Województwo zachodniopomorskie

Fizyka

Sprawozdanie z egzaminu maturalnego w roku 2019

Opracowanie
Mariusz Mroczek (Centralna Komisja Egzaminacyjna)
Urszula Okrajni (Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Jaworznie)

Redakcja
dr Wioletta Kozak (Centralna Komisja Egzaminacyjna)

Opracowanie techniczne
Joanna Dobkowska (Centralna Komisja Egzaminacyjna)

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

Opracowanie dla województwa zachodniopomorskiego

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Poznaniu
dr Lidia Skibińska
Anna Sperling
Andrzej Popiół
Michał Pawlak

Centralna Komisja Egzaminacyjna
ul. Józefa Lewartowskiego 6, 00-190 Warszawa
tel. 022 536 65 00, fax 022 536 65 04
e-mail: sekretariat@cke.gov.pl
www.cke.gov.pl

Fizyka

Poziom rozszerzony

1. Opis arkusza

Arkusz egzaminacyjny z fizyki na poziomie rozszerzonym zawierał ogółem 27 zadań (ujętych w 12 grup/wiązek tematycznych), na które składało się 11 zadań zamkniętych i 16 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 (8 zadań, w tym: 4 zadania zamknięte łącznie za 5 punktów oraz 4 zadania otwarte łącznie za 10 punktów).
II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści (2 zadania, w tym: 1 zadanie zamknięte za 2 punkty oraz 1 zadanie otwarte za 1 punkt).
III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków (8 zadań, w tym 4 zadania zamknięte łącznie za 4 punkty i 4 zadania otwarte łącznie za 10 punktów).
IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk (5 zadań otwartych łącznie za 17 punktów).
V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników (4 zadania, w tym: 2 zadania zamknięte za 3 punkty oraz 2 zadania otwarte za 8 punktów).

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.

2. Dane dotyczące populacji zdających

Tabela 1. Zdający rozwiązujący zadania w arkuszu standardowym*

Liczba zdających		**608**
Zdający rozwiązujący zadania w arkuszu standardowym	z liceów ogólnokształcących	410
	z techników	198
	ze szkół na wsi	0
	ze szkół w miastach do 20 tys. mieszkańców	67
	ze szkół w miastach od 20 tys. do 100 tys. mieszkańców	186
	ze szkół w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców	355
	ze szkół publicznych	575
	ze szkół niepublicznych	33
	kobiety	119
	mężczyźni	489
	bez dysleksji rozwojowej	541
	z dysleksją rozwojową	67

* Dane w tabeli dotyczą tegorocznych absolwentów.

Z egzaminu zwolniono 5 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	3
	słabowidzący	2
	niewidomi	0
	słabosłyszący	1
	niesłyszący	0
	Ogółem	**6**

3. Przebieg egzaminu

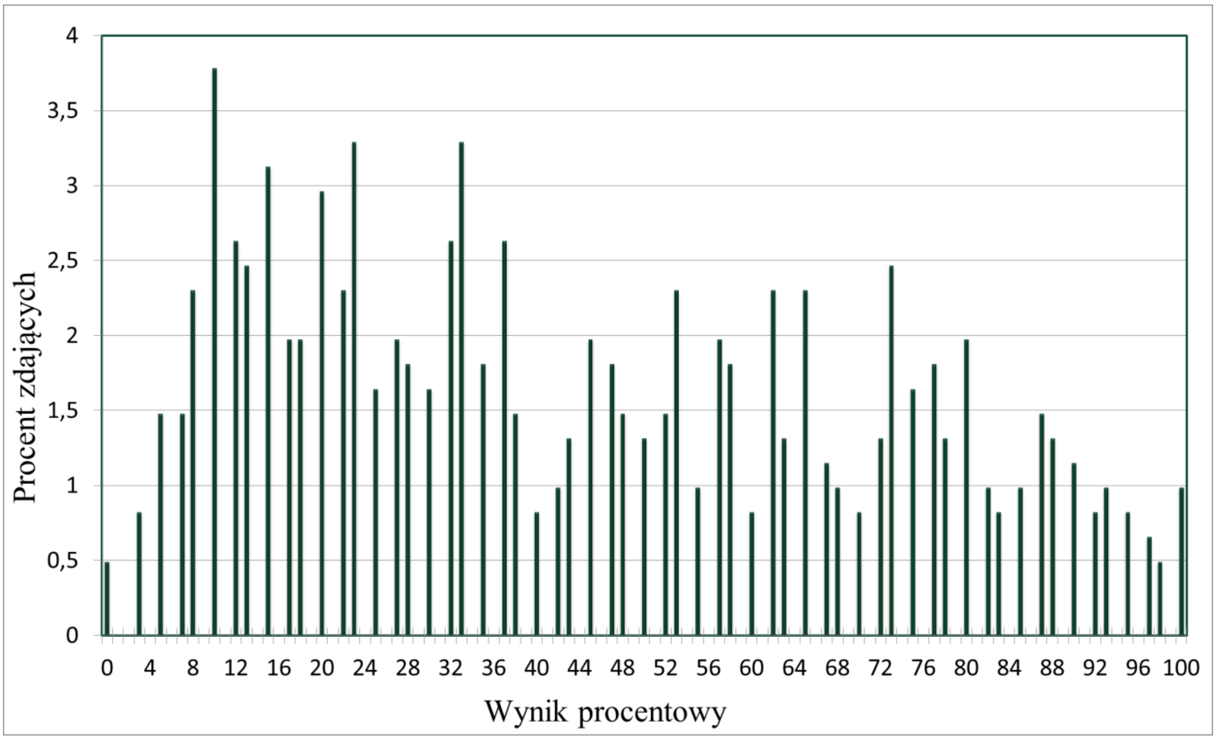
Tabela 3. Informacje dotyczące przebiegu egzaminu

Termin egzaminu			20 maja 2019
Czas trwania egzaminu dla arkusza standardowego			180 minut
Liczba szkół			79
Liczba zespołów egzaminatorów			1
Liczba egzaminatorów			19
Liczba obserwatorów[1] (§ 8 ust. 1)			0
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	0
	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)			9

[1] Na podstawie rozporządzenia 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] Na podstawie ustawy z dnia 7 września 1991 r. o systemie oświaty (tekst jedn. Dz.U. z 2019 r. poz. 1481, ze zm.).

4. 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	**608**	**0**	**100**	**39**	**10**	**44**	**27**
w tym:							
z liceów ogólnokształcących	410	5	100	55	32-73(2)	54	25
z techników	198	0	85	20	10	24	18

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

Poziom wykonania zadań

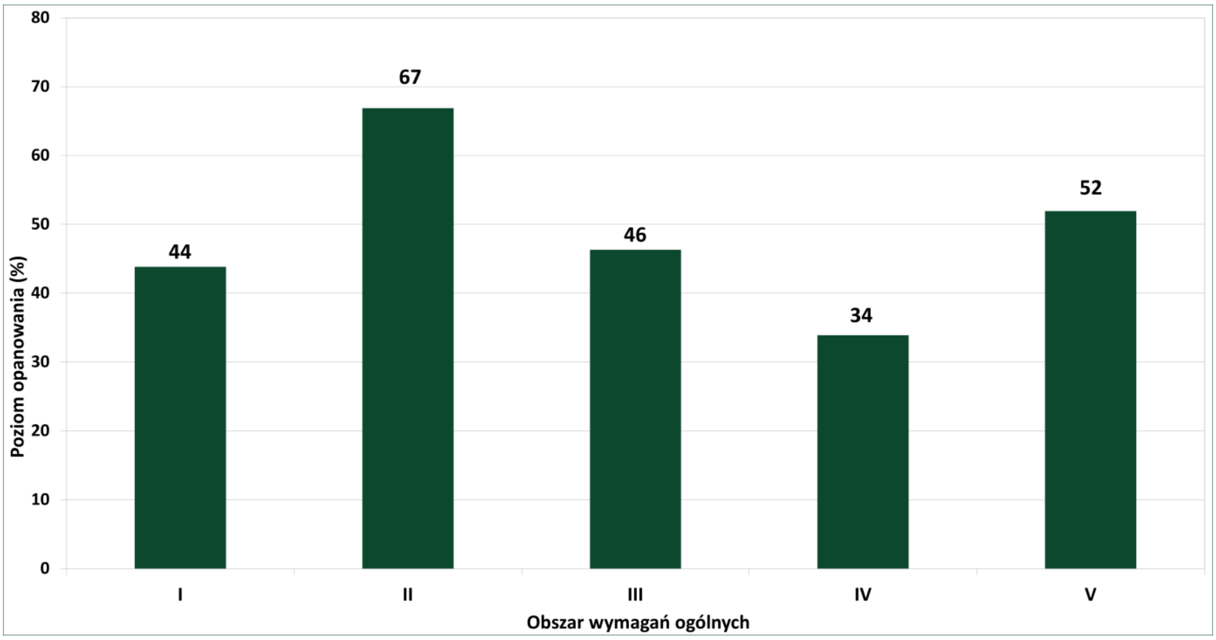
Tabela 5. Poziom wykonania zadań

Nr zad.	Wymaganie ogólne	**Wymaganie 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: 1.15) analizuje ruch ciał w dwóch wymiarach na przykładzie rzutu poziomego; 1.6) oblicza parametry ruchu podczas swobodnego spadku.	53
1.2.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 1.15) analizuje ruch ciał w dwóch wymiarach na przykładzie rzutu poziomego; 1.4) wykorzystuje związki pomiędzy położeniem, prędkością, i przyspieszeniem w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym do obliczania parametrów ruchu.	44
1.3.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 1.5) […] interpretuje wykresy zależności parametrów ruchu od czasu, 3.2) oblicza wartość energii kinetycznej ciał […].	44
1.4.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 1.15) analizuje ruch ciał w dwóch wymiarach na przykładzie rzutu poziomego.	46
2.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 1.4) (P) wyjaśnia na czym polega stan nieważkości, i podaje warunki jego występowania; 1.11) wyjaśnia różnice między opisem ruchu ciał w układach inercjalnych i nieinercjalnych; 1.7) opisuje swobodny ruch ciał.	54
3.1.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 1.8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona; 1.9) stosuje trzecią zasadę dynamiki Newtona do opisu zachowania się ciał; 2.7) analizuje ruch obrotowy bryły sztywnej pod wpływem momentu sił; 1.1) […] wykonuje działania na wektorach.	69
3.2.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 1.4) wykorzystuje związki pomiędzy położeniem, prędkością, i przyspieszeniem w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym do obliczania parametrów ruchu; 12.6) opisuje podstawowe zasady niepewności pomiaru (szacowanie niepewności pomiaru […] wskazywanie wielkości, której pomiar ma decydujący wkład na niepewność otrzymanego wyniku wyznaczonej wielkości fizycznej).	44
3.3.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 2.2) rozróżnia pojęcia: masa i moment bezwładności; 2.7) analizuje ruch obrotowy bryły sztywnej pod wpływem momentu sił; 2.9) uwzględnia energię kinetyczną ruchu obrotowego w bilansie energii; 3.3) wykorzystuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczania parametrów ruchu.	30

3.4.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 2.2) rozróżnia pojęcia: masa i moment bezwładności; 2.7) analizuje ruch obrotowy bryły sztywnej pod wpływem momentu sił; 1.8) wyjaśnia ruch ciał na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona.	48
4.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 6.1) analizuje ruch pod wpływem sił sprężystych (harmonicznych) […]; 6.3) oblicza okres drgań ciężarka na sprężynie […]; 8.11) (G) zapisuje wynik pomiaru lub obliczenia fizycznego jako przybliżony.	39
5.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 1.2) (P) opisuje zależności między siłą dośrodkową a masą, prędkością liniową i promieniem […]; 1.6) (P) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową; 1.14) oblicza parametry ruchu jednostajnego po okręgu, opisuje wektory prędkości i przyspieszenia dośrodkowego; 4.6) Wyjaśnia pojęcie pierwszej i drugiej prędkości kosmicznej, oblicza ich wartości […]; 2.8) stosuje zasadę zachowania momentu pędu do analizy ruchu; 3.3) wykorzystuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczania parametrów ruchu.	50
6.1.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 12.2) samodzielnie wykonuje poprawne wykresy (właściwe oznaczenie i opis osi, wybór skali, oznaczenie niepewności punktów pomiarowych); 12.5) dopasowuje prostą $y = ax + b$ do wykresu i ocenia trafność tego dopasowania; oblicza wartości współczynników a i b.	60
6.2.	IV. Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk.	Zdający: 1.4) (G) opisuje zachowanie się ciał na podstawie pierwszej zasady dynamiki Newtona; 3.3) (G) posługuje się pojęciem gęstości; 3.8) (G) analizuje i porównuje wartości sił wyporu dla ciał zanurzonych w cieczy lub gazie; 3.9) (G) wyjaśnia pływanie ciał na podstawie prawa Archimedesa.	33
7.1.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 7.5) (G) opisuje (jakościowo) bieg promieni przy przejściu światła z ośrodka rzadszego do ośrodka gęstszego optycznie i odwrotnie; 7.6) (G) opisuje bieg promieni przechodzących przez soczewkę skupiającą i rozpraszającą […]; 10.6) stosuje prawo […] załamania fal do wyznaczenia biegu promieni w pobliżu granicy dwóch ośrodków.	40
7.2.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 10.8) rysuje i wyjaśnia konstrukcje tworzenia obrazów rzeczywistych i pozornych otrzymywane za pomocą soczewek skupiających i rozpraszających.	50
7.3.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 10.9) stosuje równanie soczewki, wyznacza położenie i powiększenie otrzymanych obrazów.	22

8.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 11.1) opisuje założenia kwantowego modelu światła; 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; 6.8) Zdający stosuje w obliczeniach związek między parametrami fali: długością, częstotliwością, okresem, prędkością.	31
9.1.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 1.2) (P) […] wskazuje przykłady sił pełniących rolę siły dośrodkowej; 1.1) […] wykonuje działania na wektorach; 9.3) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu magnetycznym.	48
9.2.	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 […]; 9.3) analizuje ruch cząstki naładowanej w stałym jednorodnym polu magnetycznym; 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 […].	26
10.1.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 5.2) opisuje przemianę […] izobaryczną i izochoryczną; 5.3) interpretuje wykresy ilustrujące przemiany gazu doskonałego; 5.6) oblicza […] pracę wykonaną w przemianie izobarycznej.	50
10.2.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 5.5) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki, odróżnia przekaz energii w formie pracy od przekazu energii w formie ciepła; 5.6) oblicza zmianę energii wewnętrznej w przemianie izobarycznej i izochorycznej oraz pracę wykonaną w przemianie izobarycznej; 5.10) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne […].	54
10.3.	III. Wykorzystanie i przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tekstu, tabel, wykresów, schematów i rysunków.	Zdający: 5.5) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki, odróżnia przekaz energii w formie pracy od przekazu energii w formie ciepła; 5.10) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych w oparciu o wymieniane ciepło i wykonaną pracę.	21

11.1.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 8.3) rysuje charakterystykę prądowo-napięciową opornika podlegającego prawu Ohma; 8.4) stosuje prawa Kirchhoffa do analizy obwodów elektrycznych; 8.5) oblicza opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle.	46
11.2.	V. Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.	Zdający: 4.9) (G) posługuje się pojęciem oporu elektrycznego, stosuje prawo Ohma w prostych obwodach elektrycznych; 8.1) wyjaśnia pojęcie siły elektromotorycznej ogniwa; 8.4) stosuje prawa Kirchhoffa do analizy obwodów elektrycznych; 8.5) oblicza opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle.	63
12.1.	II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.	Zdający: 3.2) (P) posługuje się pojęciami: energii spoczynkowej […]; 3.5) (P) opisuje reakcje jądrowe, stosując […] zasadę zachowania energii; 3.10) (P) opisuje działanie elektrowni atomowej; 12.8) przedstawia […] tezy poznanego artykułu popularnonaukowego z dziedziny fizyki.	70
12.2.	I. Znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw fizyki do wyjaśniania procesów i zjawisk w przyrodzie.	Zdający: 3.5) (P) opisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku oraz zasadę zachowania energii.	59
12.3.	II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena ich treści.	12.8) przedstawia własnymi słowami główne tezy poznanego artykułu popularnonaukowego z dziedziny fizyki.	61



Wykres 2. Poziom wykonania zadań w obszarze wymagań ogólnych

Komentarz

W roku 2019 do egzaminu maturalnego z fizyki w nowej formule przystąpili po raz piąty absolwenci liceów ogólnokształcących, a po raz czwarty – absolwenci techników. Egzamin w nowej formule odbył się tylko na poziomie rozszerzonym i okazał się trudny. Średni wynik, jaki osiągnęli wszyscy absolwenci (liceów oraz techników łącznie), wynosi 42%. Absolwenci liceów osiągnęli średni wynik 50%, natomiast absolwenci techników – 24%.

1. Analiza jakościowa zadań
(na podstawie wyników wszystkich zdających w kraju)

Tegoroczny arkusz maturalny z fizyki składał się ogółem z 27 pojedynczych zadań, ujętych w 12 grup tematycznych, za które można było uzyskać łącznie 60 punktów. 2 zadania w arkuszu okazały się dla zdających bardzo trudne (poziom wykonania każdego z nich wyniósł poniżej 19%), 15 zadań było dla zdających trudne (poziom wykonania każdego z tych zadań wynosił od 20% do 49%), a 10 zadań okazało się umiarkowanie trudnymi (poziom wykonania każdego z nich wynosił od 50% do 69%). Zadań o poziomie wykonania powyżej 69% (czyli łatwych lub 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 5 (co stanowi 8,3% maksymalnej liczby punktów możliwych do osiągnięcia); liczba punktów, jakie można było uzyskać w sumie za zadania trudne, wynosiła 35 (to jest 58,3% punktów możliwych do osiągnięcia); a łączna liczba punktów, jakie można było uzyskać w sumie za zadania umiarkowanie trudne wynosiła 20 (czyli 33,3% punktów możliwych do zdobycia). Z przedstawionej statystyki wynika, że w arkuszu dominowały zadania trudne i umiarkowanie trudne – w sumie można było uzyskać za nie ok. 92% maksymalnej liczby punktów, co oznacza, że miały one największy wpływ na całościowy wynik z egzaminu.

Tegoroczny arkusz maturalny z fizyki zawierał 16 zadań otwartych, za które można było dostać w sumie 46 punktów (ok. 77% całkowitej punktacji) oraz 11 zadań zamkniętych, za które można było dostać łącznie 14 punktów (ok. 23% całkowitej punktacji). Bardzo podobny udział punktów z zadań otwartych i zamkniętych przedstawiał się w arkuszu z ubiegłego roku – odpowiednio: 80% punktacji oraz 20% punktacji. Poziom wykonania wszystkich zadań otwartych wyniósł w tym roku ok. 40%, a poziom wykonania wszystkich zadań zamkniętych wyniósł ok. 52%.

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 12 zadań obliczeniowych (spośród wszystkich 27 zadań). Można było za nie uzyskać łącznie 37 punktów, co stanowi ok. 62% maksymalnej liczby punktów możliwych do zdobycia. Poziom wykonania wszystkich zadań obliczeniowych w arkuszu wyniósł ok. 36%, a poziom wykonania zadań nieobliczeniowych – ok. 53%. Podobnie jak w ubiegłych latach, tak i w tym roku zadania obliczeniowe okazały się dla zdających zdecydowanie trudniejsze.

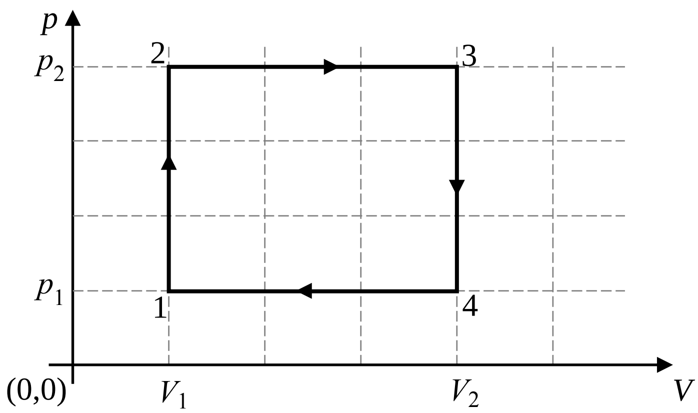
Zadania, z którymi zdający poradzili sobie najsłabiej

W dalszej części omówimy te zadania, z którymi zdający poradzili sobie najsłabiej. Przyjmiemy do analizy zadania, których poziom wykonania jest poniżej 42% – średniego wyniku za cały arkusz. Jednocześnie podkreślamy, że wyniki, jakie osiągnęli zdający za najtrudniejsze zadania (a także wszystkie inne w arkuszu), silnie i dodatnio korelowały z wynikami uzyskanymi przez zdających za cały arkusz. To oznacza, że zadania w arkuszu bardzo dobrze różnicowały populację zdających. 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. Oprócz wysokich współczynników korelacji należy zaznaczyć kolejny fakt (o którym wspominaliśmy) związany z dobrym różnicowaniem populacji zdających – w arkuszu nie było skrajnie łatwych zadań (które rozwiązaliby prawie wszyscy) oraz skrajnie trudnych (których prawie nikt by nie rozwiązał).

W związku z powyższym, oprócz poziomu wykonania zadania (współczynnika łatwości zapisanego w %) podamy dodatkowo współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Najtrudniejszymi zadaniami w arkuszu dla całej populacji zdających fizykę okazały się kolejno: zadanie 10.3. (16%; 0,58), zadanie 7.3. (16%; 0,56), zadanie 9.2. (23%; 0,78), zadanie 3.3. (27%; 0,75), zadanie 8. (29%, 0,73), zadanie 6.2. (29%; 0,83), zadanie 4. (36%; 0,74), zadanie 7.1. (39%; 0,47), zadanie 11.1. (40%; 0,52), zadanie 1.2. (41%; 0,76). Gdy będziemy pisali o poziomie wykonania zadania, bez określenia na jakim zbiorze wyników zdających został on obliczony, to będzie w domyśle oznaczało poziom wykonania zadania określony dla wszystkich osób zdających fizykę w maju 2019 roku. Oprócz tego, będziemy analizowali poziom wykonania niektórych zadań określony dla grupy zdających, którzy za cały arkusz uzyskali od 0% do 25% , a także dla takiej grupy zdających, którzy za cały arkusz uzyskali od 75% do 100%.

Każde z pierwszych sześciu najtrudniejszych zadań w arkuszu (o poziomie wykonania poniżej 30%) dotyczyło różnych działów fizyki: termodynamiki, optyki, magnetyzmu, mechaniki bryły sztywnej, fizyki kwantowej, hydrostatyki. Z drugiej strony, gdy abstrahujemy od działu tematycznego fizyki, to aż pięć pośród tych sześciu najtrudniejszych zadań miało podobne polecenie – w zadaniach: 10.3., 9.2., 3.3., 8., 6.2. należało **wyprowadzić wzór** pozwalający na wyrażenie pewnej wielkości fizycznej tylko za pomocą wielkości fizycznych wymienionych w poleceniu lub treści zadania. Każde z tych zadań było dosyć złożone (co najmniej za 3 pkt) i wymagało kompilacji dwóch lub trzech zależności lub praw fizycznych wyodrębnionych ze zjawiska w typowym kontekście. Tego typu zadania złożone wciąż są dla zdających najtrudniejsze. Podobne spostrzeżenie uczyniliśmy w sprawozdaniu po egzaminie z fizyki w ubiegłym roku – trudność zadania wydaje się być związana nie tyle z konkretnym działem fizyki, co z rodzajem sprawdzanej umiejętności (np. wyprowadzanie/wykazywanie zależności fizycznej, dowodzenie twierdzenia dotyczącego zjawiska fizycznego). Dalej omówimy kolejno zadania wyszczególnione jako najtrudniejsze i opiszemy najczęściej popełniane przez zdających błędy.

Zadanie 10.3. dotyczyło termodynamiki i uzyskało najniższy w arkuszu poziom wykonania – tylko 16%. Zadanie sprawdzało umiejętność wyprowadzenia konkretnej zależności. We wstępie do zadania przedstawiono wykres cyklu przemian termodynamicznych ustalonej masy gazu doskonałego.



Na podstawie przedstawionego wykresu zdający miał wyprowadzić wzór na ciepło oddane przez gaz do chłodnicy w jednym cyklu pracy tego silnika cieplnego. Wzór miał być wyrażony poprzez sprawność η silnika cieplnego oraz parametry p_1, p_2, V_1 i V_2 zaznaczone na wykresie. Pokonaniem trudności zadania było powiązanie ze sobą trzech zależności: 1) związku między pracą całkowitą wykonaną w cyklu a ciepłem pobranym i oddanym w tym cyklu:

$$|W_c| = |Q_{pob}| - |Q_{odd}|$$

2) definicji sprawności cyklu:

$$\eta = \frac{|W_c|}{|Q_{pob}|}$$

3) wzoru na pracę całkowitą w cyklu z wykorzystaniem wzorów na pracę w przemianie izobarycznej (albo z wykorzystaniem „metody pola”).

$$|W_c| = p_2(V_2 - V_1) - p_1(V_2 - V_1) = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$$

Większość nieprawidłowych rozwiązań wiązała się z tym, że zdający nie stosowali prawidłowego związku pomiędzy pracą całkowitą wykonaną w cyklu a ciepłem pobranym i oddanym w tym cyklu. Należy podkreślić, że związek ten jest fundamentalny dla każdego cyklu kołowego i wynika z I zasady termodynamiki zastosowanej dla cyklu kołowego (gdzie zawsze $\Delta U = 0$). Oprócz opisanych trudności zdający często błędnie identyfikowali ciepło pobrane i ciepło oddane we wzorze na sprawność cyklu (albo w związku między pracą całkowitą a wymienionym ciepłem). Zaznaczmy, że wzór ten jest podany w materiale, z którego mogą korzystać zdający. Z powyższych spostrzeżeń wynika, że stosowanie wzorów przepisanych z *Wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*, bez głębszego zrozumienia ich fizycznego podłoża, nie może prowadzić do prawidłowego rozwiązania zadania. Następną zasadniczą trudnością – porównywalną z tą opisaną powyżej – było dla zdających prawidłowe zapisanie wzoru na pracę całkowitą z wykorzystaniem wzoru na pracę w przemianie izobarycznej i z uwzględnieniem tego, że praca siły parcia (lub siły do niej przeciwnej) przy sprężaniu i rozprężaniu gazu w cyklu ma różne znaki. Maturzyści, którzy pokonali zasadnicze trudności zadania zazwyczaj uzyskiwali prawidłowe rozwiązanie. Zdarzały się błędy w przekształceniach algebraicznych prowadzących do ostatecznego wzoru, jednak nie występowały one tak często, jak problemy z pokonaniem zasadniczych trudności zadania.

Kolejnym bardzo trudnym zadaniem okazało się **zadanie 7.3.** z optyki. Jego poziom wykonania wyniósł także jedynie 16%. Maturzyści mieli obliczyć ogniskową f soczewki rozpraszającej przy zadanej odległości x przedmiotu od soczewki oraz przy zadanej odległości y obrazu tego przedmiotu od soczewki. Przedmiot ustawiony był na osi optycznej soczewki. Zadanie miało jedną zasadniczą trudność, którą było prawidłowe skorzystanie z równania soczewki, z uwzględnieniem odpowiednich znaków y oraz f. Pierwszą częścią wspomnianej trudności zadania było dla zdających skorzystanie z równania soczewki w ogóle, natomiast drugą częścią trudności było prawidłowe określenie znaków f oraz y w tym równaniu soczewki. W celu prawidłowego określenia znaków f oraz y należało uwzględnić dwa fakty: że ogniskowa soczewki rozpraszającej jest ujemna, oraz że obraz przedmiotu jest pozorny – w związku z czym y musi mieć wartość ujemną. Znaki danych (x, y) i wyniku (f) musiały być zgodne z przyjętą konwencją zapisu równania. Wygodnie było zapisać i rozwiązać równanie posługując się symbolami wartości bezwzględnej. Wtedy:

$$\frac{1}{|x|} - \frac{1}{|y|} = -\frac{1}{|f|} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{0{,}4\ \text{m}} - \frac{1}{0{,}25\ \text{m}} = -\frac{1}{|f|} \quad \rightarrow \quad |f| \approx 0{,}67\ \text{m} \quad \rightarrow \quad f \approx -0{,}67\ \text{m}$$

Jeżeli zdający nie posługiwali się wartościami bezwzględnymi, to znaki danych i wyniku musiały być zgodne z przyjętą konwencją zapisu równania. Poniżej przykłady zapisu równania z uwzględnieniem odpowiednich (zgodnych z konwencją) znaków danych i wyniku:

$\frac{1}{x} - \frac{1}{y} = -\frac{1}{f}$ wtedy $x = 0{,}4$ m, $y = 0{,}25$ m, $f = 0{,}67$ m ALBO

$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$ wtedy $x = 0{,}4$ m, $y = -0{,}25$ m, $f = -0{,}67$ m ALBO

$\frac{1}{x} - \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$ wtedy $x = 0{,}4$ m, $y = 0{,}25$ m, $f = -0{,}67$ m ALBO

$$\frac{1}{x}+\frac{1}{y}=-\frac{1}{f} \qquad \text{wtedy} \qquad x=0{,}4\text{ m},\ \ y=-0{,}25\text{ m}, \qquad f=0{,}67\text{ m}$$

Większość nieprawidłowych rozwiązań wynikała z tego, że zdający zapisywali równanie soczewki z błędnie określonymi znakami f oraz y – najczęściej dodatnimi. To oznacza, że głównym problemem zdających okazało się prawidłowe określenie znaków w równaniu. Odnotujmy, że samo równanie soczewki podane jest w *Wybranych wzorach i stałych fizykochemicznych na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*. Niski poziom wykonania zadania potwierdza fakt, że samo dysponowanie wzorem bez rozumienia jego fizycznego sensu wcale nie ułatwia rozwiązania zadania.

Pośród nieprawidłowych prób obliczenia ogniskowej zdarzały się także takie, w których zdający nie korzystali z równania soczewki, tylko z tzw. „wzoru szlifierzy" na ogniskową. Wzór ten, podobnie jak i równanie soczewki, także znajduje się w *Wybranych wzorach [...]*. Zdający stosujący „wzór szlifierzy" zamiast równani soczewki popełniali błąd zasadniczy – nie uwzględniali faktu, że „wzór szlifierzy" nie ma zastosowania w tym zadaniu, ponieważ odnosi się do geometrii samej soczewki oraz własności optycznych materiału soczewki i ośrodka.

Opisane zadanie 7.3. okazało się jednym z dwóch najtrudniejszych zadań w arkuszu, pomimo tego, że: 1) dotyczyło zagadnienia <u>bardzo</u> typowego; 2) wymagało jedynie skorzystania z równania soczewki z uwzględnieniem odpowiednich znaków (nie było to zadanie złożone); 3) równanie soczewki znajdowało się *Wybranych wzorach [...]*, z których zdający mogli korzystać; 4) prawidłowy wybór odpowiedzi w zadaniu 7.2. (które uzyskało relatywnie wysoki poziom wykonania 49%) mógł być podpowiedzią, że obraz jest pozorny, więc $y < 0$.

Zadanie 9.2. z działu magnetyzm jest trzecim pod względem trudności zadaniem w arkuszu (poziom wykonania 23%). Zadanie dotyczyło dynamiki ruchu cząstki naładowanej w jednorodnym polu magnetycznym, a polecenie sprawdzało umiejętność wyprowadzenia wzoru. Początkowo spoczywający jon (jednokrotnie zjonizowany) został rozpędzony w polu elektrycznym napięciem U, po czym wpadł w obszar jednorodnego pola magnetycznego o wektorze indukcji $\vec{B}$, prostopadłym do wektora prędkości jonu $\vec{v}$. Jon poruszał się w polu magnetycznym po fragmencie okręgu o średnicy d. Maturzyści mieli za zadanie wyprowadzić wzór pozwalający na wyznaczenie masy jednokrotnie zjonizowanego jonu w zależności od wartości U, B, d i wartości e ładunku elementarnego. W celu rozwiązania zadania zdający musieli pokonać jego zasadnicze trudności, którymi były: 1) zapisanie relacji identyfikującej siłę Lorentza jako siłę dośrodkową, z uwzględnieniem wzorów na te siły, oraz 2) zapisanie wyrażenia wiążącego zmianę energii kinetycznej z pracą sił pola elektrycznego <u>łącznie</u> z zastosowaniem wzorów na energię kinetyczną i pracę w polu elektrycznym (albo równoważne zastosowanie dynamicznych równań ruchu w jednorodnym polu elektrycznym z identyfikacją siły elektrycznej łącznie z kinematycznymi równaniami ruchu jednostajnie przyspieszonego). Kolejną trudnością dla zdających było powiązanie zapisanych zależności i przekształcenia algebraiczne prowadzące do wyprowadzenia żądanego wzoru.

Zdający, którzy podejmowali rozwiązanie zadania zazwyczaj poprawnie zapisywali związek wyrażający siłę Lorentza jako siłę dośrodkową. Brak prawidłowego rozwiązania zadania wynikał często z tego, że maturzyści albo nie zapisywali wyrażenia wiążącego zmianę energii kinetycznej z pracą sił pola elektrycznego (lub równoważnych równań ruchu) albo popełniali błędy w przekształceniach algebraicznych obu zapisanych wyrażeń. Zadanie 9.2. mocno różnicowało populację zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł 0,78). Poziom wykonania tego zadania w grupie zdających, którzy za cały arkusz uzyskali wyniki od 0% do 25%, wyniósł poniżej 1% (sic!), natomiast poziom wykonania zadania 9.2. w grupie zdających, którzy uzyskali wyniki od 75% do 100% z całego arkusza – wyniósł 84%.

Następnym w kolejności pod względem stopnia trudności było **zadanie 3.3.** (poziom wykonania 27%). Zadanie dotyczyło mechaniki bryły sztywnej, a polecenie sprawdzało umiejętność wykazania podanego wzoru. Ciężarek o masie m zawieszony był na lekkiej nitce nawiniętej na walec o promieniu r, do którego przymocowany był układ czterech prostopadłych do siebie prętów. Gdy ciężarek opadał pionowo z przyspieszeniem a, będąc pod wpływem siły grawitacji i siły reakcji napiętej nitki, to wprawiał walec w ruch obrotowy. Maturzyści musieli wyprowadzić podany w treści zadania 3.3.

wzór, wyrażający zależność momentu bezwładności I układu (walca z zamocowanymi prętami) od wielkości: m, r, a oraz przyspieszenia ziemskiego g. W celu wykazania wzoru należało skorzystać z równań drugiej zasady dynamiki dla ruchu obrotowego walca z układem prętów oraz dla ruchu postępowego ciężarka, a także ze związku pomiędzy przyspieszeniem kątowym walca a przyspieszeniem liniowym ciężarka. Inną równoważną metodą było skorzystanie z: zasady zachowania energii mechanicznej dla układu walca z prętami i ciężarka, związku miedzy prędkością kątową i liniową, oraz kinematycznych równań ruchu jednostajnie przyspieszonego. Zasadniczą trudnością zadania 3.3. było dla zdających prawidłowe zapisane równań drugiej zasady dynamiki dla ruchu obrotowego i postępowego. Pokonanie tej trudności zazwyczaj prowadziło do prawidłowego rozwiązania zadania. Przy energetycznej metodzie wyprowadzenia wzoru zasadniczą trudnością okazało się dla zdających prawidłowe zastosowanie zasady zachowania energii mechanicznej. Ponadto przy wyprowadzaniu wzoru tą metodą należało w pewnym momencie wykorzystać (lub wyprowadzić) kinematyczne równanie ruchu jednostajnie przyspieszonego z wyeliminowanym czasem ($v^2 = 2ah$). Ten krok okazał się znaczącym problemem dla niektórych zdających rozwiązujących zadanie metodą energetyczną.

Część zdających próbowała „odtwarzać" wyprowadzenie wzoru przekształcając podany w treści wzór. Oczywistym jest, że taki sposób dowodzenia – wykorzystywania („ukradkiem") tezy w dowodzie – jest niedopuszczalny. Brak zapisu praw podstawowych (równań dynamiki lub zasady zachowania energii) dyskwalifikował przyznanie punktu za zadanie. Zadanie 3.3. okazało się czwartym pod względem trudności, pomimo tego, że: 1) wszystkie potrzebne do wyprowadzenia wzory były dostępne zdającym w *Wybranych wzorach […]*, 2) zależność, którą należało wyprowadzić podana była jawnie w treści zadania. Zadanie 3.3. również mocno różnicowało populację zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł 0,75). Dla grupy zdających, którzy uzyskali najniższe wyniki za cały arkusz (od 0% do 25%) poziom wykonania zadania jest poniżej 1%, natomiast poziom wykonania tego zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł 92%. Łącząc to z tabelą centylową (zobacz na stronie CKE Skale centylowe), wnioskujemy, że aż 33% populacji zdających fizykę uzyskało średni poziom wykonania zadania poniżej 1%, a ok. 14% (nie tak mało!) populacji zdających fizykę uzyskało średni poziom wykonania zadania równy 92%.

Zadanie 8. – którego poziom wykonania wynosi 29% – dotyczyło fizyki atomowej oraz kwantowej natury światła. Polecenie sprawdzało umiejętność wyprowadzenia zależności fizycznej. Elektron w pewnym atomie mógł przechodzić pomiędzy poziomami energetycznymi: z poziomu A do poziomu B, z poziomu B do poziomu C, z poziomu C do poziomu D oraz z poziomu A do poziomu D. Podczas tych przejść atom emitował fotony o długościach fal odpowiednio: λ_{AB}, λ_{BC}, λ_{CD}, λ_{AD}. Podobnie jak w omówionych wyżej zadaniach (za wyjątkiem 7.3.) poleceniem zadania było wyprowadzenie wzoru. Maturzyści mieli wyprowadzić wzór pozwalający wyznaczyć – tylko na podstawie danych wielkości: λ_{AB}, λ_{BC}, λ_{CD} – długość fali λ_{AD} fotonu emitowanego przy przejściu elektronu bezpośrednio z poziomu A do poziomu D. W celu rozwiązania zadania należało powiązać ze sobą kilka zależności. Pierwszą z nich była zasada zachowania energii wiążąca ze sobą energie emitowanych fotonów z różnicami energii elektronów na poszczególnych poziomach energetycznych w atomie. Drugą z zależności był wzór Plancka wiążący energię fotonu z jego częstotliwością, a trzecią zależnością do wykorzystania w zadaniu był związek pomiędzy częstotliwością i długością fali świetlnej.

Największą trudnością zadania 8. było dla zdających właśnie skorzystanie z zasady zachowania energii (ale nie pędu!). Maturzyści, którzy sobie z tym poradzili, zazwyczaj prawidłowo stosowali w dalszym rozwiązaniu wzór Plancka łącznie ze związkiem falowym. Kolejnym i dosyć często spotykanym problemem dla zdających okazały się nieprawidłowe przekształcenie algebraiczne wzoru lub pozostawienie go w postaci, która nie wypełniała polecenia. W poleceniu podkreślono, że jedynymi wielkościami fizycznymi mającymi występować we wzorze końcowym, powinny być tylko: λ_{AB}, λ_{BC}, λ_{CD}, λ_{AD}. Zadanie 8., podobnie jak dwa omówione powyżej, równie mocno różnicowało zdających (współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyniósł 0,73). Dla grupy zdających, którzy uzyskali najniższe wyniki za cały arkusz (od 0% do 25%), poziom wykonania zadania wynosi poniżej 1%, natomiast poziom wykonania zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł aż 90%. Łącząc to z tabelą centylową wnioskujemy, że ok. 33% populacji zdających fizykę uzyskało średni poziom wykonania zadania poniżej 1%, a ok. 14% populacji zdających fizykę uzyskało średni poziom wykonania zadania 90%.

Wiązka **zadań 6.1. i 6.2.** odnosiła się do zagadnień związanych z mechaniką i hydrostatyką. Zadania te zostaną szczegółowo omówione wraz z analizą rozwiązań zdających w dalszej części niniejszego opracowania w rozdziale **2. Problem „pod lupą”.** W tym miejscu zasygnalizujemy tylko i ogólnie, jakie umiejętności były sprawdzane w obu tych zadaniach oraz omówimy wyniki. W zadaniu 6.1. należało przetworzyć wyniki doświadczenia: dopasować prostą do punktów pomiarowych, wyznaczyć jej współczynnik kierunkowy oraz zinterpretować punkt przecięcia prostej z osią wartości. W zadaniu 6.2. natomiast należało zbudować model fizyczny zjawiska, powiązać go z otrzymaną w doświadczeniu i opisaną w treści zdania zależnością liniową, a następnie wyznaczyć na tej podstawie żądaną wielkość fizyczną. Poziom wykonania zadania 6.2. wynosi 29%, a poziom wykonania zadania 6.1. wynosi 61%. Oznacza to, że podstawowe przetworzenie wyników doświadczenia było dla zdających stosunkowo łatwym zadaniem, natomiast budowanie modelu zjawiska okazało się dla zdających zadaniem trudnym. Zadanie 6.2. mocno różnicowało populację – korelacja wyników zadania 6.2. z uzyskiwanymi przez zdających wynikami za cały arkusz była największa – współczynnik korelacji Pearsona wyniósł 0,83. Dla grupy zdających, którzy uzyskali najniższe wyniki (od 0% do 25%) za cały arkusz, poziom wykonania zadania 6.2. wynosi ok. 1%, natomiast poziom wykonania zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł 88%. To oznacza mocne różnicowanie populacji zdających.

Powyżej omówiliśmy sześć najtrudniejszych zadań w arkuszu, które miały poziom wykonania poniżej 30%. Dalej omówimy zadania, których poziom wykonania wynosi od 36% aż do średniego wyniku za arkusz (42%).

W **zadaniu 4.** (o poziomie wykonania 36%) maturzyści musieli obliczyć stosunek częstotliwości drgań pręta zawieszonego na trzech jednakowych sprężynach do częstotliwości drgań tego pręta zawieszonego na dwóch jednakowych sprężynach. Sprężyny, na których zawieszono pręt połączone były równolegle. Ponadto wynik należało podać z dokładnością do czterech cyfr znaczących. W celu rozwiązania zadania należało pokonać trzy istotne trudności. Po pierwsze, maturzyści musieli prawidłowo wyznaczyć zastępcze współczynniki sprężystości dla obu układów sprężyn. Po drugie należało prawidłowo zastosować wzór na częstotliwość drgań masy (tutaj pręta) zawieszonej na układzie połączonych sprężyn. Po trzecie – wynik trzeba było podać zgodnie z poleceniem, to znaczy z dokładnością do czterech cyfr znaczących. Na każdym z tych etapów zdający popełniali błędy różnego rodzaju. Największym problemem było dla zdających wyznaczenie zastępczych współczynników sprężystości dla układu sprężyn połączonych równolegle. W tym celu należało przeanalizować siłę wypadkową działającą na drgający pręt w każdym z przypadków łączenia sprężyn, albo przeanalizować całkowitą energię mechaniczną drgającego układu w każdym z przypadków. Zdający mógł także od razu zapisać wzór na współczynnik zastępczy układu sprężyn (jeżeli go znał) – bez wyprowadzania. Błędy na tym etapie rozwiązania najczęściej wiązały się z tym, że zdający obliczali zastępczy współczynnik sprężystości przyrównując jego odwrotność do sumy odwrotności współczynników sprężystości (tak byłoby dla układu sprężyn połączonych szeregowo, ale nie w naszym przypadku!). To bardzo często pojawiający się błąd zasadniczy, motywowany niczym nieuzasadnioną werbalną asocjacją z metodą obliczania oporu zastępczego układu oporników łączonych równolegle. Przepływ prądu przez układ oporników łączonych równolegle i drgania ciała zawieszonego na układzie sprężyn łączonych równolegle są różnymi zjawiskami fizycznymi i nie mogą być w tym zakresie przekładalne/porównywalne. W sporej liczbie nieprawidłowych rozwiązań zdający nie podejmowali wyznaczenia współczynników zastępczych, poprzestając jedynie na ich rozróżnieniu poprzez oznaczenie k_1 i k_2. Zdający poprzestawali na napisaniu wzoru na częstotliwość drgań lub tylko okres drgań masy na sprężynie (wzory znajdują się w *Wybranych wzorach i stałych* […]). Podobnie jak w innych zadaniach problemem dla zdających było przekształcenie wzoru oraz identyfikacja wielkości w nim występujących.

Kolejnym, często spotykanym problemem dla zdających było właśnie prawidłowe zastosowanie wzoru na częstotliwość drgań dla obu układów sprężyn. Część nieprawidłowych rozwiązań związanych z tą trudnością wynikała z braku rozróżnienia współczynników sprężystości we wzorach na częstotliwość drgań dla każdego z układów sprężyn. To zazwyczaj wiązało się z błędna identyfikacją masy m występującej we wzorze na częstotliwość drgań f. Wzór na częstotliwość drgań: $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ dotyczy modelu zjawiska, w którym masę sprężyny (lub układu sprężyn) należy pominąć, przy czym m jest masą drgającego ciała zawieszonego na sprężynie (lub układzie sprężyn). W niektórych nieprawidłowych rozwiązaniach błędnie identyfikowano m jako masę sprężyn albo masę pręta zsumowaną z masą sprężyn. Zdający, którzy z sukcesem pokonali opisane dwie istotne trudności zadania 4. zazwyczaj dochodzili do prawidłowego wyniku podanego w postaci niewymiernej: $f_1/f_2 = \sqrt{3/2}$. Wynik ten należało dalej zapisać w rozwinięciu dziesiętnym z dokładnością do czterech cyfr znaczących. Najczęściej popełniane błędy w tej fazie rozwiązania związane były z pomyleniem pojęcia liczby cyfr znaczących z liczbą cyfr po przecinku, oraz z błędnym zaokrąglaniem.

Wyniki zadania 4. uzyskiwane przez zdających mocno korelowały z wynikami z całego arkusza. Współczynnik korelacji Pearsona wyniósł 0,74. Dla grupy zdających, którzy uzyskali najniższe wyniki (od 0% do 25%) za cały arkusz, poziom wykonania zadania wyniósł ok. 3%, natomiast poziom wykonania zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł 86%.

Zadanie 7.1. z optyki uzyskało poziom wykonania 39% – ósmy z kolei pod względem trudności. W treści zadania napisano o tym, że soczewkę dwuwklęsłą wykonaną ze szkła o współczynniku załamania światła $n = 1{,}6$, umieszczano w pięciu różnych ośrodkach. Wartości bezwzględnych współczynników załamania światła dla tych ośrodków podane były w tabeli:

Ośrodek 1.	Ośrodek 2.	Ośrodek 3.	Ośrodek 4.	Ośrodek 5.
$n_1 = 1{,}1$	$n_2 = 1{,}7$	$n_3 = 2{,}2$	$n_4 = 1{,}6$	$n_5 = 1{,}5$

Spośród ośrodków 1.–5. zdający mieli wybrać i zaznaczyć tylko te ośrodki (uwzględniając wszystkie możliwości), w których soczewka była skupiająca. Uzyskanie prawidłowej odpowiedzi – zaznaczenie ośrodka 2. i ośrodka 3. – wymagało jakościowej analizy wzoru na ogniskową f soczewki (odnoszącego się do geometrii samej soczewki oraz własności optycznych materiału soczewki i ośrodka), albo analizy – opartej o prawo załamania światła – biegu promienia światła przy przejściu przez granicę dwóch ośrodków. Nieprawidłowe odpowiedzi wiązały się najczęściej z zaznaczeniem ośrodka o mniejszym współczynniku załamania światła od współczynnika załamania światła dla szkła, z którego wykonana była soczewka. Zdający zaznaczali ośrodek 1. i ośrodek 5. co sugeruje nieprawidłową analizę „wzoru szlifierzy”, najprawdopodobniej w zakresie konwencji znaków. Wzór ma postać:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_s}{n_o} - 1\right) \cdot \left(\frac{\text{znak}_1 \cdot 1}{r_1} + \frac{\text{znak}_2 \cdot 1}{r_2}\right)$$

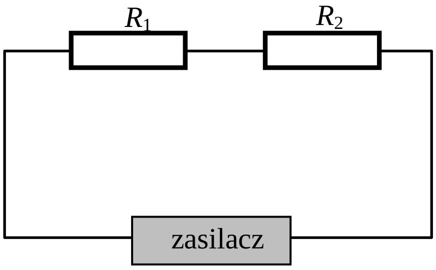
gdzie n_s i n_o są współczynnikami załamania światła odpowiednio w materiale soczewki i w ośrodku, r_1 oraz r_2 są promieniami krzywizny powierzchni po obu stronach soczewki, natomiast $\text{znak}_i \equiv +$ gdy powierzchnia o promieniu krzywizny r_i jest wypukła, $\text{znak}_i \equiv -$ gdy powierzchnia o promieniu krzywizny r_i jest wklęsła. Soczewka jest skupiająca, gdy jej ogniskowa f jest dodatnia. Dla soczewki dwuwklęsłej opisanej w zadaniu 7. wyrażenie w drugim nawiasie wzoru jest ujemne, a zatem ujemne musi być także wyrażenie w pierwszym nawiasie:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1{,}6}{n_o} - 1\right) \cdot \left(\frac{(-) \cdot 1}{r_1} + \frac{(-) \cdot 1}{r_2}\right) > 0 \quad \Longrightarrow \quad \frac{1{,}6}{n_o} - 1 < 0 \quad \Longrightarrow \quad 1{,}6 < n_o$$

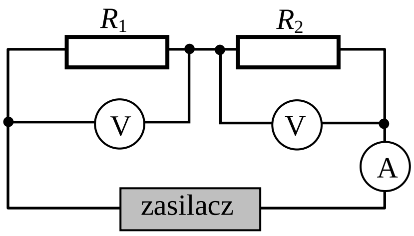
Zanotujmy, że „wzór szlifierzy” znajduje się w *Wybranych wzorach [...]* jednak bez opisu konwencji znaków (podobnie jak równanie soczewki).

Przypomnijmy, że zadanie 7.1. jest ósmym pod względem trudności dla całej populacji zdających. Natomiast <u>w tej części populacji zdających</u>, która uzyskała wyniki za cały arkusz od 0% do 25%, poziom wykonania zadania 7.1. wyniósł ok. 15%, a zadanie uzyskało 15. wynik w tej grupie licząc od najtrudniejszego. Z kolei poziom wykonania zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł 81% (czyli dużo, ale był to 6. pod względem trudności wynik w tej grupie).

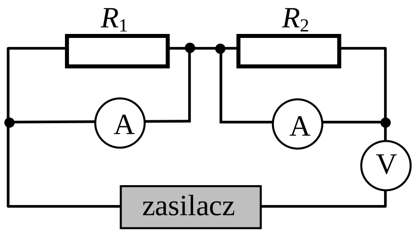
Kolejnym, dziewiątym pod względem trudności zadaniem w arkuszu, było **zadanie 11.1.** dotyczące prądu elektrycznego. Poziom wykonania zadania w całej populacji zdających wynosi 40%. We wstępie do wiązki zadań 11. opisane było doświadczenie: „Dwa oporniki R_1 i R_2 połączono szeregowo i dołączono do zasilacza o regulowanym napięciu ([…]). Następnie przy różnych ustawieniach napięcia zasilacza mierzono natężenie prądu płynącego przez oba oporniki oraz napięcia na każdym z oporników […]”. Maturzyści mieli wybrać i zaznaczyć (spośród schematów obwodów pokazanych na rysunkach A–F) wszystkie możliwe obwody, które prawidłowo przedstawiają podłączenie mierników, umożliwiające wykonanie pomiarów jak w doświadczeniu opisanym we wstępie do zadania.



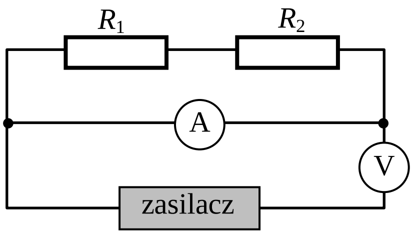
A.



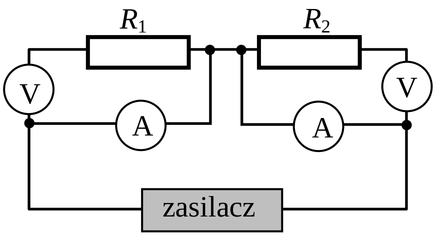
B



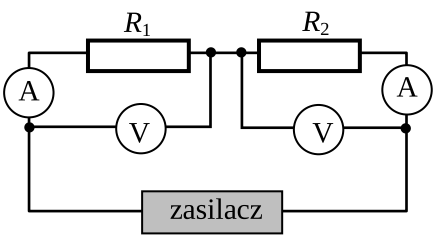
C.



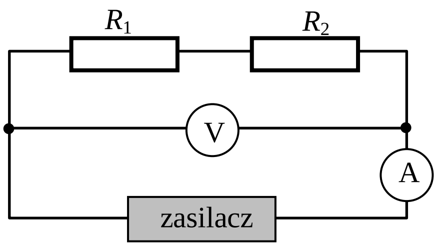
D.



E.



F.



Pod poleceniem napisane było, aby przyjąć, że opór amperomierza jest pomijalnie mały, a opór woltomierza jest bardzo duży w porównaniu z oporami R_1 i R_2. Zdający mieli przeanalizować, jaki sposób dołączania mierników do obwodu umożliwi pomiar żądanych wielkości oraz najmniej zaingeruje na rozkład prądów i napięć (równoważnie – najmniej pozmienia opory w układzie). W tym celu amperomierz powinno się połączyć z opornikami szeregowo, natomiast woltomierz powinno się podłączyć równolegle, oddzielnie do każdego z oporników. Są ku temu dwa istotne powody.

1) Po pierwsze, takie podłączenia umożliwiają pomiary żądanych wielkości: przez amperomierz i opornik połączone szeregowo płynie ten sam prąd, a napięcie na woltomierzu (na jego końcach) połączonym równolegle z opornikiem będzie takie samo jak napięcie na oporniku (na jego końcach).
2) Po drugie, takie podłączenia (oraz ich kombinacje) najmniej pozmieniają rozkłady napięć i prądów w obwodzie, dlatego, że:

   a) opór zastępczy R_{zV} opornika R i woltomierza (o dużo większym oporze R_V od R) połączonych równolegle wynosi w przybliżeniu R, oraz

b) opór zastępczy R_{zA} opornika R i amperomierza (o dużo mniejszym oporze R_A od R) połączonych szeregowo wynosi w przybliżeniu R.

Poniżej przypominamy dla porządku proste dowody stwierdzeń 2a) i 2b):

2a) $$\frac{1}{R_{zV}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V} \quad \Longrightarrow \quad R_{zV} = \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{R}{\frac{R}{R_V} + 1} \quad \Longrightarrow \quad R_{zV} \approx R \quad \text{gdy} \quad \frac{R}{R_V} \approx 0$$

2b) $$R_{zA} = R + R_A \quad \Longrightarrow \quad R_{zA} = R\left(1 + \frac{R_A}{R}\right) \quad \Longrightarrow \quad R_{zA} \approx R \quad \text{gdy} \quad \frac{R_A}{R} \approx 0$$

Prawidłowe podłączenia mierników, uwzgledniające twierdzenia 1)–2), to A i E. Omówione powyżej zagadnienia są bardzo typowymi problemami omawianymi przy okazji tematyki obwodów elektrycznych. Błędne zaznaczenia zdających wskazują na brak elementarnej wiedzy. Poprawne zaznaczenia można było otrzymać w zasadzie na podstawie znajomości elementarnych własności łączenia szeregowego i równoległego, opisanych w stwierdzeniu 1), które umożliwiało eliminację obwodów z nieprawidłowo podłączonymi miernikami. Punkt można było dostać za zaznaczenie tylko dwóch poprawnych odpowiedzi: A i E. Zaznaczenie tylko jednej prawidłowej odpowiedzi, albo dwóch prawidłowych i jednej nieprawidłowej uniemożliwiało przyznanie punktu.

W tej części populacji zdających, która uzyskała najniższe wyniki za cały arkusz (od 0% do 25%), poziom wykonania zadania 11.1. wyniósł ok. 15%, a zadanie uzyskało 14. wynik w tej grupie, licząc od najtrudniejszego. Z kolei poziom wykonania zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł 86% i był to 11. pod względem trudności wynik w tej grupie.

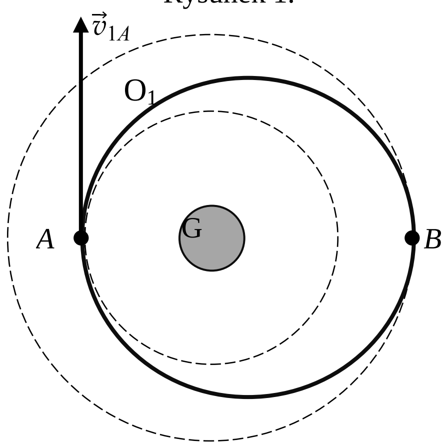
Dziesiątym pod względem trudności dla całej populacji zdających było **zadanie 1.2.** (poziom wykonania 41%). Zadanie dotyczyło rzutu poziomego: „Piłka wyrzucona poziomo z autu, z wysokości h = 1,96 m, spadła na boisko w odległości x = 5,10 m – jeśli zmierzyć w kierunku poziomym od miejsca wyrzutu.” Maturzyści musieli obliczyć wartość v_0 prędkości początkowej piłki. Zasadniczą trudnością zadania było potraktowanie rzutu poziomego jako złożenia ruchu jednostajnie przyspieszonego w kierunku pionowym z ruchem jednostajnym w kierunku poziomym. W tym celu należało skorzystać z równań ruchu wiążących wysokość z czasem w spadku pionowym bez prędkości początkowej oraz równań ruchu wiążących zasięg z czasem w ruchu jednostajnym prostoliniowym (w poziomie). Równoważnie można było wykorzystać czas obliczony w zadaniu 1.1. do równania ruchu jednostajnego prostoliniowego. Jedną z częstych przyczyn nieprawidłowych rozwiązań było błędne zapisywanie równań ruchu. Niektórzy zdający popełniali błąd zasadniczy w identyfikacji rodzaju ruchu dla jego składowej w kierunku poziomym lub pionowym – np. zasięg x błędnie wyrażano równaniami ruchu jednostajnie przyspieszonego. Oprócz tego, do nieprawidłowych rozwiązań często prowadziła zdających próba zastosowania zasady zachowania energii mechanicznej. Wielu maturzystów zapisywało zasadę zachowania energii jako: $mgh = \frac{mv^2}{2}$. Należy jednak zauważyć, że w przykładowym zapisie <u>nie uwzględniono</u> energii kinetycznej początkowej. Zakładając, że taka postać zapisu wynika z przekształceń prawidłowej postaci: $mgh + \frac{mv_x^2}{2} = \frac{m(v_x^2+v_y^2)}{2}$, do wzoru: $mgh = \frac{mv_y^2}{2}$, przekonujemy się, że w ten sposób nie można obliczyć wartości v_0 prędkości piłki w kierunku poziomym, tylko wartość pionowej składowej prędkości końcowej. Kolejną i dosyć częstą przyczyną nieprawidłowych rozwiązań były błędy popełniane przez zdających w przekształceniach algebraicznych oraz obliczeniach.

W tej części populacji zdających, która uzyskała wyniki za cały arkusz od 0% do 25%, poziom wykonania zadania 1.2. wyniósł jedynie 3%, a zadanie uzyskało 7. wynik w tej grupie – licząc od najtrudniejszego. Z kolei poziom wykonania zadania w grupie zdających mających wyniki od 75% do 100% za cały arkusz, wyniósł aż 98% i było to – co ciekawe – <u>jedno z dwóch najłatwiejszych</u> zadań dla tej grupy zdających. Zanotujmy przy tym, że zadanie mocno różnicowało zdających – współczynnik korelacji wyników zadania 1.2. z wynikami za cały arkusz (uwzględniający wszystkich zdających), wynosi 0,76.

Na koniec przyjrzymy się wynikom **zadania 5.** Zadanie to uzyskało w skali całej populacji zdających poziom wykonania równy 52%, co pozycjonuje je na 21. miejscu pod względem trudności zadań w arkuszu. Zatem w populacji wszystkich zdających zadanie jest umiarkowanie trudne. Z kolei w zbiorze wyników osób, które za cały arkusz osiągnęły wynik 75%–100%, poziom wykonania zadania 5. wynosi 70%. To oznacza, że zadanie dla osób z takimi wynikami jest na granicy łatwego i umiarkowanie trudnego. Jednakże poziom wykonania zadania równy 70% w grupie osób, które za cały arkusz zdobyły średnio od 75% do 100%, pozycjonuje to zadanie jako trzecie pod względem trudności w tejże grupie osób. Analogicznie symetryczna sytuacja zachodzi w zbiorze wyników osób, które za cały arkusz uzyskały średnio od 0% do 25%. W tym zbiorze wyników zdających poziom wykonania zadania 5. wynosi 41%. To formalnie oznacza, że, że zadanie dla osób z takimi wynikami jest na granicy trudnego i umiarkowanie trudnego. Jednakże poziom wykonania zadania równy 41% w grupie osób, które za cały arkusz zdobyły średnio od 0% do 25%, pozycjonuje to zadanie jako 25. pod względem trudności (trzecie pod względem łatwości) w tejże grupie osób. Współczynnik Pearsona (równy 0,52) wskazuje na dobrą, wyraźną korelację wyników zadania z wynikami za cały arkusz, choć sama wartość przyrostu wyniku za zadanie 5. pomiędzy najsłabszą i najlepszą grupy wynosi tylko 30%, podczas, gdy średnia wartość przyrostu wyniku za arkusz wynosi ok. 75%.

Analiza wyników oraz rozwiązań zadania 5. przekonuje, że w zadaniu była pewna wspólna dla wszystkich zdających trudność, którą dalej omówimy. Zadanie związane było z ruchem ciała w centralnym polu grawitacyjnym. Treść zadania była następująca: „Trzy planety poruszają się w centralnym polu grawitacyjnym gwiazdy G po orbitach O_1, O_2 i O_3. Wszystkie planety obiegają gwiazdę w jedną stronę, a ich orbity leżą w jednej płaszczyźnie. Orbita O_1 jest eliptyczna (rys. 1.), natomiast orbity O_2 i O_3 są kołowe (rys. 2. oraz 3.). Punkt *A* jest punktem stycznym orbit O_1 i O_2, a punkt *B* jest punktem stycznym orbit O_1 i O_3 […]". Zdający mieli wpisać właściwe relacje: większy, równy, mniejszy, między wartościami prędkości planet w danych punktach na poszczególnych orbitach. Do każdego podpunktu zadania a)–c) był rysunek pomocniczy ilustrujący sytuację. Poniżej omówimy prawidłowe rozwiązania.

Rysunek 1.



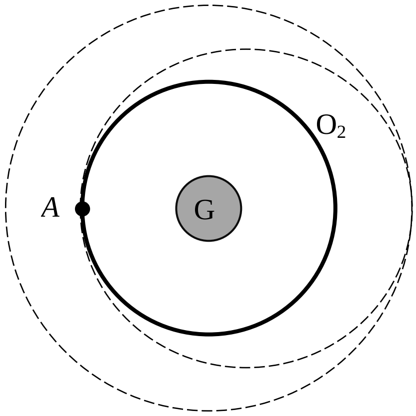
a) $v_{1A} > v_{1B}$ (analizuj rys. 1.)

W celu otrzymania prawidłowej relacji pomiędzy wartościami prędkości należało jakościowo przeanalizować zasadę zachowania momentu pędu punktu względem centrum siły:

$$v_{1A}r_A = v_{1B}r_B \qquad (r_A < r_B \quad \rightarrow \quad v_{1A} > v_{1B})$$

Prawidłową relację pomiędzy wartościami prędkości można było równoważnie otrzymać po jakościowej analizie zasady zachowania energii mechanicznej: gdy planeta porusza się po orbicie od punktu A do B, to odległość od planety do gwiazdy G rośnie, zatem rośnie energia potencjalna planety, czyli jej energia kinetyczna maleje. W związku z tym maleje wartość prędkości planety.

Rysunek 2.

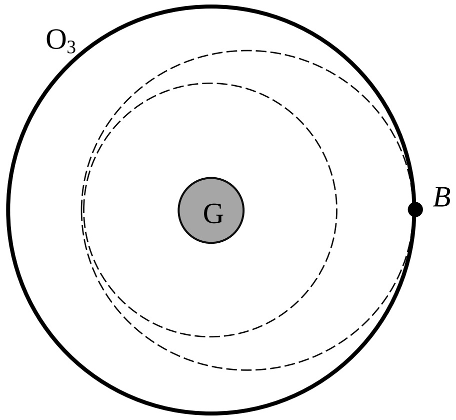


b) $v_{2A} > v_{3B}$ (analizuj rys. 2. i rys. 3.)

W celu otrzymania prawidłowej relacji pomiędzy wartościami prędkości należało przeanalizować wzór na wartość prędkości orbitalnej:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (r_{2A} < r_{3B} \quad \rightarrow \quad v_{2A} > v_{3B})$$

Rysunek 3.



c) $v_{1B} < v_{3B}$ (analizuj rys. 1. i rys. 3.)

Gdy prędkość planety jest w danym punkcie prostopadła do promienia wodzącego i równa prędkości orbitalnej, to planeta dalej porusza się po orbicie kołowej (siła grawitacji pełni role dośrodkowej), gdy prędkość jest większa od orbitalnej, to planeta od tego punktu zacznie oddalać się od centrum grawitacyjnego, a gdy prędkość jest mniejsza od orbitalnej, to planeta od tego punktu zacznie zbliżać się do centrum grawitacyjnego. W przedstawionym przypadku planeta poruszająca się po orbicie eliptycznej O_1, po wyminięciu punktu B – w którym styka się z orbitą O_3 – zaczyna zbliżać się (czyli „spada” pod orbitę O_3) do centrum grawitacyjnego G, aż do osiągnięcia punktu A. To oznacza, że prędkość planety w punkcie B jest mniejsza od prędkości orbitalnej, koniecznej do utrzymania ruchu po orbicie kołowej O_3.

Najwięcej nieprawidłowo wpisanych relacji pojawiło się w punkcie c). W tej części zadania można wyróżnić dwie trudności. Pierwszą z nich było sprowadzenie przedstawionego zagadnienia do odpowiedzi na elementarne pytanie z dynamiki ruchu po okręgu: *w jaki sposób wpłynęłoby (jakościowo) na tor ruchu zwiększenie lub zmniejszenie wartości prędkości ciała poruszającego się początkowo po okręgu ruchem jednostajnym pod wpływem siły dośrodkowej o ustalonej wartości?* Drugą trudnością była dla zdających właśnie odpowiedź na to pytanie.

Najwięcej nieprawidłowych odpowiedzi wiązało się z błędnym wpisaniem znaku równości pomiędzy wartościami prędkości. Szczególnie dziwi wpisywanie znaku równości z prędkością orbitalną, w sytuacji, gdy dalej tory ruchów są różne. To wskazuje na powierzchowność rozumienia pewnych fundamentalnych dla dynamiki kwestii, m.in. takich jak związek warunków początkowych z ruchem.

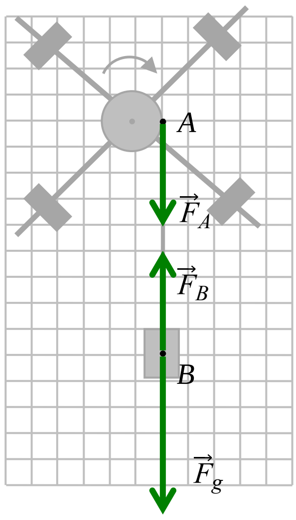
W zadaniu 5. nie było potrzeby wykonywania jakichkolwiek obliczeń. Zanotujmy dla porządku, że niezależnie od argumentów jakościowych można wykazać – na podstawie zasady zachowania energii oraz momentu pędu – że:

$$\frac{v_{1B}}{v_{3B}} = \sqrt{\frac{2r_A}{r_A + r_B}}$$

Zadania, z którymi zdający poradzili sobie najlepiej

Dalej przeanalizujemy zadania, z którymi zdający poradzili sobie najlepiej. Przyjmiemy do analizy, że są to zadania, których poziom wykonania (w skali całej populacji zdających fizykę) wyniósł powyżej 60%. Najłatwiejszymi zadaniami w arkuszu dla całej populacji zdających fizykę w maju 2019 roku, okazały się kolejno licząc od najłatwiejszego: zadanie 3.1. (poziom wykonania – 69%), zadanie 12.1. (poziom wykonania – 69%), zadanie 12.3. (poziom wykonania – 63%), zadanie 6.1. (poziom wykonania – 61%) i zadanie 11.2. (poziom wykonania – 61%). Zadanie 12.2. z najłatwiejszej w arkuszu wiązki zadań 12., uzyskało poziom wykonana 59%.

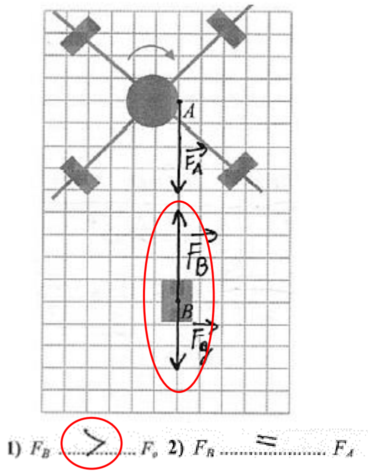
Zadanie 3.1. było pierwszym zadaniem wiązki zadań 3.1–3.4. i nie sprawiło zdającym większych problemów. Zadanie dotyczyło mechaniki bryły sztywnej i punktu materialnego a polecenie sprawdzało umiejętność narysowania sił z uwzględnieniem zasad dynamiki Newtona. Ciężarek o masie *m* zawieszony był na lekkiej nitce nawiniętej na walec o promieniu *r*, do którego przymocowany był układ czterech prostopadłych do siebie prętów. Gdy ciężarek opadał pionowo w dół z przyspieszeniem *a*, będąc pod wpływem siły grawitacji $\vec{F}_g$ i siły reakcji napiętej nitki $\vec{F}_B$, to wprawiał walec w ruch obrotowy siłą $\vec{F}_A$.



1) $F_B < F_g$ **2)** $F_B = F_A$

Zdający miał narysować wymienione siły, zaczepić je w oznaczonych na rysunku punktach A i B oraz zapisać relacje pomiędzy ich wartościami. W poleceniu ponadto wyraźnie zaznaczono konieczność zachowania na rysunku relacji pomiędzy wartościami wektorów sił. Aby rozwiązać zadanie zdający musiał wykorzystać informację podaną we wstępie do zadania 3.1.: „Gdy ciężarek opuszcza się ruchem przyspieszonym […]”

i na podstawie II zasady dynamiki Newtona ustalić relacje pomiędzy wartościami sił grawitacji i reakcji naprężonej nici: $F_g > F_B$. Relacje miedzy wartościami sił napięcia nici działającymi na ciężarek i walec: $F_B = F_A$, należało ustalić na podstawie założenia o pominięciu masy nici oraz na podstawie III zasady dynamiki Newtona. Kierunki sił były oczywiste: siła grawitacji działa w pionie, a siła reakcji napiętej nici działa w kierunku napiętej nici.



Błędy, które popełniali zdający to najczęściej niezachowanie proporcji między długościami wektorów oraz błędne zaznaczenie siły $\vec{F_A}$ np. siła ta była zwrócona w górę lub w bok (*sic*!). Często też maturzyści błędnie interpretowali – przedstawiając na rysunku lub w zapisie relacji – że wartość siły grawitacji F_g jest równa wartości siły reakcji napiętej nitki F_B albo od niej mniejsza. W przykładzie prezentowanym obok zdający błędnie określa relacje między wartościami sił (niezgodnie z II zasadą dynamiki).

Zadanie 12. tworzyła wiązka złożona z trzech zadań dotyczących fizyki jądrowej. Polecenia zadań 12.1.–12.3. wymagały od zdającego analizy tekstu popularnonaukowego (zadania: 12.1., 12.3.), dokonania oceny treści zapisanych zdań (zadanie 12.1.) oraz wykorzystania wiedzy o zasadach zachowania (energii, liczby nukleonów, ładunku), einsteinowskiej równoważności masy i energii spoczynkowej (zadania: 12.1., 12.2.). Wstępem do zadania jest część artykułu popularnonaukowego dotyczącego procesów jakie zachodziły w złożach uranu znajdujących się w Oklo w Gabonie. Po lekturze wstępu i na podstawie własnej wiedzy, w zadaniu 12.1. zdający miał ocenić prawdziwość zdań:

1.	Suma mas wszystkich produktów rozszczepienia jądra ^{235}U jest większa od sumy mas jądra ^{235}U i neutronu inicjującego reakcję rozszczepienia.	**P**	**F**
2.	Intensywne rozgrzewanie się opisanego złoża uranu jest spowodowane rozszczepieniem jąder atomowych.	**P**	**F**
3.	W reaktorze jądrowym moderator służy do spowalniania neutronów powodujących dalsze rozszczepienia.	**P**	**F**
4.	Gdy w opisanym złożu uranu woda wyparowywała, to liczba jąder uranu, które ulegały rozszczepieniu w jednostce czasu, znacząco malała.	**P**	**F**

Spośród zdań 12.1.1–12.1.4. **zadania 12.1.**, pierwsze wymagało od zdającego użycia własnej wiedzy, a pozostałe dodatkowo wymagały przeanalizowania treści artykułu. Do oceny zdania 12.1.1. należało zastosować zasadę zachowania energii całkowitej (kinetycznej i spoczynkowej) przed i po reakcji jądrowej, łącznie z zastosowaniem einsteinowskiej równoważności masy i energii spoczynkowej. Wystarczyło przeprowadzić proste rozumowanie uwzględniające fakt, że reakcja rozszczepienia uranu jest egzoenergetyczna:

$$E_{kin\,substr} + m_{substr}c^2 = E_{kin\,prod} + m_{prod}c^2 \quad \text{oraz} \quad E_{kin\,substr} < E_{kin\,prod} \quad \Longrightarrow$$

$$m_{substr} > m_{prod}$$

Najwięcej błędnych odpowiedzi odnotowano właśnie w ocenie zdania 12.1.1. To oznacza, że większość maturzystów albo nie potrafiła przeprowadzić poprawnego bilansu energii całkowitej przed i po reakcji jądrowej, albo nie wiedziała, że taki bilans należy przeprowadzić. Błędne określanie relacji między masami produktów i substratów w zadaniach z egzoenergetycznym rozszczepianiem na części jąder atomowych jest dosyć powszechne, i często wynika z zastosowania nieprzemyślanej analogii do pojęcia deficytu masy jądra atomowego. Rozbicie jądra atomowego na poszczególne nukleony wymaga dostarczenia energii, zatem suma mas poszczególnych nukleonów jest większa od masy jądra przed rozbiciem. Natomiast jeśli w wyniku reakcji jądrowej wydziela się energia, to znaczy, że masa substratów jest większa od masy produktów.

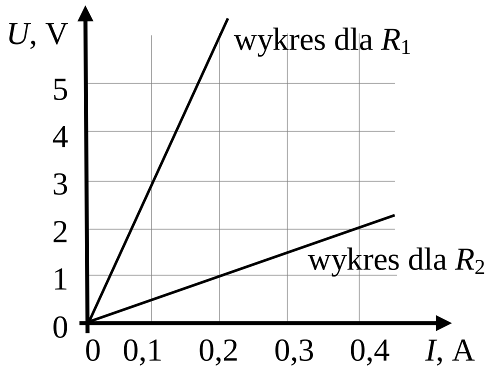
Ocena prawdziwości zdania 12.1.2. wymagała jedynie uważnego przeczytania artykułu oraz elementarnej wiedzy na temat bilansu energii w reakcjach jądrowych. Ostatnie dwa zdania dotyczyły roli moderatora w reakcjach jądrowych i nawiązywały wprost do artykułu.

Uzupełnienie zapisanych w **zadaniu 12.2.** reakcji jądrowych wymagało od zdających zastosowania zasady zachowania liczby nukleonów, zasady zachowania ładunku, a także umiejętności korzystania z tablicy Mendelejewa.

W zadaniu 12.3. należało skorzystać z informacji zawartych we wstępie do zadania i wymienić dwa fakty, na podstawie których stwierdzono, że w okolicach Oklo w Gabonie działał naturalny reaktor jądrowy. Konieczne było tutaj odwołanie się do faktów wymienionych w artykule, związanych z charakterystyczną zawartością pozostałych w złożu substratów reakcji rozszczepienia uranu oraz produktów rozszczepienia uranu. Błędy, jakie zdający popełniali w tym zadaniu polegały najczęściej na podaniu tylko jednego argumentu lub dwóch z jednym błędnym – np. *obecność wód gruntowych*.

Stosunkowo wysoki poziom wykonania zadania 12. wskazuje na dostatecznie wykształconą wśród zdających umiejętność czytania tekstów popularnonaukowych ze zrozumieniem, połączoną z zastosowaniem podstawowej wiedzy z fizyki jądrowej.

Zadanie 11.2. okazało się dla zdających stosunkowo prostym (poziom wykonania 61%). Zdający mieli wykazać się umiejętnością interpretowania wyników doświadczenia zaprezentowanych w postaci danych na wykresie. Zadanie dotyczyło dwóch oporników połączonych szeregowo i podłączonych do zasilacza, który dawał możliwość zmiany przyłożonego do nich napięcia. Udzielenie odpowiedzi do zadania wymagało analizy wykresu $U(I)$ wykonanego dla każdego opornika osobno. Jest to zadanie zamknięte typu prawda/fałsz za rozwiązanie którego maturzysta mógł uzyskać 2 punkty. Aby poprawnie rozwiązać zadanie zdający musiał ocenić prawdziwość zdań.



1.	Opornik R_1 ma większy opór niż opornik R_2.	**P**	**F**
2.	Przez opornik R_1 płynie prąd o mniejszym natężeniu niż przez opornik R_2, przy każdym (różnym od zera) napięciu zasilacza.	**P**	**F**
3.	Na oporniku R_1 wydzielana jest mniejsza moc niż na oporniku R_2, przy każdym (różnym od zera) napięciu zasilacza.	**P**	**F**
4.	Gdy przez obwód płynie prąd o natężeniu 0,1 A, to napięcie zasilacza wynosi około 3,5 V.	**P**	**F**

Ocena prawdziwości zdania 11.2.1. wymagała jedynie zastosowania definicji oporu (lub w tym przypadku prawa Ohma): $R = U/I$ oraz spostrzeżenia, że stosunek U/I jest większy na wykresie dla opornika R_1. W celu oceny prawdziwości zdania 11.2.2. wystarczyło znać elementarny fakt, że natężenie prądu płynącego przez elementy obwodu połączone szeregowo jest takie samo. W ocenie prawdziwości zdania 11.2.3. należało już powiązać dwie rzeczy: wzór na moc wydzielaną na oporniku $P = UI$ oraz ponownie fakt, że natężenie prądu płynącego przez oporniki połączone szeregowo jest takie samo. W takiej sytuacji, skoro $U_1 > U_2$ dla każdego niezerowego I, to moc wydzielana na R_1 jest większa. Żeby prawidłowo ocenić zdanie 11.2.4. należało zastosować II prawo Kirchhoffa dla obwodów elektrycznych i zgodnie z nim dodać spadki napięć na obu opornikach dla prądu o natężeniu 0,1 A.

2. Problem „pod lupą”

Przetwarzanie oraz analiza wyników doświadczenia

Temat zagadnienia „pod lupą” nawiązuje do piątego celu kształcenia zapisanego w *Podstawie programowej przedmiotu fizyka* w wymaganiach ogólnych IV etapu edukacyjnego: *Planowanie i wykonywanie prostych doświadczeń i analiza ich wyników.*

Przeprowadzanie doświadczeń fizycznych oraz analiza ich wyników pozwala uczniom na lepsze zrozumienie przebiegu zjawisk, uczy wnioskowania o zależnościach pomiędzy wielkościami fizycznymi w zjawisku, umożliwia testowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk, a także pozwala na stawianie i weryfikowanie hipotez. Niezależnie od tego doświadczenia fizyczne przeprowadza się także w celu wyznaczenia jakiejś wielkości fizycznej przy wykorzystaniu modelu zjawiska.

Jak wspominaliśmy w poprzedniej części tego opracowania (**1. Analiza jakościowa zadań**), w tej części komentarza przeprowadzimy dokładną analizę zadań 6.1. i 6.2. Każde z tych zadań składa się z trzech podpunktów. Polecenia a)–c) zadania 6.1. dotyczyły przetwarzania wyników doświadczenia podanych w postaci punktów pomiarowych naniesionych na diagram współrzędnych. W zadaniu 6.1. należało dopasować prostą do punktów pomiarowych, zinterpretować punkt przecięcia prostej z osią wartości i wyznaczyć jej współczynnik kierunkowy. W poleceniach a)–c) zadania 6.2. maturzyści mieli otrzymać postać zależności liniowej z modelu zjawiska, przyrównać ją do zależności otrzymanej w doświadczeniu i na tej podstawie obliczyć żądaną w zadaniu wielkość fizyczną.

Przypomnijmy, że poziom wykonania zadania 6.1. dla całej populacji zdających wynosi 61%, w związku z czym jest to jedno z czterech najłatwiejszych zadań w arkuszu (zajmuje ono 24. miejsce pod względem trudności). Z kolei w zbiorze wyników osób, które za cały arkusz osiągnęły wynik 75%–100%, poziom wykonania zadania 6.1. wynosi 90%. To oznacza, że zadanie dla osób z takimi wynikami jest bardzo łatwe. Natomiast w tej części populacji, która uzyskała najniższe wyniki za cały arkusz (0%–25%) zadanie 6.1. uzyskało poziom wykonania równy 30%. Poziom wykonania zadania równy 30% w grupie osób, które za cały arkusz zdobyły średnio od 0% do 25%, pozycjonuje to zadanie jako 18. pod względem trudności w tejże grupie osób. Przypomnijmy dla porządku, że poziom wykonania zadania 6.2. dla całej populacji zdających wynosi 29%. Dla grupy zdających, którzy uzyskali najniższe wyniki (od 0% do 25%) za cały arkusz, poziom wykonania zadania 6.2. wynosi ok. 1%, natomiast poziom wykonania zadania w grupie zdających mających najwyższe wyniki (od 75% do 100%) wyniósł 88%.

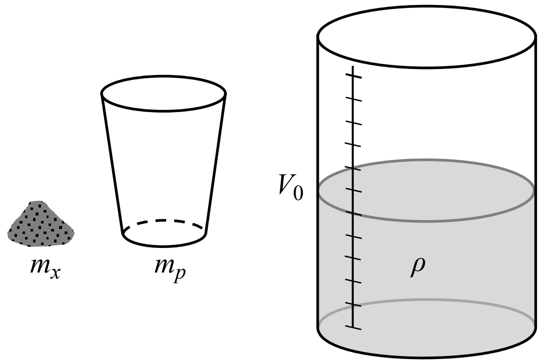
Z przedstawionej analizy wynika, że podstawowe elementy przetwarzania wyników doświadczenia (dopasowanie prostej z uwzględnieniem niepewności, wyznaczanie parametrów prostej) są dla zdających stosunkowo łatwym zadaniem, natomiast budowanie modelu zjawiska wciąż jest dla zdających zadaniem trudnym. W szczególności okazuje się to „zaporowo” trudne (poziom wykonania 1%) w grupie osób z najniższymi wynikami (tzn. 0%–25% za cały arkusz).

Poniżej podamy treść obu zadań, przedstawimy poprawne rozwiązanie, oraz przeanalizujemy szczegółowo wybrane rozwiązania zdających. Wskażemy istotne trudności zadania oraz pokażemy najczęściej popełniane przez zdających błędy.

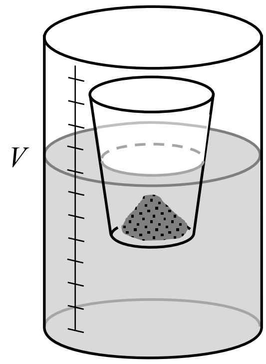
Zadanie 6.

Uczniowie zamierzali wyznaczyć gęstość ρ pewnej cieczy. Mieli do dyspozycji piasek, szklane naczynie ze skalą objętości, mniejszy pojemnik (zobacz rys. 1.) oraz wagę. Masę mniejszego pustego pojemnika oznaczymy jako m_p. Do szklanego naczynia uczniowie wlali badaną ciecz o objętości V_0, a do pojemnika wsypali porcję piasku. Następnie pojemnik umieścili w naczyniu z cieczą tak, aby pływał (zobacz rys. 2.). W kolejnych etapach doświadczenia uczniowie dosypywali do pojemnika piasek, a pojemnik wciąż pływał. Całkowita masa piasku m_x w pojemniku była znana, ponieważ uczniowie za każdym razem ważyli porcję dosypywanego piasku. Po dosypaniu piasku uczniowie odczytywali na skali objętość V, jaką zajmuje ciecz razem z zanurzoną częścią pojemnika z piaskiem. Objętość V_z zanurzonej części mniejszego pojemnika uczniowie wyznaczali po odjęciu objętości cieczy V_0 od objętości V.

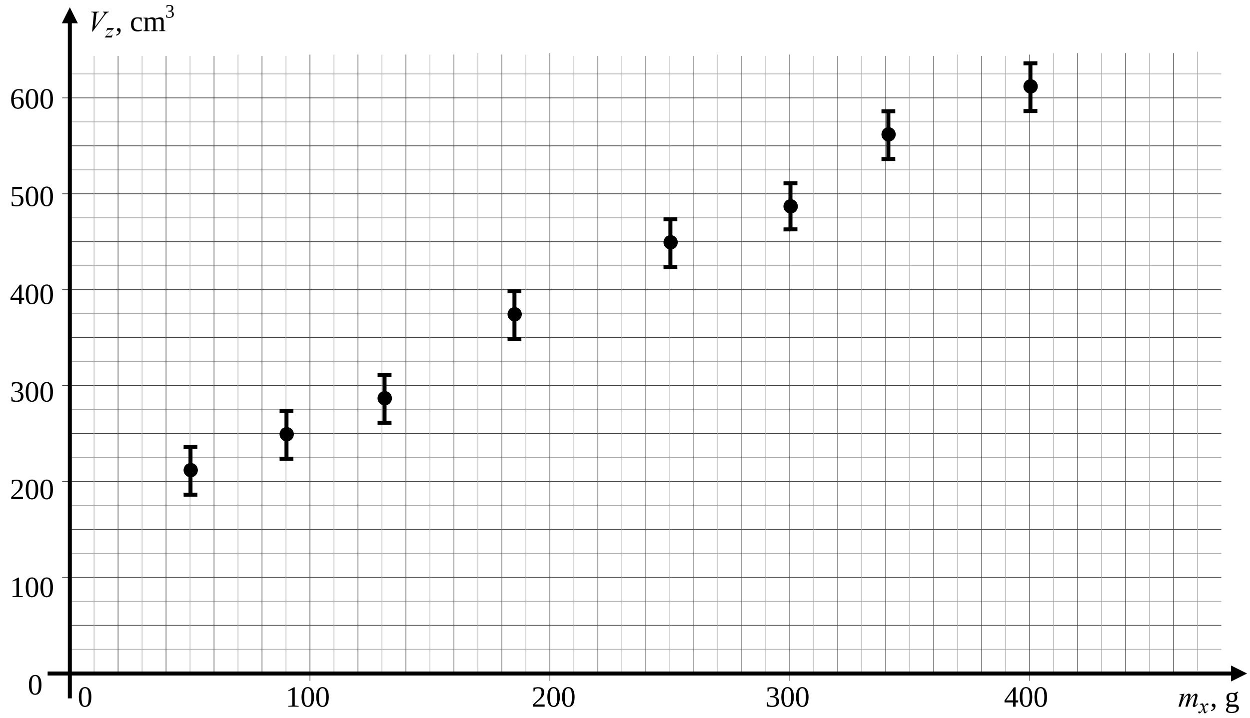
Rysunek 1.



Rysunek 2.



Wyniki pomiarów przeprowadzonych podczas doświadczenia przedstawiono na poniższym wykresie. Zaznaczono punkty pomiarowe (m_x, V_z) oraz niepewności ΔV_z. Pomiary masy piasku m_x przyjęto za dokładne.



Uczniowie uznali, że zależność między objętością V_z zanurzonej części pojemnika z piaskiem a masą piasku m_x w tym pojemniku jest liniowa, czyli że opisuje ją wyrażenie:

$V_z = Am_x + B$ dla pewnych współczynników A i B

Zadanie 6.1. (0–3)

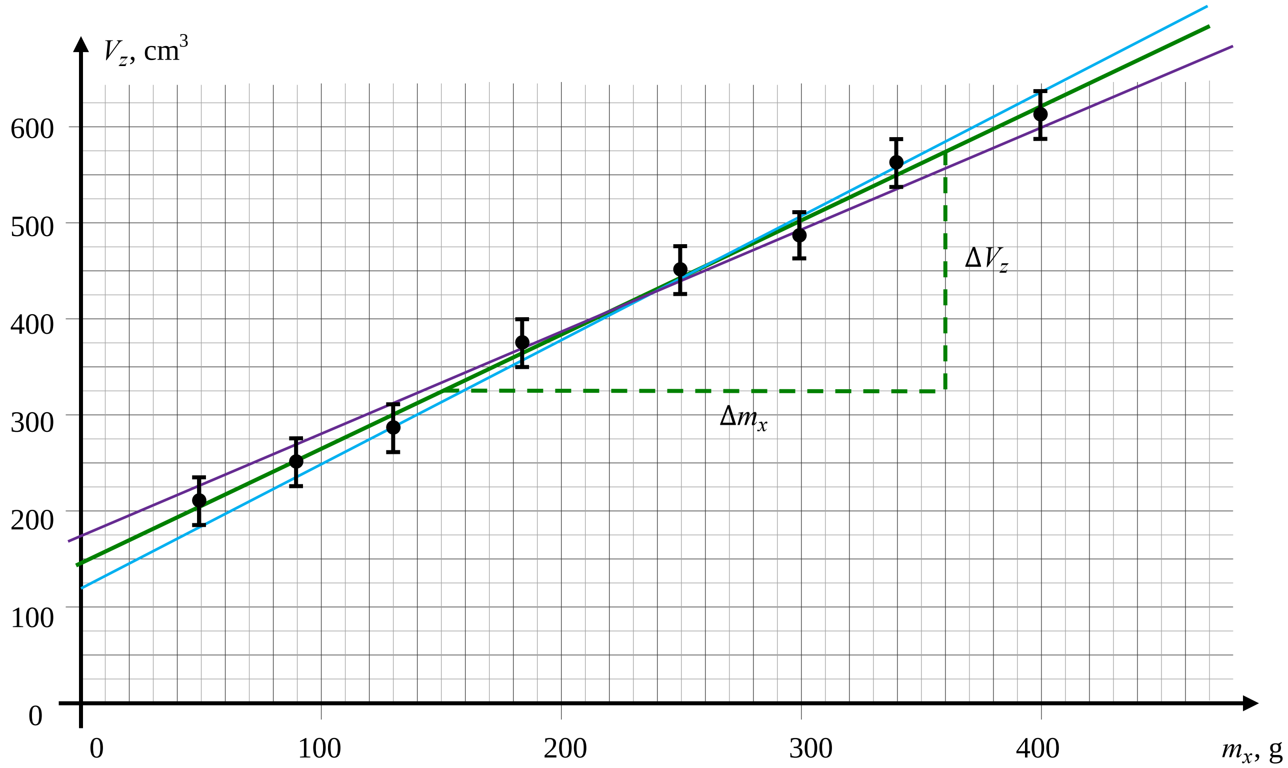
a) Na wykresie zamieszczonym w opisie zadania 6. narysuj prostą najlepiej dopasowaną do danych eksperymentalnych przedstawionych na tym wykresie.

b) Na podstawie wykresu prostej wyznacz objętość zanurzonej części pojemnika, gdyby pływał i nie było w nim piasku.

c) Na podstawie danych odczytanych z wykresu prostej oblicz współczynnik *A*.

Omówienie zadania 6.1.a)

Prosta najlepiej dopasowana do danych powinna przebiegać możliwie blisko punktów pomiarowych oraz powinna przecinać pionowe odcinki niepewności (niepewności pomiaru objętości) punktów pomiarowych. Na rysunku poniżej zielonym kolorem oznaczono prostą dopasowaną w optymalny sposób. Oprócz tego, liniami niebieską i fioletową narysowano dwie inne proste – o największym i najmniejszym współczynniku kierunkowym A – dopasowane w sposób akceptowalny.



Zdający zazwyczaj prawidłowo rozwiązywali tę część zadania 6.1. Bardzo rzadko, ale nadal spotyka się błędne rozwiązania, w których zdający rysują linie łamaną łączącą punkty pomiarowe.

Omówienie zadania 6.1.b)

Objętość zanurzonej części pustego pojemnika (czyli wartość V_z dla $m_x = 0$) można było wyznaczyć poprzez odczytanie przybliżonej wartości miejsca przecięcia wykresu prostej z osią rzędnych V_z:

$$V_z(0) \approx 150 \text{ cm}^3$$

Wynik powinien zawierać się – zgodnie z wykresami prostych dopasowanych w sposób akceptowalny – od ok. 115 cm^3 do ok. 175 cm^3. Ponadto wynik powinien być konsekwentnie zgodny ze współrzędną punktu przecięcia narysowanej prostej z osią rzędnych (z dokładnością do najmniejszej podziałki – ok. 25 cm^3). Zasadniczą trudnością zadania było powiązanie wielkości fizycznej, którą jest tutaj objętość zanurzonej części pustego pojemnika, ze współrzędną punktu przecięcia prostej z osią wartości. Nieprawidłowe rozwiązania tej części zadania, pośród osób, które podjęły rozwiązanie, wiązały się najczęściej z brakiem jednostki w wyniku końcowym albo z błędnym przeliczeniem jednostek.

Omówienie zadania 6.1.c)

W celu wyznaczenia współczynnika kierunkowego prostej $V_z = Am_x + B$ należało po pierwsze wybrać jakieś dwa punkty należące do prostej. Podkreślamy, że powinny to być dwa punkty z dopasowanej prostej, a nie punkty pomiarowe (chyba, że punkt pomiarowy leży właśnie na dopasowanej prostej). Oprócz tego, dwa punkty z prostej powinno wybrać się tak, aby jak najdokładniej można było odczytać ich współrzędne, oraz żeby leżały możliwie daleko od siebie. Wtedy niedokładność odczytu współrzędnych ma mniejsze wpływ na wynik. Z wybranych punktów prostej: (m_{x1}, V_{z1}) oraz (m_{x2}, V_{z2}) należało określić przyrost ΔV_z oraz odpowiadający temu przyrost Δm_x (albo odwrotnie). Następnie można było obliczyć wartość współczynnika A z ilorazu różnicowego $\Delta V_z / \Delta m_x$. Przyrosty współrzędnych odpowiadające wybranym przez nas punktom oznaczyliśmy na wykresie zieloną przerywaną linią. Wartość współczynnika kierunkowego wynosi (dla prostej oznaczonej kolorem zielonym):

$$A = \frac{\Delta V_z}{\Delta m_x} = \frac{575\ \mathrm{cm^3} - 325\ \mathrm{cm^3}}{360\ \mathrm{g} - 150\ \mathrm{g}} \approx 1{,}19\ \frac{\mathrm{cm^3}}{\mathrm{g}} \approx 1{,}2\ \frac{\mathrm{cm^3}}{\mathrm{g}}$$

Wynik powinien zawierać się w przedziale od ok. 1,05 $\mathrm{cm^3/g}$ do 1,3 $\mathrm{cm^3/g}$. Inna metodą rozwiązania zadań b) oraz c) jednocześnie, mogło być rozwiązanie układu równań, po podstawieniu współrzędnych wybranych punktów prostej do równania prostej.

Istotną trudnością zadania 6.1.c) było dla zdających poprawne wybranie dwóch punktów leżących na prostej oraz prawidłowe odczytanie ich współrzędnych. W rozwiązaniu zadania 6.1.c) odnotowano szereg typowych błędów popełnianych przez zdających lub nieporadności w matematycznym zapisie rozwiązania. Poniżej wypiszemy najważniejsze z nich (z pominięciem błędów rachunkowych):

1. Do obliczenia współczynnika A zdający często wybierali punkty pomiarowe zamiast punktów należących do dopasowanej prostej. To niepoprawna metoda, w wyniku której można otrzymać wartości współczynnika A mocno odbiegające od dopuszczalnego zakresu wartości (np. przy wyborze par punktów pomiarowych 3. i 4. lub np. 5. i 6. – licząc od lewej). Do obliczenia A należy zawsze wybierać punkty leżące na prostej.
2. Zdający często bardzo niedokładnie odczytywali współrzędne wybranych punktów. Podziałka i siatka współrzędnych na diagramie była na tyle duża i wyraźna, aby można było oszacować współrzędne punktów prostej z dokładnością co najmniej do połowy podziałki, a nawet z dokładnością do ¼ podziałki.
3. Zdający często korzystali z nieprawidłowego w tym przypadku (dla tak wyskalowanego układu współrzędnych jaki był zamieszczony w zadaniu) wzoru: $A = \operatorname{tg}\alpha$. Współczynnik A maturzyści powinni obliczać z ilorazu różnicowego:

   $$A = \frac{\Delta V_z}{\Delta m_x}$$

   Wzór na współczynnik kierunkowy prostej $A = \operatorname{tg}\alpha$ ma zastosowanie tylko wtedy, gdy jednostkom na osi poziomej i pionowej odpowiadają odcinki o tych samych długościach. Układ współrzędnych w zadaniu 6. jest jednak wyskalowany inaczej – odcinek odpowiadający jednostce poziomej jest 5/2 razy dłuży od odcinka odpowiadającego jednostce pionowej (zobacz odcinki odpowiadające 100 jednostkom). W związku z tym, aby skorzystać ze wzoru z tangensem, należałoby uwzględnić różne skalowanie jednostek na osiach:

   $$A = \operatorname{tg}\alpha \cdot \frac{5\ \mathrm{cm^3}}{2\ \mathrm{g}}$$

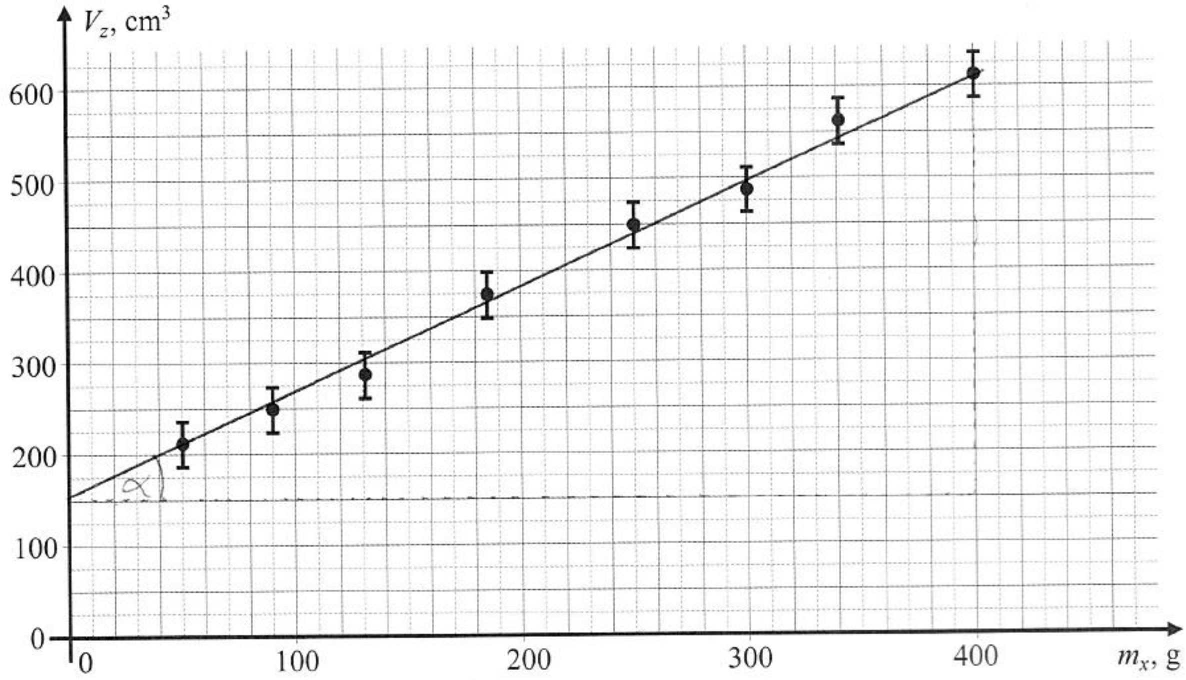
   Ponieważ pamiętanie o skalowaniu wzoru z tangensem może być kłopotliwe, dlatego rekomenduje się używać niezależnego od skalowania osi wzoru z ilorazem różnicowym.

   Uwaga! Kąt odpowiadający współczynnikowi kierunkowemu $A = 1{,}2\ \mathrm{cm^3/g}$ *dla prostej narysowanej w u kładzie współrzędnych z tak samo wyskalowanymi osiami wynosiłby ok.* 50º, *natomiast kąt nachylenia prostej na rysunku wynosi ok.* 26º.
4. Zdający zapominali o zapisaniu jednostki w wyniku końcowym. Takie rozwiązanie nie może być uznawane, ponieważ wartość liczbowa wielkości fizycznej zależy od wyrażającej ją jednostki.

Przykłady rozwiązań zdających

Przykład 1.

W prezentowanym przykładzie rozwiązania zdający popełnia błąd w wyznaczeniu współczynnika kierunkowego prostej, opisany w punkcie 3. oraz w punkcie 4. Maturzysta zamiast obliczyć iloraz różnicy odpowiednich wartości do różnicy argumentów funkcji liniowej, oblicza stosunek euklidesowych długości przyprostokątnych oznaczających przyrosty wartości i argumentów. Zdający nie bierze pod uwagę, że jednostkom na osiach odpowiadają odcinki o różnych długościach, tylko zlicza ilość kratek w pionie (18,5) oraz w poziomie (40) i na tej podstawie oblicza stosunek długości odcinków.



c) Na podstawie danych odczytanych z wykresu prostej oblicz współczynnik A.

$A = \text{tg}\,\alpha$

$A = \text{tg}\,\alpha \approx \frac{18{,}5}{40} = 0{,}4625$

Zdający w powyższym rozwiązaniu popełnia dwa błędy:

– nie uwzględnia różnego wyskalowania jednostek na osi pionowej i poziomej;

– nie podaje jednostki w wyniku.

Gdyby zdający uniknął dwóch powyższych błędów, wynik mógłby być prawidłowy. Prawidłowo kontynuowane rozwiązanie rozpoczęte metodą zdającego mogłoby wyglądać:

$$A = \text{tg}\,\alpha \cdot \frac{5\ \text{cm}^3}{2\ \text{g}} = \frac{18{,}5}{40} \cdot \frac{5\ \text{cm}^3}{2\ \text{g}} \approx 1{,}16\ \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \approx 1{,}2\ \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$$

Przykład 2.

W poniższym przykładzie zamieszczono tylko obliczenia, natomiast nie zamieszczono wykresu.

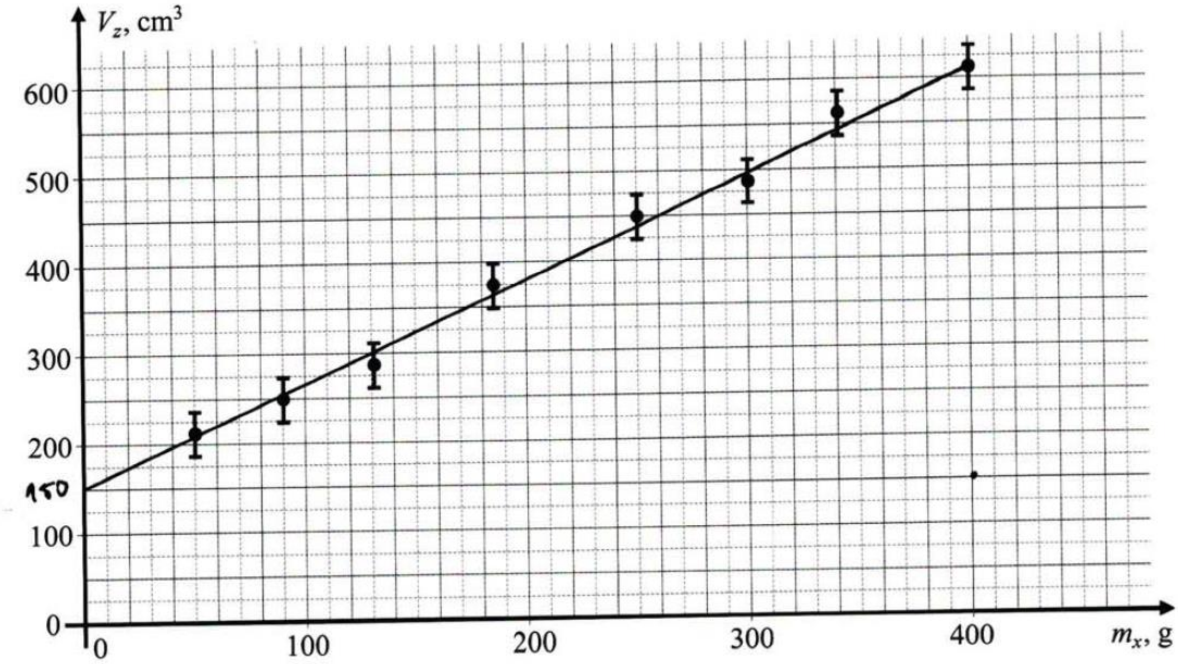
c) Na podstawie danych odczytanych z wykresu prostej oblicz współczynnik A**.**

$tg\alpha = \frac{612,5 - 212,5}{400 - 50} = 1,14 \quad A = 1,14 \frac{cm^3}{g}$ 1

W przykładzie 2. rozwiązania zdający prawidłowo wybrał punkty prostej, prawidłowo odczytał ich współrzędne oraz otrzymał prawidłowy wynik wraz jednostką. Jednak matematyczny zapis rozwiązania jest nieporadny i niekonsekwentny. Zdający zapisuje, że oblicza współczynnik A ze wzoru na $\mathrm{tg}\,\alpha$, podczas, gdy tak naprawdę oblicza on dalej nie tangens kąta nachylenia prostej na wykresie, tylko iloraz różnicowy $\Delta V_z/\Delta m_x$ (zdający np. nie wyjaśnia, że chodzi o tangens kąta nachylenia prostej na innym, przeskalowanym wykresie). W związku z tym, sam zapis $A = \mathrm{tg}\,\alpha$ nie dyskwalifikuje rozwiązania – ważne jest jak zdający dalej liczy: w przykładzie 1. obliczenie jest błędne, natomiast w przykładzie 2. – prawidłowe.

Przykład 3.

W przedstawionym przykładzie zdający popełnia błąd opisany w punkcie 2. oraz 4. Maturzysta błędnie odczytuje współrzędne jednego z punktów prostej, a w dodatku nie uwzględnia jednostki w wyniku. W podpunkcie b) natomiast zdający błędnie przeliczył jednostki.



b) Na podstawie wykresu prostej wyznacz objętość zanurzonej części pojemnika, gdyby pływał i nie było w nim piasku.

Gdyby w pojemniku nie było piasku ($m_x = 0$), to objętość zanurzonej części wynosiłaby około 150 cm³

(~~$V_z = 150\ cm^3$~~ $V_z = 150\ cm^3 = 1,5 \cdot 10^{-8}\ m^3$

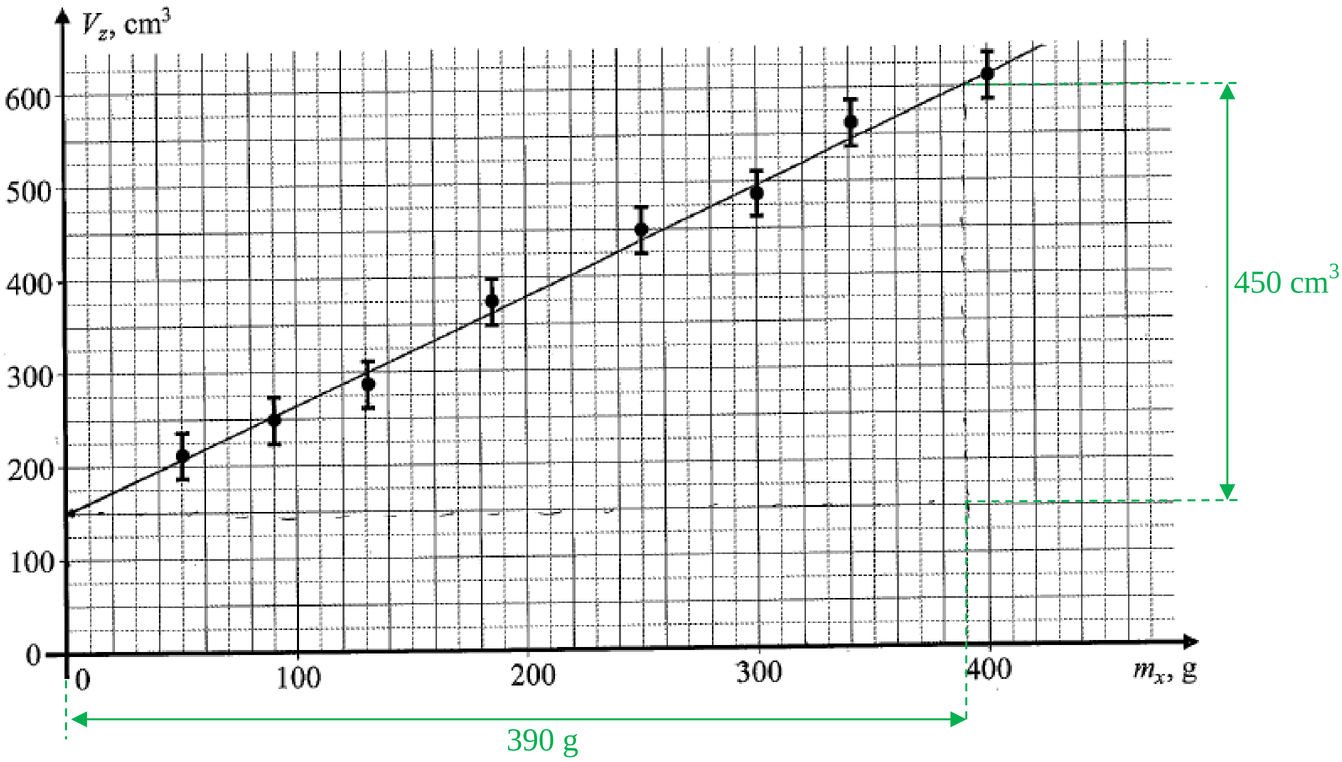
c) Na podstawie danych odczytanych z wykresu prostej oblicz współczynnik A**.**

$B = (0, 200) \quad C = (390, 600)$

$A = \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} = \frac{600 - 200}{390 - 0} = \frac{400}{390} = \frac{40}{39} \approx 1,03$

Współrzędne punktu B w powyższym rozwiązaniu zostały źle określone (abstrahując od tego, że nie zapisano jednostek). Punkt (0 g; 200 cm^3) nie należy do prostej i nie można uznać tego za błąd odczytu współrzędnej (niedokładność przekracza dwie podziałki). Za punkt należący do prostej można byłoby uznać B = (0 g; 150 cm^3) lub B = (40 g; 200 cm^3). W wyniku popełnionego błędu maturzysta otrzymał wynik nie mieszczący się w dopuszczalnym zakresie wartości współczynnika *A*.

<u>Przykład 4.</u>



c) Na podstawie danych odczytanych z wykresu prostej oblicz współczynnik *A*.

$$A = \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{550}{390} \approx 1{,}41$$

W przedstawionym przykładzie zdający zapisuje $A = \mathrm{tg}\,\alpha$, chociaż dalej kontynuuje rachunek – tak jak być powinno – z ilorazu różnicowego. Maturzysta błędnie obliczył przyrost wartości dla zadanego przyrostu argumentów, w związku z czym otrzymał błędny wynik liczbowy. Niezależnie od tego wynik nie mógłby być uznany, ponieważ nie został podany z jednostkami.

Kolejne zadanie z tej wiązki dotyczy analizy modelu zjawiska w kontekście wyników doświadczenia. Zadanie 6.2. jest zadaniem dosyć złożonym, dlatego w celu wyodrębnienia umiejętności zdających zostało podzielone na podpunkty. Wyniki rozwiązań tego zadania opisaliśmy na początku sekcji.

Zadanie 6.2. (0–5)

a) Zapisz warunek równowagi sił działających na pływający pojemnik z piaskiem i wyraź zapisany warunek za pomocą wielkości wymienionych w treści zadania 6.

b) Wyprowadź dwa wzory: wzór przedstawiający zależność współczynnika A **od gęstości cieczy** ρ **oraz wzór przedstawiający zależność współczynnika** B **od gęstości cieczy** ρ **i masy pustego pojemnika** m_p.

c) Oblicz gęstość cieczy ρ**. Przyjmij, że współczynnik** A **wynosi** 1,2 cm^3/g.

Omówienie zadania 6.2.a)

Ta część zadania sprawdzała umiejętność zastosowania I zasady dynamiki i prawa Archimedesa. Należało zapisać warunek równowagi sił: siły wyporu $\vec{F}_A$, ciężaru pustego pojemnika $\vec{Q}_p$ oraz ciężaru piasku $\vec{Q}_x$ łącznie uwzględnieniem wzorów na te siły. Warunek równowagi sił można było zapisać wektorowo lub skalarnie:

$$-\vec{F}_A = \vec{Q}_x + \vec{Q}_p \qquad \text{lub} \qquad F_A = Q_x + Q_p$$

Następnie, do tak wyrażonego warunku równowagi sił trzeba było podstawić wzory na siłę wyporu oraz ciężar. Otrzymane równanie można było pozostawić lub zapisać w prostszej postaci.

$$V_z\rho g = m_x g + m_p g \qquad \rightarrow \qquad V_z\rho = m_x + m_p$$

Zasadniczą trudnością zadania był poprawny zapis warunku równowagi sił. Szczególnie częste pomyłki zdarzały się zdającym przy okazji próby wektorowego zapisu równowagi sił. Często wektorowy zapis nie odzwierciedlał tego, że siła wyporu ma być przeciwne skierowana do ciężaru pojemnika z piaskiem. Inne błędy wiązały się najczęściej z nieprawidłowym zastosowaniem wzoru na siłę wyporu albo ciężar.

Omówienie zadania 6.2.b)

Zadanie to jest kluczowe w całej wiązce zadań, ponieważ łączy ze sobą teorię z doświadczeniem. W celu rozwiązania zadania należało zestawić zależność liniową $V_z(m_x)$ uzyskaną w doświadczeniu z zależnością $V_z(m_x)$ uzyskaną na podstawie modelu zjawiska:

$$V_z = Am_x + B \ \ \text{(doświadczenie)} \qquad\qquad V_z = \frac{1}{\rho}m_x + \frac{m_p}{\rho} \ \ \text{(model zjawiska)}$$

Wymagane w poleceniu wzory najłatwiej można było uzyskać identyfikując odpowiednie współczynniki w równaniu prostej doświadczalnej z odpowiednimi wyrażeniami we wzorze wynikającym z modelu:

$$A = \frac{1}{\rho}, \qquad B = \frac{m_p}{\rho}$$

Pierwszą zasadnicza trudnością zadania 6.2.b) <u>było zestawienie równania uzyskanego w doświadczeniu z równaniem otrzymanym na podstawie modelu zjawiska</u>. Kolejne trudności wiązały się z wyprowadzeniem wzorów na A i B. Wielu zdających, zamiast po prostu zidentyfikować współczynniki na podstawie postaci równań, wyprowadzało wzory drogą okrężną, wykonując niepotrzebne i całkowicie zbędne przekształcenia. Niepotrzebne przekształcenia algebraiczne wiązały się z tym, że zdający nie wpadali na prosty pomysł porównania ze sobą wyrażeń algebraicznych lub nie dostrzegali funkcji liniowej w zależności $V_z = (m_x + m_p)/\rho$ (w tym równaniu wystarczyło zastosować własność rozdzielności dzielenia względem dodawania umożliwiającą dostrzeżenie postaci $V_z = Am_x + B$). Odnotujmy, że opisane problemy mieli maturzyści uzyskujący wysokie wyniki.

Uwaga! Oprócz tego, częstym błędem było zapisywania współczynnika A jako stosunku V_z/m_x. Błąd tego rodzaju wynika z tego – o czym pisaliśmy w sprawozdaniach z lat ubiegłych – że uczniowie często nie rozróżniają stosunku wielkości od stosunku przyrostów wielkości.

Omówienie zadania 6.2.c)

W celu rozwiązania zadania należało przyrównać podaną wartość liczbową współczynnika A do wyprowadzonej zależności:

$$A = \frac{1}{\rho} \quad \text{oraz} \quad A = 1{,}2\ \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \quad \rightarrow \quad 1{,}2\ \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} = \frac{1}{\rho} \quad \rightarrow \quad \rho \approx 0{,}83\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 830\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Brak wyprowadzonej zależności $A(\rho)$ uniemożliwiał rozwiązanie tej części zadania.

Przykłady rozwiązań zdających

Przykład 5.

a) Zapisz warunek równowagi sił działających na pływający pojemnik z piaskiem i wyraź zapisany warunek za pomocą wielkości wymienionych w treści zadania 6.

$\vec{F_C} = \vec{F_A}$ *Powinno być $\vec{F}_C = -\vec{F}_A$*

$g(m_p + m_x) = V_z \cdot \rho(ro) \cdot g$

b) Wyprowadź dwa wzory: wzór przedstawiający zależność współczynnika A od gęstości cieczy ρ oraz wzór przedstawiający zależność współczynnika B od gęstości cieczy ρ i masy pustego pojemnika m_p.

$g(m_p + m_x) = (A \cdot m_x + B)\rho(ro)\, g$

$\underbrace{m_p}_{L_1} + \underbrace{m_x}_{L_2} = \underbrace{A m_x \rho(ro)}_{P_1} + \underbrace{B\rho(ro)}_{P_2}$

$m_x - A m_x \rho(ro) = B\rho(ro) - m_p$

$m_x(1 - A\rho(ro)) = B\rho(ro - m_p$

$B =$ $A = \frac{V_z}{m_x}$

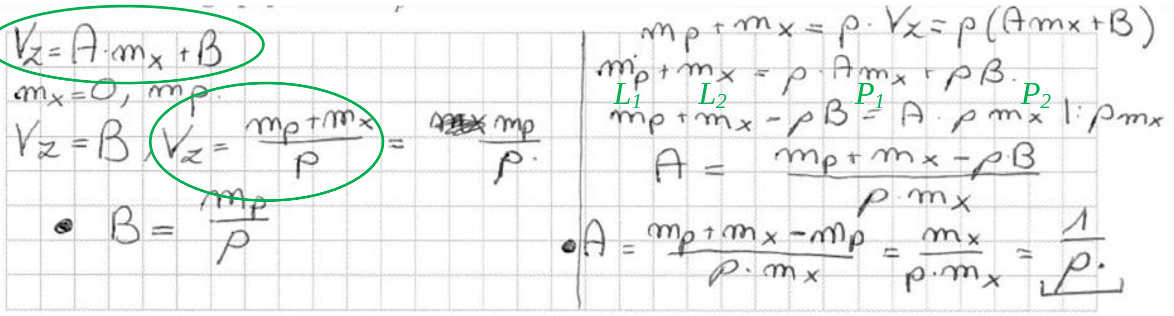
W celu wyznaczenia A i B wystarczyło przyrównać $L_2 = P_1$ oraz $L_1 = P_2$

Błąd polegający na pomyleniu stosunku przyrostów wielkości ze stosunkiem wartości wielkości. A jest stosunkiem przyrostów wielkości.

Zdający oznacza siłę ciężkości jako $\vec{F}_C$, siłę wyporu (Archimedesa) jako $\vec{F}_A$, następnie zapisuje warunek równowagi sił w postaci wektorowej. W zapisie warunku równowagi sił zdający popełnia błąd – przyrównał on do siebie wektory sił, co oznaczałoby, że siły mają te same zwroty. Siły ciężkości i wyporu równoważą się, tzn. mają równe wartości i przeciwne zwroty, co oznacza, że zapisujemy: $\vec{F}_C = -\vec{F}_A$. Dalej zdający poprawnie wyraził warunek równowagi sił za pomocą wielkości wymienionych w treści zadania. W zapisie zdający zastosował niekonwencjonalny zabieg w postaci zapisania w nawiasie transkrypcji symbolu ρ. Punkt b) zadania zdający rozpoczyna rozwiązywać poprawną metodą: stosuje zależność wyznaczoną z modelu zjawiska oraz zależność liniową otrzymaną w doświadczeniu. Dalej maturzysta utknął w przekształceniach, choć wystarczyło porównać ze sobą oznaczone przez nas wyrażenia i zidentyfikować odpowiednie współczynniki. Ponadto błędnie założył, że $A=V_z/m_x$.

W kolejnym przykładzie mamy prawidłowe rozwiązanie punktu b), jednakże sposób uzyskania tego rozwiązania nie jest optymalny.

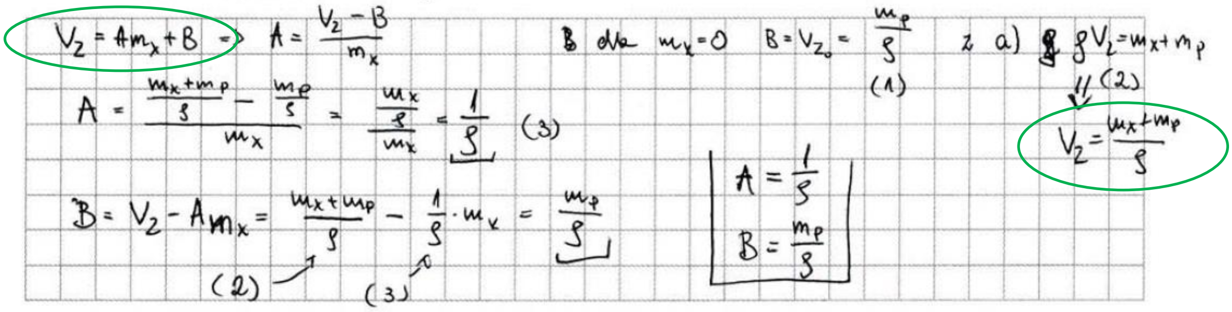
Przykład 6. (do zadania 6.2.b.)



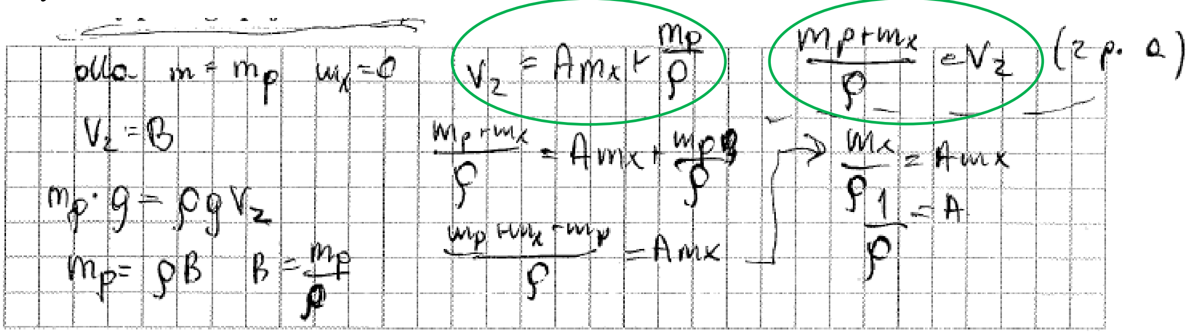
Maturzysta wykonuje niepotrzebne przekształcenia algebraiczne. Wystarczyło tylko przyrównać do siebie wyrażenia po prawej stronie zakreślonych równań, aby natychmiast zidentyfikować współczynniki: $A=1/\rho$ i $B=m_p/\rho$ (albo też przyrównać oznaczone przez nas wyrażenia: $L_2=P_1$) W kolejnych przykładach pokazujemy tę samą nieoptymalną metodę otrzymania prawidłowego rozwiązania – niestety bardzo często stosowaną.

Przykład 7.

b) Wyprowadź dwa wzory: wzór przedstawiający zależność współczynnika *A* od gęstości cieczy ρ oraz wzór przedstawiający zależność współczynnika *B* od gęstości cieczy ρ i masy pustego pojemnika m_p.



Przykład 8.



W obu przykładach rozwiązań przeprowadzono niepotrzebne przekształcenia. Wystarczyło tylko porównać ze sobą wyrażenia w zakreślonych równaniach. Poniżej dla odmiany pokazujemy przykład prawidłowego i najbardziej optymalnego rozwiązania zadania, polegającego na identyfikacji odpowiednich współczynników równania prostej wprost z postaci równania wynikającego z modelu zjawiska.

Przykład 9.

$$F_A = F_c$$

$$g\rho V_z = (m_p + m_x)g$$

$$V_z = \underbrace{\frac{1}{\rho} m_p}_{B} + \underbrace{\frac{1}{\rho}}_{A} m_x$$

$$A = \frac{1}{\rho}$$

$$B = \frac{1}{\rho} m_p$$

Maturzysta sprowadza warunek równowagi sił do równania liniowego względem m_x (w sensie terminologii przyjętej w szkole średniej), a następnie wyodrębnia i identyfikuje współczynnik kierunkowy oraz wyraz wolny równania.

W przykładach rozwiązań 7. i 8. maturzystom udało się „wybrnąć" z tych przekształceń. To były wyjątki. Większość maturzystów nie miała tyle „szczęścia", utknęła w przekształceniach i nie wyznaczyła wzoru na *A*. Mimo wszystko maturzyści stosowali zazwyczaj poprawną metodę, i wielu z nich, chociaż nie wyznaczyło wzoru na *A*, to udało się wyznaczyć wzór na *B*.

Przykład 10.

b) Wyprowadź dwa wzory: wzór przedstawiający zależność współczynnika A od gęstości cieczy ρ oraz wzór przedstawiający zależność współczynnika B od gęstości cieczy ρ i masy pustego pojemnika m_p.

$$V_z = A m_x + B$$

$$\frac{m_p + m_x}{\rho} = A m_x + B$$

$$A = \frac{m_p + m_x}{\rho m_x} - \frac{B}{m_x}$$

$$\frac{m_p}{\rho} = B$$

$$A = \frac{m_p + m_x}{\rho m_x} - \frac{m_p}{m_x \rho}$$

Maturzysta prawidłowo wyznaczył *B*, natomiast nie wyznaczył współczynnika *A*. Oba współczynniki mógł zidentyfikować natychmiast z zakreślonego równania.

Przykład 11.

W tym przykładzie maturzysta popełnia błąd zasadniczy, błędnie identyfikuje że *A* to V_z/m_x.

$$\rho g V_z = g(m_x + m_p)$$

$$\rho = \frac{m_x + m_p}{V_z} = \frac{1}{A} + \frac{m_p}{V_z}$$

$$\rho g V_z = g m_p \quad \text{gdy } m_x = 0$$

$$B = V_z$$

$$\rho B = m_p$$

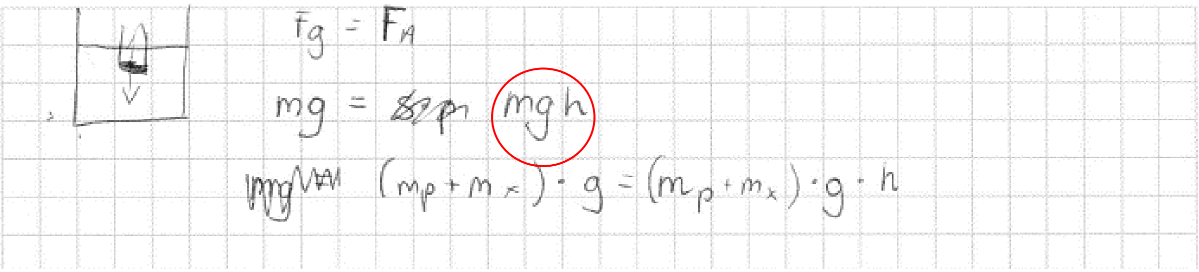
$$\rho = \frac{m_p}{B}$$

Źle, ponieważ A jest stosunkiem przyrostów wielkości.

Zdający popełnia często spotykany błąd, związany z myleniem stosunku wartości wielkości ze stosunkiem przyrostów wielkości. Wzór pozwalający wyznaczyć *B* maturzysta podaje prawidłowy.

Ostatni przykład ilustruje rozwiązanie, w którym zdający popełnia błąd już w zapisie wzorów na ciężar lub siłę wyporu.

Przykład 12.



Maturzysta zapisuje błędny wzór na siłę wyporu.

3. Wnioski i rekomendacje

1. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych zjawisk

Analiza poziomu wykonania zadań w obszarach wymagań ogólnych (str. 10., wykres 2.) oraz analiza rozwiązań zdających poszczególnych zadań wskazują na to, że najwięcej trudności sprawia maturzystom opisana w IV wymaganiu ogólnym: „Budowa prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk”. Niektóre z najtrudniejszych zadań w arkuszu, np. zadania: 9.2., 3.3., 6.2., 4. (i inne), sprawdzały to wymaganie. Maturzyści mieli w wymienionych zadaniach uzyskać formuły pozwalające wyznaczyć określone wielkości fizyczne. W tym celu musieli oni w zjawisku wyodrębnić kilka podstawowych zależności/praw fizycznych, opisać je matematycznymi formułami/wzorami, połączyć ze sobą i doprowadzić do rozwiązania. Ponadto w zadaniu 6.2. należało skonfrontować otrzymaną doświadczalnie zależność liniową z zależnością uzyskaną w modelu zjawiska. Wydaje się, że największym problemem dla zdających było i jest właśnie wyodrębnienie najważniejszych zależności w zjawisku oraz ich matematyczne ujmowanie. Przełożenie zjawiska na model i jego matematyczny opis jest dla wielu zdających zbyt („zaporowo”) trudne, ponieważ łączy w sobie kompetencje myślenia abstrakcyjnego z umiejętnościami matematycznymi. Świadczy o tym wspominany w komentarzu fakt, że poziom wykonania wymienionych zadań, w grupie osób, które za cały arkusz uzyskały wyniki od 0%–25%, wynosi od 0% do 3% (czyli jest bardzo niski nawet w odniesieniu do średnich wyników tej części zdających). W odróżnieniu od tego, poziom wykonania tych zadań w grupie osób, które uzyskały za cały arkusz od 75%–100% wynosi od 84% do 92% (czyli jest na średnim poziomie w odniesieniu do wyników tej części zdających). Opisane kompetencje mocno różnicują populację zdających.

2. Rozwiązywanie zadań złożonych

Kolejnym problemem dla zdających była złożoność zadań. Są to zadania, do których rozwiązania należało użyć co najmniej trzech różnych zależności fizycznych, a ponadto dane w takich zadaniach podane są zazwyczaj w różnorodny sposób: na rysunkach schematycznych, na wykresach, w treści zadania. Zadania złożone obejmują zazwyczaj I, III lub IV wymaganie ogólne. Są to na przykład omówione w komentarzu zadania: 10.3., 9.2., 3.3., 8., 4. Nawet, gdy zdający zapisywali odpowiednie zależności, to niejednokrotnie problemem stawało się ich przekształcenie prowadzące do rozwiązania.

3. Rozumienie fizycznego sensu wzorów

Podstawą każdej umiejętności jest ugruntowana i usystematyzowana wiedza. 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. Problemy te były szczególnie widoczne w zadaniach: 7.3., 7.1., 10.3., 4. lub 5.c). W zadaniu 7.3., zdający często nie potrafili poprawnie zastosować równania soczewki (dostępnego w *Wybranych wzorach […]*) z powodu nieznajomości konwencji znaków uwzględniającej fakty, że soczewka jest rozpraszająca, a obraz pozorny. Podobnie błędne odpowiedzi w zadaniu 7.1. wiązały się najprawdopodobniej z nieprawidłową analizą wzoru soczewkowego (tzw. „wzoru szlifierzy”) na ogniskową (dostępnego w *Wybranych wzorach […]*). W zadaniu 10.3. – pomimo dostępności odpowiednich wzorów w *Wybranych wzorach […]* – zdający często nie potrafili poprawnie powiązać pracy całkowitej z wymienionym ciepłem, a także mylili we wzorze na sprawność ciepło pobrane z oddanym. W zadaniu 4. zdający błędnie identyfikowali wielkości występujące we wzorze na częstotliwość drgań. Z kolei w zadaniu 5.c) zdający nie potrafili zinterpretować prostego faktu, że gdy prędkość ciała w polu grawitacyjnym jest prostopadła do promienia wodzącego i ma w danym punkcie mniejszą wartość od prędkości orbitalnej (dostępnej w *Wybranych wzorach […]*) – to ciało od tego punktu aż do perycentrum będzie zbliżało się do centrum grawitacyjnego (będzie opadało). Powyżej wymieniono tylko niektóre zadania, które sprawiły zdającym dużo trudności, pomimo faktu, że odpowiednie wzory były dla zdających dostępne. Trudności te wiążą się z brakiem elementów podstawowej wiedzy fizycznej, o której wspomniano na początku akapitu.

4. Wykazywanie lub wyprowadzanie zależności fizycznych

Analiza wyników ostatnich matur wskazuje, że maturzyści słabo sobie radzą w zadaniach, gdzie należy udowodnić jakieś stwierdzenie, wykazać jakąś formułę/zależność fizyczną czy też wyprowadzić wzór. W tegorocznym arkuszu znalazło się kilka zadań, w których należało wykazać albo wyprowadzić żądany wzór. Prawidłowe wyprowadzenie zależności powinno polegać na pokazaniu logicznie wynikających z siebie kroków pośrednich/przekształceń, prowadzących z założeń, danych i znanych praw do wzoru wyrażającego żądaną zależność. Wyprowadzenie lub wykazanie wzoru wymaga powołania się na znane prawa lub zależności fizyczne związane z danym zjawiskiem. Takie rozwiązania zdających, w których nie powołano się na żadne prawo fizyczne (nie zapisano żadnego wzoru wynikającego z takiego prawa), nie mogą być uznawane. Z tego rodzaju błędami – o czym pisaliśmy w sprawozdaniach w latach ubiegłych – wiąże się tzw. „błędne koło”, czyli wykorzystanie tezy w dowodzie/wyprowadzeniu lub przyjęcie nieuzasadnionych założeń (np. w zadaniu 3.3. niektórzy maturzyści wykorzystywali podany wzór do jego wykazania).

5. Zapisywanie rozwiązań zadań

Kolejny problem dotyczy niepełnego albo nieczytelnego zapisu rozwiązań zadań. W zadaniach rachunkowych lub w zadaniach, w których należy wyprowadzić albo wykazać jakąś zależność fizyczną, zdający często zapisują równania, nie wyjaśniając, skąd one się biorą, nie powołują się na prawa fizyczne lub też wprowadzają oznaczenia wielkości, których nie opisują. Części rozwiązania były zapisywane chaotycznie, w różnych miejscach pod treścią zadania. Czasami zdający przedstawiali dwa rozwiązania, z których jedno było błędne lub niekompletne i nie zaznaczali, które z rozwiązań jest poprawne. Przypominamy, że w instrukcji dla zdających, na pierwszej stronie arkusza, w pkt. 3 jest napisane: „W rozwiązaniach zadań rachunkowych przedstaw tok rozumowania prowadzący do ostatecznego wyniku […]”. Opisane powyżej mankamenty szczególnie przejawiały się w zadaniach: 1.2., 3.3., 8., 9.2., 10.3.

6. Stosowanie wiedzy z III i IV etapu edukacyjnego

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. Dlatego rekomenduje się, aby przygotowania do matury z fizyki obejmowały zadania złożone i nietypowe wykorzystujące treści poznane w gimnazjum oraz treści z poziomu podstawowego dla IV etapu edukacyjnego. Przykładem tego typu zadania było zadanie 6.2. wykorzystujące wiedzę z III etapu edukacyjnego (hydrostatyka).

7. Zastosowanie elementarnej matematyki: obliczenia, przekształcenia i funkcja liniowa

Rozwiązanie zagadnienia fizycznego (np. określenie zmienności w czasie parametrów/wielkości opisujących układ fizyczny, wyznaczenie jednej wielkości fizycznej na podstawie innych, itp.) wymaga zastosowania matematyki – zarówno do zapisywania równań praw i zasad podstawowych jak i do rozwiązywania tychże równań. Około połowę arkusza stanowiły zadania obliczeniowe, tzn. takie, w których należało wykonać jakiekolwiek obliczenia (także na podstawie wykresu) lub przekształcenia algebraiczne wzorów. Poziom wykonania wszystkich zadań obliczeniowych w arkuszu wyniósł 36%, a poziom wykonania zadań nieobliczeniowych – 53%. To wskazuje, że poprawne wykonywanie obliczeń i przekształceń jest dla zdających trudnością (szczególnie wtedy, gdy w obliczeniach pojawiają się duże i małe liczby). Widać to na przykładzie tych zadań, których rozwiązanie wymagało podstawień odpowiednich wartości do jednego krótkiego wzoru lub do układu równań (zadania: 1.1., 1.2., 3.2.a)–c)., 7.3.). Zdający rzadko stosują poprawną, wygodną dla rachunków notację, w której liczby zapisywane są przy pomocy potęgi liczby 10. Częstą grupę błędów stanowią nieprawidłowe przekształcenia wzorów i układów równań. Również jednostki pojawiające się w końcowej odpowiedzi często zapisywane były niepoprawnie lub w ogóle nie były zapisywane (np. maturzyści zapominali o jednostkach w zapisie rozwiązania zadania 6.1.).

Funkcja liniowa Oprócz trudności w elementarnych kompetencjach matematycznych (obliczenia i przekształcenia) pojawiały się poważne problemy przy okazji funkcji liniowej w zadaniu 6.1. i 6.2. Problemy te opisane zostały bardzo szczegółowo w zagadnieniu pod lupą. Do najważniejszych z nich należy błędne określanie współczynnika kierunkowego prostej $y = ax + b$ (np. jako ilorazu y/x zamiast ilorazu $\Delta y/\Delta x$, albo jako tangensa kąta nachylenia prostej do osi argumentów, w sytuacji, gdy jednostkom na osi poziomej i pionowej odpowiadają odcinki o różnych długościach). Ponadto zdający mieli problemy z interpretacją równania liniowego uzyskanego w modelu fizycznym zjawiska (zadanie 6.2.) – częstym problemem była dla maturzystów identyfikacja pewnych wyrażeń występujących w tymże równaniu jako współczynników a i b równania prostej.