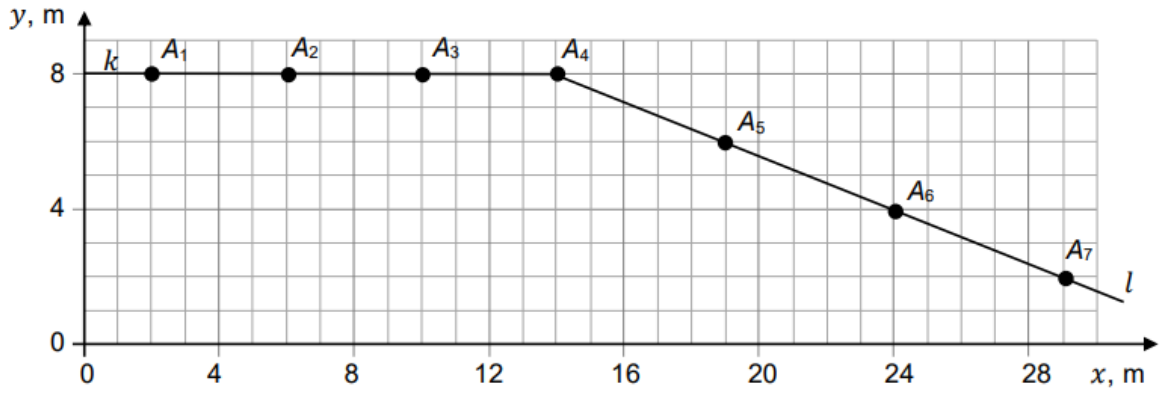
FIZYKA

Poziom rozszerzony

Zadania maturalne z fizyki

Zadanie 1. Impulsowe działanie siły

Na rysunku poniżej przedstawiono ruch ciała o masie $m = 0{,}5$ kg w inercjalnym układzie odniesienia, we współrzędnych (x, y). Początkowo ciało poruszało się swobodnie ruchem jednostajnym z prędkością $\vec{v}_k$ wzdłuż prostej k. W punkcie A_4 na ciało zadziałała siła $\vec{F}$, przy czym czas jej działania był bardzo krótki i wynosił $\Delta\tau = 0{,}02$ s. Gdy siła przestała działać, ciało poruszało się dalej ruchem jednostajnym z prędkością $\vec{v}_l$ wzdłuż prostej l. Na wykresie toru narysowano i oznaczono położenia ciała w pierwszym etapie ruchu (A_1–A_4) i w drugim etapie ruchu (A_4–A_7). Czas ruchu wzdłuż każdego z odcinków: A_1A_2, A_2A_3, … , A_6A_7 był taki sam i wynosił $\Delta t = 1$ s.

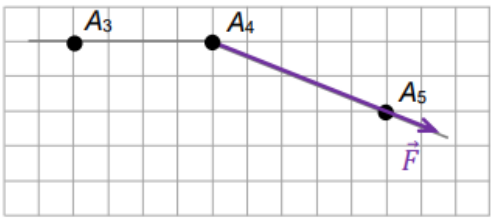


Przyjmij model zjawiska, w którym zakładamy, że siła $\vec{F}$ była stała. Na rysunkach pominięto bardzo krótki paraboliczny fragment toru, gdy na ciało działała siła $\vec{F}$.

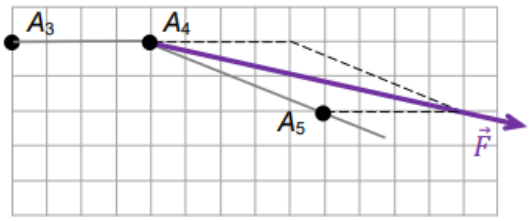
Zadanie 1.1. (0–1)

Na którym diagramie (spośród A–D) prawidłowo przedstawiono kierunek i zwrot siły $\vec{F}$? Zaznacz właściwą odpowiedź spośród podanych.

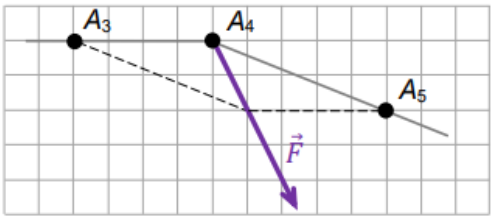
A.



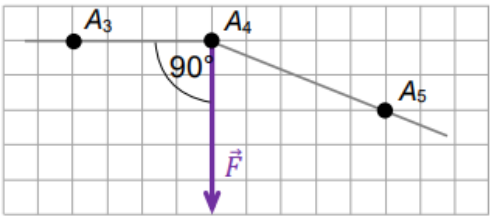
B.



C.



D.



Zadanie 1.2. (0–3)

Oblicz wartość siły $\vec{F}$. Zapisz obliczenia.

Zadanie 2. Spadająca kulka

Pionowo w dół rzucono metalową kulkę o masie $m = 0{,}250\ \text{kg}$. Na wysokości $h = 1{,}80\ \text{m}$ ponad podłożem, w chwili $t_0 = 0\ \text{s}$, kulka osiągnęła prędkość o wartości $v_0 = 3{,}20\ \text{m/s}$. Licząc od wysokości h, aż do podłoża, kulka spadała swobodnie i się nie obracała. Po upadku na twarde podłoże kulka odbiła się od niego, a czas oddziaływania (zderzenia) kulki z podłożem był równy $\Delta t = 5{,}00 \cdot 10^{-3}\ \text{s}$. Podczas pierwszego zderzenia z podłożem kulka straciła 25% swojej energii mechanicznej.

Do analizy zjawiska przyjmij jego uproszczony model, w którym:

- pomiń opory powietrza podczas ruchu kulki;
- załóż, że siła $\vec{F}_R$ reakcji podłoża działająca na kulkę podczas zderzenia była stała;
- przyjmij do obliczeń wartość przyśpieszenia ziemskiego równą $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$.

Zadanie 2.1. (0–2)

Na podstawie danych przedstawionych w opisie zadania 2. oblicz czas trwania ruchu kulki od chwili $t_0 = 0\ s$ do chwili pierwszego uderzenia w podłoże. Zapisz obliczenia.

Zadanie 2.2. (0–2)

Wykaż, że wartość prędkości uzyskanej przez kulkę tuż przed pierwszym uderzeniem w podłoże wynosi $v_1 \approx 6,75\ \mathrm{m/s}$.

Zadanie 2.3. (0–3)

Oblicz wartość siły reakcji podłoża działającej na kulkę podczas zderzenia kulki z podłożem. Zapisz obliczenia.

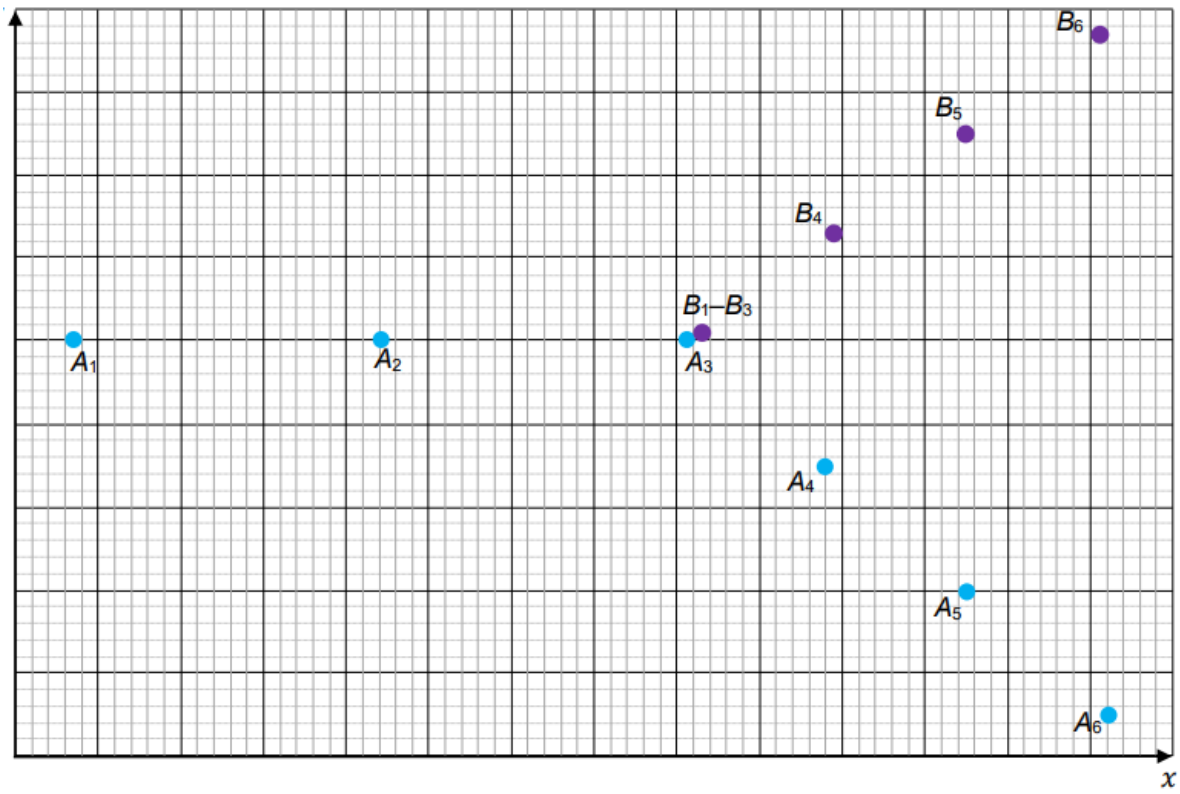
Wskazówka: możesz skorzystać z faktu, że wartość prędkości uzyskana przez kulkę tuż przed uderzeniem w podłoże wynosi $v_1 \approx 6{,}75\ \mathrm{m/s}$.

Zadanie 3. Zderzenie ciał

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

Opisany ruch fotografowano z góry, a zdjęcia nałożono na siebie i uzyskano poniższy diagram. Kolejne zdjęcia wykonywano w jednakowych odstępach czasu i oznaczono numerami 1–6. Położenia ciała A w chwilach 1–6 oznaczono A_1–A_6, analogiczne położenia ciała B oznaczono B_1–B_6. (Zapis na diagramie B_1–B_3 oznacza, że te położenia się pokrywały).

Przyjmij, że ruch przedstawiony na diagramie odbywa się w układzie inercjalnym w płaszczyźnie poziomej, na której narysowano układ współrzędnych (x, y).



Zadanie 3.1. (0–3)

Wykaż, że masa ciała B wynosi 250 g. Wykonaj niezbędne pomiary na diagramie, a następnie przeprowadź obliczenia.

Zadanie 3.2. (0–3)

Ustal i zapisz, czy zderzenie było doskonale sprężyste. Uzasadnij swoje stwierdzenie. W uzasadnieniu powołaj się na odpowiednie prawa lub zależności fizyczne i wykonaj niezbędne obliczenia.

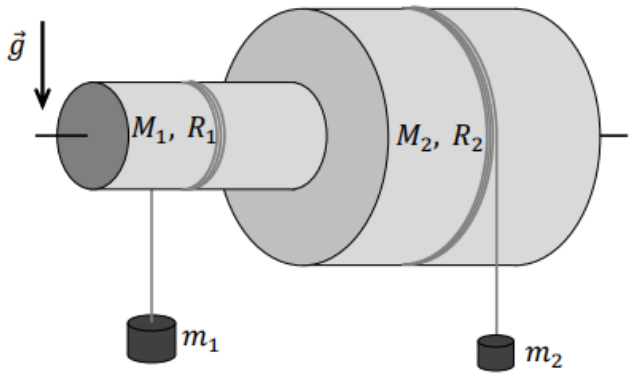
Przyjmij do obliczeń masę ciała B równą 250 g.

Zadanie 4. Kołowrót

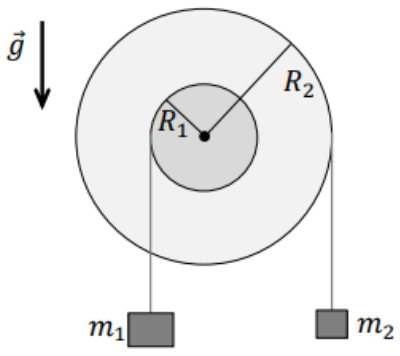
Dwa jednorodne walce połączono na sztywno tak, że tworzą one bryłę obrotową (zobacz rysunek 1. i rysunek 2.). Może się ona obracać wokół nieruchomej poziomej osi, która pokrywa się z jej osią symetrii. Na walec o promieniu $R_1 = 5$ cm i masie $M_1 = 3$ kg nawinięto sznurek, do którego końca przymocowano ciężarek o masie $m_1 = 2$ kg. Na walec o promieniu $R_2 = 12$ cm i masie $M_2 = 8$ kg nawinięto sznurek, do którego końca przymocowano ciężarek o masie $m_2 = 1$ kg. Początki obu nierozciągliwych sznurków są przytwierdzone – odpowiednio – do każdego z walców, a kierunki ich nawinięcia na oba walce są przeciwne. Sznurki nawinięto prostopadle do osi walców tak, że nie zostawiono luzów. Podczas ruchu obrotowego bryły sznurki mogą nawijać się i odwijać. Układ znajduje się w ziemskim polu grawitacyjnym, przyśpieszenie ziemskie wynosi $\vec{g}$. W chwili początkowej układ jest nieruchomy.

Opisany układ odblokowano: umożliwiono połączonym walcom obracanie się wokół nieruchomej, poziomej osi. Pomiń opory ruchu oraz masę i grubość sznurków. Moment bezwładności jednorodnego walca o masie M i promieniu R jest równy $\frac{1}{2}MR^2$.

Rysunek 1.



Rysunek 2. (widok z boku)



Zadanie 4.1. (0–1)

Ustal i zapisz, czy ciężarek o masie m_1 zacznie opadać czy się wznosić. Uzasadnij swoje stwierdzenie. W uzasadnieniu powołaj się na odpowiednie prawa lub zależności fizyczne i wykonaj niezbędne obliczenia.

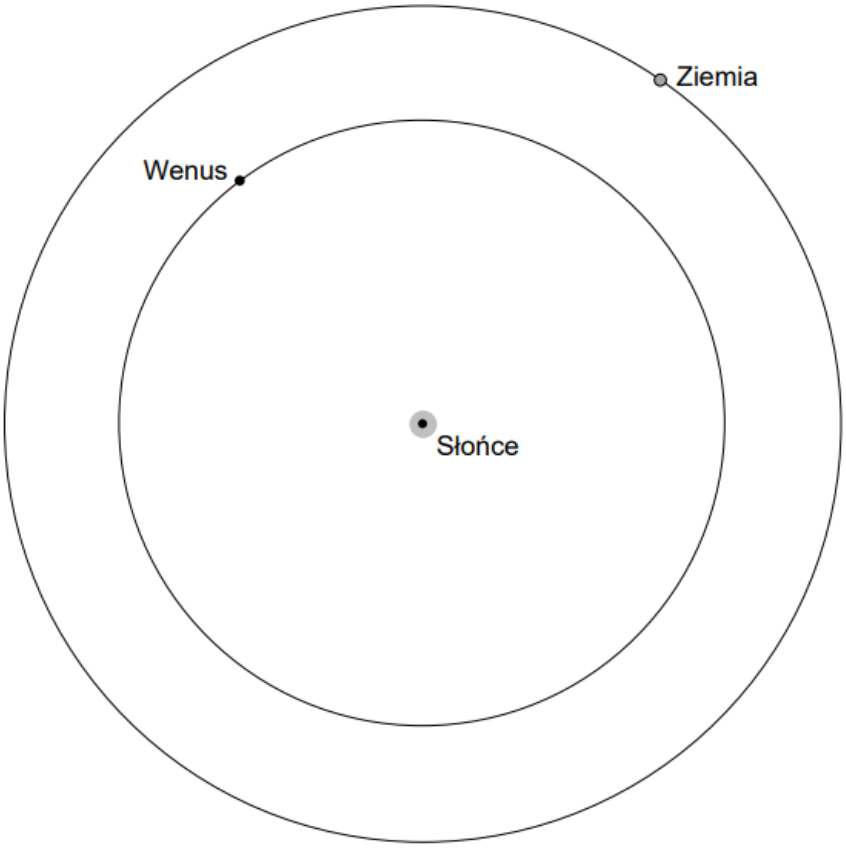
Zadanie 4.2. (0–4)

Oblicz wartość przyśpieszenia ciężarka o masie m_1. Zapisz obliczenia.

Zadanie 5. Wenus i Ziemia

Wenus i Ziemia obiegają Słońce po orbitach, które z dobrym przybliżeniem możemy uznać za kołowe. Na poniższym rysunku przedstawiono położenie względne orbit obu planet z zachowaniem skali pomiędzy rozmiarami tych orbit. Przyjmij do obliczeń, że okres obiegu Ziemi dookoła Słońca wynosi $T_Z = 1\ \mathrm{rok}$, a każda z planet oddziałuje tylko ze Słońcem.

Niektóre dane liczbowe są zawarte w proporcjach geometrycznych na rysunku. W celu rozwiązania zadań 5.1.–5.3. wykonaj odpowiednie pomiary linijką – z dokładnością do $1\ \mathrm{mm}$.



Zadanie 5.1. (0–2)

Oblicz okres obiegu Wenus dookoła Słońca. Wynik podaj w latach ziemskich, zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Zadanie 5.2. (0–2)

Wartość prędkości liniowej Ziemi w ruchu orbitalnym względem Słońca wynosi ok. $30\ \mathrm{km/s}$.

Oblicz wartość prędkości liniowej Wenus w ruchu orbitalnym względem Słońca. Zapisz obliczenia.

Zadanie 6. (0–2) Ruch po orbicie eliptycznej

Ciało niebieskie o masie m krąży po wydłużonej orbicie eliptycznej dookoła innego ciała niebieskiego o masie M. Środek masy układu przypada praktycznie w środku M. Ten ruch zilustrowano na rysunku: przedstawiono położenia ciała w kolejnych chwilach, między którymi upływał ustalony odstęp czasu. Na jednym spośród rysunków 1.–4. prawidłowo zilustrowano opisany ruch.

Rysunek 1.

Rysunek 2.

Rysunek 3.

Rysunek 4.

Dokończ zdanie. Wpisz właściwą odpowiedź oraz ją uzasadnij, odwołując się do odpowiednich praw lub zasad.

Ruch po orbicie eliptycznej prawidłowo zilustrowano rysunkiem nr ..... .

Uzasadnienie:

Zadanie 7. Ruch Eris dookoła Słońca

Planeta karłowata Eris obiega Słońce po orbicie eliptycznej w czasie około 557 lat ziemskich. Prędkość planety w peryhelium ma wartość $v_p = 5{,}81\ \mathrm{km/s}$, natomiast prędkość planety w aphelium ma wartość $v_A = 2{,}25\ \mathrm{km/s}$. Wektory prędkości planety w aphelium i peryhelium są prostopadłe do promienia wodzącego – łączącego planetę ze Słońcem.

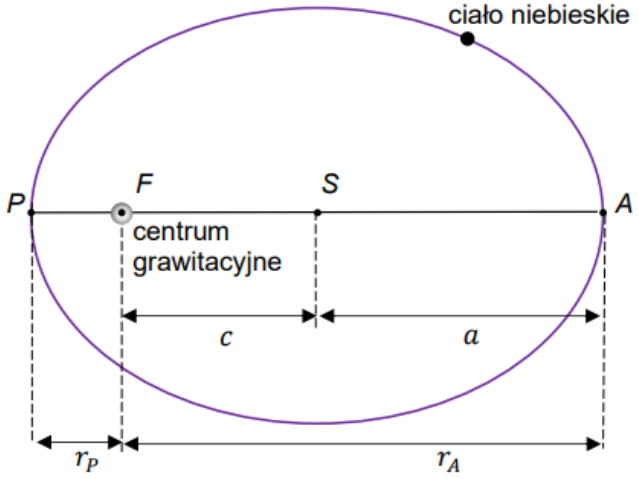
Wiadomo, że III prawo Keplera – zastosowane do orbit eliptycznych – ma postać:

$$\frac{T^2}{a^3} = \mathrm{const}$$

gdzie a jest długością półosi wielkiej elipsy (patrz opis elipsy poniżej).

Informacja do zadań 7.1.– 7.3.

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



F – jedno z ognisk elipsy.

S – środek elipsy.

P – punkt orbity leżący najbliżej centrum grawitacyjnego.

A – punkt orbity leżący najdalej od centrum grawitacyjnego.

SP lub *SA* – wielka półoś elipsy.

Relacje między długościami odcinków:

$r_A + r_P = 2a \qquad r_A - r_P = 2c$

Kształt orbity eliptycznej opisuje m.in. mimośród orbity, który jest zdefiniowany jako:

$$e = \frac{c}{a}$$

Zadanie 7.1. (0–3)

Oblicz mimośród orbity Eris. Wykorzystaj podane informacje o elipsie oraz odpowiednie zależności lub zasady fizyczne. Wynik podaj zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 7.2. (0–2)

Oblicz długość półosi wielkiej a orbity eliptycznej Eris. Wykorzystaj informację o III prawie Keplera dla orbity eliptycznej. Wynik podaj w jednostkach astronomicznych zaokrąglony do trzech cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Zadanie 7.3. (0–3)

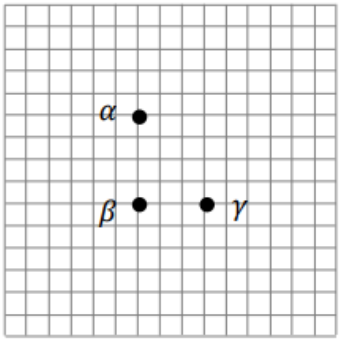
Wyprowadź poniższe wzory, pozwalające wyznaczyć wartości prędkości planety w punktach peryhelium i aphelium za pomocą parametrów orbity eliptycznej, masy Słońca M i stałej grawitacji G:

$$v_p = \sqrt{\frac{GM}{a} \cdot \frac{r_A}{r_P}} \qquad v_A = \sqrt{\frac{GM}{a} \cdot \frac{r_P}{r_A}}$$

Zadanie 8. Rozszerzanie się Wszechświata

Na poniższym rysunku przedstawiono położenie względem siebie trzech galaktyk α, β, γ. Odległości między tymi galaktykami są rzędu dziesiątek milionów lat świetlnych.

Na płaszczyźnie rysunku naniesiono siatkę ukazującą stosunki odległości między galaktykami. Długość boku kratki odpowiada umownej jednostce odległości. Przyjmij, że prędkości względne tych galaktyk wynikają jedynie z rozszerzania się Wszechświata.



Zadanie 8.1. (0–2)

Wartość prędkości względnej galaktyk α i β oznaczymy jako $v_{\alpha\beta}$.
Wartość prędkości względnej galaktyk β i γ oznaczymy jako $v_{\beta\gamma}$.

Oblicz iloraz $\frac{v_{\alpha\beta}}{v_{\beta\gamma}}$. Zapisz obliczenia.

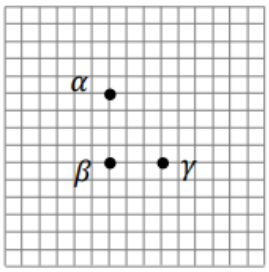
Zadanie 8.2. (0–1)

Po pewnym bardzo długim czasie (np. rzędu setek milionów lat), w wyniku rozszerzania się Wszechświata, względne położenia galaktyk α, β, γ się zmienią.

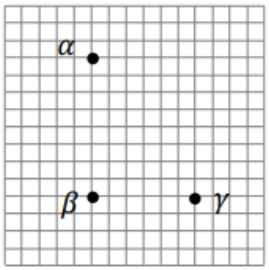
Na którym rysunku (spośród A–D) prawidłowo przedstawiono możliwe położenia galaktyk po bardzo długim czasie? Zaznacz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Długość boku kratki na rysunkach A–D odpowiada tej samej umownej jednostce długości, co na rysunku we wstępie do zadania.

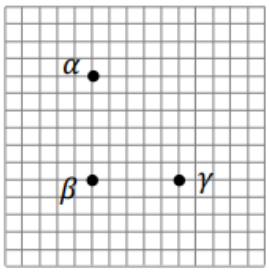
A.



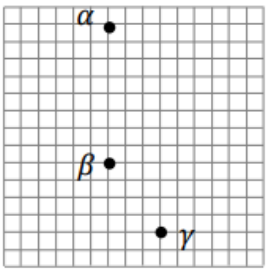
B.



C.



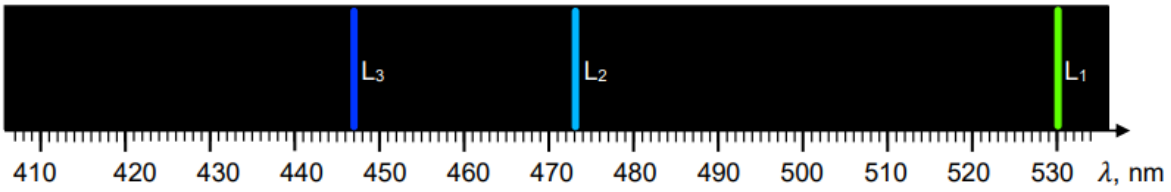
D.



Zadanie 9. Przesunięcie widma ku czerwieni

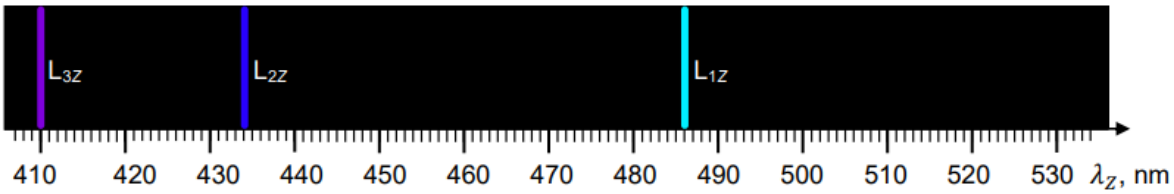
W pewnym miejscu w przestrzeni kosmicznej źródło wyemitowało promieniowanie elektromagnetyczne. Fragment widma tego promieniowania, zarejestrowanego przez detektor w innym miejscu Wszechświata, został przedstawiony na rysunku 1. Przyjmij, że między źródłem a detektorem promieniowanie z niczym nie oddziaływało.

Rysunek 1.



Naukowcy przypuszczają, że zarejestrowane promieniowanie jest emitowane przez wzbudzone atomy wodoru. Fragment widma promieniowania wodoru, zarejestrowanego w układzie odniesienia, w którym próbka wodoru spoczywa, jest przedstawiony na rysunku 2. Długości fal linii widmowych na rysunku 1. są wprost proporcjonalne do tych na rysunku 2. Odpowiadające sobie linie widmowe oznaczono: L_1 i L_{1Z}; L_2 i L_{2Z}; L_3 i L_{3Z}.

Rysunek 2.



Informacja do zadań 9.1.– 9.3.

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

$$f = f_Z\sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}} \quad \text{(źródło się zbliża)} \qquad f = f_Z\sqrt{\frac{1-\frac{v}{c}}{1+\frac{v}{c}}} \quad \text{(źródło się oddala)}$$

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

Zadanie 9.1. (0–1)

Na podstawie danych przedstawionych na rysunkach 1. i 2. wykaż, że źródło promieniowania oddala się od detektora. Powołaj się na odpowiednie prawa lub zależności fizyczne i określ niezbędne relacje, uzasadniające twoje stwierdzenie.

Zadanie 9.2. (0–3)

Oblicz prędkość oddalania się źródła promieniowania od obserwatora (detektora). Zapisz obliczenia.

Zadanie 9.3. (0–2)

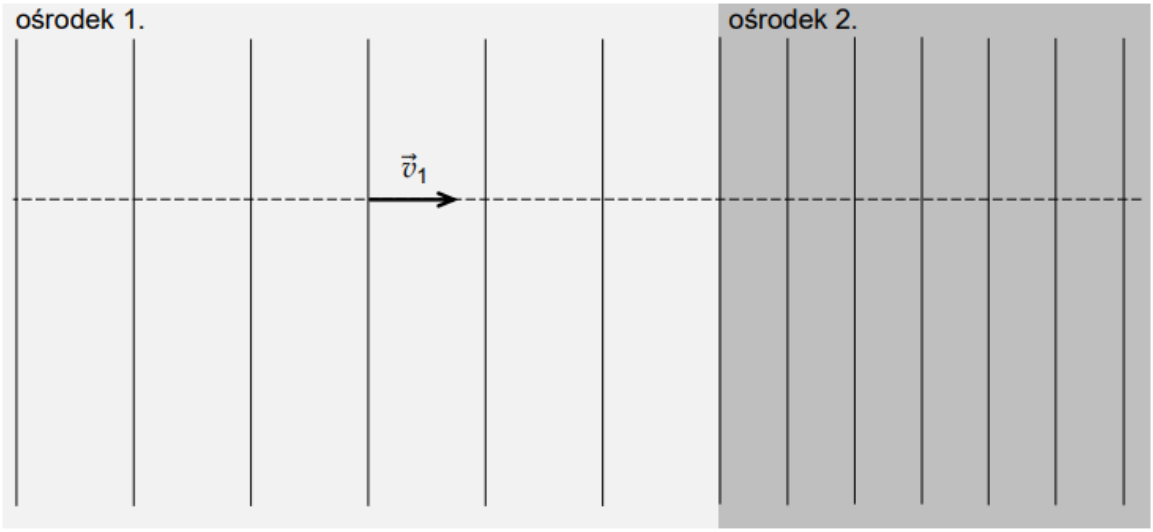
Na podstawie wyników pewnej obserwacji – podobnej do tej opisanej w informacji wstępnej do zadania 9. – naukowcy obliczyli, że inne badane źródło promieniowania oddala się od obserwatora z prędkością około $26\,000\ \mathrm{km/s}$. Przyjmij, że w tym przypadku ruch względny źródła i detektora wynika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

Oblicz odległość między źródłem tego promieniowania a detektorem. Wynik podaj zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 10. Fala płaska

Fala dźwiękowa płaska przechodzi przez nieruchomą granicę ośrodków 1. i 2. w sposób przedstawiony na rysunku 1. poniżej. Powierzchnie falowe – oznaczone liniami pionowymi – są równoległe do granicy ośrodków, zatem prędkość fali $\vec{v}_1$ jest prostopadła do tej granicy. Na rysunku 1. zachowano skalę odległości między powierzchniami falowymi w wybranej chwili ruchu fali w obu ośrodkach.

Rysunek 1.



Zadanie 10.1. (0–2)

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

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

Zadanie 10.2. (0–2)

Prędkość fali w ośrodku 1. ma wartość $v_1 = 3\,250\ \mathrm{m/s}$.

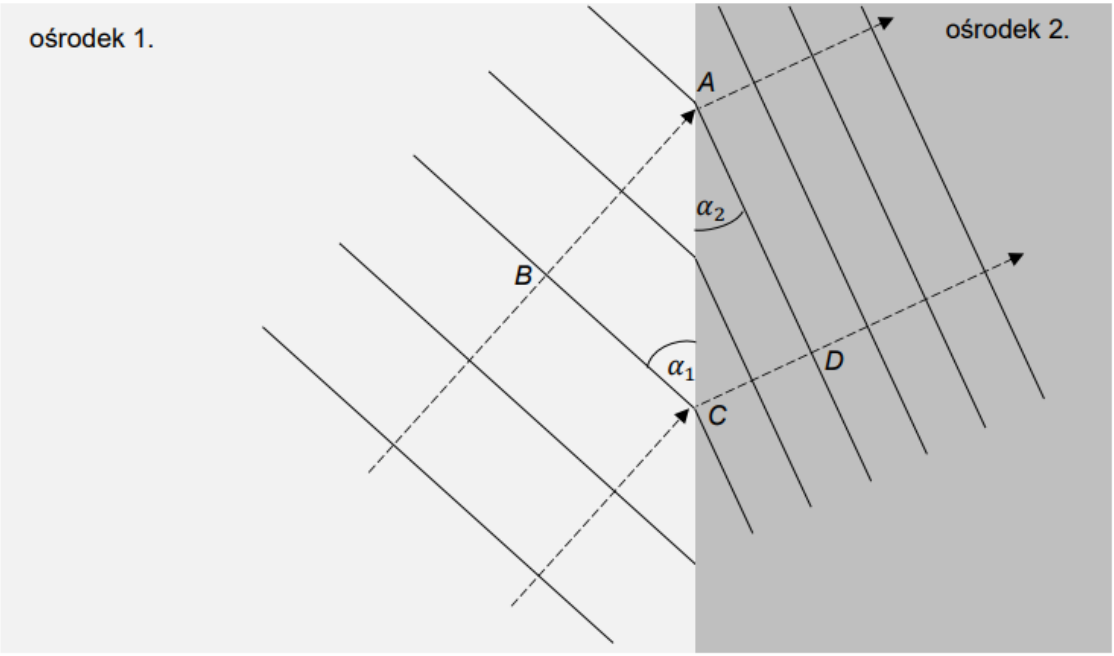
Oblicz wartość v_2 prędkości fali w ośrodku 2. Wynik podaj w $\mathrm{m/s}$ zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Niektóre dane liczbowe są zawarte w proporcjach geometrycznych na rysunku 1. W celu rozwiązania zadania wykonaj odpowiednie pomiary linijką – z dokładnością do $1\ \mathrm{mm}$.

Zadanie 10.3. (0–3)

Fala płaska pada na granicę ośrodków 1. i 2., ale tym razem w sposób przedstawiony na rysunku 2. Powierzchnie falowe – oznaczone liniami ciągłymi – są nachylone do granicy ośrodków pod kątem α_1 w ośrodku 1. i pod kątem α_2 w ośrodku 2.

Rysunek 2.



Na rysunku 2. oznaczono linią przerywaną kierunek biegu fali przez oba ośrodki. Wartości prędkości fali w obu ośrodkach wynoszą odpowiednio v_1 i v_2. Prawo załamania fali na granicy tych ośrodków opisano wzorem wyrażającym prawo Snelliusa:

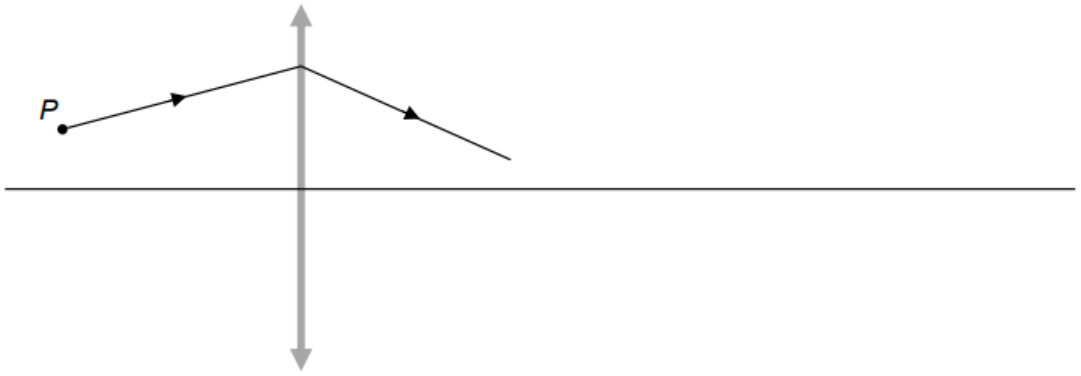
$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Wyprowadź powyższy wzór. Wykorzystaj obraz powierzchni falowych przedstawiony na rysunku 2., związki między parametrami fali oraz zależności matematyczne.

Zadanie 11. Soczewka (0–2)

Na rysunku poniżej przedstawiono fragment biegu promienia światła wychodzącego z punktu P i przechodzącego przez cienką soczewkę skupiającą.

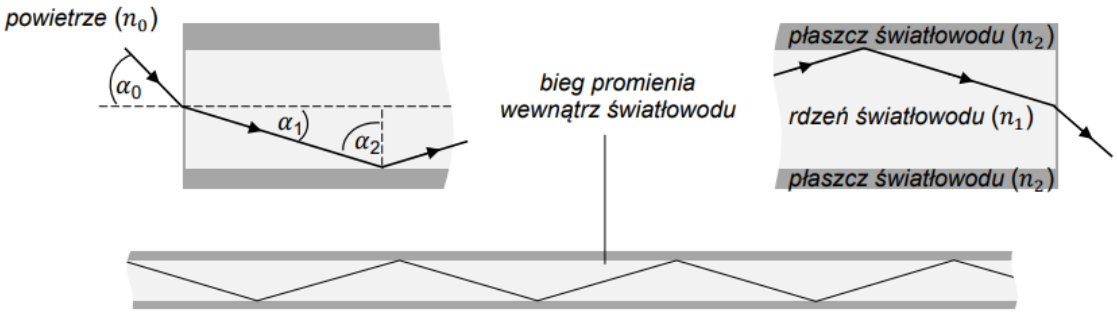
Skonstruuj i zaznacz na rysunku poniżej prawe ognisko F soczewki. Do wykonania konstrukcji użyj linijki.



Zadanie 12. Światłowód

Do przesyłania informacji za pomocą światła stosuje się światłowody. W klasycznym światłowodzie wyróżniamy dwa obszary – centralnie położony rdzeń wykonany ze szkła o współczynniku załamania światła n_1 oraz otaczający go płaszcz o współczynniku załamania światła n_2. Powierzchnia czołowa rdzenia światłowodu stanowi granicę dwóch ośrodków – powietrza o współczynniku załamania $n_0 = 1$ i szkła, z którego wykonano rdzeń. Dzięki odpowiednio dobranym współczynnikom n_1 oraz n_2 możliwe jest wprowadzenie wiązki światła do rdzenia światłowodu i przez wielokrotne odbicie tej wiązki w rdzeniu przesłanie informacji na duże odległości, wzdłuż toru o dowolnym kształcie, bez wyraźnych strat i zakłóceń.

Na poniższym rysunku przedstawiono bieg promienia padającego na czoło światłowodu pod kątem α_0 (lewa część rysunku), bieg promienia przez światłowód (dolna część rysunku) oraz bieg promienia opuszczającego światłowód (prawa część rysunku).



W pewnym światłowodzie kąt graniczny (dla przejścia rdzeń–płaszcz) jest równy $\alpha_{gr} = 58°$ natomiast odpowiednie kąty oznaczone na rysunku wynoszą: $\alpha_0 = 65°$ oraz $\alpha_2 = 60°$.

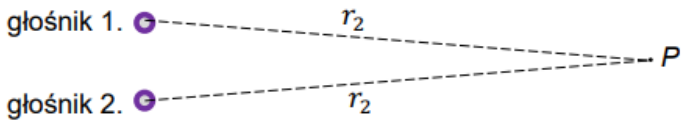
Zadanie 12.2. (0–3)

Foton biegnący w światłowodzie o długości $s = 100\ \text{km}$ przebywa dłuższą drogę niż wynosi długość światłowodu. Prędkość światła w rdzeniu światłowodu oraz prędkość przenoszenia sygnału przez światłowód się różnią. Przyjmij, że rdzeń światłowodu wykonano z materiału, dla którego współczynnik załamania światła wynosi $n_1 = 1{,}8$, a kąt, pod jakim odbija się promień światła w rdzeniu od płaszcza światłowodu, wynosi $\alpha_2 = 60°$ (jak na rysunku w treści zadania).

Oblicz czas *t*, w jakim zostanie przekazany sygnał wzdłuż tego światłowodu. Wynik podaj zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Zadanie 13. (0–4) Wzmocnienie natężenia dźwięku od dwóch głośników

W wysokiej hali zawieszono obok siebie dwa identyczne głośniki. Każdy z nich emituje z tą samą mocą kulistą falę dźwiękową o częstotliwości $440\ \mathrm{Hz}$. Gdy włączono tylko jeden głośnik, to w odległości $r_1 = 1{,}0\ \mathrm{m}$ od tego głośnika natężenie emitowanego przez niego dźwięku było równe $I_1 = 0{,}10\ \mathrm{W/m^2}$. Następnie włączono oba głośniki i zarejestrowano natężenie I_{22} wypadkowej fali dźwiękowej (pochodzącej od obu włączonych głośników) w punkcie *P* odległym o $r_2 = 2{,}5\ \mathrm{m}$ od każdego z głośników (zobacz rysunek poniżej).



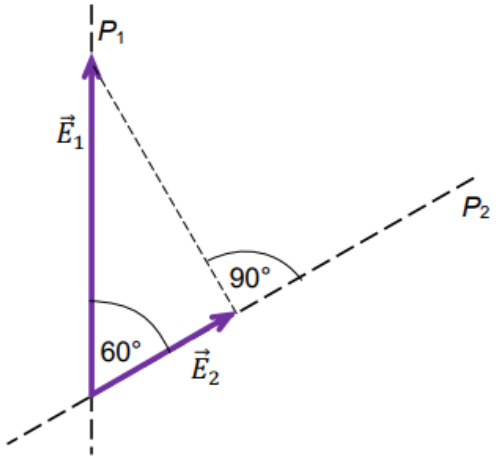
Membrany głośników drgają zgodnie w fazie. Pomiń wpływ innych źródeł dźwięku, a także efekty związane z odbiciem fal oraz z ich tłumieniem w powietrzu.

Oblicz natężenie dźwięku w punkcie *P*. Zapisz obliczenia.

Zadanie 14. (0–3) Polaryzacja światła

Wiązka niespolaryzowanego światła pada na pierwszy polaryzator liniowy. Po przejściu przez ten polaryzator natężenie spolaryzowanej liniowo fali elektromagnetycznej jest równe $I_1 = 20\ \mathrm{W/m^2}$. Amplitudę wektora natężenia pola elektrycznego po przejściu przez pierwszy polaryzator oznaczymy jako $\vec{E}_1$. Następnie światło tak spolaryzowane pada prostopadle na drugi polaryzator liniowy, którego płaszczyzna polaryzacji P_2 jest ustawiona pod kątem $\alpha = 60°$ do płaszczyzny polaryzacji P_1 pierwszego polaryzatora. Amplitudę wektora natężenia pola elektrycznego po przejściu przez drugi polaryzator oznaczymy jako $\vec{E}_2$.

Jak przedstawiono na poniższym rysunku, $\vec{E}_2$ jest rzutem wektora $\vec{E}_1$ na P_2.



Uwaga! Słowo „natężenie”, pojawiające się w treści i poleceniu, dotyczy dwóch różnych wielkości: natężenia I fali elektromagnetycznej oraz natężenia $\vec{E}$ pola elektrycznego.

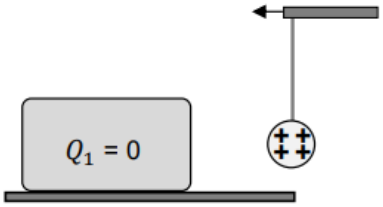
Oblicz natężenie I_2 fali elektromagnetycznej po przejściu przez drugi polaryzator. Zapisz obliczenia.

Zadanie 15. Indukcja elektrostatyczna

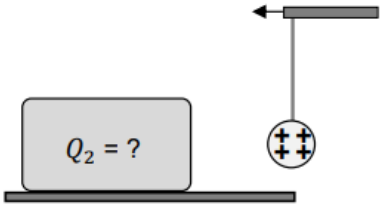
Uczniowie wykonali dwa doświadczenia: D1 i D2. Na początku każdego z doświadczeń umieścili metalowy klocek na nieprzewodzącej podstawie. W doświadczeniu D1 całkowity ładunek elektryczny klocka wynosił 0. W doświadczeniu D2 całkowity ładunek elektryczny klocka był uczniom nieznany.

W obu doświadczeniach do klocka powoli zbliżono na niewielką odległość lekką kulkę wykonaną z izolatora i naładowaną dodatnio. Kulka była zawieszona na izolującej nici. Podczas obu doświadczeń kulka i klocek się nie dotykały. Po zbliżeniu kulki do klocka uczniowie obserwowali jej zachowanie się oraz analizowali oddziaływanie kulki z klockiem.

Doświadczenie D1



Doświadczenie D2



Zadanie 15.1. (0–1)

Dokończ zdanie. Zaznacz odpowiedź A, B albo C oraz odpowiedź 1., 2. albo 3.

W doświadczeniu D1, po zbliżeniu kulki do klocka, na jego powierzchni

A.	nie powstaną żadne ładunki,	a kulka	**1.**	nie oddziałuje z klockiem.
B.	z prawej strony (bliżej kulki) wystąpią ładunki ujemne, a z lewej – dodatnie,		**2.**	jest przyciągana przez klocek.
C.	z lewej strony (dalej od kulki) wystąpią ładunki ujemne, a z prawej – dodatnie,		**3.**	jest odpychana przez klocek.

Zadanie 15.2. (0–2)

W doświadczeniu D2, po zbliżeniu kulki do klocka na pewną odległość, zaobserwowano, że kulka nie jest ani przyciągana, ani odpychana przez klocek.

Ustal i zapisz, czy ładunek całkowity klocka jest dodatni, ujemny czy równy 0. Uzasadnij swoje stwierdzenie. W uzasadnieniu powołaj się na odpowiednie prawa lub zasady fizyczne oraz przedstaw logiczny tok rozumowania

Ładunek całkowity klocka: .....

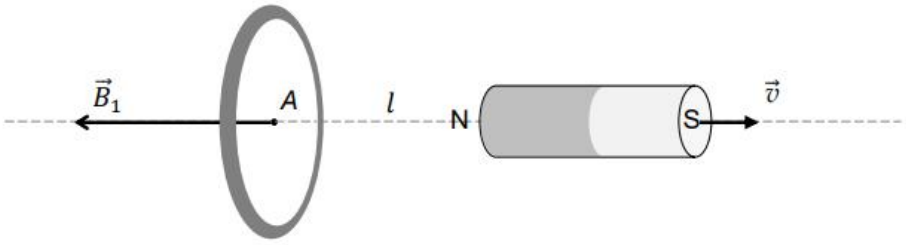
Uzasadnienie:

Zadanie 16. Indukcja elektromagnetyczna

Magnes sztabkowy oddala się od aluminiowego pierścienia wzdłuż linii prostej l, która jest osią symetrii pierścienia. Na rysunkach 1. i 2. przedstawiono oddalający się od pierścienia magnes odpowiednio: w chwili t_1 oraz w późniejszej chwili t_2. Na rysunku 1. dodatkowo narysowano w punkcie *A* wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}_1$, pochodzącej od magnesu w chwili t_1. Przyjmij, że kształt linii pola jest symetryczny względem osi l. Pomiń wpływ innych pól. Punkt *A* leży w środku pierścienia.

Bliżej patrzącego jest część pierścienia narysowana grubszą linią.

Rysunek 1.



Rysunek 2.

Zadanie 16.1. (0–2)

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

1.	W sytuacji, gdy magnes oddala się od pierścienia, to pierścień i magnes przyciągają się wzajemnie.	**P**	**F**
2.	Zwrot indukowanego prądu w pierścieniu zależy od zwrotu prędkości magnesu.	**P**	**F**
3.	Natężenie prądu indukowanego w pierścieniu zależy od wartości prędkości magnesu.	**P**	**F**

Zadanie 16.2. (0–2)

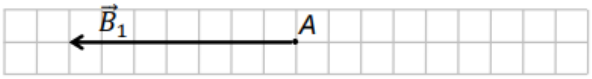
Ustal i oznacz strzałką na rysunku 2. zwrot prądu indukowanego w pierścieniu. Uzasadnij swoje oznaczenie. W uzasadnieniu powołaj się na odpowiednie prawa, reguły lub zależności fizyczne oraz przedstaw logiczny tok rozumowania.

Uzasadnienie:

Zadanie 16.3. (0–3)

Na diagramie 1. poniżej narysowano wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}_1$ pochodzącej od magnesu, w punkcie *A* w chwili t_1. Pierścienia i magnesu nie narysowano.

Diagram 1. (dla $\vec{B}_1$)



Wektory indukcji magnetycznej w różnych chwilach w punkcie *A* oznaczymy następująco:

$\vec{B}_2$ – wektor indukcji magnetycznej pola magnesu w chwili t_2,
$\Delta\vec{B}_{12}$ – wektor zmiany indukcji magnetycznej pola magnesu od chwili t_1 do t_2,
$\vec{B}_{ind}$ – wektor indukcji magnetycznej wytworzonej przez prąd indukowany w pierścieniu.

Długość boku kratki na diagramach 1.–3. odpowiada tej samej umownej jednostce wartości wektora indukcji magnetycznej.

Na diagramie 2. narysuj i oznacz wektor $\vec{B}_2$, a na diagramie 3. narysuj i oznacz wektory $\Delta\vec{B}_{12}$ oraz $\vec{B}_{ind}$. Wartości wektorów $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$, $\Delta\vec{B}_{12}$ muszą uwzględniać relacje >, <, = oraz reguły działania na wektorach, a wektor $\vec{B}_{ind}$ powinien mieć określony prawidłowy kierunek i zwrot.

Diagram 2. (dla $\vec{B}_2$)

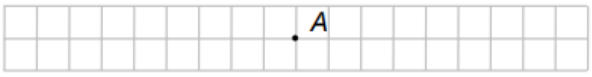
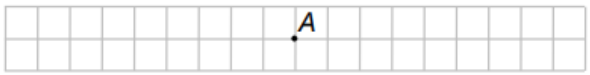


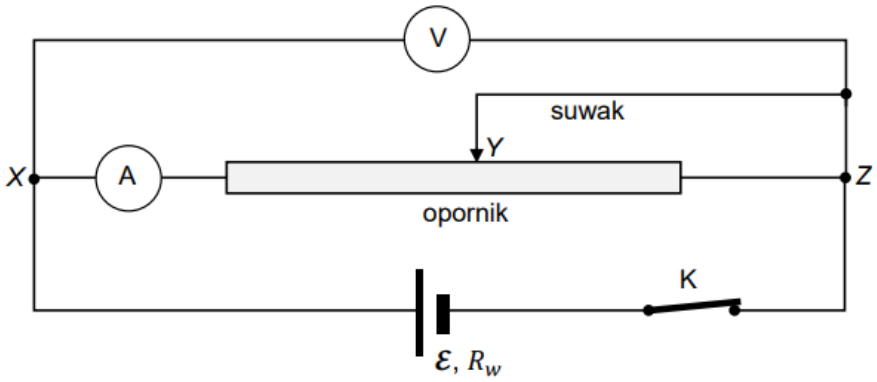
Diagram 3. (dla $\Delta\vec{B}_{12}$ oraz $\vec{B}_{ind}$)



Zadanie 17. Badanie własności baterii płaskiej

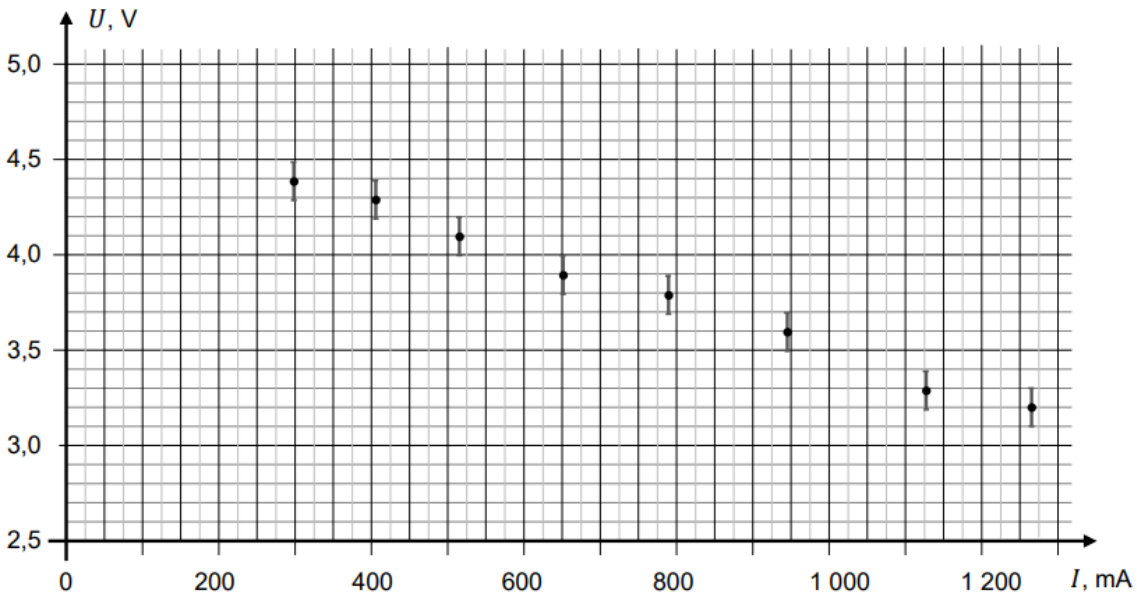
Uczniowie wykonali doświadczenie, w którym wyznaczali siłę elektromotoryczną $\mathcal{E}$ baterii oraz jej opór wewnętrzny R_w. W tym celu zbudowali obwód złożony z tej baterii, woltomierza, amperomierza, opornika z przesuwanym suwakiem oraz wyłącznika K (zobacz rysunek 1.). Przyjmij, że opór suwaka jest równy 0.

Rysunek 1.



Następnie, dla różnych położeń suwaka na oporniku, uczniowie mierzyli natężenie I prądu przepływającego przez opornik oraz napięcie U na tym oporniku. Niepewność pomiaru napięcia wynosiła $\Delta U = \pm 0{,}1$ V, natomiast natężenie prądu mierzono z niepewnością $\Delta I = \pm 1$ mA. Wyniki pomiarów uczniowie przedstawili na diagramie współrzędnych (I, U), w postaci punktów pomiarowych wraz z odcinkami niepewności (zobacz rysunek 2.).

Rysunek 2.



Zadanie 17.1. (0–2)

Wykaż, że napięcie U_{XY} pomiędzy punktami *X* i *Z* (na rysunku 1.) jest równe napięciu U_{XY} na części opornika pomiędzy punktami *X* i *Y*. Powołaj się na odpowiednie zależności fizyczne, uzasadniające to stwierdzenie.

Informacja do zadań 17.2–17.3.

Na podstawie modelu zjawiska uczniowie przyjęli, że zależność $U(I)$, badana w opisanym doświadczeniu, jest liniowa, tzn. opisuje ją wyrażenie:

$$U = -|a|I + b \qquad \text{dla pewnych współczynników } a \text{ i } b$$

Zadanie 17.2. (0–2)

Na rysunku 2. narysuj prostą najlepiej dopasowaną do punktów pomiarowych oraz oblicz współczynniki a i b tej prostej. Zapisz niezbędne obliczenia.

Zadanie 17.3. (0–2)

Przyjmij, że współczynniki a i b w równaniu prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych w opisanym doświadczeniu wynoszą:

$$a = -1{,}3\ \Omega \pm 0{,}2\ \Omega \qquad b = 4{,}8\ \mathrm{V} \pm 0{,}2\ \mathrm{V}$$

Na podstawie teoretycznego modelu badanego zjawiska oraz wyników doświadczenia wyznacz opór wewnętrzny R_w i siłę elektromotoryczną $\mathcal{E}$ baterii. Zapisz odpowiednie zależności fizyczne. Wyniki zapisz z uwzględnieniem niepewności pomiarowych.

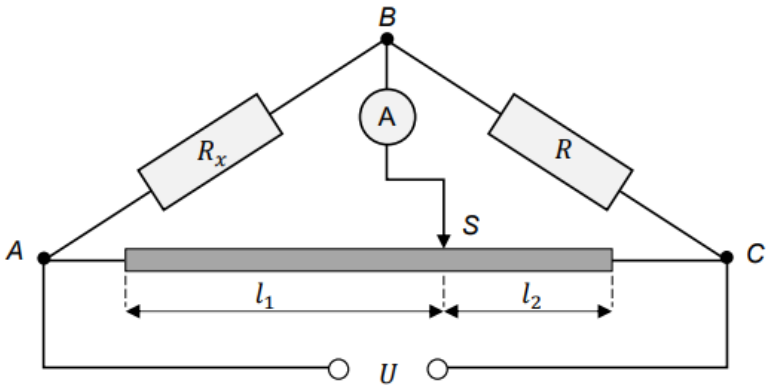
Zadanie 18. Mostek Wheatstone'a

Przedstawiony poniżej obwód (tzw. mostek Wheatstone'a) jest wykorzystywany do wyznaczania nieznanego oporu R_x. Mostek zawiera dwie gałęzie obwodu oznaczone *ABC* i *ASC* oraz źródło napięcia *U* zasilającego obwód. Gałąź *ABC* to połączone szeregowo dwa oporniki: jeden o nieznanym oporze R_x i drugi o znanym oporze R. Gałąź *ASC*, między węzłami *A* i *C*, to jednorodny drut oporowy, którego opór na jednostkę długości jest stały. Wyznaczanie oporu R_x polega na takim dobraniu położenia suwaka, aby amperomierz dołączony między punktami *B* i *S* wskazywał 0 – wtedy napięcie między tymi punktami także jest równe 0.

W takiej sytuacji (tzw. zrównoważenia mostka) jest spełnione równanie:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{l_1}{l_2}$$

gdzie l_1 i l_2 są długościami części drutu oporowego (zobacz rysunek poniżej). Z powyższego wzoru można wyznaczyć R_x, gdy znamy opór R oraz zmierzono długości l_1 i l_2.



Zadanie 18.1. (0–1)

Natężenie prądu płynącego przez któryś z oporników mostka oznaczymy indeksami (np. I_{AB}, I_{SC}, itp.) wskazującymi na to, pomiędzy którymi punktami mostka jest dany opornik.

Dokończ zdanie. Zaznacz odpowiedź A, B albo C oraz odpowiedź 1., 2. albo 3.

Prawidłowe relacje pomiędzy natężeniami prądów płynących przez poszczególne oporniki mostka w sytuacji jego zrównoważenia to

A.	$I_{AB} = I_{AS}$	oraz	**1.**	$I_{AB} + I_{BC} = I_{AC}$
B.	$I_{AB} = I_{SC}$		**2.**	$I_{AB} = I_{BC} + I_{SC}$
C.	$I_{AB} = I_{BC}$		**3.**	$I_{AB} + I_{AS} = I_{BC} + I_{SC}$

Zadanie 18.2. (0–2)

Wyprowadź wzór podany we wstępie do zadania 18. Powołaj się na odpowiednie zależności lub prawa fizyczne, niezbędne do wyprowadzenia tego wzoru.

Zadanie 18.3. (0–3)

W pewnym doświadczeniu z mostkiem Wheatstone'a użyto oporu $R = 20{,}00\ \Omega$, napięcia zasilającego obwód równego $U = 6{,}00\ \mathrm{V}$, a także jednorodnego drutu oporowego. Mostek był zrównoważony, gdy stosunek długości obu części (*AS*, *SC*) drutu oporowego wynosił $l_1 : l_2 = 2$.

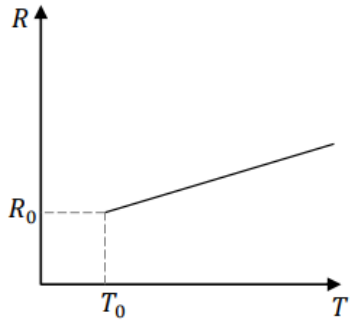
Oblicz moc wydzielaną (w postaci ciepła Joule'a – Lenza) na oporniku R_x w sytuacji, gdy mostek był zrównoważony. Zapisz obliczenia.

Zadanie 19. (0–1) Zależność oporu półprzewodnika od temperatury

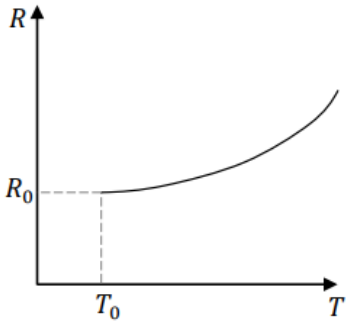
Badano zależność oporu typowego półprzewodnika od temperatury. Opór półprzewodnika w temperaturze pokojowej T_0 jest równy R_0.

Na którym wykresie (spośród A–D) prawidłowo przedstawiono zależność oporu półprzewodnika od temperatury? Zaznacz właściwą odpowiedź spośród podanych.

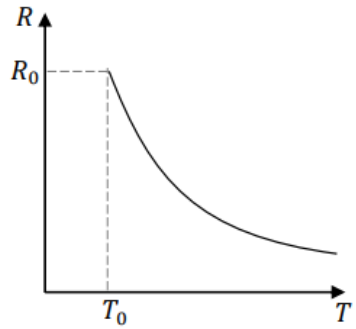
A.



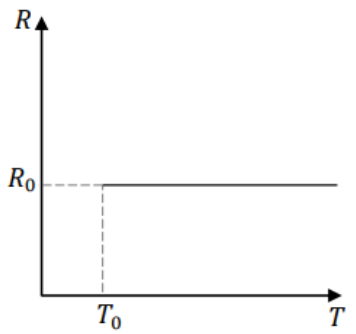
B.



C.



D.

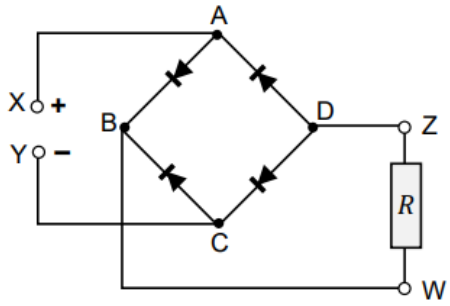


Zadanie 20. Dioda w układzie prostowniczym

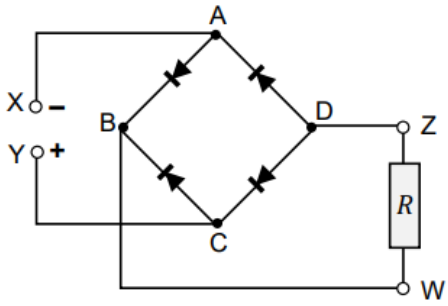
Mostek Graetza składa się z układu czterech diod półprzewodnikowych połączonych tak, aby wymusić określony kierunek przepływu prądu przez odbiornik R. Na wejściu układu diod znajdują się zaciski X, Y, do których podłącza się źródło napięcia zmiennego sinusoidalnie. Natomiast na wyjściu układu znajdują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

Na rysunku 1. przedstawiono sytuację w tej połowie okresu T zmian napięcia wejściowego, gdy większy potencjał jest na zacisku X, a na rysunku 2. przedstawiono sytuację w kolejnej połowie okresu zmian napięcia. Węzły obwodu oznaczono literami A, B, C, D.

Rysunek 1.



Rysunek 2.



Zadanie 20.1. (0–2)

Na każdym z rysunków 1. i 2. oznacz zwrot przepływu prądu w obwodzie pomiędzy zaciskami X, Y. W tym celu narysuj strzałki na odpowiednich fragmentach obwodu (pomiędzy sąsiednimi węzłami).

Zadanie 20.2. (0–2)

Na diagramie 1. narysuj wykres zależności napięcia od czasu między zaciskami X i Y, a na diagramie 2. narysuj analogiczny wykres napięcia między zaciskami W i Z. Wykresy sporządź dla przedziału czasu od $t = 0$ do $t = 2T$. Oznacz amplitudy napięć.

Przyjmij, że $U_{XY}(0) = 0$ oraz $U_{maxXY} = U_{maxZW} = U_{max}$.

Diagram 1.

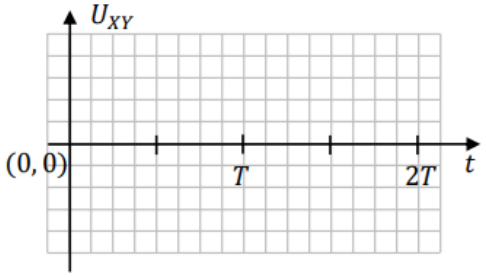
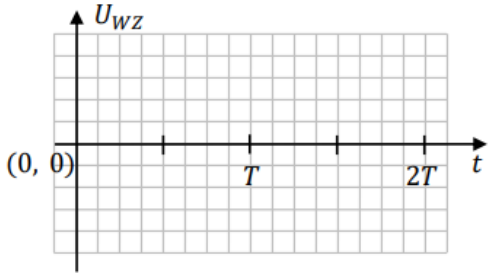


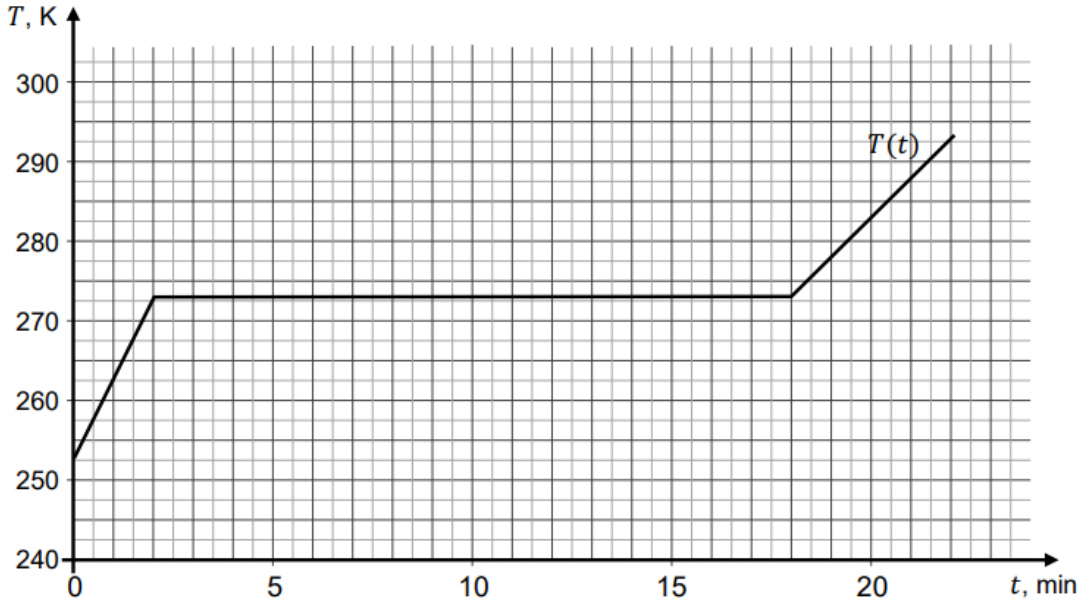
Diagram 2.



Zadanie 21. Ciepło właściwe i ciepło topnienia lodu

Kawałek lodu o masie $m = 50{,}0$ g i temperaturze początkowej $T_p = 253$ K ogrzewano przy stałym ciśnieniu. W wyniku tego procesu lód ogrzał się do temperatury topnienia i stopił się całkowicie. Kontynuowano nieprzerwanie dalsze ogrzewanie masy m wody powstałej z lodu. Podczas całego procesu do ogrzewanej masy m była dostarczana energia w postaci ciepła. Szybkość dostarczania ciepła była stała i wynosiła $u = 1050$ J/min.

Wykres poniżej przedstawia zależność $T(t)$ – temperatury T ogrzewanej masy m od czasu t ogrzewania.



Zadanie 21.1. (0–2)

Oblicz ciepło topnienia lodu L na podstawie danych odczytanych z wykresu $T(t)$ oraz treści zadania. Zapisz obliczenia.

Zadanie 21.2. (0–2)

Oblicz $\frac{c_w}{c_l}$ – iloraz ciepła właściwego wody c_w i ciepła właściwego lodu c_l.

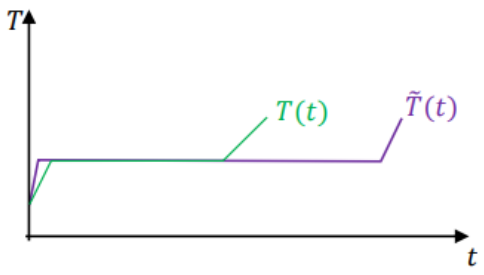
Zapisz obliczenia.

Zadanie 21.3. (0–1)

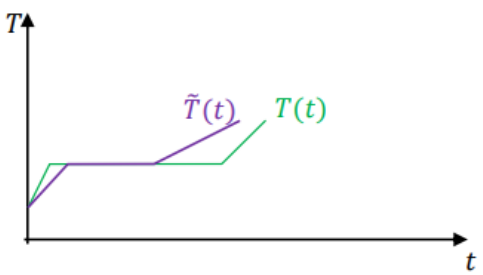
Za drugim razem ogrzewano kawałek lodu mający masę dwukrotnie mniejszą niż masa kawałka lodu ogrzewanego za pierwszym razem. Ten proces przeprowadzano w takich samych warunkach jak poprzednio – tzn. lód ogrzewano od tej samej temperatury początkowej i z tą samą mocą. Zależność temperatury od czasu w drugim procesie ogrzewania oznaczymy $\tilde{T}(t)$.

Na którym wykresie (spośród A–D) prawidłowo przedstawiono zależność $\tilde{T}(t)$ w porównaniu do zależności $T(t)$? Zaznacz właściwą odpowiedź spośród podanych.

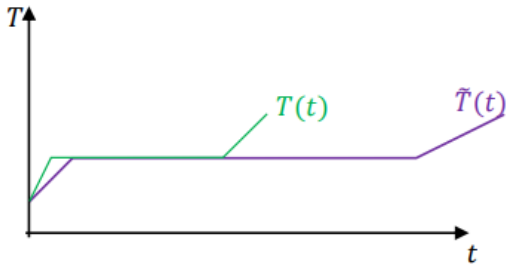
A.



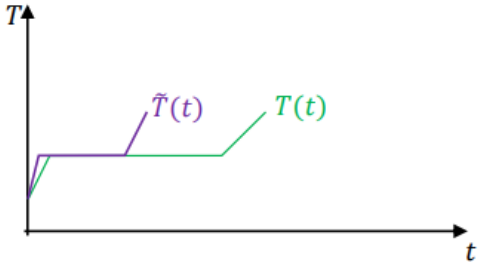
B.



C.



D.

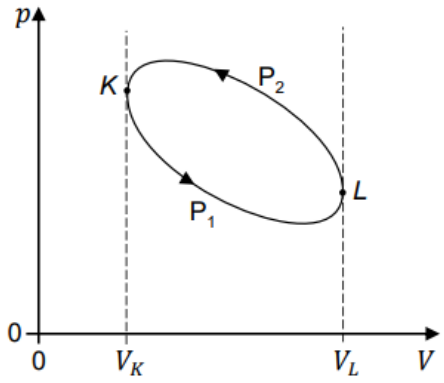


Zadanie 22. Cykle

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

Zadanie 22.1. (0–2)

Na poniższym diagramie przedstawiono zależności ciśnienia p od objętości V w pewnym cyklu przemian ustalonej masy gazu. Ten gaz podlega rozprężaniu od objętości V_K do V_L w przemianie P_1, a następnie podlega sprężaniu od objętości V_L do V_K w przemianie P_2.



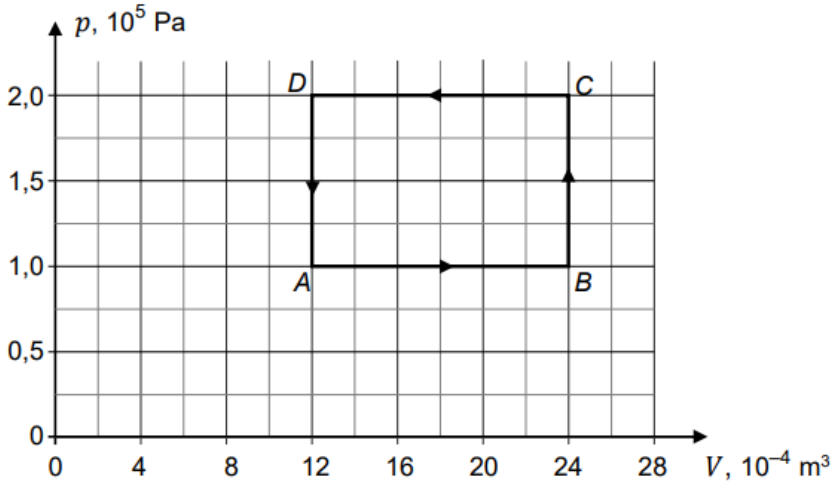
Wykaż, że ilość ciepła $|Q_{odd}|$ oddanego w cyklu *K–L–K* jest większa od ilości ciepła pobranego $|Q_{pob}|$ w tym cyklu. W tym celu powołaj się na odpowiednie prawa lub zasady fizyczne i wyprowadź poniższą nierówność:

$$|Q_{odd}| > |Q_{pob}|$$

Symbol wartości bezwzględnej $|\cdot|$ wprowadzono, aby uniezależnić nierówności od przyjętej konwencji znaków dla wymienionego ciepła i wykonanej pracy.

Zadanie 22.2. (0–3)

Na diagramie poniżej przedstawiono wykres zależności ciśnienia p od objętości V w cyklu *A–B–C–D–A* przemian termodynamicznych ustalonej masy gazu doskonałego. Ciepło molowe tego gazu przy stałej objętości wynosi $C_V = \frac{3}{2}R$, gdzie R to stała gazowa.



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

Wskazówka: iloczyn nT (liczby moli i temperatury) można wyznaczyć z równania stanu.

Zadanie 23. Pompa ciepła

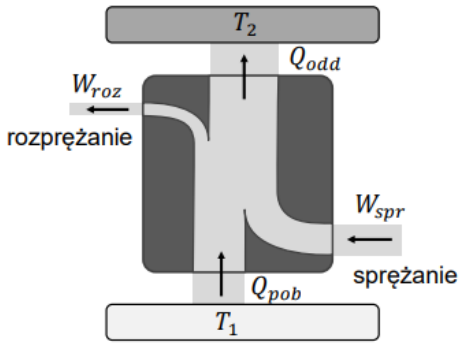
W pompie ciepła tzw. czynnik roboczy pobiera ciepło Q_{pob} z obszaru o niższej temperaturze T_1 i oddaje ciepło Q_{odd} do obszaru o wyższej temperaturze T_2. Podczas wymiany ciepła czynnik roboczy może się rozprężać lub być sprężany albo zmieniać stan skupienia z ciekłego w gazowy i odwrotnie. Praca W_{spr} wykonana przez siły zewnętrzne przy sprężaniu czynnika roboczego jest większa od W_{roz} – pracy sił parcia czynnika roboczego przy rozprężaniu. Różnicę tych prac nazwiemy pracą całkowitą W_{cal}, jaką należy (efektywnie) wykonać nad czynnikiem roboczym pompy pracującej w jednym cyklu.

Zadanie 23.1. (0–1)

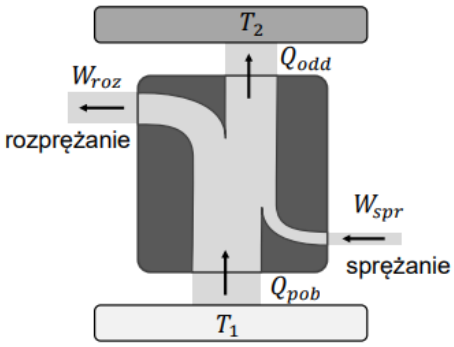
Przepływ energii w pompie ciepła można przedstawić na schemacie blokowym, na którym szerokości „wstęg" odpowiadają wartościom bezwzględnym pracy podczas rozprężania i sprężania oraz wartościom bezwzględnym ciepła pobieranego i oddawanego.

Na którym diagramie (spośród A–D) prawidłowo przedstawiono schemat blokowy przepływu energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w pompie cieplnej? Zaznacz właściwą odpowiedź spośród podanych.

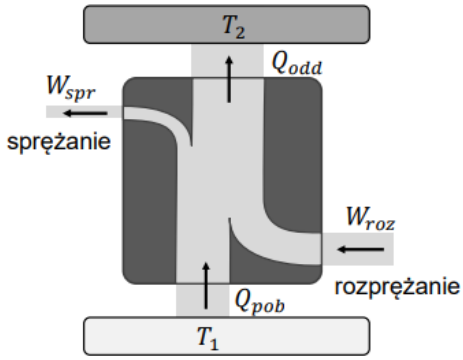
A.



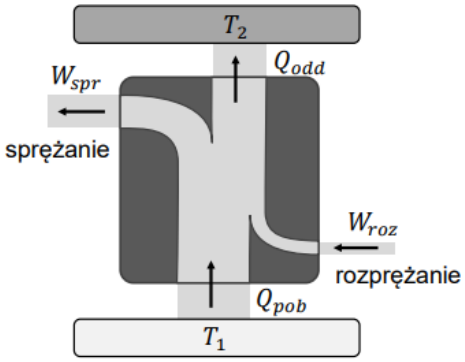
B.



C.



D.



Informacja do zadań 23.2.–23.3.

Efektywność pompy ciepła (którą oznaczymy jako EPC) określa się w jednym cyklu jako:

$$EPC = \frac{|Q_{odd}|}{|W_{cal}|}$$

Z praw termodynamiki wynika, że nie może istnieć pompa ciepła pracująca pomiędzy dwoma obszarami o temperaturach T_1 i T_2, która miałaby efektywność większą niż (temperatury w poniższym wzorze wyrażono w kelwinach):

$$EPC_{max} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Zadanie 23.2. (0–2)

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

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

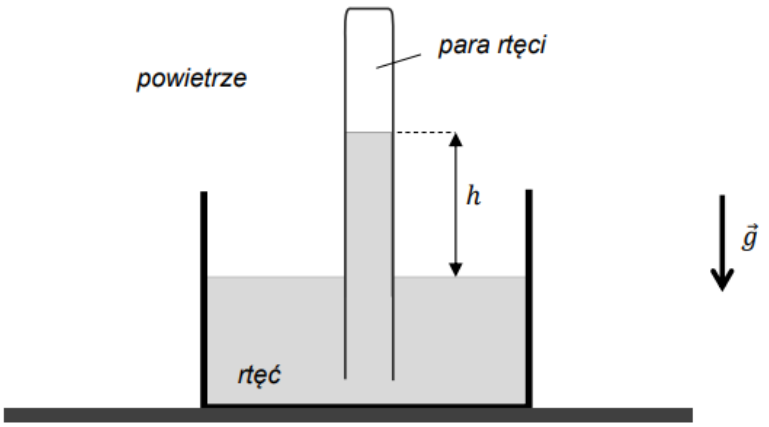
Zadanie 23.3. (0–3)

W pomieszczeniu zamontowano system grzewczy z pompą ciepła. Ma ona dostarczać do pomieszczenia $85\ 300\ \mathrm{kJ}$ ciepła w ciagu godziny, pracując między obszarami o temperaturach $10\ ^\circ\mathrm{C}$ i $25\ ^\circ\mathrm{C}$. Pompę zaprojektowano tak, aby pracowała z największą efektywnością, na jaką pozwalają prawa termodynamiki. Przyjmij, że w ciągu godziny pompa wykonuje całkowitą liczbę cykli termodynamicznych.

Oblicz najmniejszą pracę całkowitą W_{cal}, jaką należy wykonać nad czynnikiem roboczym pompy pracującej z największą możliwą efektywnością w opisanych warunkach. Zapisz obliczenia.

Zadanie 24. Barometr i rtęć

Jednostronnie zamkniętą rurkę wypełniono do pełna rtęcią. Następnie rurkę odwrócono do góry dnem, a jej część zanurzono w zbiorniczku z rtęcią w ten sposób, że do wnętrza rurki nie dostało się powietrze (zobacz rysunek poniżej). Po pewnym czasie, przy ustalonej temperaturze otoczenia i rtęci oraz przy ustalonym ciśnieniu zewnętrznym, w tak ustawionej rurce ustalił się słup rtęci o pewnej wysokości. Obszar pomiędzy powierzchnią rtęci w rurce a zamkniętą częścią rurki, w którym początkowo była próżnia, po pewnym czasie wypełniła para rtęci o maksymalnym ciśnieniu dla aktualnej temperatury otoczenia. Maksymalne ciśnienie par rtęci w temperaturze $293\ \mathrm{K}$ wynosi około $0{,}16\ \mathrm{Pa}$. Wpływ zjawisk związanych z napięciem powierzchniowym pomijamy.



Uwaga! Podczas doświadczenia zachowano wszelkie środki ostrożności.

Zadanie 24.1. (0–1)

Przy ustalonych warunkach opisanych w treści zadania 24. rtęć paruje do powietrza.

Dokończ zdanie. Zaznacz odpowiedź A, B albo C oraz odpowiedź 1., 2. albo 3.

W czasie, gdy rtęć paruje do powietrza w opisanej sytuacji, to

A.	pobiera ciepło z otoczenia,	a ciśnienie pary w rurce	**1.**	maleje.
B.	oddaje ciepło do otoczenia,		**2.**	rośnie.
C.	nie wymienia ciepła z otoczeniem,		**3.**	pozostaje stałe.

Zadanie 24.2. (0–1)

Podczas opisanego we wstępie do zadania 24. doświadczenia, ciśnienie atmosferyczne powietrza wynosiło $1013\ \mathrm{hPa}$.

Ustal, czy uwzględnienie ciśnienia par rtęci do obliczenia wysokości słupa rtęci z dokładnością do czterech cyfr znaczących ma wpływ na wynik, czy nie ma wpływu na wynik. Zapisz i uzasadnij odpowiedź.

Odpowiedź: .....

Uzasadnienie:

Zadanie 24.3. (0–2)

Ciśnienie atmosferyczne powietrza wynosi $1013\ \mathrm{hPa}$, gęstość rtęci w temperaturze pokojowej jest równa $13{,}55 \cdot 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$, a przyśpieszenie ziemskie wynosi $9{,}807\ \mathrm{m/s^2}$.

Oblicz wysokość słupa rtęci w podanych warunkach. Wynik podaj zaokrąglony do czterech cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Zadanie 25. Jądro technetu

W diagnostyce i terapii medycznej stosuje się m.in. jądrowe promieniowanie gamma z zakresu niskich energii. Źródłem takiego promieniowania są procesy zachodzące w jądrach izotopów pierwiastków promieniotwórczych. Jednym z takich procesów, które wykorzystuje się w medycynie, jest przejście jądra technetu $^{99m}_{43}\mathrm{Tc}$ ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego $^{99}\mathrm{Tc}$ (lewy górny indeks ^{m} oznacza stan wzbudzony). W tym procesie jest emitowany kwant gamma.

Czas połowicznego rozpadu (w tym przypadku przejścia do stanu podstawowego) wzbudzonych jąder technetu wynosi $T = 6\ \mathrm{h}$. Masa jądra technetu $^{99}\mathrm{Tc}$ w stanie podstawowym wynosi $m = 164{,}23768 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$.

Jądra wzbudzonego technetu $^{99m}_{43}\mathrm{Tc}$ otrzymuje się m.in. w wyniku przemiany β^-, której podlegają jądra izotopu molibdenu $^{99}\mathrm{Mo}$. W innej metodzie jądra wzbudzonego technetu $^{99m}_{43}\mathrm{Tc}$ otrzymuje się w wyniku ostrzeliwania wiązką rozpędzonych protonów tarczy z izotopu molibdenu $^{100}\mathrm{Mo}$. Gdy jeden proton uderzy w jądro $^{100}\mathrm{Mo}$, to dochodzi do reakcji jądrowej, której produktami są jądro $^{99m}_{43}\mathrm{Tc}$ oraz dwie pewne cząstki elementarne.

Zadanie 25.1. (0–3)

Zapisz poniżej równania reakcji/przemian jądrowych 1.–3., opisanych w informacji do zadania 25. Uwzględnij liczby atomowe oraz liczby masowe jąder, oznaczenie stanu wzbudzonego jądra, oznaczenie fotonu oraz liczbę cząstek elementarnych.

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

2. Reakcja przemiany β^-, w wyniku której z jądra $^{99}\mathrm{Mo}$ powstaje jądro technetu w stanie wzbudzonym:

3. Reakcja jądrowa zderzenia protonu z jądrem $^{100}\mathrm{Mo}$, w wyniku której powstaną jądro technetu w stanie wzbudzonym i dwie cząstki elementarne:

Zadanie 25.2. (0–2)

Obserwowano próbkę zawierającą jądra technetu $^{99m}_{43}\mathrm{Tc}$ w stanie wzbudzonym.

Oblicz, jaka część z początkowej liczby wzbudzonych jąder technetu w próbce przejdzie do stanu podstawowego po czasie $t = 2\ \mathrm{h}$ (licząc od pewnej chwili początkowej). Wynik podaj zaokrąglony do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Zadanie 25.3. (0–3)

Podczas przejścia jądra technetu ze stanu wzbudzonego $^{99m}\mathrm{Tc}$ do stanu podstawowego $^{99}\mathrm{Tc}$ został wyemitowany – z tego jądra – kwant gamma o długości fali $\lambda = 8{,}69\ \mathrm{pm}$.

Oblicz masę m_m jądra technetu $^{99m}\mathrm{Tc}$ w stanie wzbudzonym. Pomiń efekt związany z odrzutem jądra przy emisji kwantu. Wynik podaj zaokrąglony do ośmiu cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Zadanie 26. Odrzut atomu przy emisji fotonu

W wyniku przejścia elektronu pomiędzy pewnymi poziomami energetycznymi w atomie cezu, został wyemitowany foton o energii $E_f = 59{,}5$ eV. Wskutek emisji fotonu atom cezu doznał odrzutu. Masa atomu cezu jest równa $m = 2{,}19 \cdot 10^{-25}$ kg.

Przyjmij, że energię fotonu zmierzono w układzie odniesienia, w którym atom cezu początkowo spoczywał.

Zadanie 26.1. (0–3)

Oblicz wartość prędkości odrzutu, którą uzyskał atom cezu podczas emisji fotonu. Zapisz obliczenia.

Informacja do zadań 26.2.–26.3.

Poniższy wzór pozwala wyznaczyć iloraz energii kinetycznej E_{kin}, jaką uzyskał atom w wyniku odrzutu przy emisji fotonu, do energii E_f emitowanego fotonu:

$$\frac{E_{kin}}{E_f} = \frac{E_f}{2mc^2}$$

gdzie m oznacza masę atomu, a c oznacza wartość prędkości światła w próżni.

Zadanie 26.2. (0–2)

Wyprowadź wzór podany w powyższej informacji. Podaj wszystkie zależności niezbędne do jego wyprowadzenia.

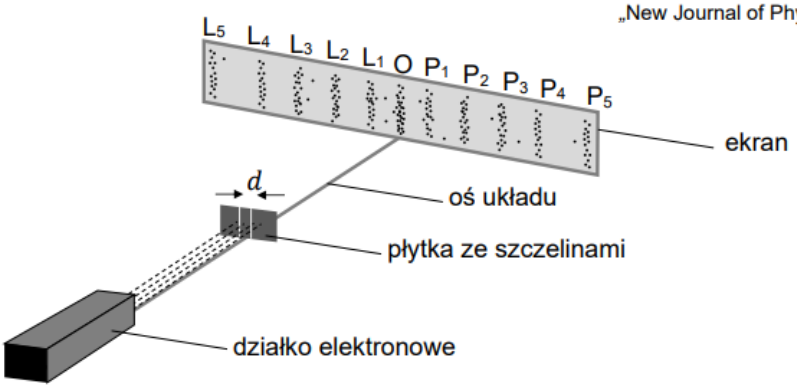
Zadanie 26.3. (0–1)

Oblicz $\frac{E_{kin}}{E_f}$ – iloraz energii kinetycznej E_{kin}, jaką uzyskał atom cezu w wyniku odrzutu, i energii E_f emitowanego fotonu. Zapisz wniosek wynikający z tych obliczeń.

Zadanie 27. Interferencja elektronu na podwójnej szczelinie

Wiązkę elektronów rozpędzono w polu elektrycznym napięciem $U = 610\ \mathrm{V}$ i skierowano prostopadle na ekran. Pomiędzy działkiem elektronowym a ekranem, na drodze wiązki elektronów, ustawiono płytkę ze szczelinami. Odległość pomiędzy środkami szczelin wynosiła $d = 270\ \mathrm{nm}$, a szerokość szczelin w stosunku do odległości między nimi była bardzo mała. Elektrony padające na ekran po przejściu przez płytkę utworzyły obraz interferencyjny w postaci prążków. Miejsca, w których obserwuje się na ekranie lokalne maksima liczby elektronów (prążki), oznaczono L_1–L_5, O oraz P_1–P_5. Przyjmij, że elektrony poruszały się w próżni i wystrzeliwane były z działka pojedynczo (!).

Na podstawie: R. Bach, D. Pope, Sy-Hwang Liou and H. Batelaan, *Controlled double-slit electron diffraction*, „New Journal of Physics", marzec 2013.



Uwaga! Rozmiary i kąty na rysunku są umowne, a otrzymany obraz został powiększony.

Zadanie 27.1. (0–1)

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

Jeżeli napięcie U przyśpieszające elektrony wzrośnie, a inne warunki doświadczenia pozostaną bez zmian, to kąty, pod którymi obserwuje się na ekranie lokalne maksimum liczby elektronów,

A.	wzrosną,	ponieważ długość fali de Broglie'a każdego elektronu w przyśpieszonej wiązce	**1.**	się nie zmieni.
B.	zmaleją,		**2.**	zmaleje.
C.	się nie zmienią,		**3.**	wzrośnie.

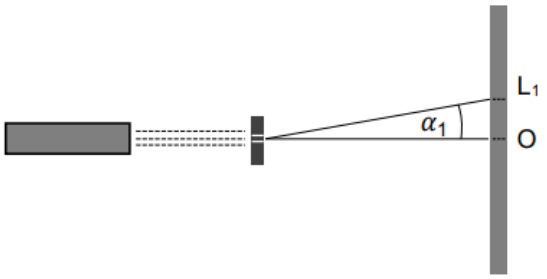
Zadanie 27.2. (0–3)

Wykaż, że wartość pędu pojedynczego elektronu w rozpędzonej wiązce wynosi $p = 1,33 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{kg} \cdot (\mathrm{m/s})$. Wykonaj odpowiednie obliczenia.

Zadanie 27.3. (0–2)

Oblicz kąt α_1 określony pomiędzy osią układu a kierunkiem, pod jakim obserwuje się na ekranie pierwsze lokalne maksimum liczby rejestrowanych elektronów (L_1). Zapisz obliczenia.

Do obliczeń przyjmij, że wartość pędu pojedynczego elektronu w rozpędzonej wiązce jest równa $p = 1,33 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{kg} \cdot (\mathrm{m/s})$.



Zadanie 27.4. (0–1)

Dokończ zdanie. Zaznacz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Gdy elektron wyleci z działka elektronowego, to miejsce, na które padnie na ekranie po przejściu przez płytkę z dwoma szczelinami,

A. może być jednoznacznie przewidziane na podstawie zasad dynamiki, położenia początkowego i prędkości początkowej elektronu oraz działających na niego sił.

B. może być jednoznacznie przewidziane jedynie na podstawie toru ruchu elektronu przed płytką i położenia szczelin w płytce względem tego toru.

C. nie może być ściśle przewidziane, ale może być określone z pewnym prawdopodobieństwem, zależącym od pędu elektronu i od odległości między szczelinami.

D. nie może być ściśle przewidziane, ale może być określone z pewnym prawdopodobieństwem, zależącym od tego, przez którą szczelinę przeszedł elektron.

Zadanie 28. Energia całkowita, spoczynkowa i kinetyczna cząstki

Cząstka o masie m porusza się w układzie inercjalnym z prędkością o wartości v. Energię kinetyczną cząstki oznaczymy jako E_k, jej energię spoczynkową oznaczymy jako E_0, a energię całkowitą cząstki oznaczymy przez E.

Zadanie 28.1. (0–2)

Wykaż, że jeżeli energia spoczynkowa cząstki jest znacznie mniejsza od energii kinetycznej:

$$E_0 \ll E_k$$

to cząstka porusza się z prędkością bliską prędkości światła, tzn.:

$$\frac{v}{c} \approx 1$$

Zadanie 28.2. (0–3)

Elektron został rozpędzony w polu elektrycznym napięciem $U = 8{,}0 \cdot 10^5$ V. Pomiń wpływ innych pól na ruch elektronu oraz przyjmij, że elektron poruszał się w próżni, a jego prędkość początkowa wynosiła 0. Przyjmij do obliczeń masę elektronu równą $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg oraz wartość bezwzględną ładunku elementarnego równą $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Oblicz prędkość, jaką elektron uzyskał w polu elektrycznym. Zapisz obliczenia.