Rodzaj dokumentu:	**Sprawozdanie za rok 2020**
Egzamin:	**Egzamin maturalny**
Przedmiot:	**Fizyka**
Poziom:	**Poziom rozszerzony**
Termin egzaminu:	Termin główny – czerwiec 2020 r.
Data publikacji dokumentu:	30 października 2020 r.

Warszawa 2020

Opracowanie
Opracowanie
Mariusz Mroczek (Centralna Komisja Egzaminacyjna)
Urszula Okrajni (Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Jaworznie)
Lidia Szymczak-Mazur (Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Jaworznie)
Jan Sawicki (Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Krakowie)
Urszula Łucznik (Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Warszawie)

Redakcja
dr Wioletta Kozak (Centralna Komisja Egzaminacyjna)

Opracowanie techniczne
Andrzej Kaptur (Centralna Komisja Egzaminacyjna)

Współpraca
Beata Dobrosielska (Centralna Komisja Egzaminacyjna)
Agata Wiśniewska (Centralna Komisja Egzaminacyjna)
Pracownie ds. Analiz Wyników Egzaminacyjnych okręgowych komisji egzaminacyjnych

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Warszawie
Plac Europejski 3, 00-844 Warszawa
tel. 22 457 03 35, fax 22 457 03 45
e-mail: info@oke.waw.pl
www.oke.waw.pl

Spis treści

Opis arkusza maturalnego 4
Dane dotyczące populacji zdających 4
Przebieg egzaminu 5
Podstawowe dane statystyczne 6
Komentarz 12
Wnioski i rekomendacje 37

Opis arkusza egzaminu maturalnego

Arkusz egzaminacyjny z fizyki na poziomie rozszerzonym zawierał ogółem 33 zadania (ujęte w 14 grup/wiązek tematycznych), na które składało się 12 zadań zamkniętych i 21 zadań otwartych krótkiej odpowiedzi. Zadania sprawdzały wiadomości oraz umiejętności ujęte w pięciu obszarach wymagań ogólnych:

I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie (10 zadań, w tym: 7 zadań zamkniętych łącznie za 7 punktów oraz 3 zadania otwarte łącznie za 6 punktów).
II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści (4 zadania, w tym: 1 zadanie zamknięte za 1 punkt oraz 3 zadania otwarte za 7 punktów).
III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków (7 zadań, w tym 1 zadanie zamknięte za 1 punkt oraz 6 zadań otwartych łącznie za 11 punktów).
IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk (7 zadań otwartych łącznie za 17 punktów).
V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników (5 zadań, w tym: 3 zadania zamknięte za 7 punktów oraz 2 zadanie otwarte łącznie za 3 punkty).

Zdający mogli korzystać z *Wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki* oraz linijki i kalkulatora prostego. Za rozwiązanie wszystkich zadań można było otrzymać 60 punktów.

Dane dotyczące populacji zdających

TABELA 1. ZDAJĄCY ROZWIĄZUJĄCY ZADANIA W ARKUSZU STANDARDOWYM*

Liczba zdających		**3672**
Zdający rozwiązujący zadania w arkuszu standardowym	z liceów ogólnokształcących	2641
	z techników	1031
	ze szkół na wsi	80
	ze szkół w miastach do 20 tys. mieszkańców	429
	ze szkół w miastach od 20 tys. do 100 tys. mieszkańców	941
	ze szkół w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców	2222
	ze szkół publicznych	3438
	ze szkół niepublicznych	234
	kobiety	818
	mężczyźni	2854
	bez dysleksji rozwojowej	3035
	z dysleksją rozwojową	637

* Dane w tabeli dotyczą tegorocznych absolwentów.

Z egzaminu zwolniono 20 osób − 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	29
	słabowidzący	4
	niewidomi	-
	słabosłyszący	3
	niesłyszący	3
	Ogółem	**39**

Przebieg egzaminu

TABELA 3. INFORMACJE DOTYCZĄCE PRZEBIEGU EGZAMINU

Termin egzaminu			24 czerwca 2020
Czas trwania egzaminu dla arkusza standardowego			180 minut
Liczba szkół			307
Liczba zespołów egzaminatorów			4
Liczba egzaminatorów			40
Liczba obserwatorów[1] (§ 8 ust. 1)			1
Liczba unieważnień[2]	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	2
	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. 7	stwierdzenie naruszenia przepisów dotyczących przeprowadzenia egzaminu maturalnego	0
	art. 44zzy ust. 10	niemożność ustalenia wyniku (np. zaginięcie karty odpowiedzi)	0
Liczba wglądów[2] (art. 44zzz)			152

[1] Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 21 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowych warunków i sposobu przeprowadzania egzaminu gimnazjalnego i egzaminu maturalnego (Dz.U. z 2016 r. poz. 2223, ze zm.).
[2] Ustawa o systemie oświaty (tekst jedn. Dz.U. z 2020 r. poz. 1327).

Podstawowe dane statystyczne

Wyniki zdających dla Mazowsza

WYKRES 1. ROZKŁAD WYNIKÓW ZDAJĄCYCH

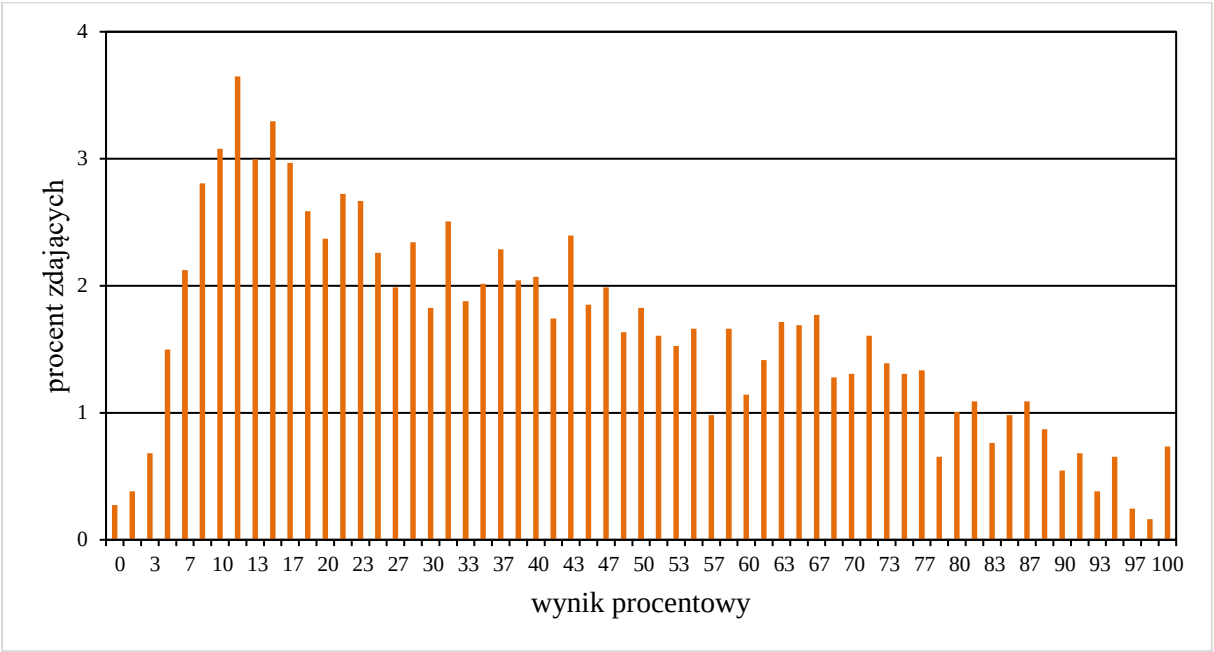


TABELA 4. WYNIKI ZDAJĄCYCH – PARAMETRY STATYSTYCZNE*

Zdający	Liczba zdających	Minimum (%)	Maksimum (%)	Mediana (%)	Modalna (%)	Średnia (%)	Odchylenie standardowe (%)
ogółem	**3672**	**0**	**100**	**37**	**12**	**40,5**	**25,3**
w tym:							
z liceów ogólnokształcących	2641	0	100	45	43	47,4	24
z techników	1031	0	100	15	12	22,6	18,6

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

Poziom wykonania zadań

TABELA 5. POZIOM WYKONANIA ZADAŃ

Nr zad.	Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe *Gdy wymaganie szczegółowe dotyczy materiału III etapu edukacyjnego, dopisano (G), a gdy zakresu podstawowego IV etapu, dopisano (P).*	Poziom wykonania zadania (%)
1.1.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 1.4) wykorzystuje związki pomiędzy położeniem, prędkością i przyspieszeniem w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym do obliczania parametrów ruchu; 1.5) rysuje i interpretuje wykresy zależności parametrów ruchu od czasu.	68
1.2.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 1.4) wykorzystuje związki pomiędzy położeniem, prędkością i przyspieszeniem w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym do obliczania parametrów ruchu.	46
1.3.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 1.8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona; 1.12) posługuje się pojęciem siły tarcia do wyjaśniania ruchu ciał.	54
2.1.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] wykresów […] i rysunków.	Zdający: 1.7) opisuje swobodny ruch ciał, wykorzystując pierwszą zasadę dynamiki Newtona; 1.8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona.	75
2.2.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] wykresów […] i rysunków.	Zdający: 1.1) rozróżnia wielkości wektorowe od skalarnych; wykonuje działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe); 1.8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona.	55
2.3.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 1.1) rozróżnia wielkości wektorowe od skalarnych; wykonuje działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe); 1.8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona.	32
3.1	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] schematów i rysunków.	Zdający: 1.1) rozróżnia wielkości wektorowe od skalarnych; […]; 2.4) analizuje równowagę brył sztywnych, w przypadku gdy siły leżą w jednej płaszczyźnie (równowaga sił i momentów sił).	19

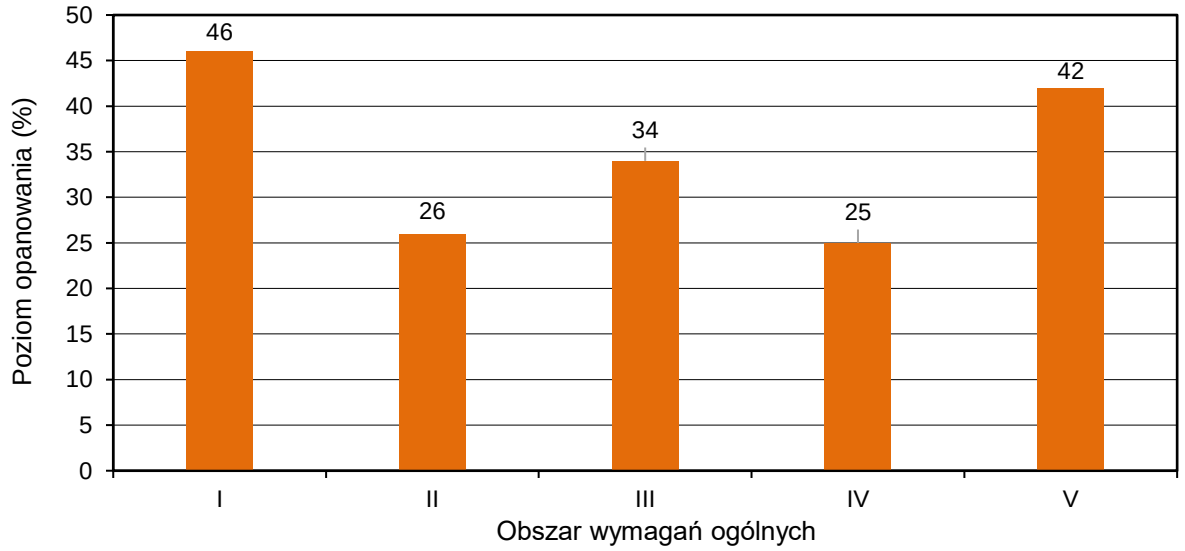
3.2.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 1.3) oblicza momenty sił; 2.4) analizuje równowagę brył sztywnych, w przypadku gdy siły leżą w jednej płaszczyźnie (równowaga sił i momentów sił).	22
4.1.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, […], schematów i rysunków.	Zdający: 7.2) posługuje się pojęciem natężenia pola elektrostatycznego; 7.3) oblicza natężenie pola centralnego pochodzącego od jednego ładunku punktowego; 1.1) rozróżnia wielkości wektorowe od skalarnych; wykonuje działania na wektorach (dodawanie […]).	41
4.2.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 7.2) posługuje się pojęciem natężenia pola elektrostatycznego; 7.3) oblicza natężenie pola centralnego pochodzącego od jednego ładunku punktowego; 7.4) analizuje jakościowo pole pochodzące od układu ładunków.	68
5.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 9.1) szkicuje przebieg linii pola magnetycznego w pobliżu magnesów trwałych i przewodników z prądem (przewodnik liniowy, pętla, zwojnica); 9.2) oblicza wektor indukcji magnetycznej wytworzonej przez przewodniki z prądem (przewodnik liniowy, pętla, zwojnica); 9.11) stosuje regułę Lenza w celu wskazania kierunku przepływu prądu indukcyjnego.	50
6.1.	II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.	Zdający: 5.10) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych w oparciu o wymieniane ciepło i wykonaną pracę.	34
6.2.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 5.5) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki, odróżnia przekaz energii w formie pracy od przekazu energii w formie ciepła; 5.8) analizuje pierwszą zasadę termodynamiki jako zasadę zachowania energii.	30
6.3.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 5.10) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych w oparciu o wymieniane ciepło i wykonaną pracę.	54
7.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 5.2) opisuje przemianę izotermiczną, […]; 5.4) opisuje związek pomiędzy temperaturą w skali Kelwina a średnią energią kinetyczną cząsteczek; 3.6) (G) posługuje się pojęciem ciśnienia (w tym ciśnienia hydrostatycznego i atmosferycznego).	48

8.1.	II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.	Zdający: 10.1) opisuje widmo fal elektromagnetycznych i podaje źródła fal w poszczególnych zakresach z omówieniem ich zastosowań; 6.8) stosuje w obliczeniach związek między parametrami fali: długością, częstotliwością, okresem, prędkością.	36
8.2.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] wykresów […].	Zdający: 7.11) (G) podaje przybliżoną wartość prędkości światła w próżni; wskazuje prędkość światła jako maksymalną prędkość przepływu informacji; 6.8) stosuje w obliczeniach związek między parametrami fali: długością, częstotliwością, okresem, prędkością; 10.6) stosuje prawo […] załamania fal do wyznaczenia biegu promieni w pobliżu granicy dwóch ośrodków.	38
8.3.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 7.6) (G) opisuje bieg promieni przechodzących przez soczewkę skupiającą i rozpraszającą […]; 7.9) (G) opisuje zjawisko rozszczepienia światła za pomocą pryzmatu.	27
8.4.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] wykresów […].	Zdający: 10.9) stosuje równanie soczewki […].	29
9.1.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] wykresów […].	Zdający: 11.1) opisuje założenia kwantowego modelu światła; 11.4) opisuje mechanizmy powstawania promieniowania rentgenowskiego.	34
9.2.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 11.4) opisuje mechanizmy powstawania promieniowania rentgenowskiego; 7.11) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu elektrycznym; 11.2) stosuje zależność między energią fotonu a częstotliwością i długością fali […].	26
9.3.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 7.11) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu elektrycznym; 2.3) (G) opisuje wpływ wykonanej pracy na zmianę energii; 3.2) oblicza wartość energii kinetycznej ciał […].	34
9.4.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 7.11) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu elektrycznym; 11.2) stosuje zależność między energią fotonu a częstotliwością i długością fali […]; 11.3) stosuje zasadę zachowania energii do wyznaczenia częstotliwości promieniowania emitowanego i absorbowanego przez atomy.	28

10.1.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 8.4) stosuje prawa Kirchhoffa do analizy obwodów elektrycznych; 8.5) oblicza opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle.	65
10.2.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 8.4) stosuje prawa Kirchhoffa do analizy obwodów elektrycznych; 8.5) oblicza opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle.	38
11.1.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 3.1) (P) posługuje się pojęciami pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron; podaje skład jądra atomowego na podstawie liczby masowej i atomowej; 3.3) (P) wymienia właściwości promieniowania jądrowego α, β, γ; opisuje rozpady alfa, beta (wiadomości o neutrinach nie są wymagane), sposób powstawania promieniowania gamma; posługuje się pojęciem jądra stabilnego i niestabilnego.	22
11.2.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 3.4) (P) opisuje rozpad izotopu promieniotwórczego, posługując się pojęciem czasu połowicznego rozpadu; rysuje wykres zależności liczby jąder, które uległy rozpadowi od czasu […].	76
11.3.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 3.4) (P) opisuje rozpad izotopu promieniotwórczego […]; 12.3) przeprowadza złożone obliczenia liczbowe, posługując się kalkulatorem.	38
12.1.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 1.2) (P) opisuje zależności między siłą dośrodkową a masą, prędkością liniową i promieniem oraz wskazuje przykłady sił pełniących rolę siły dośrodkowej; 4.1) wykorzystuje prawo powszechnego ciążenia do obliczenia siły oddziaływań grawitacyjnych między masami punktowymi i sferycznie symetrycznymi; 4.7) oblicza okres ruchu satelitów (bez napędu) wokół Ziemi.	32
12.2.	II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.	Zdający: 2.2) rozróżnia pojęcia: masa i moment bezwładności; 2.6) opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi przechodzącej przez środek masy (prędkość kątowa, przyspieszenie kątowe); 2.8) stosuje zasadę zachowania momentu pędu do analizy ruchu.	29
12.3.	II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.	Zdający: 2.9) uwzględnia energię kinetyczną ruchu obrotowego w bilansie energii; 2.8) stosuje zasadę zachowania momentu pędu do analizy ruchu.	27

13.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 2.3) (P) opisuje budowę atomu wodoru, stan podstawowy i stany wzbudzone; 2.4) (P) wyjaśnia pojęcie fotonu i jego energii; 2.5) (P) interpretuje zasadę zachowania energii przy przejściach elektronu między poziomami energetycznymi w atomie z udziałem fotonu.	48
14.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 3.3) (P) wymienia właściwości promieniowania jądrowego α, β, γ; opisuje rozpady alfa, beta (wiadomości o neutrinach nie są wymagane) […]; 3.5) (P) opisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku oraz zasadę zachowania energii.	53

WYKRES 2. POZIOM WYKONANIA ZADAŃ W OBSZARZE WYMAGAŃ OGÓLNYCH



Komentarz

W roku 2020 do egzaminu maturalnego z fizyki w Formule 2015 przystąpili po raz szósty absolwenci liceów ogólnokształcących, a po raz piąty – absolwenci techników. Egzamin odbył się tylko na poziomie rozszerzonym i okazał się dosyć trudny. Średni wynik, jaki osiągnęli wszyscy absolwenci na Mazowszu (liceów oraz techników łącznie), wynosi 40,5%. Absolwenci liceów osiągnęli średni wynik 47%, natomiast absolwenci techników – 23%.

Analiza jakościowa zadań

Tegoroczny arkusz maturalny z fizyki składał się ogółem z 33 pojedynczych zadań ujętych w 14 grup tematycznych, za które można było uzyskać łącznie 60 punktów.
1 zadanie w arkuszu okazało się dla zdających bardzo trudne (poziom wykonania wyniósł 19%),
22 zadania były dla zdających trudne (poziom wykonania każdego z tych zadań wynosił od 20% do 49%),
8 zadań okazało się umiarkowanie trudne (poziom wykonania każdego z nich wynosił od 50% do 69%),
a 2 zadania były łatwe (poziom wykonania każdego z nich wynosił od 70% do 89%). Zadań o poziomie wykonania powyżej 89% (czyli bardzo łatwych) nie było w arkuszu.

Rozkład punktacji na poszczególnych poziomach trudności przedstawia się następująco: całkowita liczba punktów, jakie można było uzyskać w sumie za zadania bardzo trudne, wynosiła 8 (co stanowi 13,3% maksymalnej liczby punktów możliwych do zdobycia); całkowita liczba punktów, jakie można było uzyskać w sumie za zadania trudne, wynosiła 45 (to jest 75,0% punktów możliwych do osiągnięcia); całkowita liczba punktów, jakie można było uzyskać w sumie za zadania umiarkowanie trudne wynosiła 5 (czyli 8,3% punktów możliwych do zdobycia), a łączna liczba punktów możliwych do uzyskania za zadania łatwe była równa 2 (około 3,3% punktów w arkuszu). Z przedstawionej statystyki wynika, że większość zadań w arkuszu była dla zdających trudna.

Tegoroczny arkusz maturalny z fizyki zawierał 21 zadań otwartych, za które można było dostać w sumie 44 punktów (ok. 73% całkowitej punktacji) oraz 12 zadań zamkniętych, za które można było dostać łącznie 16 punktów (ok. 27% całkowitej punktacji).
Poziom wykonania wszystkich zadań otwartych na Mazowszu wyniósł w tym roku ok. 38%, a poziom wykonania wszystkich zadań zamkniętych wyniósł ok. 43%.

Przyjmiemy do naszej analizy, że zadania obliczeniowe to te zadania otwarte, w których zdający – aby uzyskać punkty za rozwiązanie – musiał wykonać jakiekolwiek obliczenia lub przekształcenia algebraiczne wzorów. W arkuszu znalazło się 17 zadań obliczeniowych (spośród wszystkich 33 zadań). Można było za nie uzyskać łącznie 38 punktów, co stanowi ok. 63% maksymalnej liczby punktów możliwych do zdobycia. Poziom wykonania wszystkich zadań obliczeniowych w arkuszu wyniósł ok. 37%, a poziom wykonania zadań nieobliczeniowych – ok. 45%. Podobnie jak w ubiegłych latach, tak i w tym roku zadania obliczeniowe okazały się dla zdających zdecydowanie trudniejsze.

Zadania, z którymi zdający poradzili sobie najsłabiej

W dalszej części omówimy te zadania, z którymi zdający poradzili sobie najsłabiej. Przyjmiemy do analizy zadania, których poziom wykonania jest poniżej 36% (średni wynik, jaki osiągnęli wszyscy absolwenci to 34%).

Wyniki, jakie osiągnęli zdający za najtrudniejsze zadania (a także wszystkie inne w arkuszu), dobrze korelowały z wynikami uzyskanymi przez zdających za cały arkusz. Przekonują o tym wartości tzw. współczynników korelacji liniowej Pearsona dla poszczególnych zadań. Współczynnik ten może przyjmować wartości od –1 do 1 i jest miarą stopnia zależności/powiązania/korelacji liniowej między zmiennymi losowymi. W naszym przypadku parami zmiennych losowych są: wyniki zdających za dane zadanie i odpowiadające im wyniki tychże zdających za cały arkusz. Im bliższa wartościom skrajnym – 1 i 1 jest wartość współczynnika korelacji, tym bardziej zależność między badanymi zmiennymi zbliża się do liniowej. Wartości dodatnie współczynnika informują o rosnącym charakterze tej zależności/korelacji, a wartości ujemne o malejącym charakterze zależności. W praktyce pomiaru dydaktycznego dodatnie wartości współczynnika korelacji powyżej 0,5 oznaczają bardzo dobre powiązanie wyniku zadania z wynikiem za cały arkusz – tzn. wzrost wartości wyniku za dane zadanie w populacji zdających wiąże się ze wzrostem wartości wyniku za cały arkusz. Ujemne wartości współczynnika oznaczałyby coś wręcz przeciwnego (wzrost wartości wyniku za dane zadanie wiązałby się z maleniem wartości wyniku za cały arkusz), a wartości bliskie zera oznaczałyby brak jakiejkolwiek korelacji. Większość zadań w arkuszu osiągnęła współczynnik korelacji liniowej bliski 0,5 lub powyżej. To oznacza, że zadania bardzo dobrze różnicowały populację zdających.
W arkuszu egzaminacyjnym nie było zadań bardzo łatwych o poziomie wykonania powyżej 90% oraz nie było zadań bardzo trudnych o poziomie wykonania poniżej 10%.
Poniżej zadania wg poziomu wykonania zadania (współczynnik łatwości wyrażony w %) dla Mazowsza

Nr zad.	Poziom wykonania zadania (%)	Nr zad.	Poziom wykonania zadania (%)	Nr zad.	Poziom wykonania zadania (%)
3.1	**19**	12.1.	**32**	13.	**48**
3.2.	**22**	6.1.	**34**	5.	**50**
11.1.	**22**	9.1.	**34**	14.	**53**
9.2.	**26**	9.3.	**34**	1.3.	**54**
8.3.	**27**	8.1.	**36**	6.3.	**54**
12.3.	**27**	8.2.	**38**	2.2.	**55**
9.4.	**28**	10.2.	**38**	10.1.	**65**
8.4.	**29**	11.3.	**38**	1.1.	**68**
12.2.	**29**	4.1.	**41**	4.2.	**68**
6.2.	**30**	1.2.	**46**	2.1.	**75**
2.3.	**32**	7.	**48**	11.2.	**76**

Najtrudniejsze zadania w arkuszu dotyczyły różnych działów fizyki: mechaniki (wiązka zadań 3.1.–3.2., zadanie 2.3.), mechaniki i grawitacji (wiązka zadań 12.1.–12.3.), mechaniki łącznie z fizyką atomową i elektromagnetyzmem (wiązka zadań 9.1–9.4.), optyki falowej i geometrycznej (wiązka zadań 8.1.–8.4.), termodynamiki (zadania 6.1. i 6.2.), fizyki jądrowej (zadania 11.1. i 11.3.).

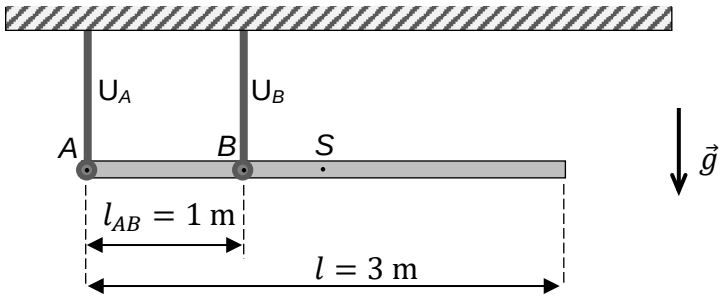
Większość spośród wymienionych jako najtrudniejsze zadań stanowiły zadania otwarte, w których należało obliczyć jakąś wielkość fizyczną. W dwóch zadaniach zdający musieli uzupełniać rysunki (zadania 3.1. i 8.3.), a cztery zadania były zamknięte (8.1., 9.1., 9.2., 11.1.). Za każde z zadań obliczeniowych można było otrzymać 2 pkt lub 3 pkt. Rozwiązanie takich zadań wymagało zastosowania odpowiedniej, podstawowej zasady / prawa fizycznego, a także innych zależności fizycznych bądź matematycznych lub konwencji (np. znaków). Największy problem w tego typu zadaniach sprawiało zdającym wyodrębnienie zjawiska z kontekstu i poprawne stosowanie w nim podstawowych praw / zasad fizycznych. To – obok problemów matematycznych – wpływa na niskim poziom wykonania (37%) zadań obliczeniowych.

Poniżej omówimy zadania wymienione jako najtrudniejsze i opiszemy najczęściej popełniane przez zdających błędy.

Omówienie wiązki zadań 3.1. (19%), 3.2. (22%)

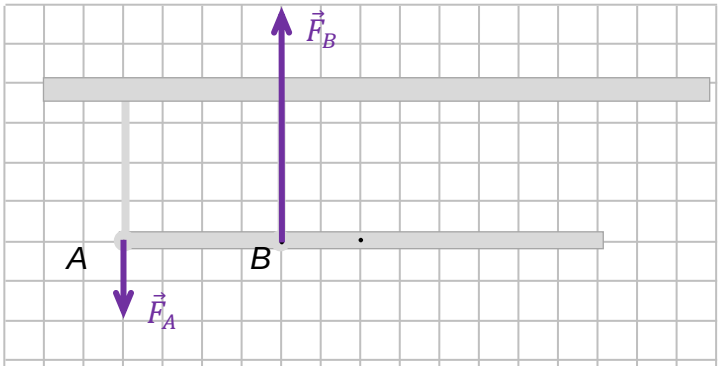
Wiązka zadań 3.1.–3.2. dotyczyła statyki bryły sztywnej i okazała się najtrudniejszym zestawem zadań w arkuszu.

Zadanie 3.1. uzyskało najniższy poziom wykonania (19%). Sprawdzało ono umiejętność jakościowego (tzn. bez wykonywania obliczeń) zastosowania warunków równowagi bryły sztywnej dla przypadku jednorodnej belki podwieszonej pod sufitem na dwóch uchwytach U_A i U_B. We wstępie do zadania była opisana sytuacja, którą ilustrował rysunek (zobacz poniżej). Mocowanie pojedynczego uchwytu do belki umożliwiało jej obrót w płaszczyźnie rysunku.



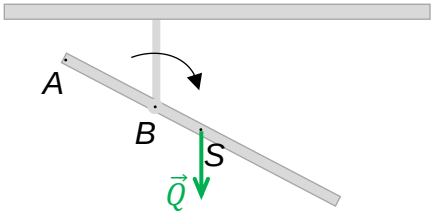
Zdający mieli narysować wektory sił $\vec{F}_A$ i $\vec{F}_B$, z jakimi uchwyty działają na belkę odpowiednio w punktach *A* i *B,* z uwzględnieniem prawidłowych kierunków i zwrotów sił oraz relacji (większy, mniejszy, równy) pomiędzy ich wartościami. Ponadto należało zapisać tę relację pomiędzy wartościami sił. Prawidłowe rozwiązanie zadania przedstawia się następująco:

$F_A < F_B$

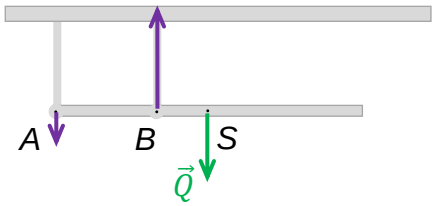


Kluczowym było uświadomienie sobie, że momenty sił względem dowolnego punktu belki (np. *S* albo *A* albo *B*) muszą mieć przeciwne zwroty (i te same wartości). Ponieważ punkty *A* i *B* mocowania uchwytów znajdowały po jednej stronie środka masy belki, to jedna z tych sił musiała być zwrócona do góry, a druga – do dołu. Jakościowa analiza momentów sił względem punktu *A* prowadzi do wniosku, że siła $\vec{F}_B$ musi mieć zwrot do góry – przeciwny do zwrotu siły ciężkości belki (zaczepionej umownie w punkcie *S*). Natomiast analiza momentów sił względem punktu *B* prowadzi do wniosku, że siła $\vec{F}_A$ musi mieć taki sam zwrot jak siła ciężkości belki (czyli w dół). Z kolei większa wartość siły $\vec{F}_B$ wynika z tego, że ma ona krótsze ramię względem punktu *S* niż siła $\vec{F}_A$.

Niezależnie od jakościowej analizy momentów sił zwroty sił można było ustalić, wyobrażając sobie, jak zachowałaby się belka pozbawiona nagle uchwytu U_A. W takiej sytuacji belka pod wpływem momentu siły ciężkości $\vec{Q}$ rozpoczęłaby obrót względem punktu *B* tak, że jej krótszy koniec by się uniósł, a dłuższy opadł (zobacz rysunek obok).



Ten prosty eksperyment myślowy uświadamia, że uchwyt U_A zapobiega takiemu obrotowi – czyli „pcha" koniec belki w dół. Na rysunku obok narysowano wszystkie siły działające na belkę.

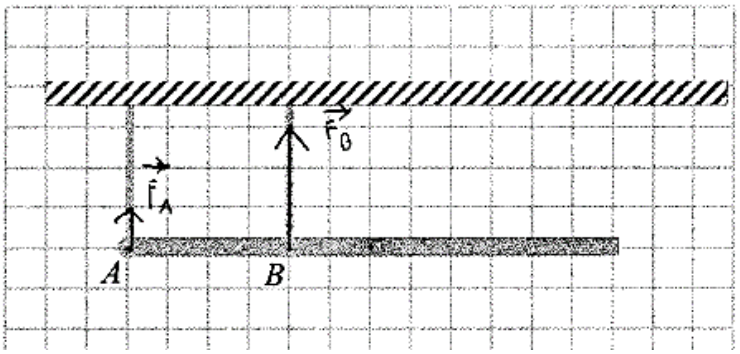


Największą trudnością tego zadania było dla zdających poprawne ustalenie zwrotów sił $\vec{F}_A$ i $\vec{F}_B$, a w szczególności – zwrotu siły $\vec{F}_A$, z jaką uchwyt U_A działa na belkę.

Przykład 1. – rozwiązania zdających

W prezentowanym przykładzie rozwiązania zdający błędnie określa zwrot siły $\vec{F}_A$.

F_A ..... F_B



Zadanie 3.2. uzyskało poziom wykonania 22% i uplasowało się w całym arkuszu na drugim miejscu pod względem trudności. Zadanie sprawdzało umiejętność zbudowania matematycznego modelu zjawiska – należało zapisać równania opisujące warunki równowagi belki i obliczyć wartości F_A i F_B sił, z jakimi uchwyty U_A i U_B działają na belkę. W tym celu zdający musiał zapisać warunek równowagi momentów sił działających na belkę – względem dowolnego punktu belki – oraz warunek równowagi sił działających na belkę. Innym sposobem rozwiązania było zapisanie dwóch warunków równowagi momentów sił – względem dwóch

różnych punktów belki. Rozwiązanie zadania 3.2. drugim sposobem przedstawia się następująco (poniżej równania równowagi momentów sił względem punktów *A* i *B*):

$$\begin{cases} F_B \cdot |AB| = Q \cdot |SA| \\ F_A \cdot |AB| = Q \cdot |SB| \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_B \cdot 1\ \text{m} = 120\ \text{N} \cdot 1{,}5\ \text{m} \\ F_A \cdot 1\ \text{m} = 120\ \text{N} \cdot 0{,}5\ \text{m} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_B = 180\ \text{N} \\ F_A = 60\ \text{N} \end{cases}$$

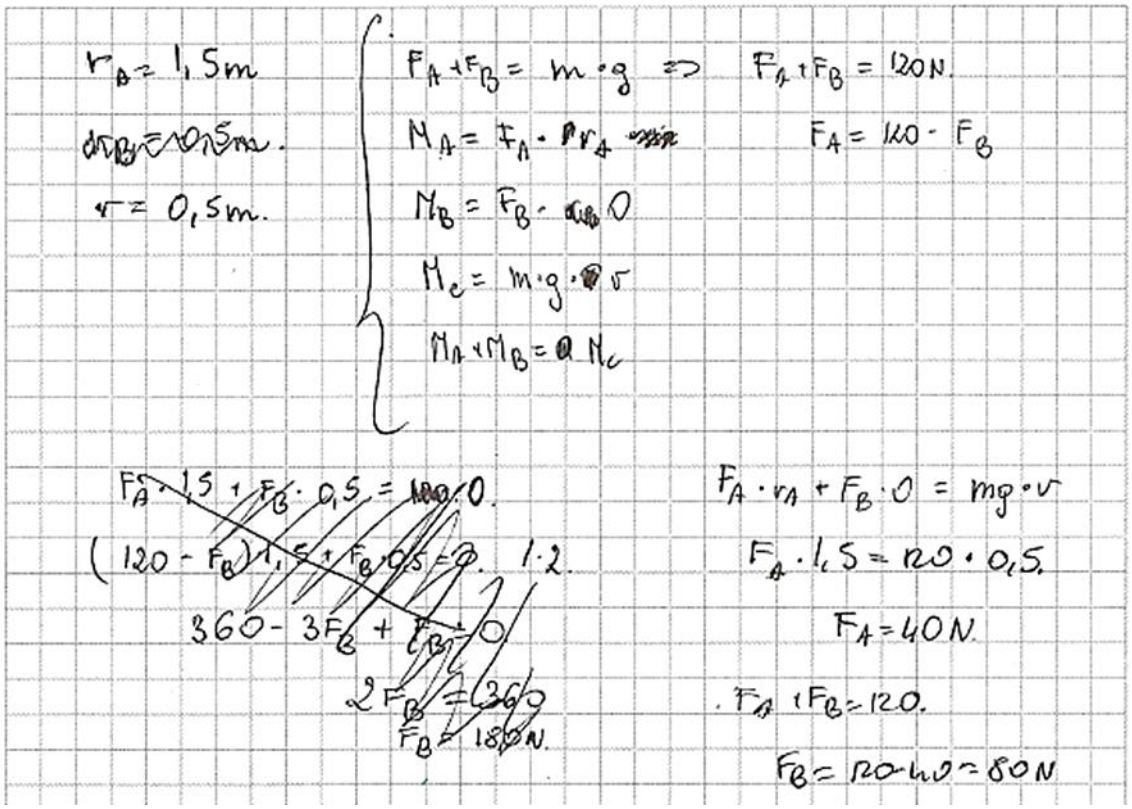
Największe trudności mieli zdający z poprawnym ułożeniem równań równowagi momentów sił i/lub sił. Najczęściej wiązało się to z nieprawidłową identyfikacją ramion sił w równaniu równowagi momentów sił. Oprócz tego zdający popełniali błędy rachunkowe oraz nieprawidłowo określali zwroty sił za pomocą znaków.

Przykład 2. – rozwiązania zdających

W poniższym przykładzie zdający zapisuje warunek równowagi momentów sił względem punktu *B* (na co wskazuje zapis $M_B = F_B \cdot 0$) oraz warunek równowagi sił. Zdający popełnia dwa najczęściej popełniane typy błędów:

1) nieprawidłowo określa ramię siły F_A względem punktu B (powinno być $r_A = 1\ \text{m}$);

2) błędnie identyfikuje w równaniu równowagi sił zwroty sił (nie uwzględnia za pomocą znaków faktu, że zwroty sił F_A i F_B są przeciwne).



To zadanie bardzo dobrze różnicowało populację zdających – współczynnik korelacji Pearsona (wyników tego zadania z wynikami za cały arkusz) wynosi 0,68.

Omówienie wiązki zadań 12.1. (32%), 12.2. (29%), 12.3. (27%)

Wiązka zadań 12.1.–12.3. dotyczyła grawitacji oraz dynamiki bryły sztywnej. We wstępie do tych zadań podana była informacja o pulsarze 1257+12, który aktualnie obraca się wokół osi własnej 160 razy na sekundę. Dookoła tego pulsara porusza się planeta Draugr, która okrąża go po orbicie kołowej o promieniu r = 0,19 au, w czasie T = 25,3 doby (ziemskiej).

W **zadaniu 12.1.** (poziom wykonania 32%) zdający mieli obliczyć masę pulsara na podstawie podanych we wstępie do zadania parametrów ruchu orbitalnego planety Draugr. W tym celu należało zidentyfikować siłę grawitacji jako siłę dośrodkową, wykorzystać wzór na prędkość liniową (lub kątową), wyznaczyć z tych zależności wyrażenie na masę, poprawnie podstawić dane i wykonać obliczenia:

$$\left(m\frac{v^2}{r}=\frac{GmM}{r^2},\ v=\frac{2\pi r}{T}\right) \implies M = \frac{4\pi^2}{G}\frac{r^3}{T^2} \xrightarrow{\text{podstawienie danych i obliczenia}} M \approx 2{,}86\cdot 10^{30}\ \text{kg}$$

Zdający, którzy podejmowali rozwiązanie tego zadania, zazwyczaj poprawnie identyfikowali siłę grawitacji jako siłę dośrodkową i wypisywali poprawne wzory na te siły. Większość błędów popełnianych przez zdających w tym zadaniu polegała na niepoprawnym przekształceniu do wyrażenia, z którego można bezpośrednio obliczyć masę pulsara jedynie na podstawie stałych oraz parametrów ruchu orbitalnego planety. Oprócz tego zdający popełniali błędy rachunkowe, najczęściej związanie z przeliczaniem jednostek (jak au, doba ziemska) do układu SI. Źródłem błędów w rachunkach i przeliczaniu jednostek było często nieprawidłowe wykorzystanie lub brak wykorzystania notacji wykładniczej i działań na potęgach do obliczeń z dużymi i małymi liczbami.

Podobnie bardzo niski poziom wykonania uzyskało **zadanie 12.2.** W informacji do tego zadania opisane było zjawisko zapadania się jądra gwiazdy do pulsara 1257+12. Maturzyści mieli za zadanie wyznaczyć częstotliwość obrotu jądra gwiazdy dookoła osi własnej w chwili, gdy miało ono promień 10 razy większy niż obecnie.

W celu poprawnego rozwiązania zadania 12.2. należało skorzystać tylko z zasady zachowania momentu pędu bryły sztywnej i związku prędkości kątowej z częstotliwością. W informacji do zadań 12.2. i 12.3. wypisane były założenia, które wskazywały na to, że do mechanicznego opisu zjawiska zapadania gwiazdy w końcowym etapie należało przyjąć model, w którym zapadający i obracający się pulsar traktuje się jak ciało sztywne o momencie bezwładności $I = kMR_t^2$. Ponadto jednym z założeń było „pomiń ewentualne straty momentu pędu", które to założenie podpowiadało, aby zastosować zasadę zachowania momentu pędu. Prawidłowe rozwiązanie tego jednego z najtrudniejszych zadań w arkuszu (poziom wykonania 29%) jest następujące:

$$L_{10} = L_1 \implies I_{10}\omega_{10} = I_1\omega_1$$

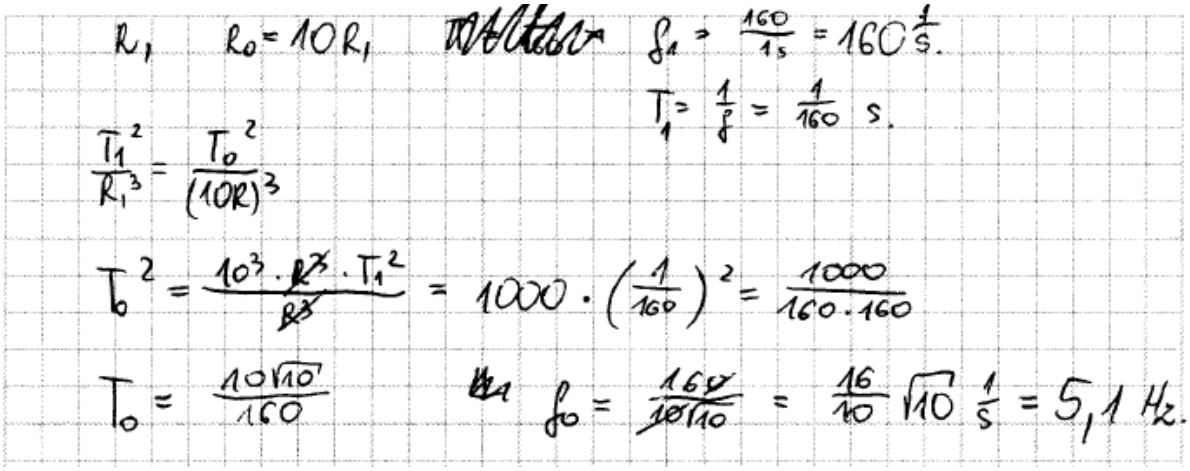
$$kM(10R)^2\cdot 2\pi f_{10} = kMR^2\cdot 2\pi f_1 \rightarrow f_{10} = \frac{f_1}{100} = \frac{160\ \text{Hz}}{100} = 1{,}6\ \text{Hz}$$

Największą trudnością dla zdających było w tym zadaniu poprawne zastosowanie zasady zachowania momentu pędu. Zdarzały się rozwiązania z błędami kardynalnymi, w których nie stosowano zasady zachowania momentu pędu, tylko np. III Prawo Keplera, które ma całkowicie inny kontekst fizyczny. Świadczy to o nierozumieniu istoty zjawiska i kompletnie

bezrefleksyjnym stosowaniu tych wzorów z *Wybranych wzorów*, w których po prostu występowały symbole T i R, a nie tych, które dotyczą istoty zjawiska.

Przykład 3. – rozwiązania zdających

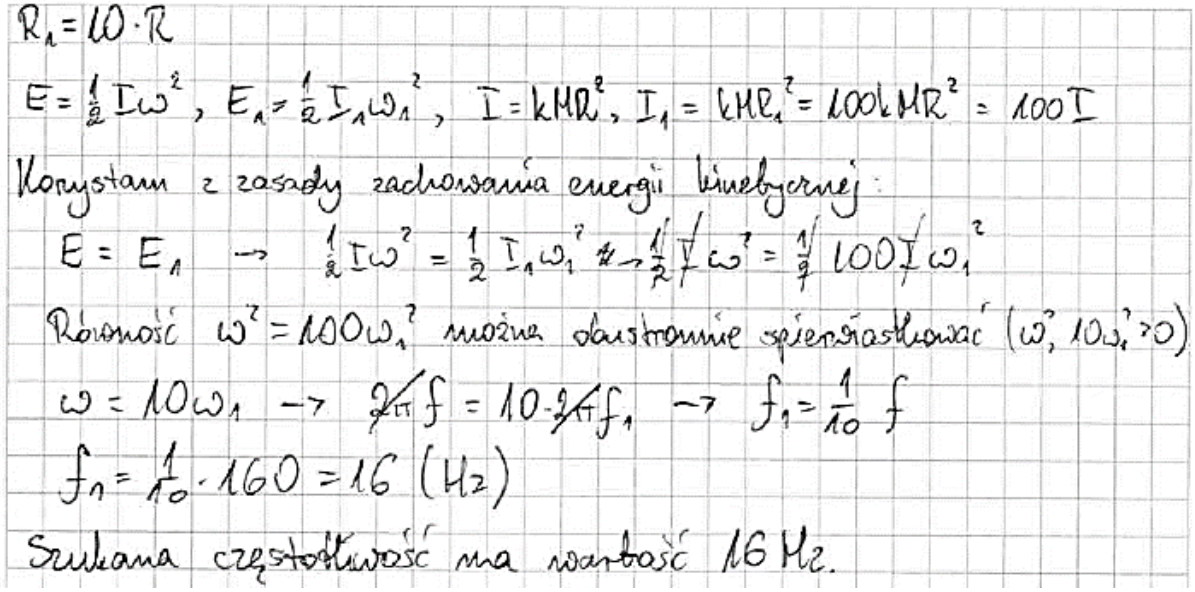
W poniższym przykładzie zdający stosuje nie to prawo, które należało zastosować, co oznacza, że myli on konteksty i/lub zjawiska oraz wielkości fizyczne, albo stosuje wzory na podstawie zbieżności oznaczeń.



Inną grupą błędów było stosowanie zasady zachowania energii mechanicznej pulsara, gdzie za energię mechaniczną przyjmowano tylko energię kinetyczną, a energię potencjalną grawitacyjną (układu wszystkich par punktów materialnych pulsara) pomijano.

Przykład 4. – rozwiązania zdających

Zdający porównuje energie kinetyczne jądra gwiazdy z dwóch różnych chwil. To jest błąd, ponieważ energia kinetyczna podczas zapadania jądra gwiazdy nie jest zachowana, tylko rośnie (kosztem malejącej energii potencjalnej grawitacyjnej).



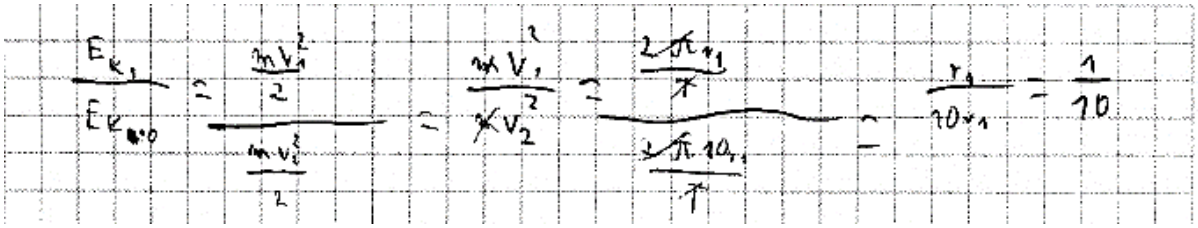
W rozwiązaniach zadań maturzystów zdarzały się także błędy w zastosowaniu samej zasady zachowania momentu pędu. Niektórzy zdający stosowali zasadę zachowania momentu pędu, ale dla ruchu postępowego punktu materialnego względem ustalonego centrum, podczas gdy należało zastosować zasadę zachowania momentu pędu w ruchu obrotowym bryły sztywnej (tutaj kuli) dookoła jej osi własnej.

Zadanie 12.3. uzyskało podobnie jak poprzednie bardzo niski poziom wykonania (27%). Maturzyści musieli wyznaczyć stosunek E_{kin1} / E_{kin10} – energii kinetycznej jądra gwiazdy w chwili obecnej do energii kinetycznej jądra gwiazdy w chwili, gdy jego promień był 10 razy większy niż obecnie.

Najwięcej nieprawidłowych rozwiązań wiązało się z błędnym zastosowaniem wzoru na energię kinetyczną obracającego się jądra gwiazdy. W nieprawidłowych rozwiązaniach maturzyści próbowali stosować wzór na energię kinetyczną ruchu postępowego zamiast obrotowego – pomimo uwagi, że energię kinetyczną określamy w układzie odniesienia, w którym oś obrotu pulsara jest nieruchoma.

Przykład 5. – rozwiązania zdających

W poniższym przykładzie zdający popełnia błędy w każdym kroku rozwiązania. Po pierwsze, stosuje on wzór na energię kinetyczną ruchu postępowego dla jądra gwiazdy (podczas gdy jądro się tylko obraca), na co wskazuje użycie we wzorze masy i prędkości liniowej. Ten błąd dyskwalifikuje rozwiązanie, ponieważ środek masy jądra gwiazdy jest nieruchomy. Po drugie zdający stosuje wzór na prędkość ruchu postępowego, ale tak naprawdę oblicza on prędkość punktu znajdującego się na równiku pulsara, a nie prędkość środka masy pulsara (który to środek masy jest nieruchomy). To wszystko wskazuje na dość przypadkowe stosowanie wzorów i próbę obliczenia z danych jakiejkolwiek prędkości liniowej. Po trzecie – co jest już bez znaczenia w świetle powyższych błędów – zdający podstawia ten sam okres obrotu pulsara dla różnych chwil zapadania. Po czwarte maturzysta popełnia błąd rachunkowy (opuszcza kwadrat prędkości).



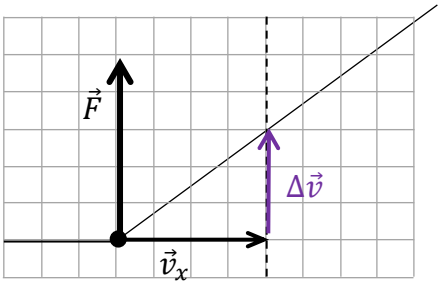
Cała wiązka zadań 12.1.–12.3. okazała się bardzo trudna dla zdających. Rozwiązanie tych zadań wymagało poprawnego zastosowania wprost podstawowych zasad i zależności fizycznych oraz wykorzystania elementarnych technik rachunkowych. Zagadnienia były dość typowe, a ich rozwiązanie nie wymagało obmyślenia złożonej strategii.

Zadania 12.1.–12.3. bardzo dobrze różnicowały populację zdających. Współczynniki korelacji liniowej dla tych zadań były bardzo wysokie: 0,79; 0,75; 0,73. Oznacza to mocną korelację wyniku zadania z wynikiem za cały arkusz – zdający uzyskujący wysokie wyniki w całym arkuszu, uzyskiwali wysokie wyniki za to zadanie, a zdający uzyskujący słabe wyniki w arkuszu uzyskiwali bardzo słabe wyniki za to zadanie.

Omówienie zadania 2.3. (32%)

Zadanie 2.3. to kolejne zadanie z mechaniki, które okazało się bardzo trudne dla zdających. Tym razem zagadnienie związane było z dynamiką punktu materialnego. We wstępie do wiązki zadań 2.1.–2.3. opisany był ruch punktu materialnego. Poruszający się początkowo ze stałą prędkością po linii prostej punkt materialny zmienił kierunek i wartość prędkości pod wpływem uderzenia – krótkiego zadziałania siły $\vec{F}$. Kinematyka ruchu zilustrowana była rysunkiem, pod którym wypisano założenia dotyczące siły $\vec{F}$.

W zadaniu 2.3. maturzyści musieli obliczyć wartość siły $\vec{F}$. W tym celu należało zastosować wprost drugą zasadę dynamiki, uwzględniając jej geometryczny / wektorowy charakter. Kluczowym było rozumienie, że zgodnie z drugą zasadą dynamiki, wektor zmiany pędu, a więc i wektor $\Delta\vec{v}$ zmiany prędkości, ma ten sam kierunek i zwrot co wektor siły $\vec{F}$ (zobacz rysunek obok):



$$m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t_B} = \vec{F}$$

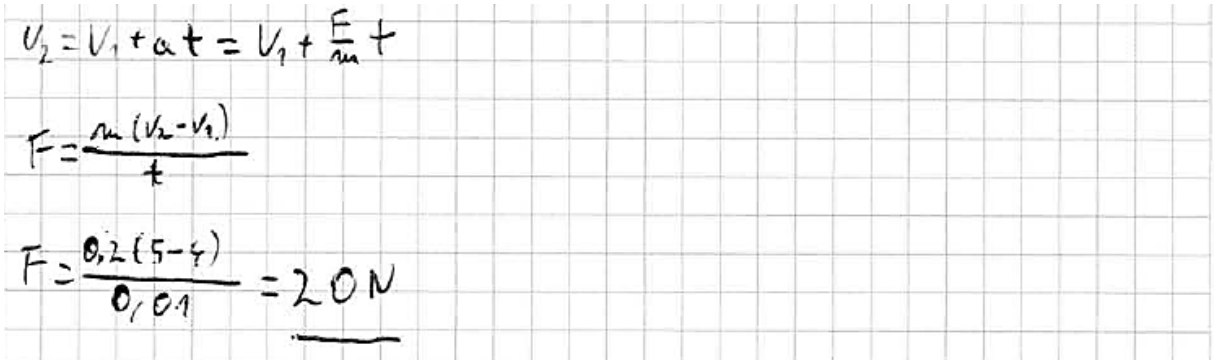
W związku z tym należało: (1) wyznaczyć wektor $\Delta\vec{v}$ zmiany prędkości, czyli uzyskaną składową prędkości w kierunku siły, a następnie (2) zastosować równanie drugiej zasady dynamiki. Przykładowe, prawidłowe rozwiązanie zadania, jest następujące:

$$\Delta v = v_y = 3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\ ,\quad F = m\frac{\Delta v}{\Delta t_B} \quad \rightarrow \quad F = \frac{0{,}2\ \mathrm{kg}\cdot 3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{0{,}01\ \mathrm{s}} = 60\ \mathrm{N}$$

Największą trudnością dla zdających było prawidłowe skorzystanie z drugiej zasady dynamiki – fundamentalnego prawa mechaniki. Najczęściej popełnianym błędem było nieprawidłowe określenie wartości wektora $\Delta\vec{v}$ zmiany prędkości. Zdający często obliczali wartości Δv wektora $\Delta\vec{v}$ jako różnicę wartości wektorów $\vec{v}_k$ i $\vec{v}_x$, podczas gdy należało obliczyć wartość różnicy wektorowej tych prędkości (wartość różnicy wektorów nie jest różnicą wartości tych wektorów).

Przykład 6. – rozwiązania zdających

W poniższym przykładzie zdający błędnie określa wartość różnicy wektorów prędkości (jako różnicę wartości prędkości), na co wskazuje zapis „(5 – 4)” w liczniku.



Opisane trudności zdających wiążą się z:
1) nierozumieniem wektorowego / geometrycznego charakteru drugiej zasady dynamiki
2) brakiem umiejętności wykonywania działań na wektorach, szczególnie w przypadku, gdy oba wektory nie leżą na jednej linii prostej
3) stosowaniem metod obliczeniowych właściwych dla ruchu zmiennego prostoliniowego do innych ruchów zmiennych.

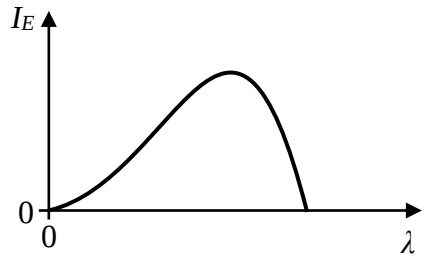
Zadanie uzyskało poziom wykonania 32% i wysoką moc różnicującą 0,65. Zadanie nie było złożone, a pokonanie zasadniczych trudności wiązało się tylko z poprawnym zastosowaniem drugiej zasady dynamiki, a w tym – poprawnym wyznaczeniem wartości różnicy wektorów prędkości. To są absolutnie podstawowe umiejętności, których brak świadczy po prostu o słabym przygotowaniu się zdających do egzaminu w tym zakresie.

Omówienie wiązki zadań 9.1. (34%), 9.2. (26%), 9.3. (34%), 9.4. (28%)

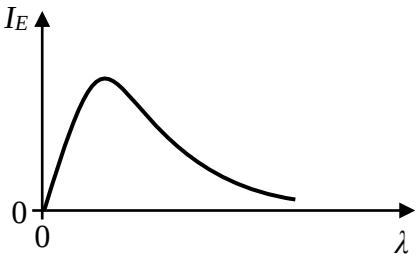
Wiązka zadań 9.1.–9.4. dotyczyła promieniowania rentgenowskiego. Zestaw tych zadań okazał się jednym z trudniejszych w arkuszu. Poziom wykonania poszczególnych zadań w tej wiązce zawierał się w przedziale od 26% do 34%.

We wstępie do wiązki zadań 9.1.–9.4. zamieszczona była informacja o zasadzie działania lampy rentgenowskiej. Opisano w niej mechanizm powstawania promieniowania, oparty na założeniach kwantowej natury światła. Zdający dysponował informacją o napięciu przyśpieszającym elektrony oraz miał podany opis powstawania pojedynczych kwantów promieniowania.

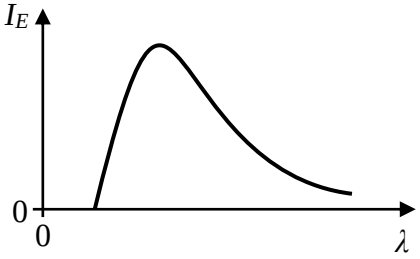
Zadanie 9.1. dotyczyło założeń kwantowego modelu światła i sprawdzało rozumienie mechanizmu powstawania promieniowania rentgenowskiego. W zadaniu należało zaznaczyć rysunek z wykresem prawidłowo przedstawiającym zależność natężenia promieniowania rentgenowskiego od długości fali tego promieniowania.



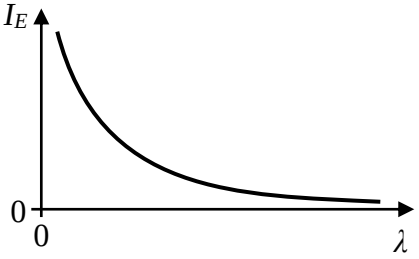
A.



B.



C.



D.

Zaznaczenie prawidłowej odpowiedzi wymagało przeanalizowania zakresu energii, jakie może mieć foton emitowany w wyniku hamowania elektronu oraz wzoru na energię fotonu. Emitowany foton może mieć energię z zakresu od 0 (gdy elektron nie zmniejszy prędkości) do pewnej maksymalnej E_{max} (gdy elektron wyhamuje całkowicie). W związku z tym ze wzoru na energię fotonu wynika:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \Longrightarrow \quad \lambda_{min} = \frac{hc}{E_{max}} \qquad \text{oraz} \quad \lambda(E \to 0) \to \infty$$

Powyższe oznacza, że foton może mieć długość fali od pewnej minimalnej różnej od zera wartości po wartość dowolnie dużą.

Poziom wykonania tego zadania wynosi 34%, a więc jest niewiele wyższy niż w przypadku losowego wyboru jednej z czterech odpowiedzi (25%). Niski poziom wykonania tego zadania wskazuje, że zdający nie przeanalizowali zakresu możliwych energii emitowanego fotonu w świetle wzoru Plancka na energię fotonu.

Zadanie 9.2. było zadaniem zamkniętym typu prawda – fałsz, w którym maturzyści mieli ocenić prawdziwość trzech stwierdzeń dotyczących promieniowania rentgenowskiego. Poziom wykonania tego zadania wyniósł tylko 26%.

1.	Minimalna długość fali promieniowania rentgenowskiego jest wprost proporcjonalna do napięcia przyśpieszającego elektrony.	**P**	**F**
2.	Zwiększenie napięcia przyśpieszającego elektrony spowoduje, że graniczna długość fali promieniowania rentgenowskiego zmaleje.	**P**	**F**
3.	Maksymalna energia kwantu promieniowania rentgenowskiego zależy od liczby elektronów w wiązce bombardującej anodę.	**P**	**F**

Zadanie sprawdzało znajomość rozumienia i analizy mechanizmu powstawania promieniowania rentgenowskiego. Tak więc prawidłowe rozwiązanie zadania wymagało zastosowania: kwantowego modelu światła, zasady zachowania energii, związku między zmianą energii kinetycznej elektronu a pracą sił elektrycznych rozpędzających elektron, zależności między energią fotonu a długością fali elektromagnetycznej.

Zadanie miało jakościowy charakter – w odróżnieniu od kolejnych w tej wiązce. Wstęp do zadania zawierał opis mechanizmu powstawania promieniowania rentgenowskiego, który powinien być wskazówką i podpowiedzią do oceny prawdziwości zdań. Mimo tego zadanie okazało się jednym z trudniejszych w arkuszu.

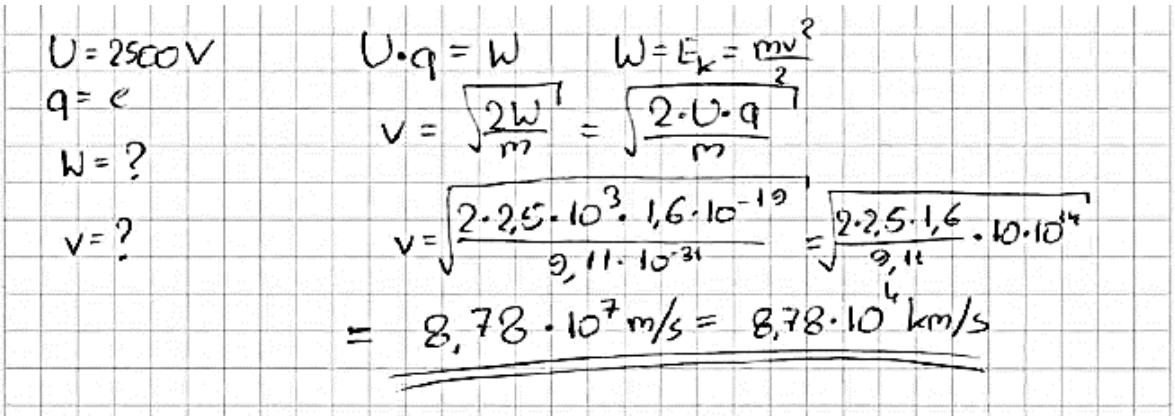
Zadanie 9.3. (poziom wykonania 34%) sprawdzało umiejętność analizy ruchu cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu elektrycznym. W zadaniu należało obliczyć wartość prędkości elektronów padających na anodę. W celu rozwiązania zadania trzeba było wykorzystać związek między zmianą energii kinetycznej elektronu, a pracą siły elektrycznej działającej na ten elektron w polu elektrycznym. Przykładowe prawidłowe rozwiązanie wygląda następująco:

$$\frac{1}{2}mv^2 - 0 = eU \quad \Longrightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \xrightarrow{\text{podstawienie danych i obliczenia}} v = 2{,}96 \cdot 10^7 \ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maturzyści, którzy pokonali zasadniczą trudność tego zadania – tzn. zastosowanie związku między energią kinetyczną i pracą – w dalszej części rozwiązania popełniali błędy rachunkowe lub błędy w przekształceniach algebraicznych. Najczęstsze błędy i usterki w obliczeniach dotyczyły działań na potęgach i otrzymywania wartości prędkości skrajnie małych lub dużych – nawet przekraczających prędkość światła (sic!).

Przykład 7. – rozwiązania zdających

W tym przykładzie zdający pokonuje zasadnicze trudności zadania, ale dalej popełnia błędy obliczeniowe.



Zadanie 9.3. bardzo dobrze różnicowało populację zdających (współczynnik Pearsona 0,76).

Zadanie 9.4. - uzyskało ono poziom wykonania 28% i wysoką moc różnicującą 0,71. Zdający musieli obliczyć najmniejszą długość fali promieniowania rentgenowskiego wytwarzanego przez lampę. W celu prawidłowego rozwiązania zadania należało zastosować zasadę zachowania energii: przyrównać całą energię elektronu uzyskaną w polu elektrycznym (równą pracy sił elektrycznych) do energii fotonu – łącznie z wykorzystaniem wzoru na energię fotonu. Prawidłowe, przykładowe rozwiązanie zadania jest następujące:

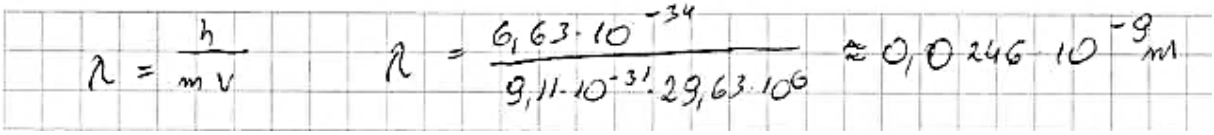
$$\Delta E_{kin} = E_{fot\ max} \quad \Longrightarrow \quad eU = hf_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU} \xrightarrow{\text{podstawienie danych i obliczenia}} \lambda_{min} \approx 4{,}97 \cdot 10^{-10}\ \text{m}$$

Zasadniczą trudnością zadania było odpowiednie zastosowanie zasady zachowania energii oraz wzoru Plancka (z długością fali) na energię fotonu. Niektórzy zdający mylili kontekst polecenia i zamiast obliczyć najmniejszą długość fali promieniowania elektromagnetycznego obliczali długość fali de Broglie'a przyśpieszonego elektronu.

Przykład 8. – rozwiązania zdających

W poniższym przykładzie, zdający zamiast obliczyć najmniejszą długość fali promieniowania elektromagnetycznego obliczali długość fali de Broglie'a elektronu padającego na anodę.



Zdający, którzy pokonali zasadnicze trudności tego zadania, w dalszej części rozwiązania popełniali błędy rachunkowe lub błędy w przekształceniach algebraicznych – podobnie jak w zadaniu poprzednim.

Zadania 9.1.–9.4. uzyskały niski poziom wykonania pomimo tego, że we wstępie do zadania zamieszczony był opis zasady działania lampy rentgenowskiej oraz mechanizm powstawania kwantów promieniowania rentgenowskiego. Ponadto w *Wybranych wzorach i stałych fizykochemicznych na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki* zdający mógł odnaleźć gotowy (tzn. z długością fali) wzór Plancka na energię fotonu.

Posiadając te wszystkie informacje, wystarczyło zdać sobie sprawę z przemian energii, jakie zachodzą na drodze do powstania kwantu promieniowania rentgenowskiego. Zatem kluczową umiejętnością w tej wiązce zadań było odpowiednie (na danym etapie procesu) zastosowanie zasady zachowania energii w kontekście podanych informacji.

Wiązka zadań 9.1.–9.4. dotyka jednego z najbardziej podstawowych praw przyrody i sprawdza umiejętność korzystania z podanych informacji, przy czym „areną" jest tutaj jedno ze zjawisk (powstawanie fotonu) na najniższym, fundamentalnym poziomie poznania rzeczywistości. Do tego wszystkiego pokazane jest wykorzystanie tego fenomenu przez człowieka.

Omówienie zadań 6.1. (34%) i 6.2. (30%)

Zadanie 6. sprawdzało znajomość podstawowych zagadnień związanych z termodynamiką pracy silników cieplnych. W tekście wprowadzającym do wiązki zadań przypomniany był opis pracy silnika cieplnego oraz scharakteryzowane zostało pojęcie sprawności silnika cieplnego idealnego, łącznie z podaniem wzoru na tę sprawność.

W drugiej części wstępu opisano dwa różne silniki cieplne S_1 oraz S_2, w których wykorzystywano sprężanie i rozprężanie ustalonej masy gazu. Każdy z silników w jednym cyklu pracy pobierał po 100 J ciepła ze źródła o temperaturze 477 ºC i oddawał pewną ilość ciepła (inną dla każdego z silników) do chłodnicy o temperaturze 17 ºC. Silniki zaprojektowano tak, że w jednym (oznaczonym jako S_1) ilość ciepła oddanego do chłodnicy w cyklu pracy była możliwie najmniejsza – tzn. tak mała, jak na to pozwalają prawa termodynamiki, natomiast w drugim silniku S_2 praca sił parcia gazu podczas jego rozprężania wynosiła 34,8 J, a praca podczas sprężania gazu (przeciwko sile parcia) była równa 8,7 J.

Zadanie 6.1. uzyskało niski poziom wykonania (34%) oraz bardzo dobrze różnicowało zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wynosił 0,76). Zadanie składało się zdwóch poleceń. W pierwszym z nich maturzyści mieli obliczyć ciepło, jakie oddaje do chłodnicy silnik S_1 w jednym cyklu pracy.

W celu prawidłowego rozwiązania pierwszego polecenia należało skorzystać ze wzoru definiującego sprawność silnika, a także wykorzystać informację podaną we wstępie. Zgodnie z tą informacją, jeżeli silnik S_1 miał oddawać możliwie najmniejszą ilość ciepła przy zadanych temperaturach źródła i chłodnicy, to oznaczało, że miał to być silnik idealny. Poprawne rozwiązanie (przykładowo zaprezentowane poniżej) wymagało jedynie przyrównania sprawności silnika S_1 do sprawności silnika idealnego:

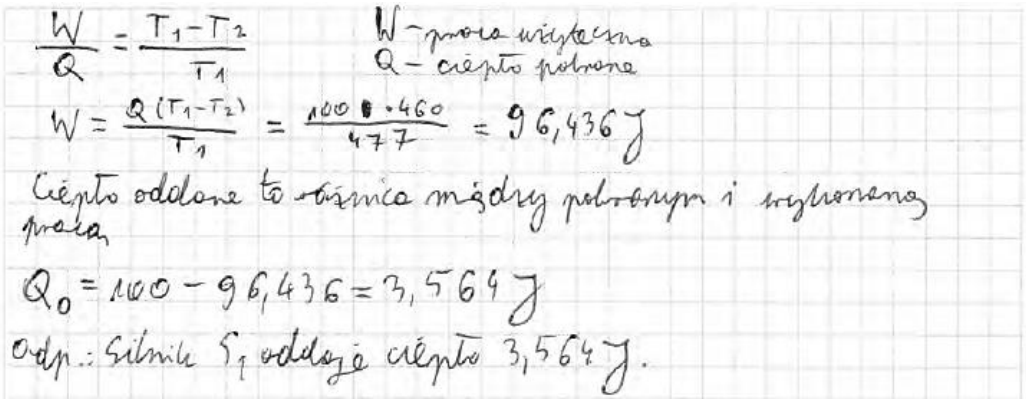
$$\eta_{S1} = \eta_{max} \quad \Longrightarrow \quad \frac{Q_{pob} - Q_{odd}}{Q_{pob}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\frac{100\ \text{J} - Q_{odd}}{100\ \text{J}} = \frac{750\ \text{K} - 290\ \text{K}}{750\ \text{K}} \quad \rightarrow \quad Q_{odd} \approx 38{,}7\ \text{J}$$

Największą trudność sprawiało zdającym poprawne wykorzystanie informacji podanej w zadaniu. Zdającym, którzy pokonali zasadnicze trudności zadania, zdarzało się popełniać błędy wynikające z braku przeliczenia temperatury na kelwiny. Ponadto często zdarzały się usterki w postaci zbyt dużego zaokrąglenia wyniku.

Przykład 9. – rozwiązania zdających

W tym przykładzie zdający pokonuje zasadniczą trudność zadania, ale nie przelicza temperatur do skali bezwzględnej Kelwina.



W drugim poleceniu należało wyjaśnić na podstawie informacji podanej we wstępie do zadania 6., dlaczego ilość ciepła oddanego w cyklu pracy silnika S_1 nie może być mniejsza od pewnej wartości granicznej. Poprawne wyjaśnienie powinno zawierać stwierdzenie, że gdyby ciepło oddane było mniejsze od pewnej wartości granicznej, to sprawność silnika byłaby większa od maksymalnej sprawności, z jaką może pracować silnik pomiędzy danymi temperaturami (a sprawność ta nie może przekroczyć sprawności silnika idealnego).

Pośród odpowiedzi zdarzały się wyjaśnienia całkowicie błędne lub niewystarczające. Pośród tych ostatnich dominowały odpowiedzi, w których zdający jako wyjaśnienie cytowali tezę zawartą w poleceniu, czyli popełniali błąd logiczny błędnego koła.

Zadanie 6.2. również należało do trudnych (poziom wykonania 30%) i bardzo dobrze różnicowało zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wynosił 0,67). W tym zadaniu należało obliczyć ciepło oddane do chłodnicy w cyklu pracy silnika S_2, przy czym we wstępie do zadania było podane, że w jednym cyklu pracy silnik cieplny pobiera ze źródła ciepła 100 J ciepła oraz że praca sił parcia gazu podczas jego rozprężania wynosiła 34,8 J, a praca podczas sprężania gazu (przeciwko sile parcia) była równa 8,7 J. Żeby prawidłowo rozwiązać to zadanie, wystarczyło skorzystać z I zasady termodynamiki – jednego z podstawowych praw termodynamiki, wynikającego z zasady zachowania energii. Z definicji cyklu wynika, że zmiana energii wewnętrznej w jednym cyklu jest równa zero (układ wraca do tego samego stanu). Dalej, po przyjęciu konwencji, zgodnie z którą ciepło pobrane z otoczenia oraz pracę podczas sprężania przyjmiemy za dodatnie, a ciepło oddane i pracę gazu przy rozprężaniu – za ujemne, rozwiązanie otrzymuje się natychmiast:

$$0 = |W_{spr}| - |W_{roz}| + |Q_{pob}| - |Q_{odd}| \quad \rightarrow \quad 0 = 8{,}7\ \text{J} - 34{,}8\ \text{J} + 100\ \text{J} - |Q_{odd}|$$

$$|Q_{odd}| = 73{,}9\ \text{J} \approx 74\ \text{J}$$

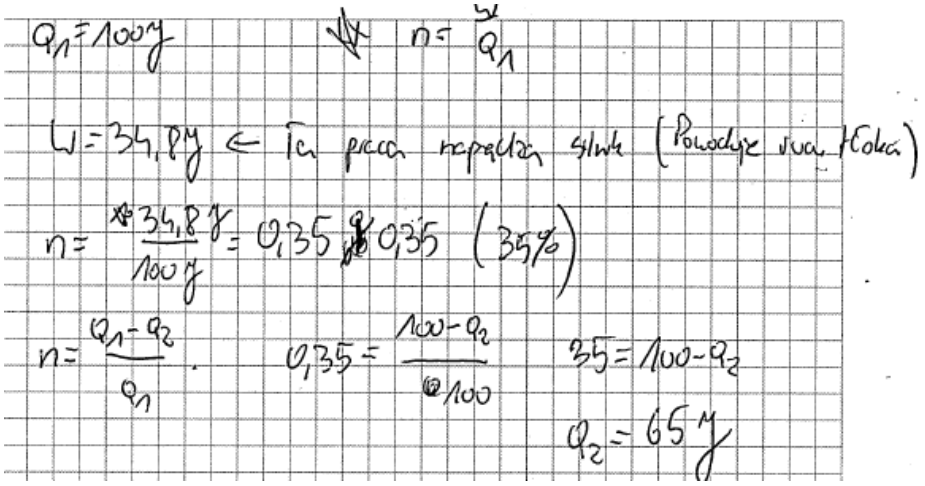
To był najbardziej naturalny i najprostszy sposób rozwiązania tego zadania. Inną metodą było wykorzystanie wzoru na sprawność, wyrażonego raz za pomocą pracy, raz za pomocą ciepeł:

$$\eta = \frac{|W_{calk}|}{|Q_{pob}|} = \frac{|W_{roz}| - |W_{spr}|}{|Q_{pob}|} \qquad \eta = \frac{|Q_{pob}| - |Q_{odd}|}{|Q_{pob}|}$$

Druga metoda rozwiązania wykorzystuje w uwikłany sposób I zasadę termodynamiki (równość liczników) i zasłania istotę rzeczy, którą jest bilans wymienionej w cyklu energii. Zdający, którzy podjęli rozwiązanie pierwszą metodą, zazwyczaj prawidłowo rozwiązywali zadanie. Natomiast ci maturzyści, którzy rozwiązywali zadanie drugą metodą, częściej popełniali błędy. Nieprawidłowości wiązały się najczęściej z błędną identyfikacją wielkości, np. niektórzy zdający błędnie identyfikowali pracę całkowitą w cyklu jako pracę podczas tylko sprężania lub jako sumę wartości bezwzględnych prac podczas sprężania i rozprężania. Świadczy to o nieznajomości schematu przepływu energii w pracy silnika cieplnego.

Przykład 10. – rozwiązania zdających

Zdający błędnie identyfikuje pracę całkowitą w cyklu.



Omówienie wiązki zadań 8.1. (36%), 8.2. (38%), 8.3. (27%), 8.4. (29%)

Wiązka zadań 8.1., 8.2., 8.3. i 8.4. dotyczyła zagadnień z optyki związanych z zależnością wartości bezwzględnego współczynnika załamania światła n w ośrodku materialnym od długości fali λ światła w próżni. Wstęp do zadań opatrzony był wykresem zależności $n(\lambda)$ dla pewnego rodzaju szkła. Dodatkowo na osi λ zaznaczono szary odcinek odpowiadający w przybliżeniu zakresowi długości fal światła widzialnego w próżni. Należało przyjąć, że długości fal λ_F dla światła fioletowego i λ_C dla światła czerwonego odpowiadały krańcom zaznaczonego odcinka oraz $\lambda_C > \lambda_F$.

W **zadaniu 8.1.** zdający musieli uzupełnić zdanie zaznaczając prawidłowe relacje pomiędzy odpowiednio wartościami prędkości oraz częstotliwościami światła fioletowego i światła czerwonego po wniknięciu do szkła. Poniżej prawidłowe rozwiązanie:

A. $v_F > v_C$	**1.** $f_F > f_C$
B. $v_F = v_C$	**2.** $f_F = f_C$
C. $v_F < v_C$	**3.** $f_F < f_C$

Aby prawidłowo rozwiązać to zadanie, zdający musiał:

1) odczytać z wykresu i porównać wartości współczynników załamania światła czerwonego i fioletowego, wykorzystać wzór z prędkościami na współczynnik załamania, następnie na podstawie tych informacji wyciągnąć wniosek o relacji między prędkościami:

$$n_F > n_C \qquad n_F = \frac{c}{v_F} \qquad n_C = \frac{c}{v_C} \qquad \Longrightarrow \qquad v_F < v_C$$

2) wykorzystać zależność $c = \lambda f$ i fakt, że częstotliwość światła po wniknięciu do ośrodka nie zmienia się. W związku z tym światło, które ma w próżni krótszą długość fali, będzie miało większą częstotliwość zarówno w próżni jak i w ośrodku, do którego wniknie.

Nieznajomość podstawowych zależności $c = nv$ lub $c = \lambda f$ czy też nieprawidłowe odczytanie z wykresu relacji między długościami fal f_F i f_C lub wartościami współczynników załamania n_F i n_C uniemożliwiało zdającym otrzymanie punktu za to zadanie. Poziom wykonania tego zadania był równy 36%.

W **zadaniu 8.2.** (poziom wykonania 38%) trzeba było obliczyć, jaką długość fali λ_{SZ} będzie miało światło po wniknięciu do szkła, którego długość fali w próżni wynosi $\lambda = 0{,}50\ \mu\text{m}$. W celu rozwiązania zadania należało zastosować wzór z prędkościami na współczynnik załamania, związek między prędkością fali a jej długością i częstotliwością oraz wykorzystać fakt, że częstotliwość fali nie zmienia się po przejściu przez granicę ośrodków (w szkle i w próżni jest taka sama i wynosi f).

$$n_\lambda = \frac{c}{v_\lambda} \qquad c = \lambda f \qquad v_\lambda = \lambda_{sz} f \qquad \Longrightarrow \qquad n_\lambda = \frac{\lambda f}{\lambda_{sz} f} = \frac{\lambda}{\lambda_{sz}}$$

$$n(0{,}5\ \mu\text{m}) = 1{,}52 = \frac{0{,}5\ \mu\text{m}}{\lambda_{sz}} \qquad \rightarrow \qquad \lambda_{sz} \approx 0{,}329\ \mu\text{m} \approx 0{,}33\ \mu\text{m}$$

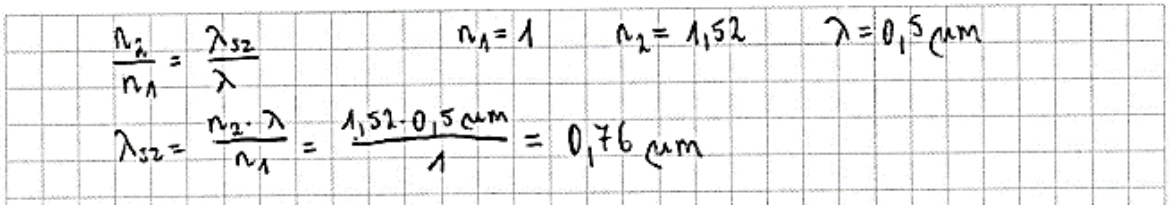
Rozwiązanie zadania można było uzyskać bezpośrednio stosując gotowy wzór na współczynnik załamania światła w szkle, wyrażony jako iloraz długości fali w próżni do długości fali w szkle.

Poprawne zapisanie lub wyprowadzenie wzoru na współczynnik załamania światła wyrażony poprzez iloraz odpowiednich długości fal było zasadniczą trudnością zadania. Wielu zdających niepoprawnie zapisywało tę zależność. Zdający korzystający ze wzoru z prędkościami na współczynnik załamania światła w szkle, po zastosowaniu związku między prędkością fali a jej długością i częstotliwością w danym ośrodku, często kończyli rozwiązywanie zadania na tym etapie, ponieważ nie potrafili wyznaczyć częstotliwości fali w szkle. Świadczy to o nieznajomości elementarnego faktu, że częstotliwość fali się nie zmienia po przejściu przez granicę ośrodków (w próżni i szkle jest taka sama).

Pokonanie zasadniczych trudności zadania zazwyczaj prowadziło do prawidłowego rozwiązania zadania, choć zdarzały się błędy w przekształceniu algebraicznym prowadzącym do ostatecznego wzoru lub błędy rachunkowe, przez które zdający uzyskiwali nieprawidłowy wynik liczbowy. Zadanie 8.2. mocno różnicowało populację zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł 0,71).

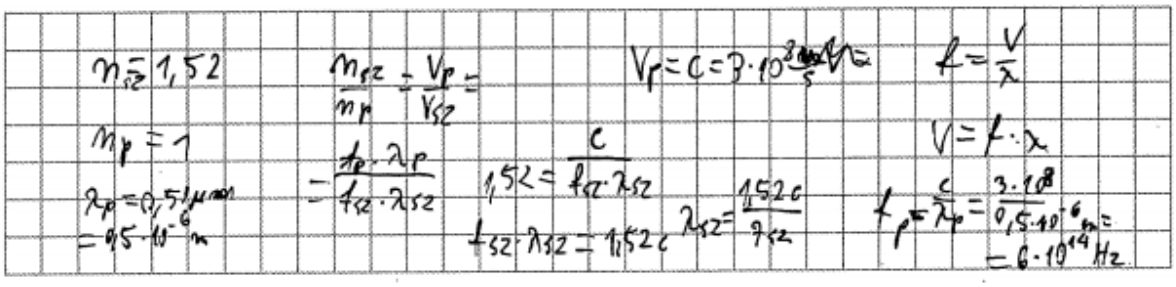
Przykład 11. – rozwiązania zdających

Zdający błędnie (odwrotnie) zapisuje związek między współczynnikami załamania w szkle i próżni, a długościami fal w szkle i próżni.



Przykład 12. – rozwiązania zdających

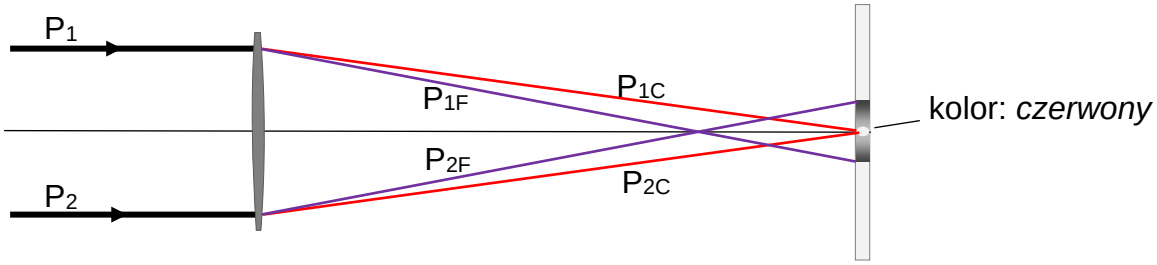
Zdający nie kończy rozwiązania zadania, ponieważ nie potrafi obliczyć częstotliwości fali w szkle (lub przyrównać jej do częstotliwości fali w próżni).



W wiązce zadań o numerze 8. najsłabiej wypadły zadania 8.3. i 8.4. (poziom wykonania obu zadań wynosi odpowiednio 27% i 29%). Zadania te poprzedzone były rysunkiem i dodatkową informacją: „Równoległą wiązkę mieszaniny światła czerwonego i fioletowego biegnącego w powietrzu skierowano na soczewkę skupiającą wykonaną ze szkła opisanego w treści zadania 8. Na ekranie ustawionym za soczewką zaobserwowano plamkę. Przy pewnym ustawieniu ekranu obserwuje się, że środek plamki jest fioletowy, a zewnętrzna część plamki

jest czerwona. Z kolei przy ustawieniu ekranu w pewnej innej odległości od soczewki środek plamki jest czerwony, a zewnętrzna część plamki jest fioletowa".

W **zadaniu 8.3.** należało zapisać na rysunku kolor środka plamki powstałej na ekranie oraz dorysować – od soczewki do ekranu – bieg promieni fioletowych (P_{1F}, P_{2F}) oraz czerwonych (P_{1C}, P_{2C}), po przejściu promieni P_1 i P_2 przez soczewkę w sytuacji, kiedy odległość ekranu od soczewki była większa. W celu prawidłowego rozwiązania zadania należało uwzględnić fakt, że ze względu na różne wartości współczynnika załamania dla światła czerwonego i fioletowego ($n_C < n_F$), promienie czerwone i fioletowe przechodzące przez to samo miejsce w soczewce różnie się załamują. Promienie czerwone załamują się słabiej od promieni fioletowych, dlatego ognisko soczewki dla promieni czerwonych znajduje się dalej od soczewki niż ognisko dla promieni fioletowych. Spowodowane jest to tym, że soczewka zachowuje się jak fragment pryzmatu rozszczepiający przechodzącą przez nią mieszaninę światła czerwonego i fioletowego. Powiązanie podstawowych wiadomości dotyczących rozszczepienia światła z uważnym przeczytaniem treści zadania umożliwiało prawidłowe rozwiązanie zadania (jak poniżej).



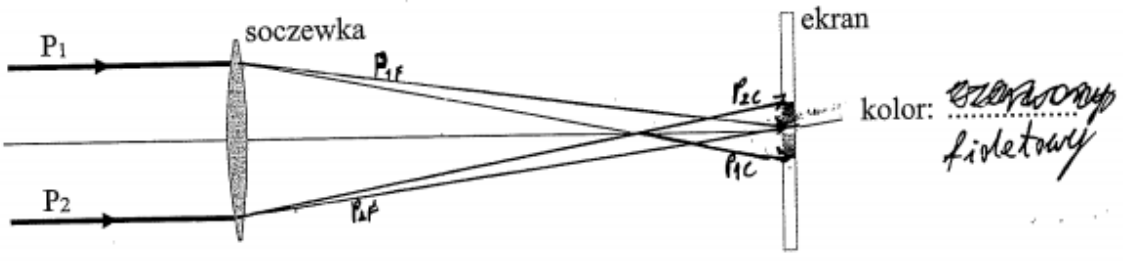
Najczęściej popełnianymi przez zdających błędami w rozwiązaniach były:

1) nieprawidłowo narysowany bieg promieni fioletowych i czerwonych (ognisko dla promieni czerwonych było bliżej soczewki niż dla promieni fioletowych) i co za tym idzie, niepoprawne podpisanie koloru środka plamki (kolor: fioletowy)
2) narysowanie biegu promieni bez ich podpisania (P_{1F}, P_{2F}, P_{1C}, P_{2C}) i brak określenia koloru środka plamki
3) prawidłowe narysowanie biegu promieni czerwonych i poprawne podpisanie koloru środka plamki oraz brak lub niepoprawne narysowanie biegu promieni fioletowych
4) prawidłowe podpisanie koloru środka plamki i brak rysunku obrazującego bieg promieni.

Poniżej przykłady rozwiązań zdających zawierające omówione błędy.

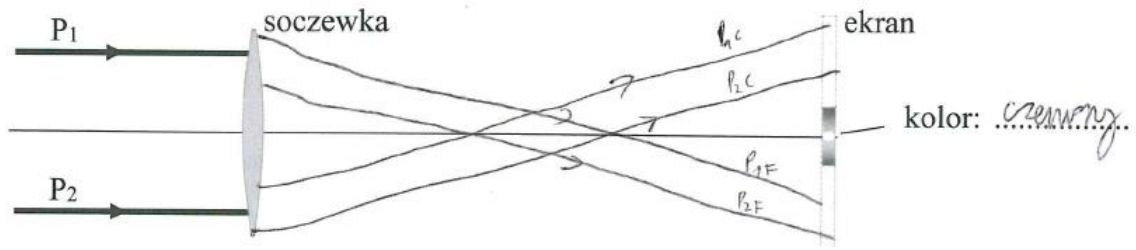
Przykład 13. – rozwiązania zdających

Zdający niepoprawnie rysuje bieg promieni fioletowych i czerwonych i niepoprawnie podpisuje kolor środka plamki.



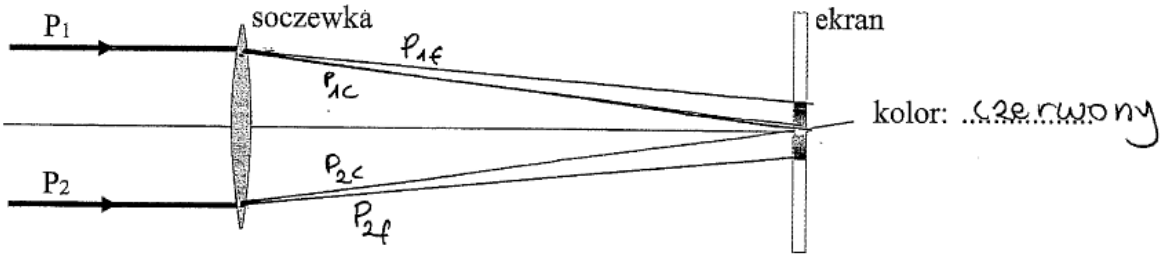
Przykład 14. – rozwiązania zdających

Zdający nieprawidłowo rysuje bieg wszystkich promieni.



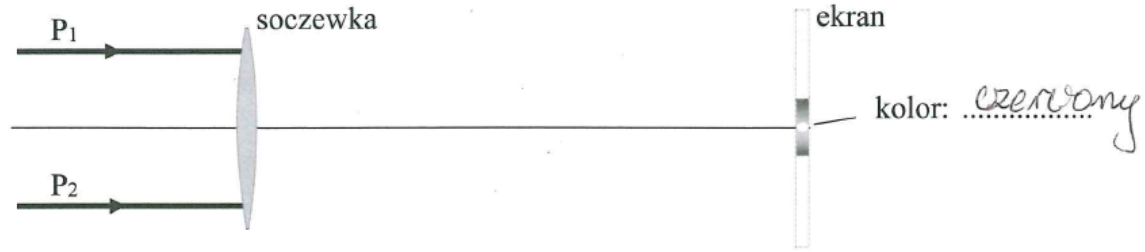
Przykład 15. – rozwiązania zdających

Zdający nieprawidłowo rysuje bieg promieni fioletowych.



Przykład 16. – rozwiązania zdających

Zdający prawidłowo podpisuje kolor środka plamki na ekranie, jednak nie rysuje biegu promieni.



W **zadaniu 8.4.** trzeba było obliczyć stosunek $\frac{f_F}{f_C}$ ogniskowej soczewki dla światła fioletowego do ogniskowej soczewki dla światła czerwonego. Do tego należało wykorzystać „wzór szlifierzy", znajdujący się w *Wybranych wzorach i stałych fizykochemicznych na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*, dalej *Wybrane wzory*, z identyfikacją w obu wzorach współczynników załamania (n_F, n_C) i z uwzględnieniem wspólnej geometrycznej części wzoru:

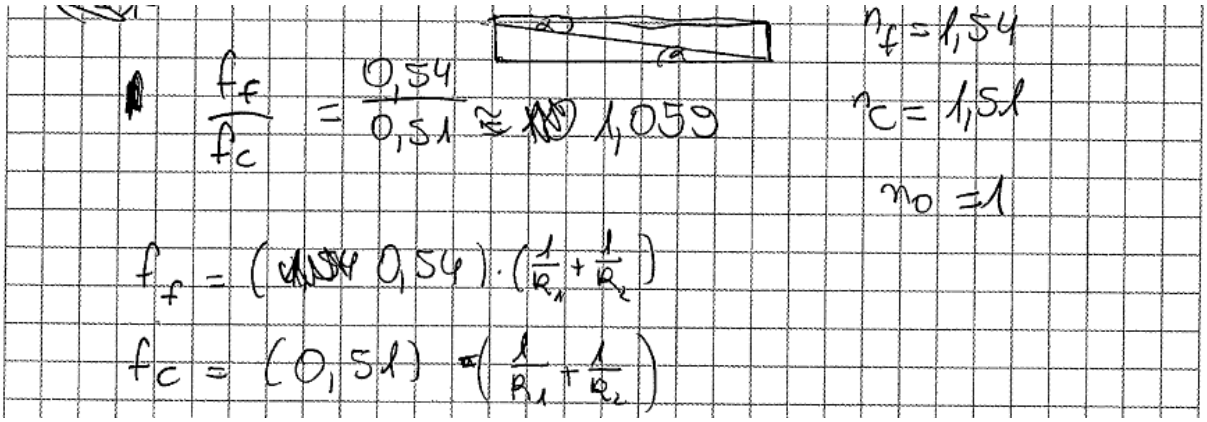
$$\begin{cases} \frac{1}{f_C} = (n_C - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \\ \frac{1}{f_F} = (n_F - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \end{cases} \Rightarrow \frac{f_F}{f_C} = \frac{n_C - 1}{n_F - 1} \Rightarrow \frac{f_F}{f_C} = \frac{1{,}51 - 1}{1{,}54 - 1} = \frac{0{,}51}{0{,}54} \approx 0{,}94$$

Wielu zdających odczytywało wartości współczynników załamania dla długości fal innych niż krańcowe, co skutkowało uzyskaniem innej niż zamierzona wartości liczbowej stosunku ogniskowych. Zdarzały się też rozwiązania z błędnym zastosowaniem „wzoru szlifierzy” (np. po lewej stronie równania pisano f zamiast $\frac{1}{f}$).

Niektórzy zdający próbowali obliczać ogniskową soczewki, posługując się wzorem na częstotliwość światła, która w *Wybranych wzorach* oznaczona jest tym samym symbolem. To potwierdza fakt, że możliwość dysponowania wzorami bez rozumienia ich fizycznego sensu wcale nie musi ułatwiać rozwiązania zadania.

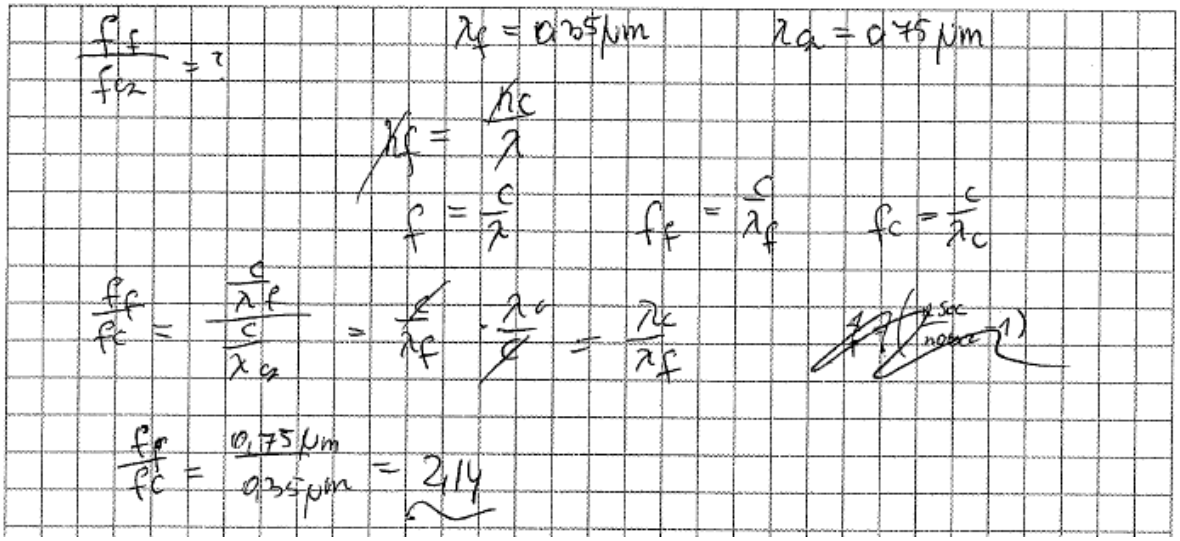
Przykład 17. – rozwiązania zdających

Zdający nieprawidłowo stosuje wzór szlifierzy.



Przykład 18. – rozwiązania zdających

Zdający stosuje wzór na inną wielkość. Zamiast obliczyć stosunek ogniskowych oblicza stosunek częstotliwości.



Zadanie 8.4. podobnie jak zadanie 8.2. równie mocno różnicowało zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł 0,70).

Omówienie wiązki zadań 11.1. (22%), 11.3. (38%)

Problematyka zadań 11.1.–11.3. związana była z fizyką jądrową. We wstępie opisano przebieg doświadczenia, podczas którego badano próbkę zawierającą jądra pewnego izotopu ulegające samorzutnej przemianie beta minus. Detektor cząstek beta minus (elektronów) rejestrował promieniowanie pochodzącej z tej próbki w ciągu kolejnych pięciu dni i włączał się każdego dnia o tej samej porze i rejestrował promieniowanie przez 5 minut. Zdający otrzymali również informację, że pole powierzchni, na jaką padały cząstki beta minus zliczane przez detektor, stanowiło $1/16$ pola powierzchni sfery o środku w miejscu źródła cząstek i promieniu równym odległości detektora od źródła promieniowania. Należało założyć sferycznie symetryczny rozkład emitowanego promieniowania.

W wiązce tej najsłabiej wypadło **zadanie 11.1.**, które było trzecim pod względem trudności zadaniem w arkuszu. Poziom wykonania tego zadania wynosi 22%. Zadanie to sprawdzało wiedzę dotyczącą przemiany beta minus. Zdający musiał ocenić prawdziwość każdego dokończenia zdania:

W wyniku emisji cząstki beta minus przez jądro atomowe zawsze

1.	maleje liczba neutronów w jądrze atomowym.	**P**	**F**
2.	zmniejsza się liczba masowa jądra atomowego.	**P**	**F**
3.	zwiększa się liczba protonów w jądrze atomowym.	**P**	**F**

Żeby prawidłowo rozwiązać zadanie 11.1. zdający musiał wykorzystać wiedzę o tym, że:
1) liczba masowa opisuje liczbę nukleonów (czyli łącznie protonów i neutronów w jądrze)
2) podczas przemiany beta minus zachodzi przemiana neutronu w proton oraz emisja elektronu powstałego w tej reakcji
3) liczba protonów w jądrze rośnie o 1
4) liczna neutronów w jądrze maleje o 1
5) liczba masowa jądra atomowego pozostaje bez zmian.

Wykorzystanie tej podstawowej wiedzy z zakresu przemian jądrowych pozwalało na udzielenie poprawnych odpowiedzi. Duża część zdających oceniała wszystkie trzy zdania jako fałszywe (FFF) lub pierwsze dwa jako prawdziwe, a trzecie jako fałszywe (PPF). Świadczy to o tym, że zdający nie wiedzieli, że podczas przemiany beta minus liczba masowa (opisująca sumę liczby protonów i neutronów w jądrze) pozostaje bez zmian, czyli tym samym, jeśli liczba protonów wzrośnie, to liczba neutronów musi o tyle samo zmaleć.

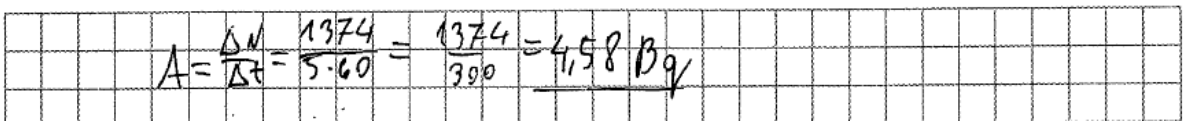
W zadaniu **11.3.**, którego poziom wykonania wynosi 38%, należało obliczyć średnią aktywność promieniotwórczą badanej próbki w czasie 5 minut – podczas działania detektora w pierwszym dniu. Ponadto w zadaniu zdefiniowano pojęcie średniej aktywność promieniotwórczej A próbki w czasie Δt, jako stosunek ΔN liczby jąder, które uległy przemianie w czasie Δt, do tego czasu. Aby prawidłowo rozwiązać zadanie 11.3., należało zauważyć, że jednemu rozpadowi beta minus jądra towarzyszy emisja jednego elektronu, zatem liczba cząstek emitowanych ze źródła (we wszystkie strony) odpowiada liczbie jąder, które uległy rozpadowi. Przykładowe prawidłowe rozwiązanie jest następujące:

$$A_s = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{16 \cdot 1\,374}{5 \cdot 60\ \text{s}} = \frac{21\,984\ \text{rozpadów}}{300\ \text{s}} \approx 73{,}3\ \text{Bq}$$

Jednym z częstych błędów w rozwiązaniach zdających było pomijanie czynnika mnożącego 16 w obliczeniu liczby emitowanych cząstek we wszystkich kierunkach (a więc także liczby rozpadów). Inną grupą błędów, jakie popełniali zdający, było obliczanie aktywności źródła dla innego dnia lub też dla całkowitego czasu działania detektora w ciągu 5 dni.

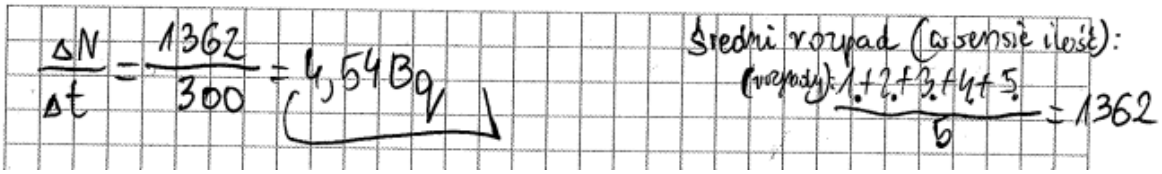
Przykład 19. – rozwiązania zdających

Zdający nie uwzględnia czynnika mnożącego 16 przy obliczeniu średniej aktywności próbki w pierwszym dniu.



Przykład 20. – rozwiązania zdających

Zdający oblicza średnią arytmetyczną liczby rozpadów – zatem w wyniku dostaje średnią arytmetyczną ze średnich aktywności ze wszystkich dni (zamiast średnią aktywność z dnia pierwszego).



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, których poziom wykonania jest wyższy bądź równy 60%.

Najłatwiejszymi zadaniami w arkuszu okazały się, kolejno licząc od najłatwiejszego: zadanie 11.2. (poziom wykonania – 76%), zadanie 2.1. (poziom wykonania – 75%), zadanie 4.2. (poziom wykonania – 68%), zadanie 1.1. (poziom wykonania – 68%) oraz zadanie 10.1. (poziom wykonania – 65%).

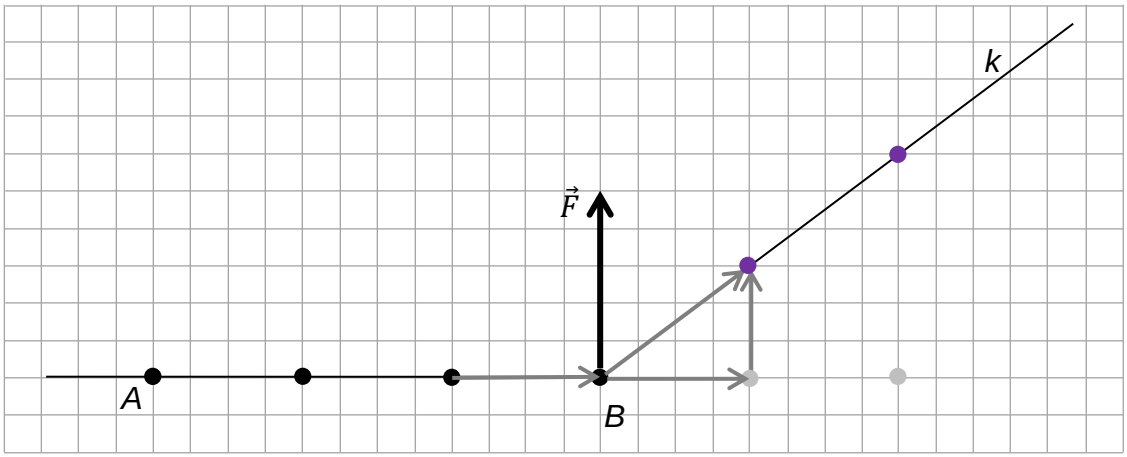
Najłatwiejszym zadaniem dla zdających okazało się **zadanie 11.2.** Przypomnijmy, że zadania 11.1.–11.3. dotyczyły analizy wyników doświadczenia, w trakcie którego rejestrowano promieniowanie pochodzące od próbki ulegającej samorzutnej przemianie beta minus (zobacz tutaj opis wiązki). W zadaniu 11.2. należało ocenić – na podstawie wyników pomiarów zawartych w tabeli umieszczonej we wstępie do zadania – czy czas połowicznego rozpadu badanego izotopu:

A. wynosi w przybliżeniu 5 dni.
B. wynosi w przybliżeniu 5 minut.
C. jest wiele razy dłuższy niż 5 dni.
D. jest wiele razy krótszy niż 5 minut.

Wysoki poziom wykonania zadania 11.2. (76%) świadczy o dobrej znajomości u zdających elementarnego pojęcia opisującego rozpad promieniotwórczy w ujęciu statystycznym – jakim jest czas połowicznego rozpadu.

Drugim co do łatwości zadaniem w arkuszu było **zadanie 2.1.** To zadanie otwierało wiązkę zadań 2.1.–2.3., którą opisaliśmy przy okazji omawiania ostatniego i najtrudniejszego zadania w tej wiązce (zobacz tutaj opis wiązki). Poleceniem zadania 2.1. było zaznaczenie na fragmencie prostej *k* położenia ciała w chwili t_1 = 1 s oraz położenie ciała w chwili t_2 = 2 s, licząc czas od momentu, gdy ciało znalazło się w punkcie *B* i zostało uderzone.

Prawidłowe rozwiązanie zadania wymagało elementarnej, jakościowej analizy ruchu po zadziałaniu siły. Ruch ciała od punktu *B* jest złożeniem dwóch ruchów: kontynuacji ruchu swobodnego wzdłuż osi x (jakby siła nie zadziałała) i ruchu uzyskanego w kierunku osi y – po zadziałaniu siły w tymże kierunku. Prawidłowe rozwiązanie zadania jest następujące (rozwiązanie oznaczono kolorem fioletowym, szare kropki i strzałki są oznaczeniami pomocniczymi do konstrukcji):



Stosunkowo wysoki poziom wykonania zadania 2.1. może świadczyć o tym, że zdający posiadają pewne elementarne intuicje dotyczące składania ruchów, czy też określania zmiany ruchu pod wpływem siły. Z kolei niski poziom wykonania zadania 2.3. wskazuje na to, że część tych zdających nie zdaje sobie sprawy, że za tym kryje się druga zasada dynamiki i że właśnie skorzystali z jej fragmentu mówiącego o tym, że zmiana pędu ma taki sam kierunek i zwrot jak siła. Zadanie dosyć średnio różnicowało populację zdających (współczynnik korelacji 0,42).

Kolejnym zadaniem w arkuszu, które miało wysoki poziom wykonania, było **zadanie 4.2.** (poziom wykonania – 68%). Było to zadanie zamknięte, wchodziło w skład wiązki zadań z elektrostatyki. We wstępie opisano układ ładunków punktowych, które tworzą wierzchołki trójkąta równobocznego. W zadaniu należało ocenić, jak zmieni się wartość wypadkowego natężenia pola elektrostatycznego w punkcie S' przecięcia się wysokości tego trójkąta równobocznego, gdy dwukrotnie zmniejszymy odległości pomiędzy wszystkimi ładunkami (boki trójkąta zmniejszą się dwa razy). Polecenie brzmiało:

Wartość wypadkowego natężenia pola elektrycznego w punkcie S' […] jest

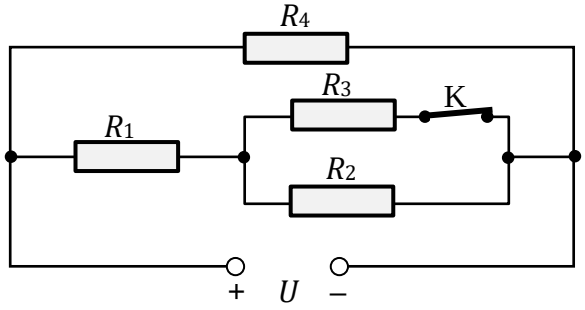
A. dwa razy mniejsza. **B.** dwa razy większa.
C. cztery razy mniejsza. **D.** cztery razy większa.

Wybór prawidłowego dokończenia zdania, opierał się głównie na wiedzy, że wartość natężenia pola elektrycznego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od punktowego źródła pola, a także wymagał znajomości zasady superpozycji pól. Dość wysoki poziom wykonania zadania 68% może świadczyć o tym, że większość zdających posiadała taką wiedzę.

Zadanie 1.1. z kinematyki także uzyskało dość dobry poziom wykonania 68%. Treść zadania dotyczyła ruchu krążka: „Hokeista uderzył kijem w nieruchomy krążek. Po uderzeniu krążek uzyskał poziomą prędkość początkową o wartości v_1 = 14 m/s. Dalej krążek poruszał się po powierzchni lodu ruchem jednostajnie opóźnionym prostoliniowym. Od momentu uzyskania prędkości $\vec{v}_1$ po uderzeniu aż do chwili zatrzymania się krążek przebył drogę s_1 = 28 m."

W zadaniu tym trzeba było obliczyć czas ruchu krążka od momentu uzyskania prędkości $\vec{v}_1$ aż do zatrzymania się. W tym celu zdający musieli wykorzystać równania na drogę $s(t)$ i prędkość $v(t)$ dla ruchu jednostajnie opóźnionego. Wysoki poziom wykonania zadania świadczy o tym, że typowe zagadnienia związane z kinematyką ruchów jednostajnie zmiennych są dosyć dobrze opanowane przez zdających.

Zadanie 10.1. także nie sprawiło zdającym większych trudności (poziom wykonania 65%). We wstępie do wiązki zadań przedstawiono obwód elektryczny, w którym cztery oporniki R_1, R_2, R_3 i R_4 o jednakowym oporze elektrycznym R połączono w obwód, który następnie podłączono do źródła stałego napięcia elektrycznego U (jak na schemacie poniżej).



Ponadto we wstępie do zadania zapisano, że natężenia prądów płynących przez oporniki R_1, R_2, R_3 i R_4 oznaczono odpowiednio: I_1, I_2, I_3, oraz I_4.

Maturzyści mieli przeanalizować przedstawiony obwód elektryczny, a następnie wybrać i zaznaczyć prawidłowe relacje pomiędzy natężeniami prądów I_1, I_2, I_3, oraz I_4, które płyną przez oporniki R_1, R_2, R_3 i R_4:

A. $I_1 > I_2$ oraz $I_3 > I_4$
B. $I_4 > I_1$ oraz $I_1 > I_2$
C. $I_4 > I_2$ oraz $I_3 > I_1$
D. $I_1 > I_4$ oraz $I_4 > I_3$

Zadanie wymagało od zdającego skorzystania z praw Kirchhoffa oraz znajomości zasad obliczania oporów zastępczych oporników połączonych szeregowo i równolegle. Najprostszym sposobem analizy przedstawionego obwodu elektrycznego było zauważenie, że natężenie prądu I_4, który płynie przez opornik R_4 jest największe, natężenia prądów I_2 oraz I_3 są sobie równe i są najmniejsze, a natężenia prądów I_1 oraz I_2 spełniają związek $I_1 > I_2$. Te spostrzeżenia pozwalały na prosty i szybki wybór odpowiedzi B bez wykonywania obliczeń.

Wnioski i rekomendacje

1. Egzamin maturalny z fizyki na poziomie rozszerzonym potwierdził, że najmniej trudności sprawiają maturzystom zadania sprawdzające pojedyncze, mało skomplikowane umiejętności, które jednocześnie dotyczą sytuacji typowych i nie wymagających obliczeń (np. zadanie 10.1., zadanie 4.2., zadanie 2.1., zadanie 11.2.).

   Najlepsze wyniki zdający uzyskali w zadaniach zamkniętych m.in. dotyczących fizyki jądrowej za poprawny wybór długości czasu połowicznego rozpadu pewnego izotopu (poziom wykonania – 76%), czy elektrostatyki, w których należało ocenić, jak zmieni się wartość wypadkowego natężenia pola elektrycznego w punkcie S' przecięcia się wysokości trójkąta równobocznego w sytuacji przed i po dwukrotnym zmniejszeniu długości boków trójkąta (poziom wykonania 68%).

2. W przypadku zadań otwartych najwyższe wyniki uzyskali maturzyści za rozwiązanie zadania 1.1. (poziom wykonania 68%), co świadczy o tym, że dobrze oni radzą sobie z rozwiązywaniem typowych zadań obliczeniowych, w których należy zastosować znany algorytm działania – wykorzystać równania ruchu jednostajnie opóźnionego.

3. Spore trudności sprawiają zdającym zadania dotyczące jednego zagadnienia /zjawiska fizycznego (o niskim stopniu złożoności), jednakże przedstawione w nowym dla maturzystów kontekście. Takim zadaniem okazało się na przykład zadanie 8.3., w którym powiązanie podstawowych wiadomości dotyczących propagowania się światła z uważnym przeczytaniem treści zadania umożliwiało zdającym prawidłowe rozwiązanie zadania. Innymi przykładami są tutaj zadanie 2.3., w którym należało zastosować wprost II zasadę dynamiki z uwzględnieniem jej wektorowego charakteru, albo zadanie 12.2. – w którym trzeba było wykorzystać bezpośrednio zasadę zachowania momentu pędu. Wielu maturzystów ma problem z wyodrębnieniem zjawiska z kontekstu i zastosowania w nim praw podstawowych.

4. Tegoroczny egzamin potwierdził, to o czym pisaliśmy w sprawozdaniach w latach ubiegłych, że najtrudniejsze dla zdających są zadania złożone, wymagające wykorzystania kilku zależności lub praw fizycznych, zapisania ich za pomocą wzorów matematycznych, połączenia ze sobą i doprowadzenia do rozwiązania. Dodatkową trudność w tych zadania stanowi również fakt, że dane do zadania podane są w różnych formach: czy to na wykresach, rysunkach schematycznych, tabelach, czy też w treści zadania. Od zdających wymaga się zbudowania modelu zjawiska i opisania go w sposób matematyczny, co dla większości zdających jest zbyt trudne. Świadczy o tym chociażby niski poziom wykonania zadań 2.3., 3.2., 6.2., 12.1.–12.3., 9.3., 9.4., które sprawdzały wymaganie ogólne: „Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk".

5. Poważną przeszkodą w uzyskaniu poprawnego wyniku w zadaniach otwartych są błędy rachunkowe popełniane przez zdających na każdym etapie rozwiązania, a te z nich, które dotyczą początkowej fazy rozwiązania zadania nierzadko w sposób istotny utrudniają lub wręcz uniemożliwiają dokończenie rozwiązania albo doprowadzają do

otrzymania wyników niespełniających warunków zadania. Widać to na przykładzie rozwiązań zadań 9.4. czy 12.1., wymagających stosowania notacji wykładniczej, ułatwiającej wykonywanie rachunków. Inną grupę błędów stanowią błędy w algebraicznych przekształceniach wzorów i układów równań.

6. Wyniki egzaminu maturalnego wskazują, że dużą trudność na egzaminie z fizyki sprawiają maturzystom zadania wymagające dowodzenia/uzasadniania twierdzeń dotyczących zjawisk fizycznych czy wyprowadzenia wzoru. Błąd logiczny zdających polega często na tym, że wykorzystują tezę twierdzenia lub jej elementy do przeprowadzenia dowodu tejże tezy, bądź przyjmuje jakieś założenia bez uzasadnienia (np. w zadaniu 6.1.b). Podobnie prawidłowe wyprowadzenie wzoru wymaga powołania się na odpowiednie, związane z danym zjawiskiem, prawo fizyczne następnie na zapisaniu matematycznie poprawnych przekształceń prowadzących do uzyskania wzoru wyrażającego żądaną zależność.

7. Tegoroczny egzamin ujawnił dość niski poziom umiejętności uważnego czytania i analizowania treści zadań i wskazał na pobieżne czytanie przez zdających kluczowych dla zadania informacji oraz poleceń. Widoczny jest brak umiejętności wyciągania wniosków z informacji zawartych w analizowanym tekście. Świadczy o tym, niski poziom wykonania m.in. zadań 3.1., 6.1., 8.1, 8.2., 12.2., 12.3., 9.1. sprawdzających wymagania ogólne: „Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści" oraz „Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu […] wykresów […]."

8. W wielu pracach pojawiały się nieprawidłowe rozwiązania wynikające z niestosowania się do poleceń. Na przykład w poleceniu do zadania 8.4. było napisane: „Oblicz stosunek ogniskowej soczewki dla światła fioletowego do ogniskowej soczewki dla światła czerwonego", tymczasem w wielu przypadkach maturzyści obliczali iloraz odwrotny.

9. Pojawiały się nieprawidłowe rozwiązania, w których zdający całkowicie mylili kontekst zjawiska, mylili wielkości i stosowali nieprawidłowe wzory – na zasadzie podobieństwa symboli występujących we wzorach. Na przykład w zadaniu 8.4. zamiast wzoru na ogniskową stosowali wzory na częstotliwość światła, w zadaniu 12.2. zamiast zasady zachowania momentu pędu wykorzystywali III prawo Keplera (sic!), w zadaniu 12.3. zamiast wzoru na energię kinetyczną ruchu obrotowego zapisywali wzory na energię kinetyczną ruchu postępowego, w zadaniu 2.3. zamiast wartości wektorowej różnicy prędkości obliczali różnicę wartości prędkości.

10. Niepowodzenia maturzystów często wynikają też z niepełnego zapisu rozwiązań zadań. W szczególności w zadaniach, w których zdający, powołując się na odpowiednie zależności, powinni wyprowadzić lub wykazać jakąś zależność, zapisują równania, nie wyjaśniając, skąd się one biorą, nie powołują się na prawa fizyczne lub wprowadzają oznaczenia wielkości, których nie opisują. Bardzo często zapis jest chaotyczny i nieczytelny dla samych zdających i prowadzi ich do licznych pomyłek. W niektórych przypadkach zdający przedstawiali dwa rozwiązania, z których jedno było błędne lub niekompletne i nie wskazywali, które z rozwiązań jest poprawne.

W związku z powyższymi wnioskami rekomenduje się, aby podczas nauczania fizyki na poziomie rozszerzonym zwracać im uwagę na:

- logicznie poprawną konstrukcję przeprowadzania dowodów i uzasadnień (teza twierdzenia musi być logicznie wyprowadzona z: danych w zadaniu, w tym założeń o zjawisku, znanych praw fizycznych oraz znanych wzorów fizycznych)
- konieczność przedstawiania dokładnego toku rozumowania prowadzącego do wyniku
- umiejętność wyodrębnienia: (1) warunków z treści zadania, (2) zjawiska fizycznego z opisanego kontekstu, (3) czynności opisanych w poleceniu. Sprzyja temu bardzo dokładne czytanie poleceń i szczegółowa analiza przedstawionego problemu. Odpowiedź powinna ściśle wypełniać wymagania polecenia
- fakt, że samo dysponowanie wzorem dostępnym w *Wybranych wzorach,* bez rozumienia jego fizycznego sensu, wcale nie ułatwia i nie prowadzi do prawidłowego rozwiązania zadania. Wiedza fizyczna nie ogranicza się do znajomości postaci formuł i wzorów czy werbalnej znajomości zasad. Ugruntowana wiedza fizyczna wiąże się ze znajomością zakresu stosowalności wzorów, prawidłową identyfikacją i rozumieniem wielkości występujących we wzorach, stosowaniem odpowiednich konwencji znaków we wzorach, rozumieniem założeń, przy których można stosować daną zasadę lub prawo
- umiejętność „czytania" wzorów fizycznych. Po pierwsze, należy pamiętać, że jeżeli prawo fizyczne albo jakaś zasada ma charakter wektorowy (np. druga zasada dynamiki, zasada zachowania pędu), to określa ona także geometryczne relacje pomiędzy wielkościami w nim występującymi. Po drugie, należy dobrze rozumieć operacje na wielkościach występujących we wzorze
- umiejętność odczytywania danych do zadania przedstawionych w formie wykresu, rysunku, schematu czy tabeli
- staranne i sprawne wykonywanie przekształceń i obliczeń. Stosowanie wygodnej dla rachunków notacji, w której liczby zapisywane są przy pomocy potęgi liczby 10, w szczególności w zadaniach, w których pojawiają się bardzo duże lub małe liczby. Konieczne jest weryfikowanie poprawności otrzymanego wyniku
- zakres treści tematycznych. Zadania na egzaminie maturalnym z fizyki sprawdzają treści zapisane w podstawie programowej z przedmiotu fizyka w wymaganiach szczegółowych dla: IV etapu na poziomie rozszerzonym, IV etapu na poziomie podstawowym oraz III etapu edukacyjnego.