

**UZUPEŁNIA ZDAJĄCY**

**KOD**

--	--	--

**PESEL**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

*miejsce  
na naklejkę*

**EGZAMIN MATURALNY  
Z FIZYKI I ASTRONOMII**

**POZIOM PODSTAWOWY**

**18 MAJA 2017**

**Instrukcja dla zdającego**

1. Sprawdź, czy arkusz egzaminacyjny zawiera 14 stron (zadania 1–22). Ewentualny brak zgłoś przewodniczącemu zespołu nadzorującego egzamin.
2. Rozwiązania i odpowiedzi zapisz w miejscu na to przeznaczonym przy każdym zadaniu.
3. W rozwiązaniach zadań rachunkowych przedstaw tok rozumowania prowadzący do ostatecznego wyniku oraz pamiętaj o jednostkach.
4. Pisz czytelnie. Używaj długopisu/pióra tylko z czarnym tuszem/atramentem.
5. Nie używaj korektora, a błędne zapisy wyraźnie przekreśl.
6. Pamiętaj, że zapisy w brudnopisie nie będą oceniane.
7. Podczas egzaminu możesz korzystać z karty wybranych wzorów i stałych fizycznych, linijki oraz kalkulatora prostego.
8. Na tej stronie oraz na karcie odpowiedzi wpisz swój numer PESEL i przyklej naklejkę z kodem.
9. Nie wpisuj żadnych znaków w części przeznaczonej dla egzaminatora.

**Godzina rozpoczęcia:  
9:00**

**Czas pracy:  
120 minut**

**Liczba punktów  
do uzyskania: 50**



### Zadania zamknięte

W zadaniach od 1. do 10. wybierz jedną poprawną odpowiedź i zaznacz ją na karcie odpowiedzi.

#### Zadanie 1. (1 pkt)

Woda w rzece płynie z prędkością  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  względem brzegu. Po pokładzie statku płynącego pod prąd z prędkością  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  względem wody biegnie marynarz, który pozostaje w spoczynku względem brzegu. Prędkość marynarza względem pokładu statku jest równa

- A.  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       B.  $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       C.  $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       D.  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

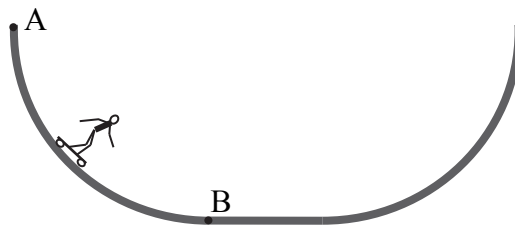
#### Zadanie 2. (1 pkt)

Rowerzysta jadący początkowo z prędkością  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  rozpoczął zjazd z górki i przyspieszył jednostajnie wzdłuż prostego zbocza do prędkości  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  w czasie 4 sekund. Jeżeli łączna masa rowerzysty i roweru była równa 60 kg, to siła wypadkowa powodująca przyspieszenie była równa

- A. 30 N      B. 120 N      C. 150 N      D. 270 N

#### Zadanie 3. (1 pkt)

Podczas zabawy w skateparku chłopiec zjeżdża na deskorolce po rampie, której przekrój poprzeczny przypomina kształtem dwie ćwiartki okręgu połączone poziomym odcinkiem (patrz rysunek).

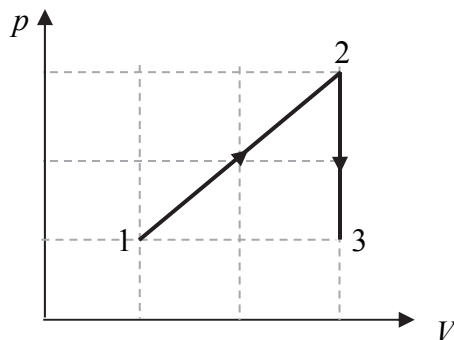


W czasie zjazdu z rampy od punktu A do punktu B wartości prędkości oraz przyspieszenia dośrodkowego chłopca zmieniają się w ten sposób, że

- A. prędkość i przyspieszenie dośrodkowe rosną.  
B. prędkość rośnie, a przyspieszenie dośrodkowe maleje.  
C. prędkość i przyspieszenie dośrodkowe maleją.  
D. prędkość maleje, a przyspieszenie dośrodkowe rośnie.

#### Zadanie 4. (1 pkt)

Stałą masę gazu poddano przemianom  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$  przedstawionym na wykresie.



Temperatury gazu w stanach 1, 2, 3 spełniają relację

- A.  $T_1 < T_2 < T_3$       B.  $T_1 = T_3 < T_2$       C.  $T_1 = T_2 > T_3$       D.  $T_1 < T_3 < T_2$

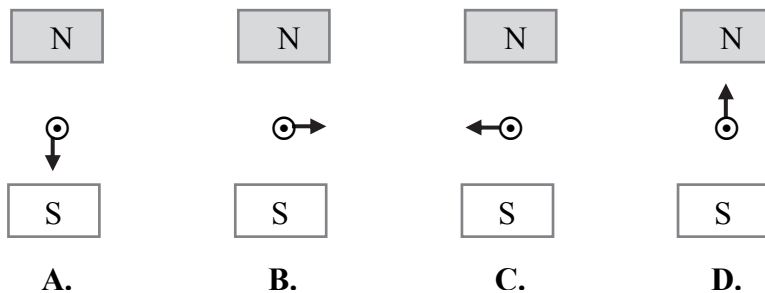
**Zadanie 5. (1 pkt)**

Jeżeli różne jądra atomowe wpadają w to samo pole magnetyczne z taką samą prędkością skierowaną prostopadle do linii pola magnetycznego, to po okręgu o najmniejszym promieniu będzie poruszać się jądro

- A.  ${}^1_1\text{H}$       B.  ${}^3_2\text{He}$       C.  ${}^4_2\text{He}$       D.  ${}^{12}_6\text{C}$

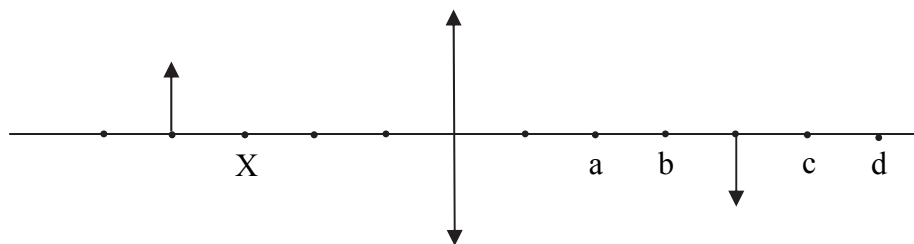
**Zadanie 6. (1 pkt)**

Jeżeli w przewodniku prostoliniowym ustawionym prostopadle do płaszczyzny rysunku płynie prąd w stronę przed płaszczyznę rysunku (w stronę patrzącego), to na ten przewodnik działa siła elektrodynamiczna o takim zwrocie i kierunku, jak na rysunku



**Zadanie 7. (1 pkt)**

Na rysunku przedstawiono przedmiot w postaci strzałki i jego obraz utworzony przez soczewkę skupiającą po prawej stronie soczewki. Jeżeli przedmiot przesuniemy do punktu X, to jego obraz powstanie w punkcie oznaczonym małą literą



- A. a.      B. b.      C. c.      D. d.

**Zadanie 8. (1 pkt)**

Na skutek pochłonięcia fotonu przez atom wodoru elektron przeszedł z orbity pierwszej, odległej od jądra o w przybliżeniu 50 pm, na orbitę drugą. Odległość elektronu od jądra wzrosła do

- A. 100 pm      B. 150 pm      C. 200 pm      D. 250 pm

**Zadanie 9. (1 pkt)**

Na katodę fotokomórki pada światło o ustalonej częstotliwości, wysyłane przez laser. W wyniku tego przez fotokomórkę płynie prąd. Jeżeli zwiększymy natężenie światła lasera, to

- A. wzrośnie natężenie prądu płynącego przez fotokomórkę.  
B. zmniejszy się praca wyjścia elektronów wybijanych z katody.  
C. natężenie prądu płynącego przez fotokomórkę zmaleje do zera.  
D. wzrośnie energia elektronów wybijanych z katody fotokomórki.





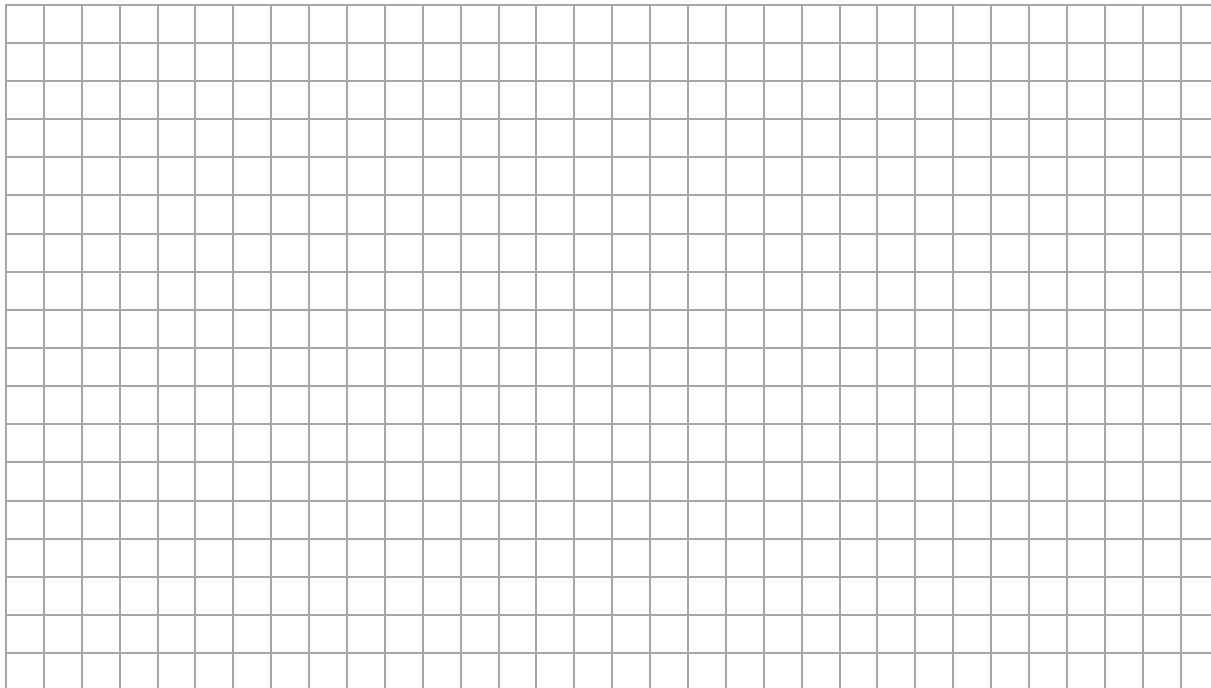




**Zadanie 16.2. (2 pkt)**

Ustal i zapisz, w których chwilach  $t$  w przedziale czasu widocznym na wykresie wychylenie wahadła jest równe połowie amplitudy drgań.

Skorzystaj z podanego w zadaniu wykresu zależności energii kinetycznej wahadła od czasu.

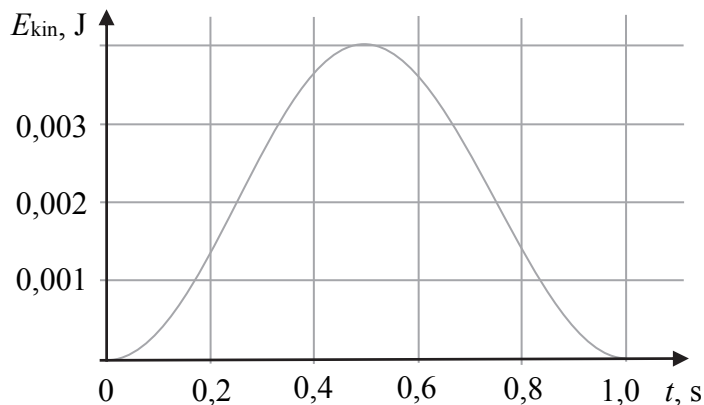


**Zadanie 16.3. (2 pkt)**

Drgania wahadła odbywają się w powietrzu i dlatego niektóre wielkości opisujące drgania wahadła mogą się zmieniać. Zakładamy przy tym, że opory powietrza tłumiące te drgania są na tyle małe, że okres takich drgań można uznać za równy okresowi wahadła matematycznego (w rzeczywistości jest nieco większy).

Na rysunku poniżej naszkicuj prawdopodobny kształt wykresu zależności  $E_{kin}(t)$  po kilkudziesięciu sekundach od rozpoczęcia drgań wahadła. Nową chwilę początkową  $t = 0$  przyjmij, gdy  $E_{kin} = 0$ .

Na ilustracji pozostawiono pomocniczy wykres tej zależności z pierwszej sekundy ruchu wahadła.



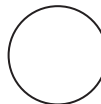


**Zadanie 17. (1 pkt)**

Symbol obok przedstawia igielkę magnetyczną, która może się obracać wokół osi prostopadłej do rysunku. Kolorem czarnym oznaczono biegun północny igielki.



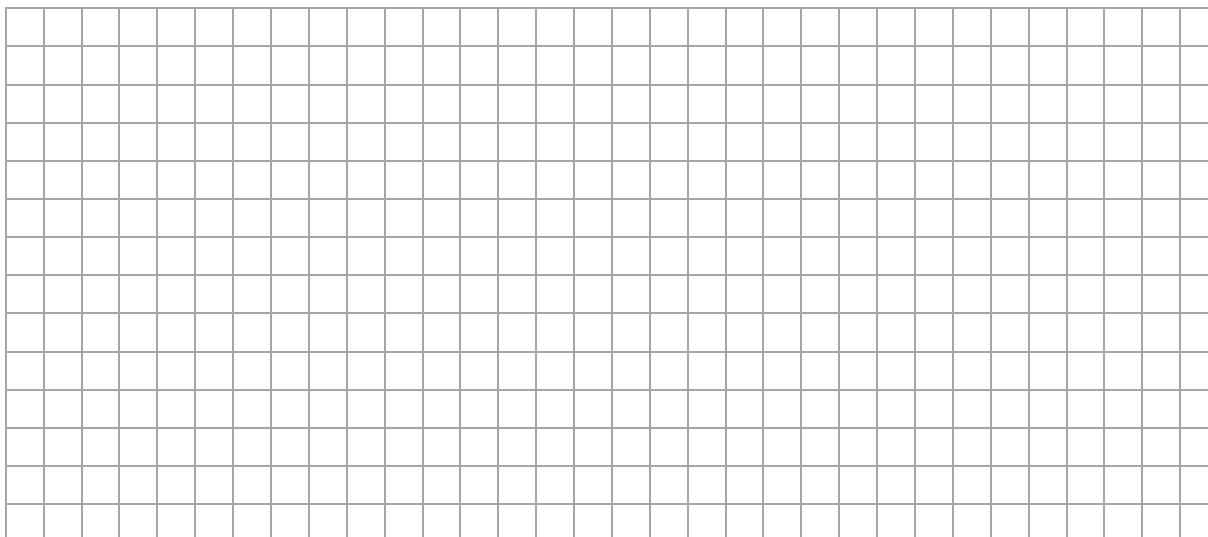
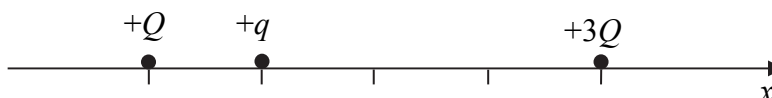
**Narysuj, jak ustawi się igielka magnetyczna umieszczona w jednakowej odległości od dwóch identycznych magnesów we wskazanym miejscu. Zaznacz bieguny magnetyczne igielki. Pomiń wpływ pola magnetycznego Ziemi.**



**Zadanie 18. (2 pkt)**

Punktowy ładunek  $+q$ , który może poruszać się wzdłuż osi  $x$ , znalazł się pomiędzy nieruchomymi ładunkami  $+Q$  i  $+3Q$  (patrz rysunek). Zakładamy dalej, że jedynymi siłami działającymi na ładunek  $q$  są siły oddziaływania ze strony obu tych ładunków.

**Napisz, czy ładunek  $+q$  w takim położeniu może pozostawać w spoczynku. Odpowiedź uzasadnij.**



Wypełnia egzaminator	Nr zadania	16.2.	16.3.	17.	18.
	Maks. liczba pkt	2	2	1	2
Uzyskana liczba pkt					





**Zadanie 20.2. (1 pkt)**

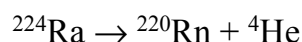
Wiadomo, że jedna z warstw na rysunku wykonana jest ze szkła, a druga – z lodu. Współczynnik załamania szkła jest równy 1,52, a współczynnik załamania lodu wynosi 1,31.

**Uzupełnij poniższe zdanie.**

Widoczna na rysunku w zadaniu 20.1 warstwa  $n_1$  wykonana jest ....., ponieważ

**Zadanie 21.**

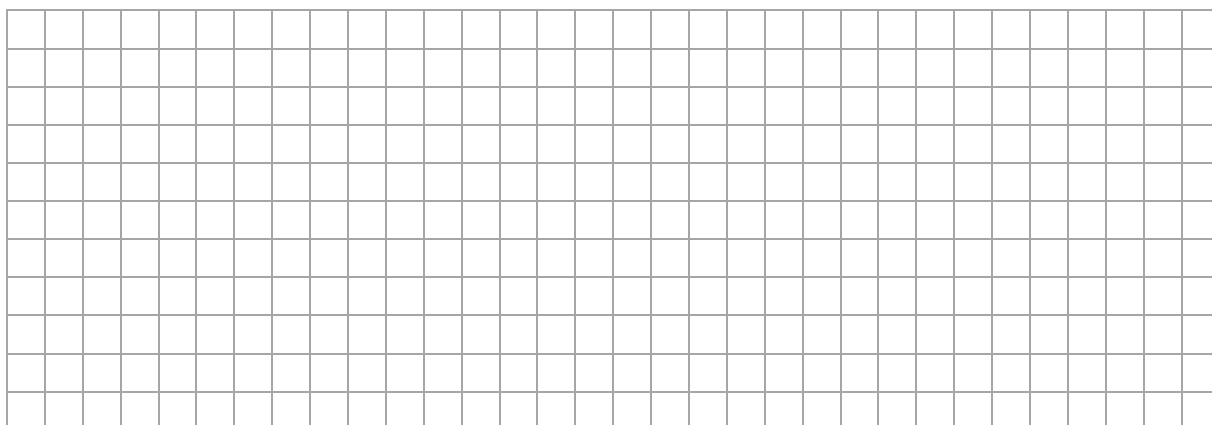
Jądro izotopu radu  $^{224}\text{Ra}$  ulega rozpadowi alfa z czasem połowicznego zaniku około 3,7 dnia, zgodnie ze schematem:



Suma mas jądra radonu i jądra helu jest o 0,0062 u mniejsza od masy jądra radu, gdzie u jest jednostką masy atomowej.

**Zadanie 21.1. (2 pkt)**

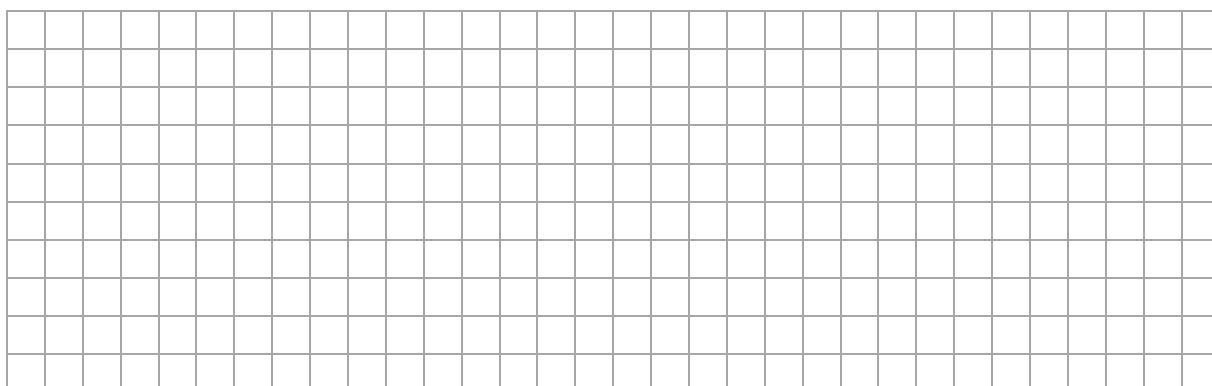
**Udowodnij, że w układzie odniesienia, w którym jądro radu spoczywało, stosunek energii kinetycznej uzyskanej przez jądro  $^4\text{He}$  do energii kinetycznej uzyskanej przez jądro radonu jest równy około 55.**



**Zadanie 21.2. (2 pkt)**

Próbkę zawierającą izotop  $^{224}\text{Ra}$  zbadano po upływie 13 dni od dostarczenia do laboratorium i ustalono, że po tym czasie próbka zawierała 0,75 mg tego izotopu.

**Oszacuj masę tego izotopu w chwili dostarczenia do laboratorium.**



**Zadanie 22.**

Energia elektronu znajdującego się w stanie podstawowym w atomie wodoru wynosi  $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ .

**Zadanie 22.1. (2 pkt)**

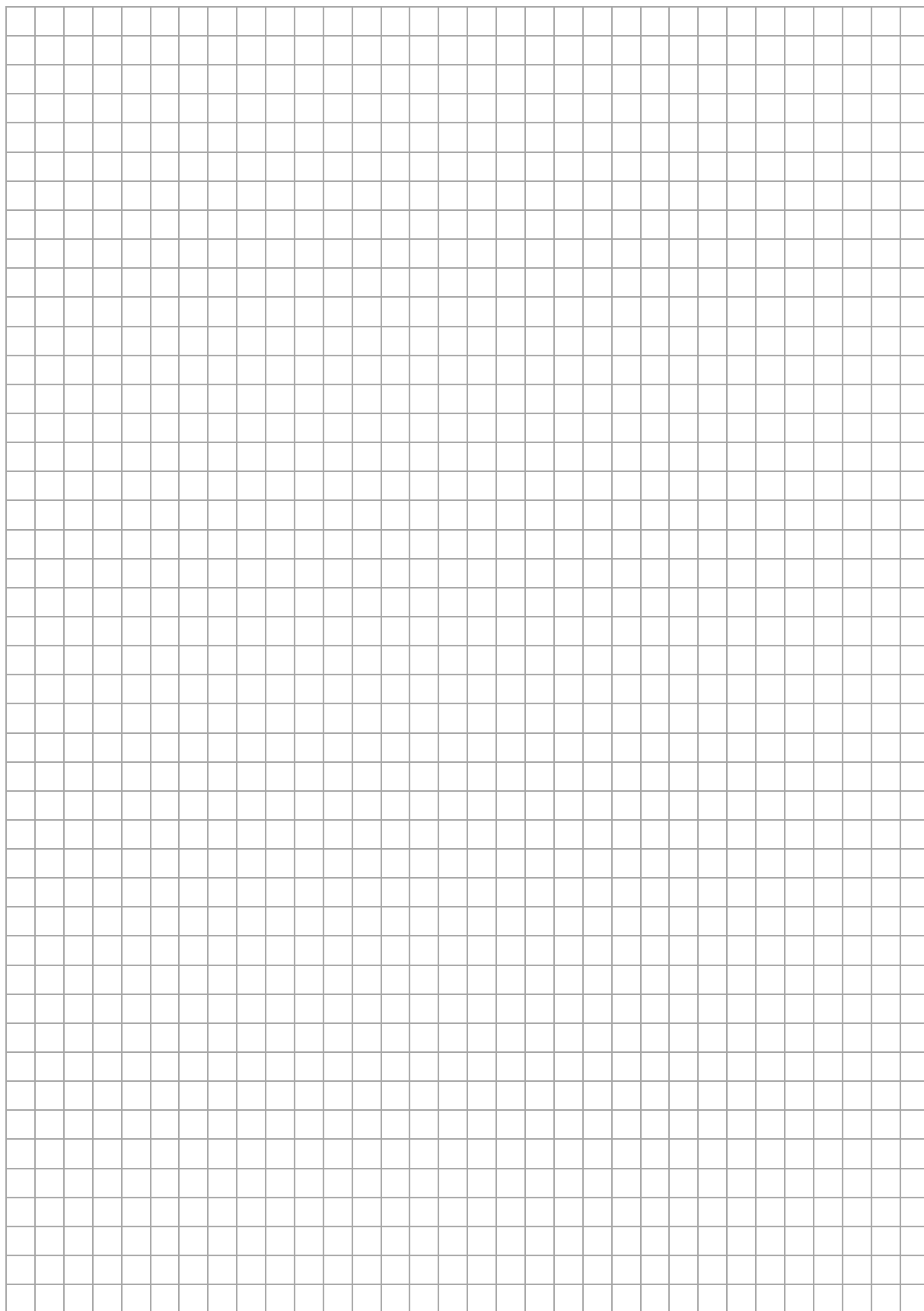
**Oblicz energię fotonu emitowanego podczas przejścia elektronu w atomie wodoru z orbity trzeciej na drugą.**

**Zadanie 22.2. (2 pkt)**

**Oblicz długość fali promieniowania powstałego podczas przejścia elektronu w atomie wodoru z orbity trzeciej na drugą.**

Wypełnia egzaminator	Nr zadania	20.2.	21.1.	21.2.	22.1.	22.2.
	Maks. liczba pkt	1	2	2	2	2
Uzyskana liczba pkt						

**BRUDNOPIS (*nie podlega ocenie*)**



**EGZAMIN MATURALNY  
W ROKU SZKOLNYM 2016/2017**

**FORMUŁA DO 2014  
(„STARA MATURA”)**

**FIZYKA I ASTRONOMIA  
POZIOM PODSTAWOWY**

**ZASADY OCENIANIA ROZWIĄZAŃ ZADAŃ  
ARKUSZ MFA-P1**

**MAJ 2017**

## Zadania zamknięte

### Zadanie 1. (1 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Obliczanie wartości prędkości względnej (I.1.1.4).

### Schemat punktowania

1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.

0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

### Poprawna odpowiedź

A

### Zadanie 2. (1 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Stosowanie zasad dynamiki do opisu zachowania się ciał (I.1.2.2).

### Schemat punktowania

1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.

0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

### Poprawna odpowiedź

A

### Zadanie 3. (1 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Tworzenie informacji.	Stosowanie pojęć i praw fizycznych do rozwiązywania problemów praktycznych (III.2).

### Schemat punktowania

1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.

0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

### Poprawna odpowiedź

A

### Zadanie 4. (1 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Odczytywanie i analizowanie informacji przedstawionych w formie wykresu (II.1.b).



**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

D

**Zadanie 5. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Opisywanie wpływu pola magnetycznego na ruch ciał (I.1.2b.7).

**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

A

**Zadanie 6. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Wyznaczanie siły działającej na ciało w wyniku oddziaływania magnetycznego (I.1.2.1).

**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

B

**Zadanie 7. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Odczytywanie i analizowanie informacji przedstawionych w formie wykresu (II.1.b).
Wiadomości i rozumienie.	Konstruowanie obrazów w soczewce skupiającej dla różnych położań przedmiotu.

**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

D

**Zadanie 8. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Podawanie podstawowych założeń modelu atomu wodoru wg Bohra (I.1.5.19).

**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

C

**Zadanie 9. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Opisywanie zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego i wyjaśnianie go zgodnie z założeniami kwantowego modelu światła (I.1.5.17).

**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

A

**Zadanie 10. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Posługiwanie się pojęciami jądrowego niedoboru masy i energii wiązania (I.1.6.6).

**Schemat punktowania**

- 1 p. – zaznaczenie poprawnej odpowiedzi.  
0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

**Poprawna odpowiedź**

C

## Zadania otwarte

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

### Zadanie 11. (3 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Odczytywanie i analizowanie informacji podanych w formie wykresu (II.1.b).
Wiadomości i rozumienie.	Obliczanie czasu, drogi i przyśpieszenia w ruchu jednostajnie zmiennym oraz jednostajnym (I.1.1.3).

### Schemat punktowania

- 3 p. – prawidłowa metoda obliczenia czasu oraz przyśpieszenia i prawidłowe wyniki z jednostkami.
- 2 p. – prawidłowa metoda obliczenia czasu, prawidłowy wynik z jednostką oraz brak obliczenia przyśpieszenia albo błąd w obliczeniach przyśpieszenia  
*lub*  
– prawidłowa metoda obliczenia czasu i przyśpieszenia oraz błąd rachunkowy w obliczeniu czasu i obliczenie przyspieszenia z błędną wartością czasu.
- 1 p. – zapisanie wyrażenia na drogę jako pole figury pod wykresem  
*lub*  
– poprawne obliczenie przyśpieszenia, gdy czas oszacowano z wykresu na około 3 s, a nie obliczono w sposób ścisły.
- 0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zapisujemy wyrażenie na drogę, jako pole figury pod wykresem:

$$s = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot t_1 + 8 \cdot t_2 \quad \text{oraz} \quad t_1 + t_2 = 10 \text{ s} \quad \text{oraz} \quad s = 67 \text{ m}$$

gdzie  $t_1$  oznacza czas przyśpieszenia, a  $t_2$  oznacza czas ruchu jednostajnego.

Obliczamy czas przyśpieszania:

$$67 = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot t_1 + 8 \cdot (10 - t_1) \quad \rightarrow \quad t_1 = t = 3,25 \text{ s}$$

Obliczamy przyśpieszenie:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v}{t} \quad \rightarrow \quad a = \frac{8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,25 \text{ s}} = 2,46 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Zadanie 12.1. (3 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Obliczanie wielkości fizyczne z wykorzystaniem znanych zależności fizycznych (II.4.c).
Wiadomości i rozumienie.	Posługiwanie się pojęciem pracy (I.1.6.1). Analizowanie ruchów ciał z uwzględnieniem sił tarcia (I.1.2.3).

**Schemat punktowania**

3 p. – prawidłowa metoda obliczenia pracy i prawidłowy wynik z jednostką.

2 p. – prawidłowa metoda obliczenia pracy (sposób 1 lub sposób 2) i błąd w obliczeniach albo wynik bez jednostki

*lub*

– prawidłowe obliczenie ciężaru skrzyni oraz prawidłowe obliczenie pracy przeciwko sile tarcia ( $W_T = T_s = 160 \text{ J}$ ).

1 p. – prawidłowe obliczenie ciężaru skrzyni  $Q = 200 \text{ N}$

*lub*

– obliczenie dodatkowej pracy, którą trzeba wykonać z powodu występowania siły tarcia oraz błąd popełniony przy obliczaniu ciężaru skrzyni

*lub*

– zapisanie wzoru na siłę, którą należy zrównoważyć ciągnąc skrzynię po desce.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Obliczamy ciężar skrzyni na podstawie informacji o pracy wykonanej przy pionowym jej podnoszeniu:

$$240 \text{ J} = Q \cdot h \rightarrow 240 \text{ J} = Q \cdot 1,2 \text{ m} \rightarrow Q = 200 \text{ N}$$

Obliczamy wartość siły tarcia z informacji w zadaniu:

$$T = 0,2 \cdot Q = 40 \text{ N}$$

Obliczamy pracę  $W$  wykonaną podczas ciągnięcia skrzyni po desce.

1 sposób

Praca ta jest równa sumie: pracy wykonanej przeciwko sile grawitacji (która nie zależy od drogi i jest taka sama jak przy pionowym unoszeniu) oraz pracy wykonanej przeciwko sile tarcia:

$$W = W_Q + W_T = W_Q + T_s \rightarrow W = 240 \text{ J} + 40 \text{ N} \cdot 4 \text{ m} = 400 \text{ J}$$

2 sposób

Obliczamy wartość siły, którą należy zrównoważyć, gdy ciągnie się skrzynię po desce:

$$F = T + Q \cdot \sin \alpha = 40 \text{ N} + 200 \text{ N} \cdot \frac{1,2}{4} = 100 \text{ N}$$

Obliczamy pracę przeciwko sile  $F$ , którą należy zrównoważyć ciągnąc skrzynię po desce:

$$W = W_F = F_s \rightarrow W = 100 \text{ N} \cdot 4 \text{ m} = 400 \text{ J}$$

**Zadanie 12.2. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Tworzenie informacji.	Stosowanie pojęć i praw fizycznych do rozwiązywania problemów praktycznych (III.2).

**Schemat punktowania**

1 p. – prawidłowe wyjaśnienie.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Podczas wciągania skrzyni po desce działa się w tym przypadku siłą o wartości  $F = 100 \text{ N}$  (zobacz w rozwiązaniu zadania 12.1), a więc mniejszą niż siła potrzebna do zrównoważenia ciężaru skrzyni 200 N, podczas podnoszenia pionowego.

**Zadanie 13. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Analizowanie II prędkości kosmicznej (I.1.2.8).

**Schemat punktowania**

2 p. – prawidłowa metoda obliczenia drugiej prędkości kosmicznej dla Księżyca i prawidłowy wynik z jednostką.

1 p. – zastosowanie wzoru  $v_{II} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R}$  i brak lub błąd w obliczeniach.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Drugą prędkość kosmiczną wyrazimy przez  $R$  i  $g$  – promień planety i przyspieszenie grawitacyjne przy jej powierzchni:

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad \text{oraz} \quad g = \frac{GM}{R^2} \quad \rightarrow \quad v_{II} = \sqrt{2gR}$$

Obliczamy  $v_{IIK}$  na podstawie informacji o stosunkach promieni oraz przyspieszeń grawitacyjnych:

$$\frac{v_{IIK}}{v_{IIZ}} = \frac{\sqrt{2g_K R_K}}{\sqrt{2g_Z R_Z}} \quad \rightarrow \quad v_{IIK} = \sqrt{\frac{1}{6 \cdot 4}} \cdot v_{IIZ} = 2,29 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

**Zadanie 14. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Stosowanie praw Keplera do opisu ruchu planet (I.1.7.3).

### Schemat punktowania

- 2 p. – prawidłowa metoda obliczenia okresu orbitalnego Marsa i prawidłowy wynik z jednostką.  
1 p. – zapisanie trzeciego prawa Keplera oraz poprawna identyfikacja danych i brak lub błąd w obliczeniach okresu orbitalnego Marsa.  
0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zapisujemy III prawo Keplera oraz identyfikujemy wielkości w nim występujące:

$$\frac{T_M^2}{A_M^3} = \frac{T_Z^2}{A_Z^3}, \quad A_Z = 1 \text{ AU}, \quad T_Z = 365,25 \text{ dni}, \quad A_M = 1,524 \text{ AU}$$

(Dopuszczamy  $T_Z = 365$  dni.) Z powyższych zapisów obliczamy  $T_M$ :

$$T_M = \sqrt{\left(\frac{1,524}{1}\right)^3 \cdot 365,25} = 687 \text{ dni}$$

Należy dopuścić wyniki od  $T_M = 686,50$  dnia do  $T_M = 687,50$  dnia.

### Zadanie 15.1. (2 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Stosowanie równania Clapeyrona i równania stanu gazu doskonałego do wyznaczania parametrów gazu (I.1.4.1).

### Schemat punktowania

- 2 p. – prawidłowa metoda obliczenia ciśnienia końcowego oraz prawidłowy wynik z jednostką.  
1 p. – zastosowanie równania Clapeyrona (lub prawa przemiany izochorycznej) oraz błąd w obliczeniach  
*lub*  
– zastosowanie równania Clapeyrona (lub prawa przemiany izochorycznej) oraz podstawienie do wzoru temperatury wyrażonej w stopniach Celsjusza.  
0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zapisujemy prawo przemiany izochorycznej wynikające z równania Clapeyrona:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Temperatury powietrza w piłce (przed i po rozgrzaniu) wyrazimy skali bezwzględnej:

$$T_1 = 294 \text{ K}, \quad T_2 = 315 \text{ K}$$

Obliczamy ciśnienie końcowe w piłce:

$$\frac{1 \text{ 200 hPa}}{294 \text{ K}} = \frac{p_2}{315 \text{ K}} \quad \rightarrow \quad p_2 = 1 \text{ 286 hPa}$$

**Zadanie 15.2. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Stosowanie I zasady termodynamiki (I.1.4.4).

**Schemat punktowania**

2 p. – prawidłowa nazwa przemiany oraz prawidłowy wybór określeń dla dotyczących wielkości wymienionych w tabeli.

1 p. – prawidłowa nazwa przemiany  
*lub*

– prawidłowy wybór określeń dla dotyczących wielkości wymienionych w tabeli.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Poprawne rozwiązanie**

Nazwa przemiany	Energia wewnętrzna	Ciepło	Praca
<i>izochoryczna</i>	<i>wzrosła</i>	<i>pobierane z otoczenia</i>	<i>nie jest wykonywana</i>

**Zadanie 16.1. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Odczytywanie i analizowanie informacji podanych w formie wykresu (II.1.b).
Wiadomości i rozumienie.	Obliczanie okresu drgań wahadła matematycznego (I.1.3.3).

**Schemat punktowania**

2 p. – prawidłowa metoda obliczenia długości wahadła oraz prawidłowy wynik z jednostką.

1 p. – prawidłowa metoda obliczenia długości wahadła oraz błąd w obliczeniach lub wynik bez jednostki  
*lub*

– poprawne ustalenie okresu drgań  $T = 2$  s oraz brak lub dalej błędne zapisy  
*lub*

– poprawne przekształcenie wzoru na okres drgań wahadła matematycznego oraz brak albo błędne określenie okresu.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Zauważamy, że wykres zależności energii kinetycznej od czasu jest narysowany w przedziale czasu równym połowie okresu drgań wahadła (ponieważ  $E_{kin} = 0$  gdy ciężarek znajduje się w przeciwnych wychyleniach maksymalnych). Dlatego

$$T = 2 \cdot 1 \text{ s} = 2 \text{ s}$$

Następnie zastosujemy wzór na okres drgań wahadła matematycznego do obliczenia długości tego wahadła  $l$ :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \rightarrow l = \frac{2^2 \text{ s}^2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4 \cdot 3,14^2} = 0,99 \text{ m} \approx 1,0 \text{ m}$$

### Zadanie 16.2. (2 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Odczytywanie i analizowanie informacji podanych w formie wykresu (II.1.b).
Wiadomości i rozumienie.	Posługiwanie się pojęciami energii kinetycznej i energii potencjalnej sprężystości (I.1.6.1). Opisywanie ruchu drgającego (I.1.3.a.3).

### Schemat punktowania

2 p. – prawidłowa metoda obliczenia chwil czasu oraz prawidłowe wyniki liczbowe z jednostką (jeżeli zdający zaznaczył na osi energii  $E_k = 0,003 \text{ J}$  i zaznaczył na osi czasu  $0,33 \text{ s}$  i  $0,67 \text{ s}$ , to otrzymuje 2 pkt).

1 p. – prawidłowa metoda wyznaczenia chwil czasu.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zanotujmy, że maksymalna energia kinetyczna oscylatora harmonicznego (tutaj wahadła matematycznego) jest równa jego całkowitej energii mechanicznej, a także jest równa maksymalnej energii potencjalnej tego oscylatora:

$$E_{kin \max} = E_{pot \max} = E = 0,004 \text{ J}$$

Energia potencjalna oscylatora harmonicznego jest proporcjonalna do kwadratu wychylenia z położenia równowagi, dlatego gdy wychylenie jest równe połowie amplitudy to energia potencjalna wynosi  $\frac{1}{4}$  energii całkowitej:

$$\frac{E_{pot \ x}}{E_{pot \ max}} = \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^2 = \frac{1}{4} \rightarrow E_{pot \ x} = \frac{1}{4} E$$

W związku z powyższym, na energię kinetyczną w wychyleniu równym połowie amplitudy przypada  $\frac{3}{4}$  energii całkowitej (czyli  $0,003 \text{ J}$ ):

$$E_{kin} = E - E_{pot} \rightarrow E_{kin} = E - \frac{E}{4} = \frac{3}{4} E \rightarrow E_{kin} = 0,003 \text{ J}$$

Odczytujemy z wykresu chwile czasu  $t$ , w których energia kinetyczna jest równa  $0,003 \text{ J}$ :

$$t_1 = \frac{1}{3} \text{ s} \approx 0,33 \text{ s} \quad \text{oraz} \quad t_2 = \frac{2}{3} \text{ s} \approx 0,67 \text{ s}$$



**Zadanie 16.3. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Uzupełnianie brakujących elementów wykresu łącząc posiadane i podane informacje (II.2).

**Schemat punktowania**

2 p. – uwzględnienie na rysunku, że energia kinetyczna jest mniejsza natomiast okres jest nie mniejszy niż wskazany.

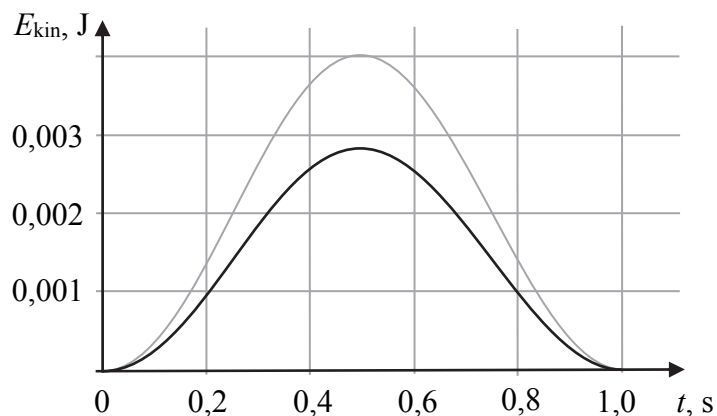
1 p. – uwzględnienie na rysunku, że energia kinetyczna jest mniejsza.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Wykres zamieszczony poniżej uwzględnia:

- założenie o tym, że okres drgania słabo tłumionego można uznać za taki sam;
- fakt, że w wyniku oporów całkowita energia mechaniczna maleje.

**Zadanie 17. (1 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Uzupełnianie brakujących elementów rysunku łącząc posiadane i podane informacje (II.2).
Wiadomości i rozumienie.	Opisywanie wpływu pola magnetycznego na ruch ciał (I.1.2b.7).

**Schemat punktowania**

1 p. – poprawne narysowanie ustawienia igielki magnetycznej.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Poprawne rozwiązanie**

**Zadanie 18. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Wyznaczanie siły działającej na ciało w wyniku oddziaływania elektrostatycznego (I.1.2.1).

**Schemat punktowania**

- 2 p. – prawidłowe zastosowanie prawa Coulomba do porównania wartości sił oddziaływania pomiędzy ładunkami  $q$ ,  $Q$  i  $q$ ,  $3Q$  oraz prawidłowa odpowiedź.  
 1 p. – prawidłowe zapisanie wzorów dla obu sił i błędy w przekształceniach lub brak porównania sił.  
 0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Korzystamy z prawa Coulomba do porównania wartości sił oddziaływania pomiędzy ładunkami  $q$  i  $Q$  oraz  $q$  i  $3Q$ . Odległość pomiędzy  $q$  i  $Q$  oznaczamy  $d$ .

$$F_{qQ} = \frac{kqQ}{d^2}, \quad F_{q3Q} = \frac{kq3Q}{(3d)^2} = \frac{kqQ}{3d^2} \quad \rightarrow \quad \frac{F_{qQ}}{F_{q3Q}} = 3$$

Stwierdzamy, że siła oddziaływania pomiędzy ładunkami  $q$  i  $Q$  jest trzy razy większa niż pomiędzy ładunkami  $q$  i  $3Q$ . To oznacza, że siły nie równoważą się, zatem że ładunek  $q$  nie może pozostawać w spoczynku.

**Zadanie 19. 1. (3 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Określanie przyczyn powstawania niepewności pomiarowych (I.1.8.5).

**Schemat punktowania**

- 3 p. – prawidłowy wybór linijek do obu pomiarów oraz oba prawidłowe uzasadnienia.  
 2 p. – prawidłowy wybór linijek do obu pomiarów oraz tylko jedno prawidłowe uzasadnienie.  
 1 p. – prawidłowy wybór linijek do obu pomiarów.  
 0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowa odpowiedź**

Szacowanie niepewności pomiaru odległości  $d$  krótką linijką:

Pomiar odległości  $d$  równej około 90 cm linijką o długości 12 cm z podziałką 1 mm wymaga wykonania 8 pomiarów, każdy obarczony niepewnością 1 mm. W związku z tym niepewność tego pomiaru wynosi 8 mm.

Szacowanie niepewności pomiaru odległości  $d$  długą linijką:

Pomiar odległości  $d$  równej około 90 cm linijką o długości 100 cm z podziałką 0,5 cm wymaga wykonania 1 pomiaru, obarczonego niepewnością 0,5 cm. W związku z tym niepewność tego pomiaru wynosi 0,5 cm.

Uzasadnienie wyboru linijki do pomiaru  $d$ :

Niepewność w pomiarach krótszą linijką ale z dokładniejszą podziałką jest większa niż niepewność pomiaru długą linijką, ale z większą podziałką:  $0,8 \text{ cm} > 0,5 \text{ cm}$ . Dlatego do

pomiaru wybieramy linijkę dłuższą, ponieważ w całym pomiarze chcemy mieć mniejszą niepewność pomiarową.

Uzasadnienie wyboru krótszej linijki do pomiaru y:

Do pomiaru odległości y równej około 10 cm wystarczyłby jeden pomiar krótką lub długą linijką. W związku z tym niepewność w tym jednym pomiarze wynosi tyle, co podziałka na danej linijce i jest mniejsza dla krótkiej linijki:  $0,1 \text{ cm} < 0,5 \text{ cm}$ . Dlatego do pomiaru odległości y wybieramy krótszą linijkę (o mniejszej podziałce).

### Zadanie 19.2. (2pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Tworzenie informacji.	Budowanie prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk (III.3).
Wiadomości i rozumienie.	Stosowanie równania soczewki cienkiej (I.1.5.9).

### Schemat punktowania

2 p. – poprawna metoda wyprowadzenia wzoru i prawidłowa postać końcowa wzoru.

1 p. – zapisanie wzoru soczewkowego oraz związku pomiędzy odpowiednimi odległościami.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zastosujemy wzory oraz związek pomiędzy odpowiednimi odległościami:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f} \quad \text{oraz} \quad x + y = d$$

Przekształcamy wzór do oczekiwanej postaci:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{y+x}{xy} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{d}{(d-y)y} \quad \rightarrow \quad f = \frac{(d-y)y}{d}$$

### Zadanie 20.1. (2 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Korzystanie z informacji.	Przetwarzanie informacji według podanych zasad: formułowanie opisu zjawiska (II.4.a).
Wiadomości i rozumienie.	Analizowanie zjawiska załamania światła (I.1.5.3).

### Schemat punktowania

2 p. – prawidłowe oznaczenie wszystkich kątów oraz prawidłowe zapisanie trzech równań prawa załamania na każdej z trzech powierzchni oraz prawidłowa odpowiedź

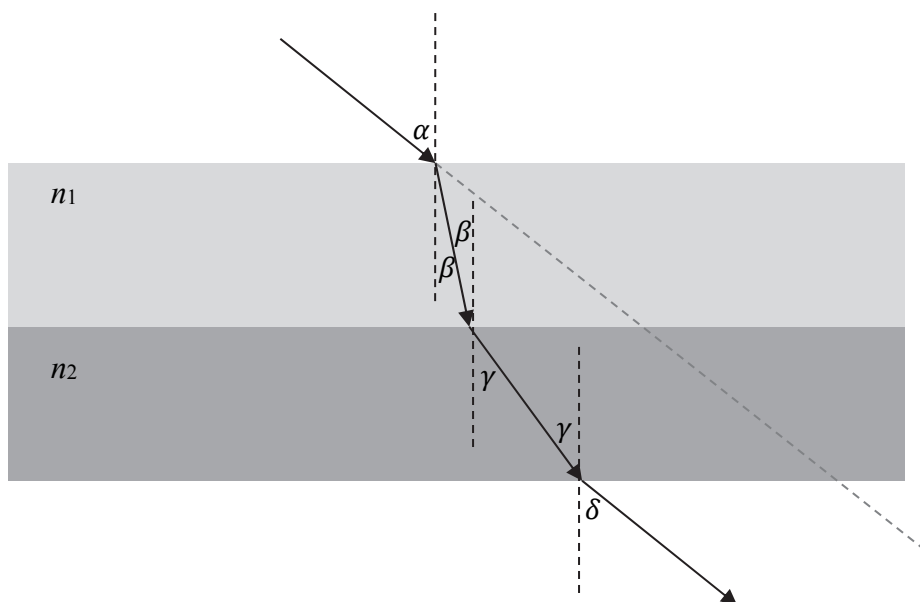
1 p. – oznaczenie kątów padania i załamania oraz zapisanie prawa załamania przynajmniej dla dwóch przejść promienia światła przez powierzchnię graniczną ośrodków  
*lub*

– poprawne stwierdzenie o równoległości promieni.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zaznaczamy kąty padania i załamania na trzech powierzchniach granicznych ośrodków:



Zapisujemy prawa załamania dla każdej z trzech powierzchni granicznych:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_1, \quad \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} = \frac{1}{n_2}$$

Z powyższych równań wynika, że:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} = n_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{1}{n_2} \rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \delta} = 1 \rightarrow \alpha = \delta$$

Ponieważ  $\alpha = \delta$  oraz powierzchnie graniczne są równoległe, to promień padający i promień, który przeszedł przez obie warstwy są w kierunkach równoległych.

### Zadanie 20.2. (1 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Tworzenie informacji.	Interpretowanie informacji podanych w formie tekstu i schematu (III.1).

### Schemat punktowania

1 p. – prawidłowe uzupełnienie zdania.

0 p. – brak spełnienia powyższego kryterium.

### Poprawna odpowiedź

*Widoczna na rysunku w zadaniu 20.1 warstwa  $n_1$  wykonana jest ze szkła, ponieważ kąt pomiędzy promieniem a normalną do powierzchni granicznej – zgodnie z prawem załamania – jest mniejszy w tym ośrodku (tutaj  $n_1$ ), w którym współczynnik załamania jest większy (dla szkła).*

**Zadanie 21.1. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Tworzenie informacji.	Budowanie prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk (III.3).
Wiadomości i rozumienie.	Zastosowanie zasady zachowania pędu układu w zjawiskach odrzutu (I.1.2.5).

**Schemat punktowania**

2 p. – prawidłowa metoda i prawidłowa wartość stosunku energii kinetycznych jąder.

1 p. – prawidłowe wyprowadzenie wzoru wyrażającego stosunek energii kinetycznych przez odwrotny stosunek mas oraz błędny wynik albo brak wyniku końcowego

*lub*

– zapisanie stosunku energii kinetycznych oraz prawidłowa identyfikacja stosunku mas jąder atomowych

*lub*

– zapisanie zasady zachowania pędu łącznie z prawidłową identyfikacją mas obu jąder, na przykład zapisy równoważne:  $220v_{Rn} = 4v_{He}$ .

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Korzystamy z zasady zachowania pędu całkowitego dla układu ciał, którym jest jądro atomowe przed rozpadem i po rozpadzie. Przyjmujemy układ odniesienia, w którym jądro  $^{224}\text{Ra}$  spoczywa. Pęd początkowy jądra  $^{224}\text{Ra}$  wynosi zero ( $\vec{p}_{Ra} = 0$ ), dlatego suma pędów produktów rozpadu tego jądra też wynosi zero:

$$\vec{p}_{Ra} = \vec{p}_{Rn,He} \rightarrow 0 = m_{Rn}v_{Rn} - m_{He}v_{He} \rightarrow m_{Rn}v_{Rn} = m_{He}v_{He}$$

Stosunek energii kinetycznych jądra helu i radonu wyrazimy poprzez odwrotny stosunek mas tych jąder, przy wykorzystaniu zasady zachowania pędu:

$$\frac{E_{kin He}}{E_{kin Rn}} = \frac{m_{He}v_{He}^2}{m_{Rn}v_{Rn}^2} = \frac{m_{He}m_{Rn}^2}{m_{Rn}m_{He}^2} = \frac{m_{Rn}}{m_{He}} \rightarrow \frac{E_{kin He}}{E_{kin Rn}} = \frac{m_{Rn}}{m_{He}}$$

albo

$$\frac{E_{kin He}}{E_{kin Rn}} = \frac{\frac{p_{He}^2}{2m_{He}}}{\frac{p_{Rn}^2}{2m_{Rn}}} = \frac{m_{Rn}}{m_{He}}$$

Zatem

$$\frac{E_{kin He}}{E_{kin Rn}} \approx \frac{220 \text{ u}}{4 \text{ u}} \approx 55.$$

**Zadanie 21.2. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Zastosowanie prawa rozpadu, z uwzględnieniem czasu połowicznego zaniku, do analizy przemian jądrowych (I.1.6.11).

**Schemat punktowania**

- 2 p. – prawidłowa metoda i prawidłowy wynik mieszczący się w przedziale od 8 mg do 9 mg  
*lub*  
 – prawidłowa metoda obliczenia obu krańców przedziału, do którego może należeć wynik, oraz stwierdzenie, że masa początkowa izotopu radu należy do przedziału  $m_0 \in (6 \text{ mg}; 12 \text{ mg})$ .
- 1 p. – wykorzystanie pojęcia czasu połowicznego rozpadu oraz zauważenie, że  $3T < t < 4T$ .
- 0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**Sposób 1

Zauważamy, że czas 13 dni stanowi 3,5 czasów połowicznego rozpadu:

$$\frac{t}{T} = \frac{13 \text{ dni}}{3,7 \text{ dni}} \approx 3,5$$

Korzystamy z pojęcia czasu połowicznego rozpadu lub równoważnie ze wzoru przedstawiającego zależność liczby jąder pozostających w próbce od czasu. Zamiast liczby jąder radu pozostających w próbce zapiszemy  $m(t)$  – łączną masę jąder izotopu radu pozostających w próbce ( $m_0$  oznacza początkową masę izotopu radu w próbce):

$$m(t) = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad \rightarrow \quad m_0 = m(t) \cdot 2^{\frac{t}{T}}$$

Dla  $t = 3,5T$  mamy:

$$m_0 = m(3,5T) \cdot 2^{3,5} = 0,75 \text{ mg} \cdot 2^3 \cdot 2^{\frac{1}{2}} = 8,5 \text{ mg}.$$

Początkowa masa izotopu radu wynosiła około 8,5 mg.

Sposób 2

Zauważamy, że  $3T < t < 4T$ . Następnie obliczamy, jakie byłyby masy początkowe, gdybyśmy do rachunków przyjęli  $t = 3T$ , a następnie  $t = 4T$ :

$$0,75 \text{ mg} = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \quad \rightarrow \quad m_0 = 6 \text{ mg}$$

$$0,75 \text{ mg} = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^4 \quad \rightarrow \quad m_0 = 12 \text{ mg}$$

Początkowa masa izotopu należy do przedziału otwartego  $m_0 \in (6 \text{ mg}; 12 \text{ mg})$  lub masa początkowa izotopu radu jest równa około:

$$m_0 \approx \frac{1}{2}(6 \text{ mg} + 12 \text{ mg}) \approx 9 \text{ mg}.$$

### Sposób 3

Zauważamy, że w czwartym okresie czasu połowicznego rozpadu (tj. od  $3T$  do  $4T$ ) fragment krzywej rozpadu można przybliżyć odcinkiem prostym. Dlatego wartość funkcji  $m(t)$  na środku odcinka od  $3T$  do  $4T$  można szacować ze średniej arytmetycznej wartości funkcji  $m(t)$  na krańcach tego odcinka:

$$m(3,5T) \approx \frac{1}{2}(m(3T) + m(4T))$$

Korzystamy z pojęcia czasu połowicznego rozpadu:

$$m(3,5T) \approx \frac{1}{2} \left( \left(\frac{1}{2}\right)^3 m_0 + \left(\frac{1}{2}\right)^4 m_0 \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2}\right)^3 \left(1 + \frac{1}{2}\right) m_0 = \frac{3}{32} m_0$$

Podstawiamy dane:

$$m(3,5T) \approx \frac{3}{32} m_0 \quad \rightarrow \quad m_0 \approx \frac{32}{3} \cdot 0,75 \text{ mg} \approx 8 \text{ mg}$$

Początkowa masa izotopu radu wynosiła około 8 mg.

Uwaga, do wzoru  $m(3,5T) \approx \frac{3}{32} m_0$  można dojść równoważnymi sposobami, wykorzystującymi pojęcie czasu połowicznego rozpadu:

$$m(3,5T) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} m_0$$

Czynnik  $\frac{3}{4}$  pojawia się tutaj jako wynik następującego szacowania: jeśli w ciągu jednego czasu połowicznego rozpadu rozpadnie się połowa jąder, to w połowie tego czasu rozpadnie się  $\frac{1}{4}$  jąder, czyli pozostanie  $\frac{3}{4}$  jąder. Powyższy wzór to szacowanie liczby jąder pozostających w próbce po trzech (trzy czynniki  $\frac{1}{2}$ ) i pół (czynnik  $\frac{3}{4}$ ) czasach połowicznego rozpadu.

### Zadanie 22.1. (2 pkt)

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Stosowanie podstawowych założeń modelu atomu wodoru wg Bohra (I.1.5.19).
Tworzenie informacji.	Budowanie prostych modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk (III.3).

### Schemat punktowania

2 p. – poprawna metoda i prawidłowy wynik liczbowy z jednostką.

1 p. – poprawna metoda oraz błąd w obliczeniach, brak jednostki w wyniku końcowym albo brak obliczeń.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

### Przykładowe rozwiązanie

Zapisujemy zasadę zachowania energii w układzie fotonu i elektronu:

$$E_{fot} = \Delta E_{el} \quad \rightarrow \quad E_{fot} = E_3 - E_2 \quad \rightarrow \quad E_{fot} = \frac{E_1}{3^2} - \frac{E_1}{2^2}$$

Obliczamy energię emitowanego fotonu:

$$E_{fot} = -13,6 \text{ eV} \cdot \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 1,89 \text{ eV} = 3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

**Zadanie 22.2. (2 pkt)**

Obszar standardów	Opis wymagań
Wiadomości i rozumienie.	Obliczanie długości fali emitowanej przez atom wodoru przy przeskokach elektronu pomiędzy orbitami (I.1.5.20).

**Schemat punktowania**

2 p. – poprawna metoda i prawidłowy wynik liczbowy z jednostką (od  $6,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  do  $6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ).

1 p. – poprawna metoda i błąd w obliczeniach lub brak jednostki  
*lub*

– obliczenie energii fotonu albo wykorzystanie obliczeń z poprzedniego zadania, dalej brak obliczeń albo błąd w obliczeniach.

0 p. – brak spełnienia powyższych kryteriów.

**Przykładowe rozwiązanie**

Ze wzoru Plancka na energię fotonu

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

obliczamy długość fali emitowanego fotonu:

$$\lambda = \frac{hc}{E_f} \rightarrow \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 6,59 \cdot 10^{-7} \text{ m} \approx 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$