przy Q_{odd} wskazuje na to, że zdający przyjmuje konwencję znaków, zgodnie z którą stratę energii gazu w postaci ciepła oznacza znakiem minus, a energię dostarczoną w formie pracy – ze znakiem plus. Zdający nie zapisuje znaku minus przy zmianie energii wewnętrznej – co być może wynika albo z zamiaru uwzględnienia tego dalej w ujemnej zmianie temperatury ΔT_{CA} , albo z niekonsekwencji w konwencji znaków (o czym świadczy dalej potraktowanie zmiany temperatury co do wartości bezwzględnej). Ponadto zapis w pomarańczowej ramce jest błędnym przekształceniem zapisu z pierwszej zielonej ramki.

Niezależnie od opisanego szeregu niekonsekwencji w znakach i przekształceniach, zdający błędnie utożsamia zmianę energii wewnętrznej ΔU_{CA} z przyrostem temperatury ΔT_{CA} (zapis w czerwonej ramce).

Zdający poprawnie zapisuje wzór na pracę W_{CA} i uwzględnienia w nim równanie stanu gazu doskonałego (zapisy w drugiej zielonej ramce). Jednak opisane powyżej błędy nie pozwoliły zdającemu na uzyskanie poprawnego wyniku: $|Q_{CA}| = 5nRT_1$.

$$\begin{aligned}
 Q &= C \cdot n \cdot \Delta T, \\
 \Delta U_{AB} &= Q_{pob} \\
 \Delta U_{BC} &= W_{BC} + Q_{pob} + Q_{pob} \\
 \Delta U_{CA} &= W_{CA} - Q_{odd} \\
 Q_{odd} &= \Delta U_{CA} - W_{CA} \\
 W_{CA} &= p_{AC} 3V_1 \\
 W_{CA} &= (3(V_1 - V_1))(p_1 - 0) = 2V_1 p_1 \\
 V_1 p_1 &= nRT_1 \\
 2V_1 p_1 &= 2nRT_1 \\
 Q_{odd} &= \Delta U_{CA} - 2nRT_1 \\
 \Delta U_{CA} &\text{ jest równa zmianie temperatury w przemianie } (-\Delta T) \\
 \text{a więc:} \\
 Q_{odd} &= \Delta T_{CA} - 2nRT_1 \\
 Q_{odd} &= 2T_1 - 2nRT_1 = 2T_1(1 - nR)
 \end{aligned}$$

Omówienie zadania 4.2. (Ł = 40%, P = 0,75) z wiązki zadań 4.1–4.2.

Zadanie 4.2. wchodziło w skład wiązki **zadań 4.1.–4.2.**, która sprawdzała opanowanie typowych wymagań związanych z rozchodzeniem się fali dźwiękowej kulistej. Poniżej wstęp do wiązki zadań.

Zadanie 4.

Mały głośnik G1 jest źródłem kulistej fali dźwiękowej w powietrzu. Przyjmij, że energia tej fali dźwiękowej rozchodzi się tak samo we wszystkich kierunkach od głośnika G1.

W zadaniach 4.1.–4.2. pomijamy efekty związane z odbiciem fali dźwiękowej od przeszkód w otoczeniu oraz z pochłanianiem tej fali w ośrodku.

W pierwszym zadaniu wiązki (**zadanie 4.1.**) należało obliczyć natężenie dźwięku w zadanej odległości od źródła dźwięku.

Zadanie 4.1. (0–2)

Energia kulistej fali dźwiękowej, którą emituje głośnik G1 w ciągu każdej sekundy, jest równa $E = 40 \text{ mJ}$. Punkt X znajduje się w odległości $r_X = 10 \text{ m}$ od głośnika G1.

Oblicz I_X – natężenie dźwięku w punkcie X . Zapisz obliczenia.

Wskazówka: Pole powierzchni kuli o promieniu r jest równe $S = 4\pi r^2$.

W celu rozwiązania zadania należało skorzystać tylko z jednego wzoru fizycznego, który ponadto był zamieszczony w broszurze *Wybrane wzory na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*. Do tego w zadaniu podany był wzór matematyczny na powierzchnię kuli. Rozwiązanie zadania jest następujące:

$$I_X = \frac{40 \text{ mJ}}{1 \text{ s} \cdot 4\pi \cdot 10^2 \text{ m}^2} = \frac{10}{\pi} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \approx 3,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

To proste w rozwiązaniu zadanie – tzn. wymagające poprawnego zastosowania tylko jednego wzoru fizycznego – uzyskało poziom wykonania 48% i było 11. pod względem trudności zadaniem w arkuszu (na 25 wszystkich zadań).

Należy także odnotować fakt, że zadanie to do uzyskało wysoki współczynnik Pearsona równy 0,70. Taki wynik wskazuje na dosyć silną korelację liniową wyniku za to zadanie z wynikiem za cały arkusz. A to oznacza, że to pozornie proste w rozwiązaniu zadanie (jednoetapowe) okazało się trudne dla tych osób, które uzyskały niskie wyniki za arkusz, umiarkowanie trudne dla osób, które uzyskały średnie wyniki za cały arkusz i łatwe dla osób, które uzyskały wysokie wyniki za arkusz.

Słabe wyniki za to proste – jednoetapowe – do rozwiązania zadanie mogą wynikać z faktu, że wymagania, których opanowanie sprawdzało to zadanie, są nowe w porównaniu do poprzedniej podstawy programowej, a ponadto zadania tego typu pojawiły się pierwszy raz na egzaminie maturalnym (choć pojawiły się w arkuszach pokazowych i informatorze).

Wymagania do zadania 4.1. to m.in.:

Zdający:

X.2) posługuje się pojęciem natężenia fali wraz z jej jednostką (W/m^2) [...];

X.3) opisuje zależność natężenia [...] fali kulistej od odległości od punkowego źródła.

Rzeczywiście, bardzo duża liczba błędnych rozwiązań wiązała się z nieprawidłowym zastosowaniem wzoru na natężenie fali kulistej oraz lub z nieznaną jednostek natężenia fali mechanicznej.

Przykład 8 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie stosuje wzór na natężenie fali kulistej i prawidłowo oblicza wartość liczbową natężenia fali dźwiękowej w punkcie X (zapis w zielonej ramce).

Jednak wynik zdający zapisuje z błędną jednostką – stosuje jednostkę A (amper), która to jednostka jest właściwa dla natężenia prądu, a nie dla natężenia fali (zapis w czerwonej ramce).

$l_x = ?$ $r_x = 10 \text{ m}$ $E = 40 \text{ mJ}$ $S = 4\pi r^2$
 $I_x = \frac{E}{S \Delta t}$ $\frac{E}{\Delta t} = \frac{40 \text{ mJ}}{0.01 \text{ s}} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ J} / 0.01 \text{ s} = 4 \text{ J/s}$
 $I_x = \frac{0.04}{4\pi \cdot 10^2} \approx 3.18 \cdot 10^{-5} \text{ A}$

Drugie zadanie wiązki (**Zadanie 4.2.**) było 3. pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 40%, a współczynnik korelacji Pearsona 0,75. Wysoki współczynnik Pearsona oznacza bardzo dobrą korelację liniową wyników za to zadanie z wynikami za cały arkusz.

Zadanie dotyczyło interferencji fal – należało ustalić, czy w zadanym punkcie ośrodka nastąpi wzmocnienie, czy osłabienie interferencyjne. Polecenie do zadania było następujące:

Zadanie 4.2. (0–3)

W pewnej odległości od głośnika G1 ustawiono taki sam głośnik G2. Oba głośniki emitują – z tą samą mocą i zgodnie w fazie – fale dźwiękowe o częstotliwości $f = 850 \text{ Hz}$.

Punkt A znajduje się w odległości $r_1 = 10,5 \text{ m}$ od głośnika G1 oraz w odległości $r_2 = 11,5 \text{ m}$ od głośnika G2. Wartość prędkości dźwięku w powietrzu jest równa $v_p = 340 \text{ m/s}$.

Ustal, czy w punkcie A nastąpi wzmocnienie interferencyjne, czy – osłabienie interferencyjne. Wykorzystaj odpowiednie zależności fizyczne i warunki zadania oraz wykonaj niezbędne obliczenia, które doprowadzą do tego ustalenia. Następnie zapisz odpowiedź.

W celu ustalenia, czy w punkcie A nastąpi osłabienie, czy wzmocnienie interferencyjne należało: (1) obliczyć długość fali dźwiękowej emitowanej przez głośniki; (2) sprawdzić warunki na maksymalne wzmocnienie interferencyjne oraz na maksymalne osłabienie interferencyjne fali w punkcie A . Warunki te można było wyrazić poprzez obliczenie różnicy dróg fal jako krotności połowy długości fali lub krotności pełnej długości fali albo poprzez obliczenie różnicy faz fal docierających do punktu A . Obie metody były równoważne algebraicznie. Poniżej przedstawiamy w skrócie rozwiązanie:

$$\left(\lambda = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{850 \frac{1}{\text{s}}} = 0,4 \text{ m} \quad \text{oraz} \quad 11,5 \text{ m} - 10,5 \text{ m} = \frac{5}{2} \cdot 0,4 \text{ m} \right) \rightarrow \text{nastąpi osłabienie}$$

Inny jakościowo sposób rozwiązania – wynikający z opisanych powyżej – wykorzystywał warunek z okresem i różnicą czasów, w jakich docierają od źródeł do punktu A fale. Szczegółowe rozwiązania różnymi sposobami można zobaczyć w [Zasadach oceniania rozwiązań zadań](#) na stronach 23.– 25.

Zasadniczymi trudnościami dla zdających były: prawidłowe obliczenie długości fali dźwiękowej emitowanej przez głośniki oraz poprawne określenie i zastosowanie warunków na maksymalne wzmocnienie/osłabienie interferencyjne oraz poprawna interpretacja otrzymanego wyniku. Większość błędów popełniana przez zdających, którzy podjęli rozwiązanie, wiązała się właśnie z pokonaniem tych trudności.

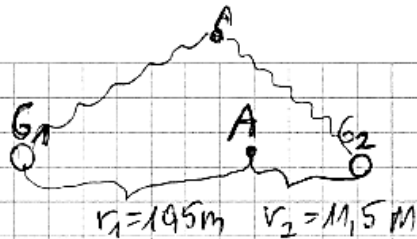
Poniżej przykłady rozwiązań zawierających opisane powyżej błędy.

Przykład 9 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie obliczył długość fali dźwiękowej emitowanej przez oba głośniki oraz sprawdza warunek na maksymalne osłabienie / wzmocnienie interferencyjne – tzn. prawidłowo oblicza iloraz różnicy dróg fal i długości fali (zapis w zielonej ramce).

Jednak zdający błędnie interpretuje otrzymany wynik (zapis w czerwonej ramce).

odpowiedz.



$f = 850 \text{ Hz}$
 $v = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

~~Wzmocnienie~~

~~$r_2 - r_1 = 2\pi\lambda$~~
 ~~$11.5 - 10.5 = 1$~~
 ~~$2\pi \cdot 0.4 = 2.512$~~

~~Wygaznienie~~

~~$r_2 - r_1 = 2\pi\lambda$~~
 ~~$11.5 - 10.5 = 1$~~
 ~~$2\pi \cdot 0.4 = 2.512$~~

$r_2 - r_1 = 1$

Wzmocnienie

$28.75 - 26.25 = 2.5 \approx 2\pi\lambda$

odp. Wykupi wzmocnienie

~~$d \sin \alpha = n\lambda$~~

~~$\frac{r_1}{\lambda} = 26.25 \text{ m}$~~

~~$\frac{r_2}{\lambda} = 28.75 \text{ m}$~~

Przykład 10 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie obliczył długość fali dźwiękowej emitowanej przez oba głośniki oraz sprawdza warunek na maksymalne osłabienie / wzmocnienie interferencyjne – tzn. prawidłowo oblicza różnicę faz fal docierających do punktu A (zapisy w zielonej ramce).

Jednak zdający błędnie interpretuje otrzymany wynik (**zapis w czerwonej ramce**).

$$A = \frac{v_{di}}{f} \quad A = \frac{v_{di}}{f} = \frac{340}{850} = 0,4 \text{ [m]}$$

$$\frac{n_1}{n} = 26,25 \text{ ~~100~~ } = n_1$$

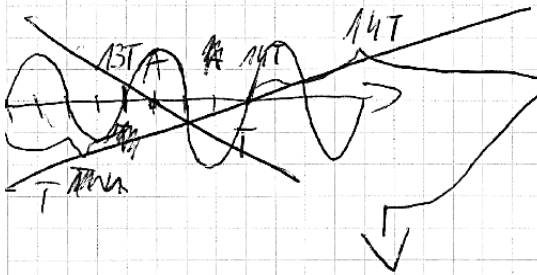
$$\frac{n_2}{\lambda} = 28,75 \text{ ~~cm}^{-1}~~ = n_2$$

$$\frac{n_1}{2} = 13 \pm 0,25$$

$$\frac{n_2}{2} = 214 \vee 0,45$$

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} x + \frac{2\pi}{T} t$$

$$\begin{aligned}\varphi_1 - \varphi_2 &= 2\pi n - \frac{2\pi}{\lambda}(x_1 - x_2) \\ &= -\frac{2\pi}{0,4} (0,105 - 1,5) \\ &= \frac{2\pi}{0,4} = 5\pi\end{aligned}$$



Wzrostu cen energii $\rightarrow$ n nieparzyste

Omówienie zadania 1.2. (Ł = 40%, P = 0,75) z wiązki zadań 1.1–1.2.

Zadanie 1.2. wchodziło w skład wiązki **zadań 1.1.–1.2.** dotyczących zagadnień związanych z ruchem punktu materialnego w polu grawitacyjnym. Wstęp do wiązki zadań był następujący:

Zadanie 1.

Rozważamy rzuty wykonane w doświadczalnej komorze próżniowej.

Do analizy zadań 1.1. i 1.2. przyjmij model zjawiska, w którym:

- ruchy ciał odbywają się bez działania sił oporu
- ciała poruszają się w inercjalnym układzie odniesienia, w jednorodnym, ziemskim polu grawitacyjnym
- poruszające się ciała traktujemy jako punkty materialne
- podłoże, na które upadają rzucone ciała, jest poziome
- przyspieszenie ziemskie ma wartość $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Pierwsze zadanie w wiązce (**zadanie 1.1.**) było zamknięte. Należało w nim ocenić prawdziwość stwierdzeń odnoszących się do rzutu poziomego, jako ruchu ciała jedynie pod wpływem siły grawitacji z przyspieszeniem grawitacyjnym i poziomą prędkością początkową. Zadanie to okazało się być 8. pod względem trudności zadaniem w arkuszu (poziom wykonania 43%).

Do oceny prawdziwości każdego ze stwierdzeń wymagana była analiza parametrów opisujących rzut poziomy, będący złożeniem dwóch ruchów – jednostajnie przyspieszonego w kierunku pionowym (w dół) i jednostajnego w kierunku poziomym.

Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonym poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 1.1. (0–2)

W chwili t_0 rzucono kulkę K z pewnej wysokości. Prędkość $\vec{v}_0$ kulki w chwili t_0 miała kierunek poziomy.

Analizujemy ruch kulki K od chwili t_0 do chwili t_k – momentu uderzenia kulki K o podłoże.

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Wartość prędkości kulki K rośnie wprost proporcjonalnie do czasu, mierzonego od chwili t_0 .	P	F
2.	Wektor przyspieszenia kulki K podczas jej ruchu ma stałą wartość.	P	F
3.	Czas ruchu kulki K od chwili t_0 do chwili t_k zależy od v_0 – wartości prędkości początkowej kulki.	P	F

Zadanie 1.2. było 5. pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 40% a współczynnik korelacji 0,75. Wysoki współczynnik korelacji oznacza, że wyniki jakie otrzymali zdający za to zadanie, bardzo dobrze korelowało z wynikami za cały arkusz i bardzo dobrze różnicowało zdających. Poniżej treść zadania.

Zadanie 1.2. (0–3)

Z punktu A w chwili $t_0 = 0$ s rzucono kulę K_A . Prędkość kulki K_A w chwili t_0 miała kierunek poziomy i wartość równą $v_{0A} = 8$ m/s.

Z punktu B – w tej samej chwili t_0 – rzucono kulę K_B . Prędkość kulki K_B w chwili t_0 miała kierunek pionowy, zwrot w górę i wartość, którą oznaczymy jako v_{0B} .

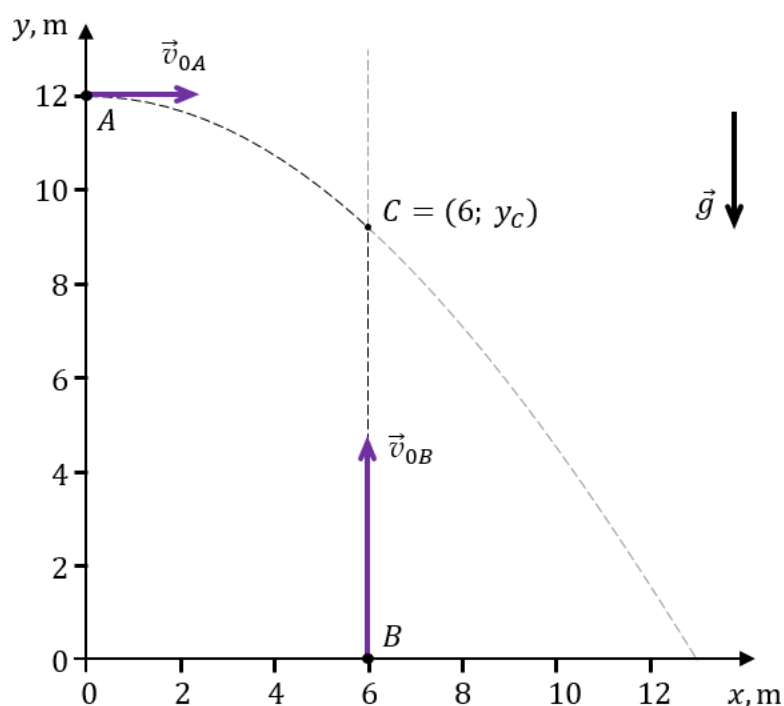
Rzucone kulki K_A i K_B zderzyły się w chwili t_z w punkcie C .

Współrzędne punktów A , B i C wyrażone w metrach, w kartezjańskim układzie współrzędnych, są następujące:

$$A = (0; 12) \quad B = (6; 0) \quad C = (6; y_C)$$

Opisaną sytuację ilustruje rysunek [...]. Przyjmij, że dane w zadaniu są dokładne.

Rysunek



Oblicz v_{0B} – wartość prędkości początkowej kulki K_B w punkcie B . Zapisz obliczenia.

Zadanie to można było rozwiązać na pięć sposobów (zobacz [Zasady oceniania rozwiązań zadań](#), strony 7.– 10.).

Zdający najczęściej wybierali *sposób 1.* lub *sposób 2.* rozwiązania, które wymagały stosowania kinematycznych równań ruchu. W celu rozwiązania zadania tymi sposobami należało zastosować:

- (1) równanie ruchu jednostajnego prostoliniowego do opisu położenia kulki K_A wzdłuż osi x , z którego to równania można było bezpośrednio obliczyć czas ruchu kulki K_A od chwili t_0 do chwili t_z zderzenia się kulek,
- (2) równanie ruchu jednostajnie przyspieszonego (w stronę przeciwną do zwrotu osi y) bez prędkości początkowej do opisu położenia kulki K_A wzdłuż osi y , z którego można było wyznaczyć rzędną punktu C w funkcji położenia początkowego kulki K_A , g i t_z , oraz
- (3) równanie ruchu jednostajnie opóźnionego (w stronę zwrotu osi y) do opisu położenia kulki K_B wzdłuż osi y , z którego można było wyznaczyć rzędną punktu C w funkcji prędkości początkowej v_{0B} kulki K_B , g i t_z .

Rozwiązanie zadania *sposobem 1.* lub *sposobem 2.* (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów, podstawienia danych i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$\left(\begin{cases} x_{C(KA)} = x_{A(KA)} + v_{0A}t_z \\ y_{C(KA)} = y_{A(KA)} - \frac{1}{2}gt_z^2 \\ y_{C(KB)} = v_{0B}t_z - \frac{1}{2}gt_z^2 \end{cases} \quad \text{oraz} \quad y_{C(KA)} = y_{C(KB)} \right) \rightarrow v_{0B} = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sposoby 3. i 4. rozwiązania zadania bazowały na względności ruchu obu kulek: w *sposobie 3.* należało zastosować równania ruchu kulki K_B względem kulki K_A , a w *sposobie 4.* należało zastosować równania ruchu kulek K_A i K_B w układzie odniesienia, który spada swobodnie. Kluczowym w obu sposobach było wykorzystanie grawitacyjnej zasady Galileusza mówiącej o tym, że wszystkie ciała spadają z tym samym przyspieszeniem grawitacyjnym. Z tej zasady wynika dla nas ważny fakt, że ruchy względne kulek były jednostajne prostoliniowe – co radykalnie upraszczało obliczenia. Zastosowanie równań dla ruchów (względnych lub w spadającym układzie odniesienia) jednostajnych prostoliniowych kulek natychmiast prowadziło do rozwiązania:

$$\frac{6 \text{ m}}{12 \text{ m}} = \frac{8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t_z}{v_{0B} \cdot t_z} \rightarrow v_{0B} = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Szczegółowe rozwiązania *sposobami 3. i 4.* znajdują się na stronach 8.– 10. w [Zasadach oceniania rozwiązań zadań](#).

Pomimo łatwości „technicznej” rozwiązania *sposobami 3. i 4.*, to w skali całej populacji zdających zdarzały się one jedynie w pojedynczych pracach. Trudność tkwiła w jakościowej analizie zjawiska – zazwyczaj rozważa się ciała spadające razem obok siebie, lub ciała w stanie nieważkości w spadającym wyróżnionym układzie odniesienia jak winda albo satelita. W takich sytuacjach widać, że ruchy względne ciał są jednostajne prostoliniowe albo względem siebie ciała się nie poruszają. W przypadku tego natomiast zadania ciała miały te same przyspieszenia (grawitacyjne), przy czym kierunki prędkości początkowych były różne (w poziomie i w górę), a ponadto nie był wyróżniony żaden spadający układ odniesienia. Zatem trudno było dostrzec, że obie kulki w istocie poruszają się z tym samym przyspieszeniem, a ich ruchy względne są jednostajne prostoliniowe. Trudno było dostrzec lub wyobrazić sobie jednostajny ruch obu kulek w pomyślanym spadającym swobodnie układzie odniesienia.

Zadanie można było rozwiązać *sposobem 5.*, wykorzystującym zasadę zachowania energii mechanicznej. W celu rozwiązania zadania należało zapisać równania wynikające z zasady zachowania energii mechanicznej dla kulki K_A w punktach A i C oraz dla kulki K_B w punktach B i C . Ponadto należało uwzględnić wzory na prędkości końcowe obu kulek w punkcie C oraz wzór na czas ruchu kulki K_A od chwili t_0 do chwili t_z zderzenia się kulek.

Rozwiązanie zadania *sposobem 5.* (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$\left(\begin{cases} \frac{mv_{0A}^2}{2} + mgh_A = \frac{m(v_{0A}^2 + (gt_z)^2)}{2} + mgy_C \\ \frac{mv_{0B}^2}{2} = \frac{m(v_{0B} - gt_z)^2}{2} + mgy_C \end{cases} \quad \text{oraz} \quad t_z = \frac{\Delta x_{(KA)}}{v_{0A}} \right) \rightarrow v_{0B} = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Zasadniczą trudnością dla zdających rozwiązujących zadanie z zastosowaniem kinematycznych równań ruchu (*sposób 1.* lub *sposób 2.*), było poprawne zapisanie równań opisujących położenia kulek K_A i K_B wzdłuż osi y . Największa liczba nieprawidłowych rozwiązań wynikała właśnie z niepoprawnie zapisanych równań ruchu dla kulki K_A lub K_B .

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających opisane powyżej błędy.

Przykład 11 – rozwiązania zdających

Zdający rozwiązuje zadanie *sposobem 1.* Poprawnie zapisuje równanie ruchu jednostajnego prostoliniowego do opisu położenia kulki K_A wzdłuż osi x , z którego oblicza czas ruchu kulki K_A od chwili t_0 do chwili t_z zderzenia się kulek. Poprawnie zapisuje również równanie ruchu jednostajnie opóźnionego (w stronę zwrotu osi y) dla opisu położenia kulki K_B wzdłuż osi y (*zapisy w zielonych ramkach*). Jednak niepoprawnie zapisuje wzór na współrzędną y położenia kulki K_A w chwili zderzenia kulek w punkcie C (*zapis w czerwonej ramce*) – tzn. nie uwzględnia wysokości początkowej, tylko zapisuje wzór na przebytą w pionie drogę $\Delta y_{(KA)}$.

Zdający doprowadza rozwiązanie do końca jednak błąd w zapisie równania na współrzędną y dla kulki K_A , nie pozwala na uzyskanie poprawnego wyniku: $v_{0B} = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

POZIOMO: OX

$$x = v_{0A} t \Rightarrow t = \frac{x}{v_{0A}} = \frac{6 \text{ m}}{8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{3}{4} \text{ s} = 0.75 \text{ s} = t_z$$

PIONOWO

opóźniony punkt

$$y = v_{0B} t_z - \frac{g t_z^2}{2}$$

$$y = v_{0B} \cdot 0.75 \text{ s} - \frac{9.81 \cdot (0.75)^2}{2}$$

RAA

$$y = \frac{g t_z^2}{2}$$

$$\frac{g t_z^2}{2} = v_{0B} t_z - \frac{g t_z^2}{2}$$

$$g t_z^2 = v_{0B} t_z$$

$$v_{0B} = \frac{g t_z^2}{t_z} = \frac{9.81 \cdot 0.75}{1} = 7.3575 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Przykład 12 – rozwiązania zdających

Zdający próbuje rozwiązać zadanie *sposobem 2*. Poprawnie zapisuje równanie ruchu jednostajnego prostoliniowego do opisu położenie kulki K_A wzdłuż osi x , z którego oblicza czas ruchu kulki K_A od chwili t_0 do chwili t_z zderzenia się kulek. Poprawnie oblicza również wysokość (położenie) kulki K_A w chwili zderzenia w punkcie C (**zapisy w zielonych ramkach**).

Dalej zdający niepoprawnie zapisuje równanie opisujące ruch kulki K_B wzdłuż osi y . Wynika to z faktu, że zdający zakłada, że wysokość $h_c = 9,24$ m to maksymalna wysokość na jaką wzniesie się kulka K_B i ze wzoru na maksymalną wysokość – w tym przypadku nieuzasadnionego – oblicza czas po jakim kulka K_B osiągnie tę wysokość.

Zapisy w **obu czerwonych ramkach** wskazują na fakt, że zdający błędnie zakłada zerową prędkość kulki K_B w punkcie C .

Handwritten work on grid paper showing physics calculations for two colliding balls. The work includes equations for position and velocity, with some parts boxed in green and red to highlight correct and incorrect reasoning respectively. A diagram of a parabolic path is also drawn.

Equations and calculations shown:

- $x: V_A \cdot m_A \cdot p_{psl}$
- $V(t) = V_0 \cdot t + 6 \text{ m}$
- $6 = V_0 \cdot t$ (boxed in green)
- $t = \frac{6}{g} = 0,55 \text{ s}$ (boxed in green)
- $h = \frac{gt^2}{2} \cdot 1,2$
- $2h = gt^2$
- $\sqrt{\frac{2h}{g}} = t$
- $9,24 = \frac{gt^2}{2}$ (boxed in red)
- $2 \cdot 9,24 = \frac{2 \cdot g \cdot t^2}{2}$ (boxed in red)
- $t = 0,95 \text{ s}$ (boxed in red)
- $h_c = h - h_{po} = 9,24 \text{ m} = y_c$ (boxed in green)
- $h = \frac{gt^2}{2}$ (boxed in green)
- $h_{po} \approx 3,46$ (boxed in green)
- $y(t) = V_0 \cdot t + \frac{gt^2}{2}$ (boxed in red)
- $V_B = y \cdot t$ (boxed in red)
- $V_B \approx 13,55 \text{ m/s}$ (boxed in red)

Dla zdających rozwiązujących zadanie z zastosowaniem zasady zachowania energii (*sposobem 5.*) zasadniczą trudnością było zapisanie poprawnych równań wynikających z zasady zachowania energii mechanicznej podczas ruchu kulki K_A oraz kulki K_B .

Przykład 13 – rozwiązania zdających

Zdający zapisuje zasadę zachowania energii dla kulki K_B w punktach B i C oraz zasadę zachowania energii dla kulki K_A w punktach A i C . Popołnia jednak dwa merytoryczne błędy (*zapisy w czerwonej ramce*):

- (1) zakłada, że w punkcie C obie kulki mają prędkość o tej samej wartości v_C oraz
- (2) w zapisie zasady zachowania energii dla kulki K_A (pierwsze równanie) nie uwzględnia energii kinetycznej kulki w punkcie A .

Zdający konsekwentnie doprowadza rozwiązanie do końca, jednak w wyniku popełnionych błędów rzeczowych nie otrzymuje poprawnego rozwiązania.

Handwritten student solution on grid paper:

Left side (enclosed in a red box, indicating errors):

$$h_A mg = h_C mg + \frac{mv_C^2}{2}$$

$$\frac{mv_{0B}^2}{2} = \frac{mv_C^2}{2} + h_C mg$$

Below the boxed equations:

$$h_A g = \frac{v_{0B}^2}{2}$$

$$2 \cdot 12 \cdot 9,81 = v_{0B}^2$$

$$v_{0B} \approx 15,344 \frac{m}{s}$$

Right side (correct equations):

$$h_A g = h_C g + \frac{v_C^2}{2}$$

$$\frac{v_{0B}^2}{2} = h_C g + \frac{v_C^2}{2} \quad \leftarrow \text{2 zasady zachowania energii}$$

Omówienie zadania 12.2. (Ł = 42%, P = 0,80) z wiązki zadań 12.1–12.3.

Wiązka **zadań 12.1.–12.3.** dotyczyła zagadnień związanych z fizyką jądrową i mechaniką rozpadu alfa. Wstęp do wiązki zadań był następujący:

Zadanie 12.

Izotop plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$ ulega rozpadowi promieniotwórczemu w wyniku przemiany α .

Podczas rozpadu jądra tego izotopu plutonu powstają cząstka α oraz jądro pewnego pierwiastka, który oznaczmy jako X.

Przyjmij, że w opisanym rozpadzie α :

- iloraz masy jądra pierwiastka X i masy cząstki α wynosi w zaokrągleniu

$$\frac{m_X}{m_\alpha} \approx 58,5$$

- w chwili tuż przed opisanym rozpadem jądro plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$ było nieruchome
- wartości prędkości jądra pierwiastka X i cząstki α – powstałych po rozpadzie jądra plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$ – są dużo mniejsze od wartości prędkości światła w próżni.

Pierwsze zadanie w wiązce (**zadanie 12.1.**) było zadaniem otwartym z luką i uzyskało poziom wykonania 70%. Zadanie to zostanie szczegółowo omówione wraz z analizą rozwiązań zdających w dalszej części niniejszego opracowania – w sekcji 3. *Zadania, z którymi zdający poradzili sobie najlepiej.*

Zadanie 12.2. było 6. pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 42% a współczynnik korelacji 0,80. Bardzo wysoki współczynnik korelacji oznacza, że zadanie bardzo dobrze różnicowało zdających. Poniżej treść zadania.

Zadanie 12.2. (0–3)

Energie kinetyczne jądra pierwiastka X i cząstki α , tuż po rozpadzie jądra $^{238}_{94}\text{Pu}$, oznaczmy – odpowiednio – jako $E_{kin\ X}$ i $E_{kin\ \alpha}$.

Oblicz iloraz $\frac{E_{kin\ X}}{E_{kin\ \alpha}}$. Zapisz obliczenia.

Wskazówka: Skorzystaj z zasady zachowania pędu.

Poprawne rozwiązanie zadania wymagało:

- (1) zapisania wyrażenia pozwalającego wyznaczyć iloraz energii kinetycznych jądra X i cząstki α z uwzględnieniem wzorów na energie kinetyczne oraz
- (2) zapisania równania wynikającego z zasady zachowania pędu układu (przed i po rozpadzie jądra $^{238}_{94}\text{Pu}$) z uwzględnieniem wartości pędów jądra X i cząstki α i z uwzględnieniem zwrotów prędkości/pędów jądra X i cząstki α .

Szczegółowe rozwiązania zadania (dwoma sposobami) podano w [Zasadach oceniania rozwiązań zadań](#) na stronie 46.

Rozwiązanie zadania podane poniżej skrótowo (z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$\left(\frac{E_{kin X}}{E_{kin \alpha}} = \frac{m_X v_X^2}{m_\alpha v_\alpha^2} \text{ oraz } m_X v_X - m_\alpha v_\alpha = 0 \right) \rightarrow \frac{E_{kin X}}{E_{kin \alpha}} = \frac{1}{58,5} \approx 0,017$$

albo

$$\left(\frac{E_{kin X}}{E_{kin \alpha}} = \frac{\frac{p_X^2}{2m_X}}{\frac{p_\alpha^2}{2m_\alpha}} \text{ oraz } p_X - p_\alpha = 0 \right) \rightarrow \frac{E_{kin X}}{E_{kin \alpha}} = \frac{1}{58,5} \approx 0,017$$

W zadaniu należało przyjąć, że wartości prędkości jądra X i cząstki α powstałych po rozpadzie jądra plutonu są dużo mniejsze od prędkości światła w próżni, czyli można było wykorzystać klasyczne wzory na energie kinetyczne jądra X i cząstki α . Zasadniczą trudnością dla zdających było poprawne zastosowanie zasady zachowania pędu z uwzględnieniem zwrotów prędkości/pędów jądra X i cząstki α . Ponadto w niektórych rozwiązaniach stosowano wzory relatywistyczne na energie kinetyczną (można było tak zrobić, ale wystarczyło użyć wzorów klasycznych), z którymi dalej zdający sobie nie radzili.

Zdający, którzy dokonali istotnego postępu najczęściej popełniali błędy rachunkowe lub błędy wynikające z niepoprawnego przekształcania wzorów. Ci którzy stosowali wzory relatywistyczne, z reguły pozostawiali rozwiązanie na etapie wypisania równań.

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających błędy związane z opisanymi trudnościami.

Przykład 14 – rozwiązania zdających

Zdający stosuje zasadę zachowania pędu (**zapisy w pomarańczowej ramce**), uwzględnia w niej, że pęd początkowy układu wynosi zero. Jednak zdający niekonsekwentnie stosuje zapis skalarny (na wartościach pędów) – tzn. w zapisie nie uwzględnia za pomocą znaków faktu, że pędy mają przeciwne zwroty. Usterka ta może wynikać z tego, że zdający nie oznaczył swojego zapisu jako równania wektorowego.

Ponadto – pomimo warunku sugerującego użycie wzorów klasycznych – zdający stosuje relatywistyczne wzory na energie kinetyczne jądra X i cząstki α (**zapis w czerwonej ramce**). Dalej zdający nie kontynuuje rozwiązania.

$$E_{kin X} = E - E_{0X} \quad E_{kin \alpha} = E - E_{0\alpha}$$

$$\frac{E_{kin X}}{E_{kin \alpha}} = \frac{E - E_{0X}}{E - E_{0\alpha}} = \frac{E - mc^2}{E - mc^2}$$

$$p_0 = p_X + p_\alpha$$

$$0 = p_X + p_\alpha$$

$$p_X = -p_\alpha$$

$$p = \frac{mv_x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$p \frac{m_X v_X}{\sqrt{1 - \frac{v_X^2}{c^2}}} = - \frac{m_\alpha v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Przykład 15 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie zapisuje iloraz energii kinetycznych jądra X i cząstki α z uwzględnieniem wzorów na te energie. Poprawnie zapisuje równanie skalarne wynikające z zasady zachowania pędu (**zapisy w zielonych ramkach**) oraz poprawnie wyraża stosunek energii kinetycznych jako odpowiedni iloraz mas cząstki α i jądra X.

Jednak dalej zdający nie korzysta z podanego w zadaniu ilorazu mas jądra X i cząstki α , tylko – w konsekwencji błędu w zadaniu 12.1. (**patrz pomarańczowa ramka**) – podstawia masy atomowe błędnych jąder: neptunu i wodoru. Wskutek tego błędu zdający otrzymuje nieprawidłowy wynik (**zapis w czerwonej ramce**).

$$\begin{aligned}
 p_X &= p_\alpha & p_X &= m_X \cdot v_X \\
 & & p_\alpha &= m_\alpha \cdot v_\alpha \\
 m_X \cdot v_X &= m_\alpha \cdot v_\alpha & / : m_X \\
 v_X &= \frac{m_\alpha \cdot v_\alpha}{m_X}
 \end{aligned}$$

$${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{236}_{93}\text{X} + \alpha$$

symbol (lub nazwa) pierwiastka X: Np.....

$$\begin{aligned}
 \frac{E_{\text{kin X}}}{E_{\text{kin } \alpha}} &= \frac{\frac{m_X v_X^2}{2}}{\frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2}} = \frac{m_X \left(\frac{m_\alpha v_\alpha}{m_X} \right)^2}{2} \\
 &= \frac{m_\alpha \cdot 2}{m_\alpha \cdot v_\alpha^2} = \frac{m_X m_\alpha v_\alpha^2}{m_X^2 - m_\alpha \cdot v_\alpha^2} \\
 &= \frac{m_\alpha}{m_X} \approx \frac{1,008 \text{ u}}{237,05 \text{ u}} \approx 0,00425
 \end{aligned}$$

$$\frac{1,008 \text{ u}}{237,05 \text{ u}} \approx 0,00425$$

Trzecie zadanie z wiązki (**zadanie 12.3.**) okazało się być umiarkowanie trudnym dla zdających – jego poziom wykonania wyniósł 52% a współczynnik korelacji z arkuszem to 0,80. Poniżej treść zadania.

Zadanie 12.3. (0–3)

Próbka Z zawierająca izotop plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$ wytwarza energię w postaci ciepła na skutek rozpadu promieniotwórczego tego izotopu plutonu. Moc cieplną generowaną przez tę próbkę oznaczmy jako P .

Próbka Z – w pewnej chwili t_0 – wytwarzała moc cieplną równą $P_0 = 100 \text{ J/s}$.

Dokładnie po czasie $t = 5 \text{ lat}$ od chwili t_0 moc cieplna spadła do wartości $P_t = 96,13 \text{ J/s}$.

Przyjmij, że moc cieplna wytwarzana przez próbkę Z jest wprost proporcjonalna do liczby jąder izotopu plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$ pozostających w próbce Z .

Oblicz T – czas połowicznego rozpadu izotopu plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$. Zapisz obliczenia. Wynik podaj w latach, zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących.

Wskazówki: 1) Jeśli $a^c = b$ oraz $a > 0$, $a \neq 1$, $b > 0$, to $c = \log_a b$.

2) Możesz wykorzystać wzór: $\log_a b = \frac{\log_{10} b}{\log_{10} a}$ dla $a > 0$, $a \neq 1$, $b > 0$.

Aby rozwiązać to zadanie należało:

- (1) wykorzystać warunek zadania o proporcjonalności mocy cieplnej do liczby jąder,
- (2) zapisać równanie prawa rozpadu promieniotwórczego i uwzględnić w nim dane z zadania,
- (3) rozwiązać równanie logarytmiczne względem czasu połowicznego rozpadu T wykorzystując do obliczeń kalkulator naukowy.

Rozwiązanie zadania (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$\left(\frac{P_t}{P_0} = \frac{N_t}{N_0} \text{ oraz } \frac{N_t}{N_0} = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \right) \xrightarrow{\text{kalkulator naukowy}} T = \frac{5 \text{ lat}}{\log_{\frac{1}{2}} 0,9613} \approx 88 \text{ lat}$$

Zasadniczą trudności zadania było skorzystanie z warunku zadania o proporcjonalności mocy cieplnej do liczby jąder pozostających w próbce oraz poprawne zapisanie prawa rozpadu promieniotwórczego.

Zdających, którzy pokonali zasadnicze trudności najczęściej popełniali błędy rachunkowe przy rozwiązywaniu równania logarytmicznego oraz błędy związane z zaokrągleniem wyniku. Zdarzały się również rozwiązania, w których niepoprawnie zapisywano prawo rozpadu promieniotwórczego.

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających opisane powyżej błędy.

Przykład 16 – rozwiązania zdających

Zdający korzysta z warunku zadania o proporcjonalności mocy cieplnej do liczby jąder pozostających w próbce jednak niepoprawnie zapisuje prawo rozpadu promieniotwórczego (**zapisy w czerwonej ramce**).

Zdający w zapisie równania wynikającego z prawa rozpadu zamienia miejscami moc cieplną początkową z mocą cieplną po pięciu latach.

$$P = P(t) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$100 = 96,13 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{T}}$$

$$1,04 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{T}}$$

$$\log_{\frac{1}{2}}(1,04) = \frac{5}{T}$$

$$T = \frac{5}{\log_{\frac{1}{2}}(1,04)}$$

Przykład 17 – rozwiązania zdających

Zdający korzysta z warunku zadania o proporcjonalności mocy cieplnej do liczby jąder pozostających w próbce, poprawnie zapisuje prawo rozpadu promieniotwórczego oraz poprawnie wyznacza czas T połowicznego rozpadu.

W ostatnim etapie rozwiązania nie wypełnia do końca polecenia zadania, tzn. nie zaokrągla wyniku do dwóch cyfr znaczących (**zapis w czerwonej ramce**).

$$P_0 = 100 \text{ J/s} \quad t_0$$

$$P_t = 96,13 \text{ J/s} \quad t = 5 \text{ lat} \quad N(5) = 96,13$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$96,13 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{T}} \quad | : 100$$

$$0,9613 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{T}}$$

$$\log_{\frac{1}{2}} 0,9613 = \frac{5}{T}$$

$$T = \frac{5}{\log_{\frac{1}{2}} 0,9613}$$

$$T = 87,87 \text{ lat}$$

Omówienie zadania 3.2. (Ł = 43%, P = 0,72) z wiązki zadań 3.1–3.2.

Wiązka **zadań 3.1.–3.2.** dotyczyła zagadnień związanych z mechaniką falową. Wstęp do wiązki zadań był następujący:

Zadanie 3.

Fale dźwiękowe o dużych częstotliwościach (np. ultradźwięki) mogą w ośrodkach rozchodzić się w postaci wąskich wiązek. Gdy wiązka fali ultradźwiękowej pada na granicę dwóch ośrodków, to – w zależności m.in. od kąta padania na tę granicę – może częściowo wnikać do drugiego ośrodka i częściowo się odbić od granicy albo może całkowicie się odbić od granicy ośrodków.

W zadaniu przyjmij, że:

- wartość prędkości dźwięku w powietrzu jest równa $v_p = 340 \text{ m/s}$
- wartość prędkości dźwięku w wodzie jest równa $v_w = 1450 \text{ m/s}$.

Zwróć uwagę na to, że wartość prędkości dźwięku w wodzie jest większa od wartości prędkości dźwięku w powietrzu.

Pierwsze zadanie wiązki (**zadanie 3.1.**) uzyskało poziom wykonania 46%, współczynnik korelacji równy 0,62 i było zadaniem zamkniętym. To zadanie okazało się 10. pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Należało w nim dokończyć zdanie poprzez zaznaczenie poprawnej odpowiedzi i jej uzasadnienia. Poprawna odpowiedź wymagała analizy związku między prędkością fali, a jej długością i częstotliwością oraz wykorzystania reguły, że częstotliwość fali przy przejściu przez granicę ośrodków się nie zmienia.

Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonymi poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 3.1. (0–1)

Rozważamy falę dźwiękową, która biegnie w powietrzu i przechodzi do wody.

Dokończ zdanie. Zaznacz odpowiedź A, B albo C i jej uzasadnienie 1., 2. albo 3.

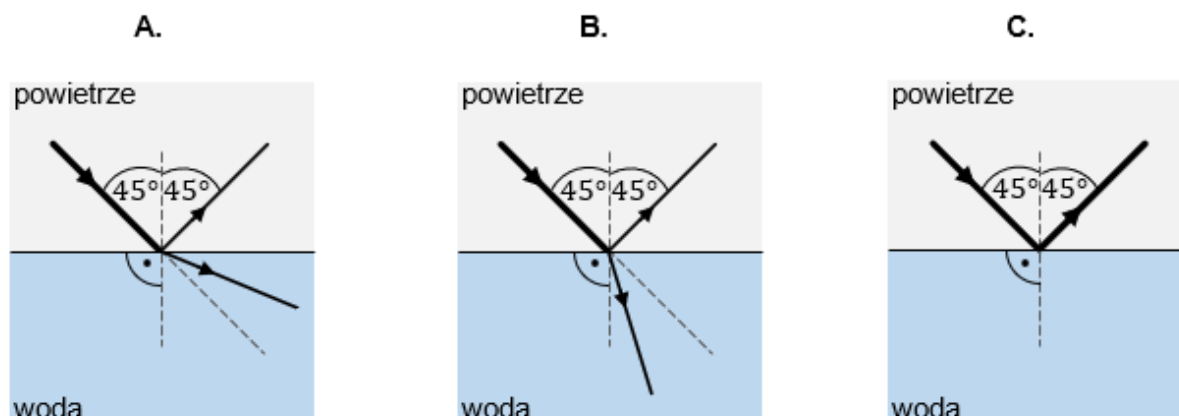
Długość tej fali dźwiękowej po przejściu z powietrza do wody

A.	się zwiększyła,	ponieważ częstotliwość tej fali po przejściu z powietrza do wody	1.	się zwiększyła.
B.	się zmniejszyła,		2.	się zmniejszyła.
C.	się nie zmieniła,		3.	się nie zmieniła.

Zadanie 3.2. było 7. pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 43% a współczynnik korelacji 0,72. Wysoki współczynnik Pearsona oznacza bardzo dobrą korelację liniową wyników za to zadanie z wynikami za cały arkusz. Poniżej treść zadania.

Zadanie 3.2. (0–3)

Rozważamy wiązkę ultradźwięków, która biegnie w powietrzu i pada na taflę wody pod kątem $\alpha_p = 45^\circ$. Tylko jeden z rysunków A–C prawidłowo przedstawia dalszy bieg tej wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda. Kreską przerywaną oznaczono linie pomocnicze.



Ustal dalszy bieg wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.

Wykorzystaj odpowiednie prawa / zależności fizyczne i wykonaj niezbędne obliczenia, które doprowadzą do tego ustalenia.

Następnie zaznacz rysunek (spośród A–C), na którym prawidłowo przedstawiono dalszy bieg wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.

W [Zasadach oceniania rozwiązań zadań](#), na stronach 19.– 20. podane są trzy sposoby rozwiązania tego zadania. Aby rozwiązać zadanie *sposobem 1.* lub *sposobem 2.* należało:

- (1) wyznaczyć kąt graniczny α_g (bądź sinus kąta granicznego) dla przejścia dźwięku przez granicę powietrze – woda,
- (2) porównać jego wartość z kątem padania (bądź sinusem kąta padania) i ostatecznie
- (3) wyciągnąć wniosek dotyczący dalszego biegu wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.

Rozwiązanie zadania *sposobem 1.* lub *sposobem 2.* (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$\left(\frac{\sin \alpha_g}{\sin 90^\circ} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad \text{oraz} \quad (\alpha_g \approx 13,6^\circ \text{ zatem } \alpha_g < 45^\circ) \right) \rightarrow \text{całkowite odbicie}$$

albo

$$\left(\frac{\sin \alpha_g}{\sin 90^\circ} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad \text{oraz} \quad (\sin \alpha_g \approx 0,2345) < (\sin 45^\circ \approx 0,7071) \right) \rightarrow \text{całkowite odbicie}$$

Trzeci sposób rozwiązania zadania (*sposób 3.*) polegał na:

(1) zapisaniu warunku wynikającego z prawa załamania fali na granicy ośrodków powietrze – woda, (2) obliczeniu sinusa kąta załamania α_w i (3) wyciągnięciu wniosku dotyczącego dalszego biegu wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda na podstawie otrzymanej wartości sinusa. Wartość sinusa była większa od 1, czyli spoza zbioru wartości funkcji sinus, co oznacza, że kąt załamania nie istnieje. Skoro tak, to musi zachodzić całkowite odbicie.

Rozwiązanie zadania *sposobem 3.* (podane poniżej skrótowo, z pominięciem pośrednich etapów i przekształceń) przedstawia się następująco:

$$\left(\frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha_w} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \text{ oraz } (\sin \alpha_w > 1 \Rightarrow \text{nie istnieje taki kąt } \alpha_w) \right) \rightarrow \text{całkowite odbicie}$$

Zasadniczą trudnością dla zdających, którzy rozwiązywali zadanie *sposobem 1.* lub *sposobem 2.* było poprawne obliczenie kąta granicznego (bądź sinus kąta granicznego).

Dla zdających rozwiązujących zadanie *sposobem 3.* największą trudnością okazywało się wyciągnięcie prawidłowego wniosku, dotyczącego dalszego biegu wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda, wynikającego z otrzymanego sinusa (większego od jedynki) kąta załamania wiązki w wodzie.

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających opisane powyżej trudności.

Przykład 18 – rozwiązania zdających

Zdający niepoprawnie zapisuje warunek dla kąta granicznego – jako odwrotny iloraz prędkości dźwięku w powietrzu i w wodzie. Dlatego otrzymuje niepoprawną wartość sinusa kąta granicznego (**zapis w czerwonej ramce**).

A. B. C.

powietrze
woda

Ustal dalszy bieg wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.
Wykorzystaj odpowiednie prawa / zależności fizyczne i wykonaj niezbędne obliczenia, które doprowadzą do tego ustalenia.

Następnie zaznacz rysunek (spośród A–C), na którym prawidłowo przedstawiono dalszy bieg wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.

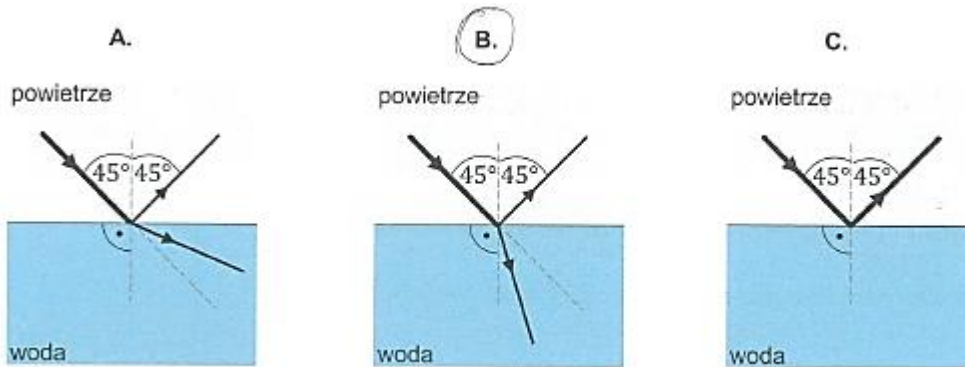
$\alpha_{\text{pow}} + \alpha_{\text{wat}} = 90^\circ$
 $45^\circ + 45^\circ = 90^\circ \checkmark$

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_p}{v_w} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{340}{1450}$

$\sin \alpha_{gr} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1450}{340} \approx 4,3$

Przykład 19 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie zapisuje warunek wynikający z prawa załamania fali na granicy ośrodków powietrze – woda. Poprawnie oblicza wartość sinusa kąta załamania wiązki w wodzie i otrzymuje liczbę większą od 1 (**zapisy w zielonej ramce**) – czyli spoza zakresu wartości funkcji sinus, co oznacza, że taki kąt nie istnieje. Zdający jednak nie dostrzega tego i wyciąga błędny wniosek dotyczący dalszego biegu wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda. Zaznacza niepoprawną odpowiedź B.



Ustal dalszy bieg wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.

Wykorzystaj odpowiednie prawa / zależności fizyczne i wykonaj niezbędne obliczenia, które doprowadzą do tego ustalenia.

Następnie zaznacz rysunek (spośród A–C), na którym prawidłowo przedstawiono dalszy bieg wiązki ultradźwięków od granicy powietrze – woda.

3.2.
0-1-
2-3

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\sin \beta = \frac{v_2 \cdot \sin \alpha}{v_1} = \frac{1450 \cdot \sin 45^\circ}{340} = 3,0156$$

3. Zadania, z którymi zdający poradzili sobie najlepiej

W dalszej części przeanalizujemy te zadania, które okazały się dla zdających najłatwiejsze. Przyjmiemy do analizy, że są to zadania łatwe oraz zadanie z pogranicza łatwe/umiarkowanie trudne (czyli zadania o poziomie wykonania wyższym lub równym 68%).

Licząc kolejno od najłatwiejszego, są to zadania:

1. **Zadanie 5.1.** (77%, 0,44, elementy astronomii/grawitacja, zadanie zamknięte)
2. **Zadanie 7.1.** (73%, 0,60, optyka geometryczna, zadanie zamknięte)
3. **Zadanie 12.1.** (70%, 0,70, fizyka jądrowa, zadanie otwarte z luką)
4. **Zadanie 8.** (68%, 0,73, pole magnetyczne, zadanie otwarte/graficzne z luką)

Omówienie zadania 5.1. (77%, 0,44) z wiązki zadań 5.1.–5.3.

Zadanie 5.1. (za 2 pkt) było najłatwiejszym zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 77% a współczynnik korelacji 0,44. Zadanie wchodziło w skład wiązki zadań 5.1.–5.3. dotyczących ruchu ciał niebieskich po orbitach kołowych i eliptycznych wokół centrum grawitacyjnego (Słońca). Wstęp do wiązki zadań był następujący:

Zadanie 5.

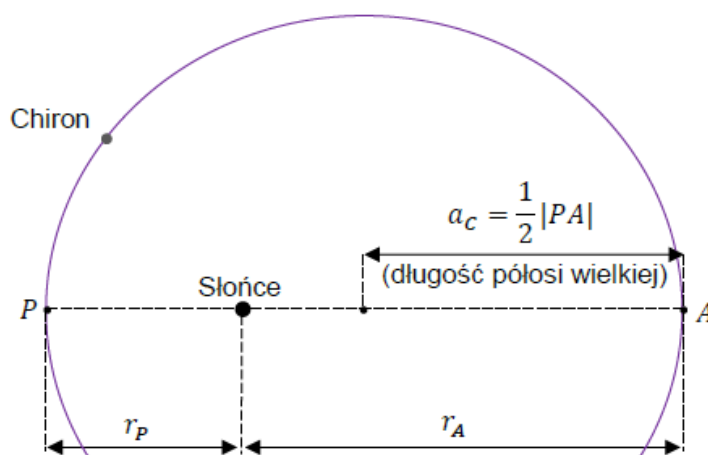
Planetoida Chiron obiega Słońce po orbicie eliptycznej, a Ziemia obiega Słońce po orbicie, którą w przybliżeniu możemy potraktować jako kołową.

Poniżej podano niektóre dane dotyczące ruchu orbitalnego Chirona oraz Ziemi względem Słońca (podane odległości są zaokrąglone do części dziesiętnych jednostki astronomicznej):

- najmniejsza odległość Chirona od środka Słońca jest równa $r_P = 8,5$ au
- największa odległość Chirona od środka Słońca jest równa $r_A = 18,9$ au
- odległość Ziemi od środka Słońca jest równa $a_Z = 1,0$ au
- okres obiegu Ziemi dookoła Słońca wynosi $T_Z = 1,00$ rok ziemski.

W zadaniu pomijamy wpływ innych ciał (oprócz Słońca) na ruch Chirona oraz na ruch Ziemi. Orbitę Chirona (z zachowaniem skali elipsy) zilustrowano na rysunku poniżej.

Rysunek



Poziomy wykonania zadań **5.2.** (za 1 pkt) i **5.3.** (za 3 pkt) wynosiły odpowiednio 58% oraz 64%. To oznacza, że zadania z tej wiązki należały do zadań umiarkowanie trudnych (**zadania 5.2. i 5.3.**) i łatwych (**zadanie 5.1.**). Poziom wykonania określony dla całej grupy zadań z tej wiązki wynosi około 67%. Dosyć wysokie wyniki dla zadań dotyczących ruchu ciał niebieskich wokół centrum grawitacyjnego mogą wynikać m.in. z regularnego występowania zadań o podobnej tematyce w arkuszach pokazowych, w informatorze oraz w arkuszach egzaminacyjnych z lat ubiegłych.

Dalej omówimy najłatwiejsze **zadanie 5.1.** oraz towarzyszące mu zadania z wiązki.

Zadanie 5.1. było zamknięte. Należało w nim ocenić prawdziwość stwierdzeń związanych z kinematyką i dynamiką ruchu Chirona i Ziemi dookoła Słońca. Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonymi poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 5.1. (0–2)			
Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.			
1.	Wektor przyspieszenia Chirona jest zwrócony do środka Słońca.	☒ P	☐ F
2.	Orbita Chirona ma punkt wspólny z orbitą Ziemi.	☐ P	☒ F
3.	Okres obiegu Chirona dookoła Słońca jest mniejszy od okresu obiegu Ziemi dookoła Słońca.	☐ P	☒ F

Poprawna ocena pierwszego stwierdzenia (**Zadanie 5.1.1.**) wymagała uwzględnienia faktu, że siła grawitacji jest siłą centralną oraz faktu wynikającego z II zasady dynamiki, że wektor przyspieszenia ciała ma ten sam kierunek i zwrot co siła wypadkowa działająca na to ciało. W związku z tym wektor przyspieszenia Chirona jest skierowany tak samo jak wektor siły grawitacji Słońca, działającej na Chirona.

Poprawna ocena drugiego stwierdzenia (**Zadanie 5.1.2.**) wymagała jedynie przeanalizowania informacji zawartych we wstępie do wiązki zadań lub wykorzystania elementarnych własności kształtu orbity eliptycznej (że punkt perycentrum leży najbliżej centrum grawitacyjnego). Zatem, skoro punkt peryhelium orbity Chirona leży w odległości 8,5 au od środka Słońca, a Ziemia leży w odległości 1 au od środka Słońca, to ich orbity – niezależnie od położenia płaszczyzn tych orbit – nie mogą mieć punktu wspólnego.

Poprawna ocena trzeciego stwierdzenia (**Zadanie 5.1.3.**) wymagała zastosowania jakościowej zależności – wynikającej m.in. z III prawa Keplera – pomiędzy promieniem orbity kołowej (albo półosią wielką orbity eliptycznej) a okresem obiegu wokół centrum grawitacyjnego. Ponieważ $T^2 \propto a^3$ to T (okres) rośnie wraz ze wzrostem a (półosi wielkiej orbity eliptycznej lub promienia orbity kołowej). Skoro odległość Chirona od Słońca jest większa od odległości Ziemi od Słońca, to i okres obiegu Chirona dookoła Słońca będzie wiekszy od okresu obiegu Ziemi dookoła Słońca.

Zadanie 5.2. uzyskało poziom wykonania 58%, współczynnik Pearsona 0,6 i było zadaniem zamkniętym. To zadanie okazało się 16. pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Należało w nim dokończyć zdanie poprzez zaznaczenie poprawnej odpowiedzi i jej uzasadnienia. Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonymi poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 5.2. (0–1)

Wartość prędkości liniowej Chirona w położeniu najbliższym Słońca (punkt P orbity na rysunku) oznaczmy jako v_P .

Wartość prędkości liniowej Chirona w położeniu najdalszym od Słońca (punkt A orbity na rysunku) oznaczmy jako v_A .

Dokończ zdanie. Zaznacz odpowiedź A, B albo C i jej uzasadnienie 1., 2. albo 3.

Prawidłowy związek pomiędzy v_P a v_A to

A.	$v_P = \frac{18,9}{8,5} v_A$	ponieważ w ruchu Chirona wokół Słońca nie zmienia się jego	1.	pęd.
B.	$v_P = v_A$		2.	moment pędu.
C.	$v_P = \frac{8,5}{18,9} v_A$		3.	energia kinetyczna.

Ostatnie zadanie wiązki (**zadanie 5.3.**) było otwarte. Uzyskało ono poziom wykonania 64% i dosyć wysoki współczynnik korelacji liniowej Pearsona równy 0,76. To zadanie okazało się 18. pod względem trudności zadaniem w arkuszu i 8. pod względem łatwości. Poniżej treść zadania.

Zadanie 5.3. (0–3)

Oblicz okres obiegu Chirona wokół Słońca. Zapisz obliczenia. Wynik podaj w latach ziemskich.

W celu rozwiązania zadania należało skorzystać z równania III prawa Keplera oraz uwzględnić związek między długością półosi wielkiej orbity Chirona a największą i najmniejszą odległością od Słońca. Rozwiązanie zadania przedstawia się (w skrócie) następująco:

$$\left(\frac{T_C^2}{a_C^3} = \frac{T_Z^2}{a_Z^3} \quad \text{oraz} \quad a_C = \frac{r_P + r_A}{2} \right) \rightarrow T_C = \sqrt{\left(\frac{13,7 \text{ au}}{1 \text{ au}} \right)^3} \cdot 1 \text{ rok} \approx 51 \text{ lat}$$

Błędne rozwiązania pośród tych zdających, którzy podjęli się rozwiązania tego zadania i stosowali poprawną metodę (korzystali z równania III prawa Keplera) wynikały najczęściej z błędów rachunkowych – zdający często mylili wykładniki potęg lub popełniali błędy podczas przekształcania równania III prawa Keplera.

Niektóre rozwiązania zawierały błąd rzeczowy / błąd metody, jak np. zastosowanie wzoru na siłę dośrodkową i równania dynamiki ruchu po orbicie kołowej o promieniu r_p dla przypadku ruchu po orbicie eliptycznej o półosi $a_c = \frac{r_A + r_P}{2}$.

Poniżej przykłady rozwiązań zawierających niektóre wspomniane powyżej błędy.

Przykład 20 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie zapisuje równanie III prawa Keplera oraz związek między wielką półosią orbity eliptycznej Chirona a największą i najmniejszą odległością Chirona od Słońca (**zapisy w zielonej ramce**). Dalej zdający popełnia błąd podczas przekształcania równania III prawa Keplera, przy pierwiastkowaniu równania (**zapis w czerwonej ramce**).

$$\frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T^2}{a_c^3} \quad / \cdot a_c, \quad a_c = \frac{1}{2} (r_p + r_A)$$

$$T^2 = \frac{T_2^2 \cdot a_c^3}{a_2^3} = T_2^2 \cdot \left(\frac{r_p + r_A}{2 a_2} \right)^3 \quad / \sqrt{}$$

$$T = \sqrt[3]{T_2^2 \cdot \left(\frac{r_p + r_A}{2 a_2} \right)^3} = 1 \text{ rok ziemski}$$

$$\left(\frac{8,5 \text{ au} + 18,9 \text{ au}}{2 \cdot 1 \text{ au}} \right)^3 = 2571,9 \text{ lat ziemskich}$$

Przykład 21 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie zapisuje równanie III prawa Keplera oraz związek między wielką półosią orbity eliptycznej Chirona a największą i najmniejszą odległością Chirona od Słońca (**zapisy w zielonych ramkach**). Zdający popełnia błąd podczas przekształcania równania III prawa Keplera – błędnie zapisuje wykładniki potęgi przy promieniu Ziemi i półosi wielkiej orbity Chirona (**zapisy w czerwonych ramkach**).

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} \quad T_2^2 = \frac{1 \text{ rok}^2}{1 \text{ au}^3} \cdot \left(\frac{18,9 \text{ au} + 8,5 \text{ au}}{2} \right)^2 = \frac{1 \text{ rok}^2}{\text{au}^3} \cdot 137,1 \text{ au}^2 = 137,1 \text{ rok}^2$$

$$18 \approx 1,69 \text{ rok}^2$$

$$T_2 = \sqrt{137,1 \text{ rok}^2} = 11,7 \text{ lat}$$

$$T_2 = 13,2 \text{ lat}$$

Omówienie zadania 7.1. (73%, 0,60) z wiązki zadań 7.1.–7.3.

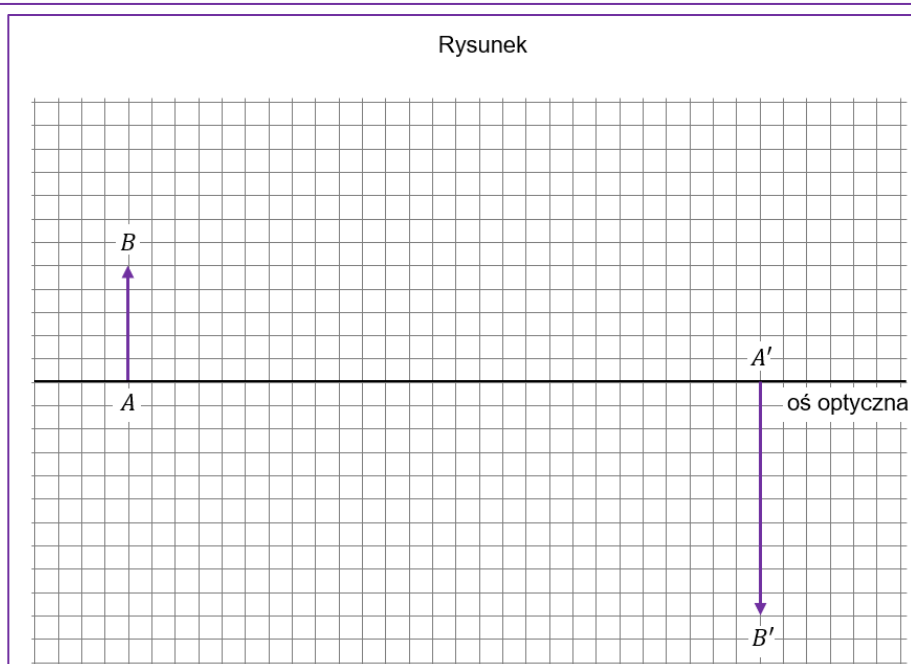
Zadanie 7.1. było drugim pod względem łatwości zadaniem w arkuszu, wchodziło w skład wiązki zadań 7.1.–7.2. dotyczących optyki geometrycznej. Poziom wykonania tego zadania wyniósł 73% a współczynnik korelacji 0,60. Wstęp do wiązki zadań był następujący:

Zadanie 7.

Za pomocą cienkiej soczewki szklanej S umieszczonej w powietrzu uzyskano ostry obraz $A'B'$ przedmiotu AB .

Na rysunku poniżej przedstawiono położenie przedmiotu AB oraz położenie jego obrazu $A'B'$. Punkty A i A' leżą na osi optycznej soczewki S .

Przyjmij, że długość boku kratki na rysunku odpowiada w rzeczywistości 1 cm.



Zadanie 7.1. było zamknięte. Należało w nim ocenić prawdziwość stwierdzeń dotyczących własności obrazów tworzonych za pomocą soczewki skupiającej oraz zależności między ogniskową soczewki a położeniem przedmiotu od soczewki. Poniżej treść zadania wraz z zaznaczonymi poprawnymi odpowiedziami.

Zadanie 7.1. (0–2)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Zaznacz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Wytworzony przez soczewkę S ostry obraz $A'B'$ przedmiotu AB można zaobserwować na ekranie.	☒ P	☐ F
2.	Soczewka S jest soczewką skupiającą.	☒ P	☐ F
3.	Odległość przedmiotu AB od soczewki S jest mniejsza od ogniskowej tej soczewki.	☐ P	☒ F

Udzielenie poprawnych odpowiedzi wymagało analizy rysunku dołączonego do zadania oraz podstawowej wiedzy dotyczącej konstrukcji obrazów powstających przy użyciu soczewek skupiających i rozpraszających. Wystarczyło wiedzieć, że odwrócony obraz przedmiotu może powstać tylko za pomocą soczewki skupiającej w wyniku skupienia za soczewką promieni rzeczywistych wychodzących z każdego punktu przedmiotu, który stoi w odległości od soczewki większej niż jej ogniskowa. W związku z tym, że obraz powstaje w wyniku skupienia wiązek promieni wychodzących z przedmiotu, to można go obserwować na ekranie.

Zadanie 7.2. było zadaniem otwartym, konstrukcyjnym, umiarkowanie trudnym dla zdających. Uzyskało ono poziom wykonania 64% i współczynnik korelacji Pearsona 0,78. Polecenie do zadania było następujące:

Zadanie 7.2. (0–3)

Na rysunku zamieszczonym we wstępie do zadania 7. (na stronie 18) wyznacz konstrukcyjnie za pomocą promieni charakterystycznych położenie soczewki S oraz położenie jednego z jej ognisk.

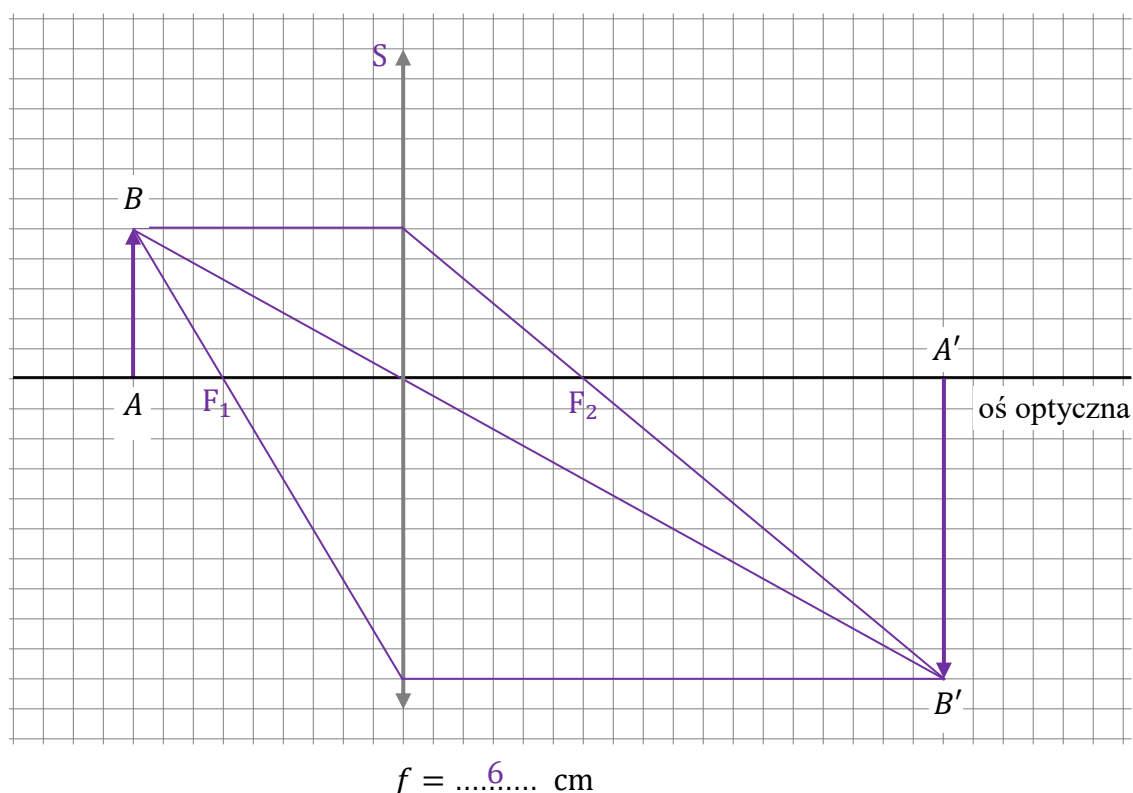
Podpisz położenie soczewki (lub soczewkę) jako S oraz ognisko jako F.

Zapisz w wy kropkowanym miejscu poniżej wartość ogniskowej f soczewki S.

$$f = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

Uwaga! Dokładną wartość ogniskowej można wyznaczyć z położenia ogniska, bez wykonywania obliczeń. W tym przykładzie środek soczewki i ogniska leżą w punktach kratowych.

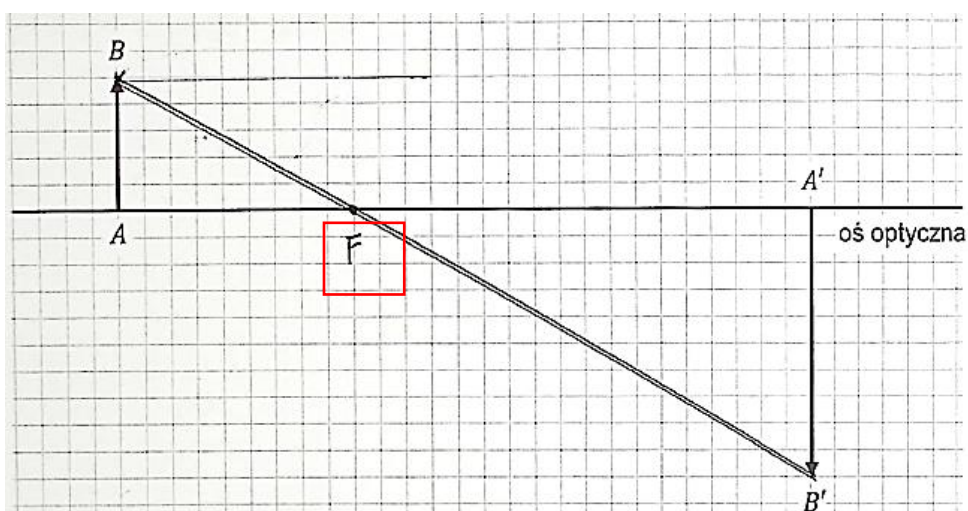
Poniżej przedstawiamy przykładowe rozwiązanie.



Dużą trudność wielu zdającym, którzy podjęli się rozwiązania tego zadania sprawiło wyznaczenie prawidłowego położenia soczewki. Ci spośród zdających, którzy prawidłowo wyznaczyli położenie soczewki, często po poprawnym wyznaczeniu jednego z ognisk, nieprawidłowo odczytywali ogniskową.

Przykład 22 – rozwiązania zdających

Zdający rysuje promień charakterystyczny biegnący przez środek soczewki, jednak w miejscu, w którym powinien zaznaczyć soczewkę S zaznacza błędnie ognisko F . Następnie zdający podaje błędną wartość ogniskowej – traktując ją jako odległość od zaznaczonego przez siebie ogniska F do przedmiotu AB (zapisy w czerwonych ramkach).

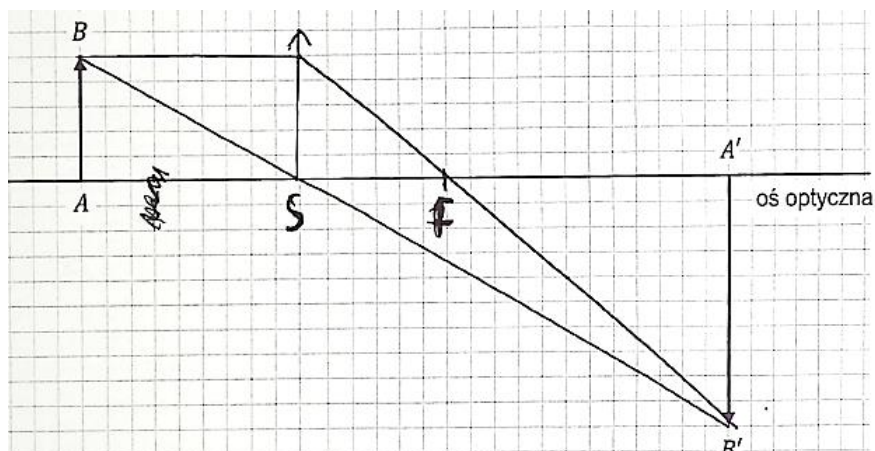


Zapisz w wykropkowanym miejscu poniżej wartość ogniskowej f soczewki S .

$$f = \dots\dots\dots 9 \text{ cm}$$

Przykład 23 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie wyznacza konstrukcyjnie położenie soczewki S oraz położenie prawego ogniska F . Następnie podaje błędną wartość ogniskowej (zapis w czerwonej ramce).



Zapisz w wykropkowanym miejscu poniżej wartość ogniskowej f soczewki S .

$$f = \dots\dots\dots 2,5 \text{ cm}$$

Omówienie zadania 12.1. (70%, 0,70) z wiązki zadań 12.1.–12.3.

Zadanie 12.1. dotyczyło opisu rozpadu α jądra plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$ za pomocą odpowiedniego równania. Sprawdzało także umiejętność posługiwania się układem okresowym pierwiastków. Zadanie to było trzecim z najłatwiejszych zadań w arkuszu (poziom wykonania wyniósł 70%). Poniżej treść zadania.

Zadanie 12.1. (0–2)

Poniżej przedstawiono schemat rozpadu α jądra plutonu $^{238}_{94}\text{Pu}$.



symbol (lub nazwa) pierwiastka X:

Uzupełnij powyższy schemat tak, aby powstało równanie rozpadu α .

Wpisz w wy kropkowane miejsca w schemacie właściwe liczby: atomową i masową, a pod schematem – symbol (lub nazwę) pierwiastka X, którego jądro powstaje w tym rozpadzie.

Poprawne rozwiązanie zadania wymagało:

- (1) zastosowania zasad zachowania liczby nukleonów i ładunku oraz
- (2) wykorzystania charakterystyki cząstki α – jądra helu ^4_2He składającego się z dwóch protonów i dwóch neutronów.

Po uzupełnieniu liczby masowej i atomowej pierwiastka X należało zidentyfikować go w układzie okresowym pierwiastków. Poprawne rozwiązanie wygląda następująco:

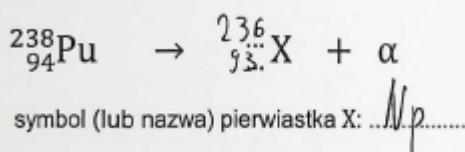


symbol (lub nazwa) pierwiastka X: $^{234}_{92}\text{U}$ albo U albo uran

Zdający zazwyczaj poprawnie rozwiązywali zadanie. Błędy zdających, takie jak wpisanie niepoprawnej liczby atomowej lub masowej, wiązały się z nieznaną podstawową charakterystyką cząstki α lub nieprawidłowym zastosowaniem zasady zachowania liczby nukleonów.

Przykład 24 – rozwiązania zdających

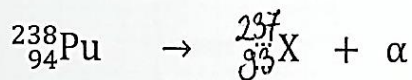
Zdający wpisuje niepoprawnie zarówno liczbę masową jak i atomową pierwiastka X. Rozwiązanie zdającego świadczy o braku znajomości podstawowej charakterystyki cząstki α . Zdający traktuje cząstkę α jakby była izotopem wodoru – ^2_1H .



Przykład 25 – rozwiązania zdających

Zdający wpisuje nieprawidłowo obie liczby: masową jak i atomową pierwiastka X, co świadczy o braku znajomości podstawowej charakterystyki cząstki α .

Zdający traktuje cząstkę α jakby była izotopem wodoru – ${}^1_1\text{H}$.



symbol (lub nazwa) pierwiastka X: Neptun

Uzupełnij powyższy schemat tak, aby powstało równanie rozpadu α .

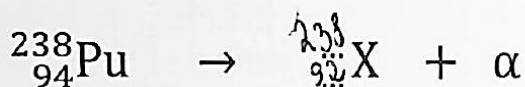
Wpisz w wykropkowane miejsca w schemacie właściwe liczby: atomową i masową, a pod schematem – symbol (lub nazwę) pierwiastka X, którego jądro powstaje w tym rozpadzie.

Brudnopis

$$\frac{23^2}{84} \rightarrow \frac{23^2}{83} + \frac{1}{1}$$

Przykład 26 – rozwiązania zdających

Zdający wpisuje nieprawidłową liczbę masową pierwiastka X. Natomiast poprawnie wpisuje liczbę atomową pierwiastka X oraz poprawnie identyfikuje uran jako pierwiastek, którego jądro powstaje w wyniku opisanego rozpadu.



symbol (lub nazwa) pierwiastka X: *Mn*

Omówienie zadania 8. (68%, 0,73)

Czwartym pod względem łatwości (poziom wykonania 68%) zadaniem w arkuszu było **zadanie 8**. To otwarte zadanie z luką sprawdzało wymagania dotyczące pola magnetycznego wytwarzanego przez przewodniki z prądem. Poniżej treść zadania.

Zadanie 8. (0–3)

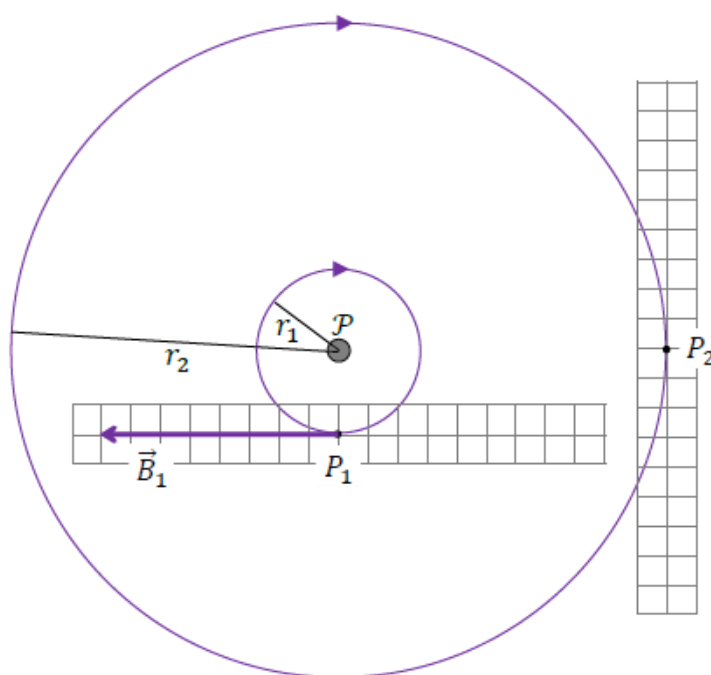
Na rysunku poniżej przedstawiono dwie wybrane linie pola magnetycznego wytwarzanego przez długi, prostoliniowy przewodnik $\mathcal{P}$ z prądem umieszczony w próżni.

Na rysunku przedstawiono widok płaszczyzny prostopadłej do przewodnika $\mathcal{P}$.

Przyjmij następujące założenia oraz dane:

- linie pola są współśrodkowymi okręgami o promieniach r_1 i r_2 , takich, że $r_2 = 4r_1$
- przewodnik $\mathcal{P}$ jest bardzo długi
- $\vec{B}_1$ jest wektorem indukcji magnetycznej w punkcie P_1
- pomijamy inne źródła pola magnetycznego
- długość boku kratki umieszczonej przy punktach P_1 i P_2 odpowiada umownej jednostce wartości wektora indukcji magnetycznej.

Rysunek



Na rysunku powyżej oznacz, w którą stronę płynie prąd w przewodniku $\mathcal{P}$.

Wpisz odpowiedni symbol ($\odot$ lub $\otimes$) przy literze $\mathcal{P}$, gdzie:

- $\odot$ – oznacza, że prąd płynie przed płaszczyznę rysunku (w stronę do patrzącego)
- $\otimes$ – oznacza, że prąd płynie za płaszczyznę rysunku.

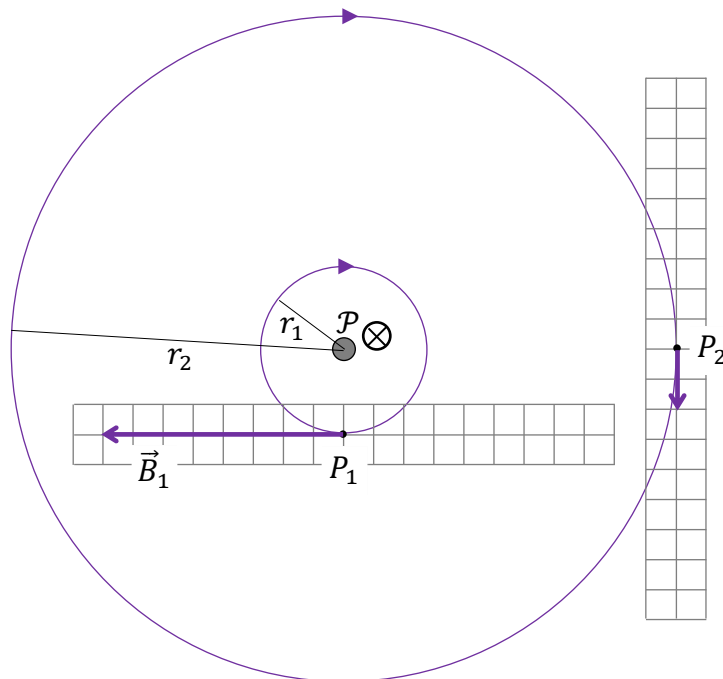
Narysuj wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}_2$ w punkcie P_2 . Zachowaj odpowiedni kierunek, właściwy zwrot oraz długość wektora, odpowiadającą jego wartości.

Żeby rozwiązać zadanie należało:

- (1) powiązać kształt i zwrot linii pola magnetycznego ze zwrotem przepływu prądu w długim prostoliniowym przewodniku,
- (2) określić stosunek wartości wektorów indukcji magnetycznej w punktach P_1 i P_2 na podstawie zależności między wartością indukcji magnetycznej a natężeniem prądu i odległością od przewodnika:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{4}$$

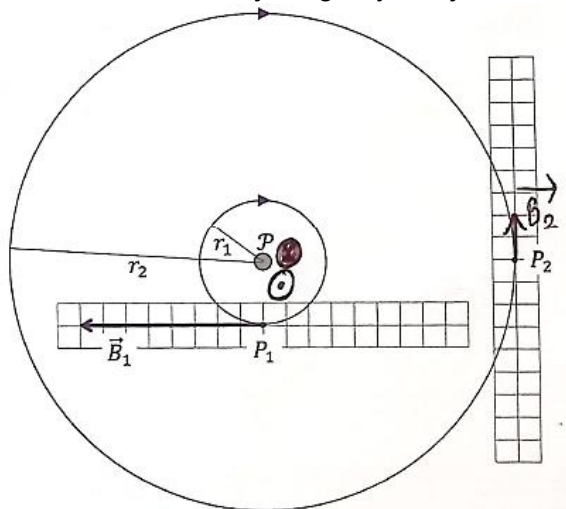
Poprawne rozwiązanie przedstawia się następująco.



Poniżej prezentujemy przykłady błędnych rozwiązań zdających.

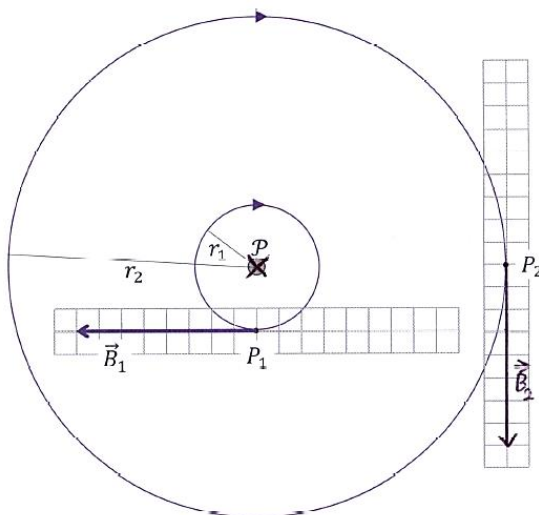
Przykład 27 – rozwiązania zdających

Zdający błędnie określa, w którą stronę płynie prąd w przewodniku oraz błędnie określa zwrot wektora indukcji magnetycznej w punkcie P_2 – przeciwnie do zwrotu linii pola. Poprawna jest jedynie wartość wektora indukcji magnetycznej.



Przykład 28 – rozwiązania zdających

Zdający poprawnie określa, w którą stronę płynie prąd w przewodniku oraz poprawnie określa zwrot wektora indukcji magnetycznej w punkcie P_2 – zgodnie ze zwrotem linii pola. Błędna jest jedynie wartość wektora indukcji magnetycznej.



Zadanie uzyskało wysoki współczynnik Pearsona równy 0,73. To oznacza silną korelację liniową wyniku za to zadanie z wynikiem za cały arkusz. Zatem dla osób, które uzyskały niski wynik za arkusz zadanie nie okazało się tak łatwe, jak dla osób, które uzyskały wysokie wyniki za arkusz.

Wnioski i rekomendacje

Analiza wyników egzaminu maturalnego z fizyki w 2025 r. pokazuje, że – w kontekście treści nauczania – tegorocznym maturzyści, podobnie jak Ci z ubiegłego roku, najgorzej poradzi sobie z zadaniami z działów: Mechanika bryły sztywnej, Termodynamika, Mechanika falowa, Mechanika punktu materialnego oraz Fizyka jądrowa.

Należy zwrócić uwagę, że wśród najtrudniejszych zadań (na trzecim miejscu) znalazło się zadanie 4.2. z działu Mechanika falowa. Zadania sprawdzające wymagania związane z pewnymi własnościami fali kulistej pojawiły się po raz pierwszy na egzaminie w **Formule 23** w tym roku (ale były zamieszczone w *Informatorze* oraz w arkuszach pokazowych).

Wszystkie najtrudniejsze dla zdających zadania były zadaniami otwartymi obliczeniowymi (np. zadania: 2.2., 6.3., 4.2., 1.2., 12.2., 3.2.). Wyjątek stanowiło zadanie 2.1., które było zadaniem zamkniętym typu prawda – fałsz. Zadania najtrudniejsze uzyskały poziom wykonania od 29% do 43%.

Analizując rozwiązania zadań pod względem najczęściej popełnianych błędów i trudności jakie mieli zdający można dostrzec słabe opanowanie sprawdzanych na egzaminie umiejętności (ujętych w wymaganiach ogólnych i przekrojowych):

- wyodrębniania podstawowych zjawisk fizycznych w zjawisku złożonym i wskazania czynników istotnych dla ich przebiegu w celu zbudowania modelu danego zjawiska
- budowania modeli procesów czy zjawisk fizycznych, określania warunków ich zajścia oraz stworzenia ich opisu matematycznego
- analizowania i rozwiązywania problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych
- dostrzegania związków przyczynowo – skutkowych pomiędzy zjawiskami fizycznymi
- rozumienia fizycznego sensu wzorów
- wyodrębniania z informacji przedstawionych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów czy rysunków schematycznych niezbędnych danych i ich interpretacji koniecznej do rozwiązania zadania czy problemu
- przedstawiania w różnej postaci informacji istotnych dla opisywanego zjawiska
- dokonywania poprawnych przekształceń algebraicznych wyrażeń
- posługiwania się wektorami (w tym rysowania)
- zapisywania wyniku obliczeń wraz z jednostką, zaokrąglonego do określonej liczby cyfr znaczących i krytycznej analizy realności otrzymanego wyniku
- wyciągania i formułowania wniosków.

Spostrzeżenia i wnioski wynikające z analizy poziomu wykonania poszczególnych rodzajów zadań oraz typowych błędów popełnianych przez zdających:

1. Najłatwiejsze dla zdających są zadania sprawdzające pojedyncze, mało skomplikowane umiejętności albo sprawdzające znajomość podstawowych pojęć. Dotyczy to przede wszystkim zadań zamkniętych, wymagających tylko analizy jakościowej (zadania: 5.1., 6.1., 7.1.) ale również zadań otwartych z luką (zadanie 12.1., zadanie 8.). Również typowe zadania otwarte obliczeniowe, których sposób rozwiązywania jest znany, nie sprawiają zdającym większych problemów (zadanie 5.3. zadanie 11.2.).

2. Jak się okazuje, nie w każdym przypadku zadania jednoetapowe, sprawdzające umiejętność wykorzystania praktycznie pojedynczego wzoru okazują się być łatwe dla zdających. Dotyczy to zadania 4.1., które uzyskało poziom wykonania 48% i było 11. pod względem trudności zadaniem w arkuszu (na 25 wszystkich zadań).
3. Zadania dotyczące jednego zagadnienia czy zjawiska fizycznego, ale przedstawionego w nietypowy sposób, lub gdy niezbędne do rozwiązania zadania dane zawarte są na wykresie (zadanie 6.2., zadanie 6.3.) czy rysunku (zadanie 1.2., zadanie 3.2.) także sprawiają zdającym duże trudności.
4. Najtrudniejsze dla zdających są zadania złożone, do rozwiązania których wymagane jest stworzenie odpowiedniego modelu rozpatrywanego zjawiska, określenia czynników istotnych dla jego przebiegu (założeń), stworzenia poprawnego opisu matematycznego zależności, jakie – zgodnie z prawami fizyki – zachodzą pomiędzy określonymi wielkościami fizycznymi i wreszcie dokonania odpowiednich przekształceń algebraicznych umożliwiających uzyskanie rozwiązania problemu fizycznego (zadania: 2.2., 4.2., 12.2.)
5. Poważną przeszkodą w uzyskaniu poprawnego wyniku dla wielu zdających są błędy rachunkowe czy błędy przekształcenia popełniane na dowolnym etapie rozwiązywania zadania. Szczególnie jeśli błędy te popełniane są w początkowej fazie rozwiązywania zadania, to często niemożliwe staje się dokończenie rozwiązywania lub wyciągnięcia poprawnego wniosku. Widać to na przykładzie rozwiązań zadań: 3.2., 4.2., 10., 12.3.
6. Problematiczne dla zdających są zadania wymagające wyprowadzenia wzoru (zadanie 2.2., zadanie 6.3.) i zapisania go w zależności tylko od określonych wielkości fizycznych.
7. Poważną przeszkodą w uzyskaniu poprawnego wyniku jest często konsekwentne i prawidłowe stosowanie konwencji znaków w niektórych wzorach (np. zadanie 6.3. – wzór pierwszej zasady termodynamiki).
8. Zauważalny jest brak umiejętności wyciągania wniosków z informacji zawartych w analizowanym tekście oraz z przyjętych założeń (zadania: 1.2., 3.2., 12.2.).
9. Często przyczyną niepowodzeń zdających jest 1) brak uważnego czytania treści zadań i 2) niestosowanie się do polecenia zadania. Np. polecenie wymaga zapisania wyniku w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących, tymczasem wielu z nich podaje wynik ze zbyt dużą lub zbyt małą liczbą cyfr znaczących (zadanie 10., zadanie 12.3.).
10. Cztery zadania otwarte w arkuszu dotyczą: narysowania wektora, narysowania zależności na wykresie czy wykonania konstrukcji. W zadaniu 6.2. należy narysować zależność ciśnienia p od objętości V w pewnym cyklu gazu doskonałego. W zadaniu 7.2. trzeba wyznaczyć konstrukcyjnie położenie soczewki S oraz położenie jednego z jej ognisk. W zadaniach 8. i 9.1. należy z kolei prawidłowo narysować wektor (indukcji magnetycznej $\vec{B}_2$ – zadanie 8. lub amplitudy natężenia pola $\vec{E}_2$ – zadanie 9.1.). Ta – jak wydawałoby się prosta do wykonania czynność (np. narysowanie wektorów, wykonanie konstrukcji czy sporządzenie wykresu) – wymaga dokładnej analizy i rozumienia zjawisk oraz dostrzegania fizycznej istoty rzeczy.
11. Pojawiają się nieprawidłowe rozwiązania, w których zdający całkowicie mylą kontekst zjawiska, mylą wielkości oraz stosują nieprawidłowe wzory. Na przykład w zadaniu 4.1. zdający mylili natężenie fali z natężeniem prądu zarówno jeśli chodzi o wzory jak i jednostki.
12. Chaotyczny i nieczytelny zapis poszczególnych etapów rozwiązania w wielu przypadkach skutkuje pomyłkami i uzyskiwaniem nieprawidłowych wyników.

Mając na uwadze sformułowane powyżej wnioski i spostrzeżenia rekomenduje się, aby podczas przygotowywania uczniów do egzaminu maturalnego z fizyki zwrócić im szczególną uwagę na:

- fakt, że ugruntowana wiedza fizyczna to: (1) prawidłowa identyfikacja i rozumienie wielkości występujących we wzorach, (2) stosowanie odpowiednich konwencji znaków we wzorach, (3) znajomość zakresu stosowalności wzorów, (4) rozumienie założeń, przy których można stosować daną zasadę lub prawo. Samo odczytanie wzoru z *Wybranych wzorów [...]*, bez rozumienia jego fizycznego sensu, nie prowadzi do uzyskania prawidłowego rozwiązania
- potrzebę rozumienia zależności fizycznych mających charakter wektorowy, z czym związane są geometryczne relacje pomiędzy wielkościami opisanymi danym prawem czy zasadą fizyczną
- konieczność wnikliwej analizy treści zadania w celu wyodrębnienia:
(1) warunków/założeń zadania, (2) zjawiska fizycznego z opisanego kontekstu, (3) istotnych dla zadania danych z wykresu, rysunku czy tabeli i (4) niezbędnych czynności do wykonania opisanych w poleceniu
- potrzebę dokładnego czytania poleceń i udzielania odpowiedzi spełniających wszystkie wymagania określone w poleceniu
- fakt, że rozwiązanie zadania powinno zawierać:
 - ✓ zapis istotnych danych
 - ✓ zapis niezbędnych zależności lub praw fizycznych
 - ✓ oznaczenia, które jednoznacznie pozwalają na identyfikację wielkości fizycznych opisanych w treści zadania i poleceniu
 - ✓ obliczenia, które wynikają z przedstawionych zależności
 - ✓ wyniki liczbowe zapisane z odpowiednim zaokrągleniem wraz z właściwymi jednostkami i zgodnie z poleceniem zadania
- konieczność starannego i uważnego wykonywania przekształceń i obliczeń oraz weryfikowania poprawności otrzymanego wyniku
- konieczność starannego wykonywania konstrukcji w przypadku zadań sprawdzających tę umiejętność
- potrzebę ćwiczenia rozwiązywania zadań złożonych, w szczególności tych, w których kluczowe dla rozwiązania zadania dane przedstawione są w różny sposób (np. na rysunku, wykresie czy schemacie); czy zadań z trudnych działów, jak np. Mechanika bryły sztywnej, Termodynamika czy Mechanika falowa.