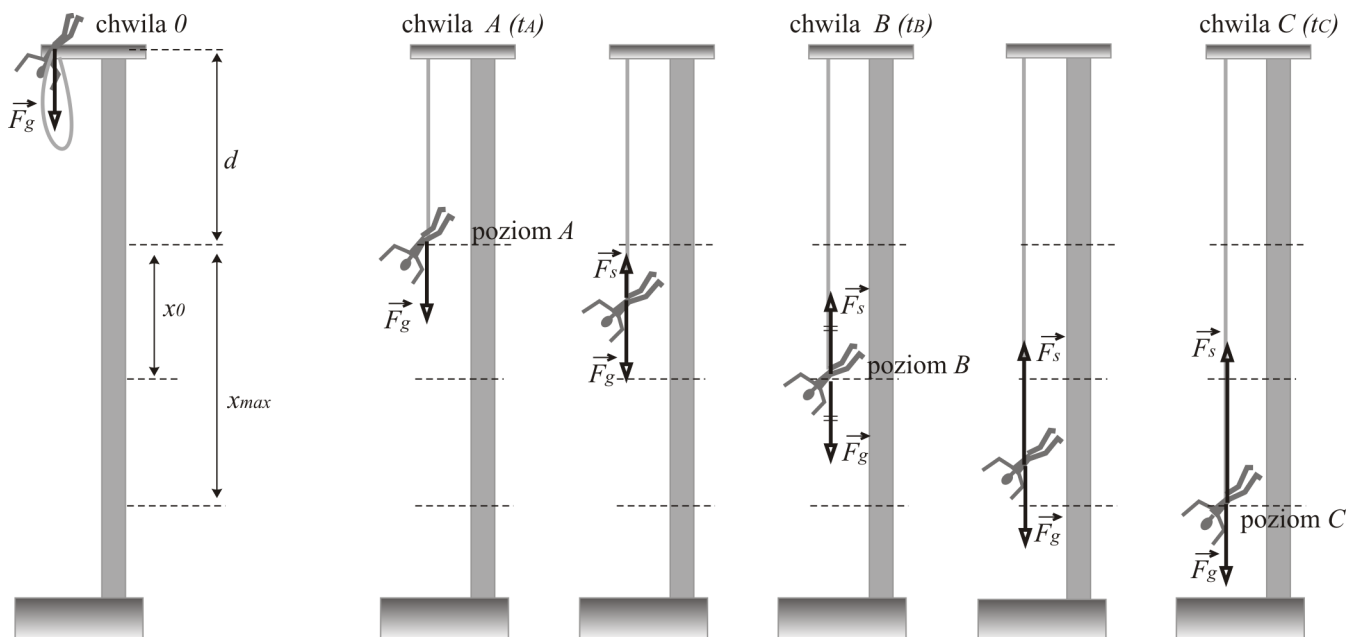


Zadanie 1.1 (0-1)**Zadanie 1.2 (0-3)**

Gdy lina rozciągnie się o x_0 ponad długość naturalną, to siła grawitacji równoważy siłę sprężystości:

$$F_g = F_s \Rightarrow mg = kx_0 \Rightarrow x_0 = \frac{mg}{k} \Rightarrow x_0 = \frac{90 \cdot 10}{100} = 9 \text{ m.}$$

W celu obliczenia x_{max} korzystamy z zasady zachowania energii mechanicznej. Zero energii potencjalnej grawitacji przyjmujemy umownie, w tym rachunku, na poziomie C (zobacz rysunek).

$$E_{mech 0} = E_{mech C} \Rightarrow mg(d + x_{max}) = \frac{1}{2}kx_{max}^2 \Rightarrow 900(15 + x_{max}) = 50x_{max}^2,$$

$$x_{max}^2 - 18x_{max} - 270 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 37,5 \Rightarrow x_{max} = 27,5 \text{ m (rozw. nieujemne).}$$

Zadanie 1.3 (0-3)

W celu obliczenia v_A korzystamy z zasady zachowania energii mechanicznej. Zero energii potencjalnej grawitacji przyjmujemy umownie, w tym rachunku, na poziomie A (zobacz rysunek).

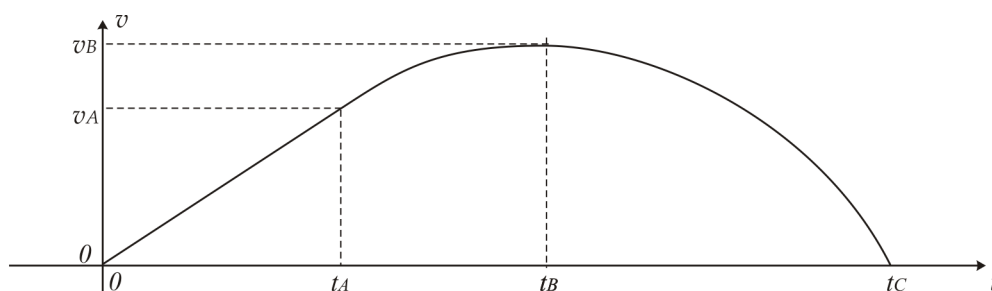
$$E_{mech 0} = E_{mech A} \Rightarrow mgd = \frac{1}{2}mv_A^2 \Rightarrow v_A = \sqrt{2gd} \Rightarrow v_A = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 15} = 17,3 \text{ m/s.}$$

W celu obliczenia v_B korzystamy z zasady zachowania energii mechanicznej. Zero energii potencjalnej grawitacji przyjmujemy umownie, w tym rachunku, na poziomie B (zobacz rysunek).

$$E_{mech 0} = E_{mech B} \Rightarrow mg(d + x_0) = \frac{1}{2}mv_B^2 + \frac{1}{2}kx_0^2 \Rightarrow 90 \cdot 10 \cdot (15 + 9) = \frac{1}{2} \cdot 90 \cdot v_B^2 + \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 9^2,$$

$$21600 = 45 \cdot v_B^2 + 4050 \Rightarrow v_B = 19,7 \text{ m/s.}$$

Oczywiście $v_B > v_A$, ponieważ do chwili B ruch jest przyspieszony z malejącym przyspieszeniem (prędkość zwiększa się w równych odstępach czasu o coraz mniejsze przyrosty prędkości).

Zadanie 1.4 (0-1)

Zadanie 2.1 (0-2)

- I. Torem ruchu kamienia w **UIP** jest *linia prosta pionowa*, natomiast torem ruchu w **UIZ** jest *część paraboli*.
 II. Wektory prędkości ruchu kamienia określone w pewnej chwili względem **UIP** i **UIZ** są (*różne, takie same*).
 III. Wektory przyspieszenia ruchu kamienia określone w pewnej chwili względem **UIP** i **UIZ** są (*różne, takie same*).
 IV. Różnica wektorów prędkości z dwóch wybranych i następujących po sobie chwil trwania ruchu jest (*taka sama, inna*) w każdym z tych układów inercjalnych.
 *V. Różnica wektorów prędkości z dwóch wybranych i następujących po sobie chwil trwania ruchu ma kierunek i zwrot (*pionowo w dół jak siła grawitacji, pewien ukośny*).

Zadanie 2.2 (0-2)

Ruch kamienia jest złożeniem: spadku swobodnego bez prędkości początkowej (ruchu jednostajnie przyspieszonego w kierunku pionowym w dół) oraz ruchu jednostajnego prostoliniowego w kierunku poziomym. Zapiśmy trzy równania: pierwsze będzie związkiem pomiędzy współrzędną y i drogą s przebytą w pionie, drugie będzie wzorem na drogę przebytą w kierunku pionowym, trzecie będzie wzorem na drogę przebytą w kierunku poziomym, która to droga jest tutaj równa współrzędnej x .

$$y = h - s, \quad s = \frac{1}{2}gt^2, \quad x = v_x t.$$

Po podstawieniu danych do tych równań i łącząc pierwsze równanie z drugim, otrzymujemy dwa kinematyczne równania ruchu kamienia:

$$y = 2 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2, \quad x = 8t$$

W celu wyznaczenia równania toru ruchu wyznaczamy z drugiego równania $t = x/8$ i podstawiamy do pierwszego:

$$y = 2 - 5 \cdot \frac{x^2}{8^2}, \quad y(x) = -\frac{5}{64} \cdot x^2 + 2.$$

Torem ruchu jest fragment paraboli opisanej tym równaniem, określonej na przedziale od $x = 0$ do jej dodatniego miejsca zerowego (równego tyle ile zasięg rzutu).

Zadanie 3 (0-2)

Wszystkie ciała, na które działa jedynie siła grawitacji, poruszają się z przyspieszeniem, które nie zależy od masy tych ciał, tylko zależy od pola grawitacyjnego w danym miejscu przestrzeni. Dlatego lokalny układ odniesienia swobodnie poruszający się jedynie pod wpływem grawitacji, ma takie samo przyspieszenie jak wszystkie inne ciała blisko niego, które też poruszają się jedynie pod wpływem grawitacji. To oznacza, że te spadające ciała nie przyspieszają względem spadającego układu odniesienia: ciała te albo spoczywają względem spadającego układu odniesienia, albo poruszają się względem niego ruchem jednostajnym prostoliniowym. Nieważkości można doświadczyć w spadającej swobodnie windzie lub w statku kosmicznym wykonującym lot swobodny jedynie pod działaniem grawitacji (po torze okręgu lub po elipsie lub po paraboli lub po hiperboli).

Zadanie 4.1 (0-2)

$$\begin{aligned} E_{mech} &= E_{kin} + E_{pot}, & \text{ponadto} & \quad ma_{do} = F_{grav}, \\ E_{mech} &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r}, & \text{ponadto} & \quad m \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}, \\ E_{mech} &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r}, & \text{ponadto} & \quad v^2 = \frac{GM}{r}, \\ E_{mech} &= \frac{1}{2}m \frac{GM}{r} - \frac{GMm}{r} & \Rightarrow & \quad E_{mech} = -\frac{1}{2} \frac{GMm}{r}. \end{aligned}$$

Zadanie 4.2 (0-2)

Energia mechaniczna rakiety zmieniła się o wartość pracy silników (o wartość pracy sił niezachowawczych), która została wykonana w czasie przemieszczenia rakiety z orbity A na orbitę B .

$$\begin{aligned} W_{AB} &= E_{mech B} - E_{mech A} \quad \Rightarrow \quad W_{AB} = -\frac{1}{2} \frac{GMm}{r_B} - \left(-\frac{1}{2} \frac{GMm}{r_A} \right), \\ W_{AB} &= \frac{GMm}{2} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad \Rightarrow \quad W_{AB} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \cdot 10^4}{2} \cdot \frac{1}{10^6} \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{9} \right), \\ W_{AB} &= 0,277 \cdot 10^{11} \text{ J} = 27,7 \text{ GJ}. \end{aligned}$$

Zadanie 5 (0-1)

Stosujemy III Prawo Keplera obowiązujące dla orbit kołowych i eliptycznych: $T_1^2/A_1^3 = T_2^2/A_2^3$. Dla orbit kołowych A jest promieniem okręgu, zaś dla orbit eliptycznych A jest długością połowy osi większej elipsy (równą średniej arytmetycznej odległości ogniska elipsy do jej punktu apo-centrum i pery-centrum). IIIPK w naszym przypadku sprowadzi się do równania:

$$\frac{T_1^2}{x^3} = \frac{T_2^2}{\left(\frac{y+z}{2}\right)^3}.$$

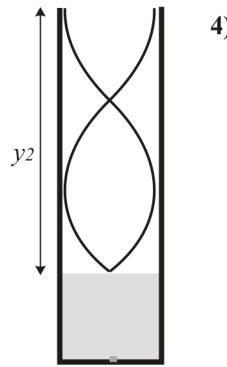
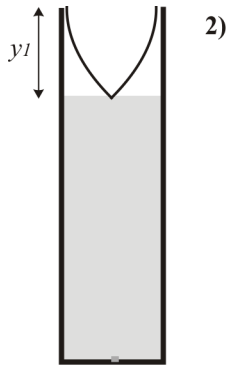
Zadanie 6.1 (0-2)

I. Dźwiękowa fala stojąca słupa powietrza w rurze powstała w wyniku *nałożenia się (superpozycji)* fal bieżących: *fali padającej od strony źródła oraz części fali odbitej od powierzchni wody*. Fala stojąca jest przejawem zjawiska (*interferencji, załamania fali, polaryzacji*).

II. Fala padająca od kamertonu posiada częstotliwość (*taką samą jak, większą niż, mniejszą niż*) częstotliwość fali odbitej od lustra wody.

III. Bieżąca fala padająca na granicę ośrodków posiada natężenie (*większe niż, równe jak, mniejsze niż*) natężenie bieżącej fali odbitej od granicy ośrodków.

IV. Drugi i czwarty rysunek wskazują, że w miejscu gdzie przystawiony był mikrofon nastąpiło (*maksymalne wzmocnienie, maksymalne osłabienie*) interferencyjne, nazywane w przypadku fali stojącej (*strzałką, węzłem*).

Zadanie 6.2 (0-1)

Związki pomiędzy długością fali stojącej a wysokością słupa powietrza w rurze:

$$3 \cdot \frac{\lambda}{4} = y_2, \quad 1 \cdot \frac{\lambda}{4} = y_1.$$

Wykonujemy obliczenia:

$$3 \cdot \frac{\lambda}{4} = 52,5 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 70 \text{ cm},$$

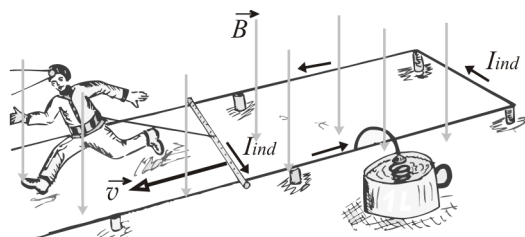
$$y_1 = \frac{70 \text{ cm}}{4} \Rightarrow y_1 = 17,5 \text{ cm}.$$

Zadanie 6.3 (0-2)

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 0,7 \cdot 480 = 336 \text{ m/s}.$$

Zadanie 7.1 (0-1)

Zwrot przepływu prądu indukowanego w obwodzie określa Reguła Lenza. Dla omawianego przypadku można



ją sformułować następująco. W obwodzie popłynie prąd indukowany o takim zwrocie, aby powstała siła elektrodynamiczna ($\vec{F}_{ed}$) działająca na ruchomy przewód, przeciwstawiająca się jego ruchowi, który to ruch jest przyczyną zmiany strumienia pola magnetycznego przez obwód.

Zadanie 7.2 (0-3)

$$\mathcal{E}_{ind} = vBd \Rightarrow \mathcal{E}_{ind} = 5 \cdot 5 \cdot 2 = 50 \text{ V.}$$

$$\mathcal{E}_{ind} = I_{ind}R \Rightarrow I_{ind} = \frac{\mathcal{E}_{ind}}{R} \Rightarrow I_{ind} = \frac{50}{10} = 5 \text{ A.}$$

$$P = I_{ind}^2 R \Rightarrow P = 5^2 \cdot 10 = 250 \text{ W.}$$

Zadanie 7.3 (0-2)

Grotołaz działa na przewodnik siłą $\vec{F}$ równoważącą siłę indukowaną $\vec{F}_{ed}$.

$$F_{ed} = I_{ind}dB \Rightarrow F_{ed} = 5 \cdot 2 \cdot 5 = 50 \text{ N.}$$

$$P_F = Fv \Rightarrow P_F = 50 \cdot 5 = 250 \text{ W.}$$

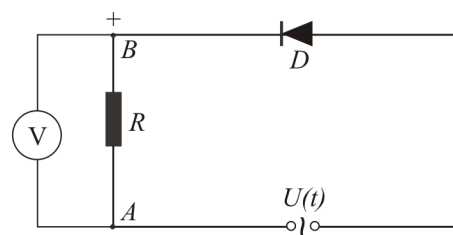
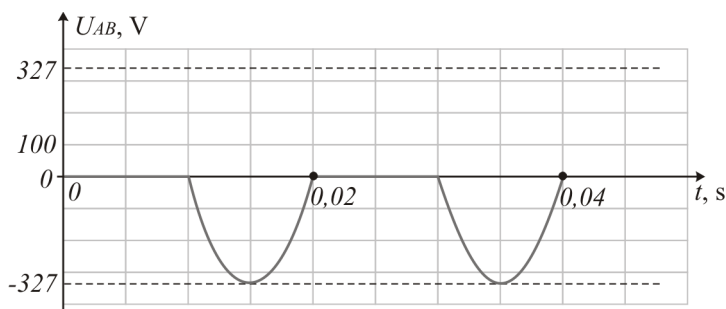
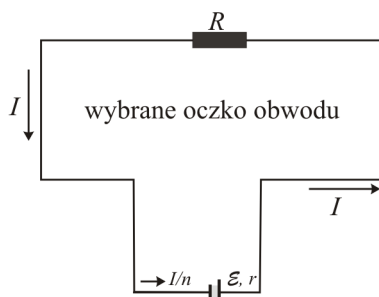
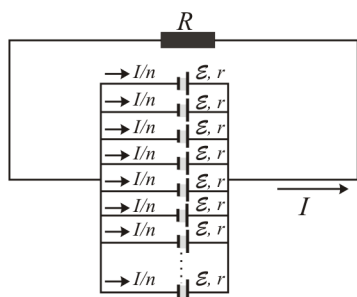
Zauważmy, że moc mechaniczna dostarczana przez biegnącego grotołaza jest zamieniona na moc wydzielaną na grzałce (zobacz zadanie 7.2).

Zadanie 8 (0-3)

Wykonujemy obliczenie amplitudy napięcia zmiennego jakie generuje źródło:

$$U_0 = N\omega BS \Rightarrow U_0 = N2\pi fBS \Rightarrow U_0 = 104 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 0,01 = 327 \text{ V.}$$

Okres zmian napięcia generowanego przez źródło wynosi $T = 1/f = 0,02 \text{ s}$.

**Zadanie 9 (0-2)**

Zapisujemy równanie II Prawa Kirchhoffa dla wybranego oczka obwodu, np. dla oczka najbardziej zewnętrznego:

$$\mathcal{E} = IR + \frac{I}{n} \cdot r \Rightarrow \mathcal{E} = I\left(R + \frac{r}{n}\right) \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{n}} \text{ cbdo.}$$

Zadanie 10 (0-2)

I. Okładki kondensatora (przyciągają się, odpychają się), dlatego zwrot siły zewnętrznej umożliwiającej powolne zbliżanie się okładek jest skierowany (do wewnątrz kondensatora, na zewnątrz kondensatora).

II. Pojemność kondensatora po zbliżeniu okładek (wzrosła, zmaląa) 2 - krotnie, natomiast jego energia (wzrosła, zmaląa) 2 - krotnie.

III. Zmianę energii kondensatora, o której wypowiedziałeś się w punkcie II można wytłumaczyć odnosząc się do bardziej ogólnej zasady: energia kondensatora (wzrosła, zmaląa) dlatego, że spowodowano iż (siły elektryczne pola kondensatora wykonały pracę nad okładkami obniżając energię układu, nad układem wykonano pracę dostarczając mu energię).

IV. Wsunięcie dielektryka spowoduje (wzrost, obniżenie) energii kondensatora.

V. Zmianę energii kondensatora, o której wypowiedziałeś się w punkcie IV można wytłumaczyć odnosząc się do bardziej ogólnej zasady: energia kondensatora (wzrosła, zmaląa) dlatego, że spowodowano iż (siły elektryczne pola kondensatora wykonały pracę polaryzując cząsteczki dielektryka, nad kondensatorem wykonano pracę mechaniczną).

Zadanie 11.1 (0-2)

Wypadkowa siła parcia na pokrywę jest różnicą sił parcia na od gazów wewnątrz pojemnika i na zewnątrz pojemnika. Gaz wewnątrz pojemnika spełnia równanie stanu gazu doskonałego.

$$F = F_{wew} - F_{zew}, \quad \text{oraz} \quad p_{wew}V = nRT,$$

$$F = p_{wew}S - p_{zew}S, \quad \text{oraz} \quad p_{wew} = \frac{nRT}{V},$$

$$F = \frac{nRT}{V} \cdot S - p_{zew}S \Rightarrow F = \frac{nRT}{Sd} \cdot S - p_{zew}S,$$

$$F = \frac{nR}{d} \cdot T - p_{zew}S \quad \text{zatem} \quad F = aT - b, \quad \text{gdzie} \quad a = \frac{nR}{d}, \quad b = p_{zew}S.$$

Zadanie 11.2 (0-3)

T, K	F, N	$\Delta p, Pa$	p_{zew}, Pa	p_{wew}, Pa	F_{zew}, N	F_{wew}, N
292	0	0	100 000	100 000	1 000	1 000
300	29	2 900	100 000	102 900	1 000	1 029
330	132	13 200	100 000	113 200	1 000	1 132
360	235	23 500	100 000	123 500	1 000	1 235
400	372	37 200	100 000	137 200	1 000	1 372

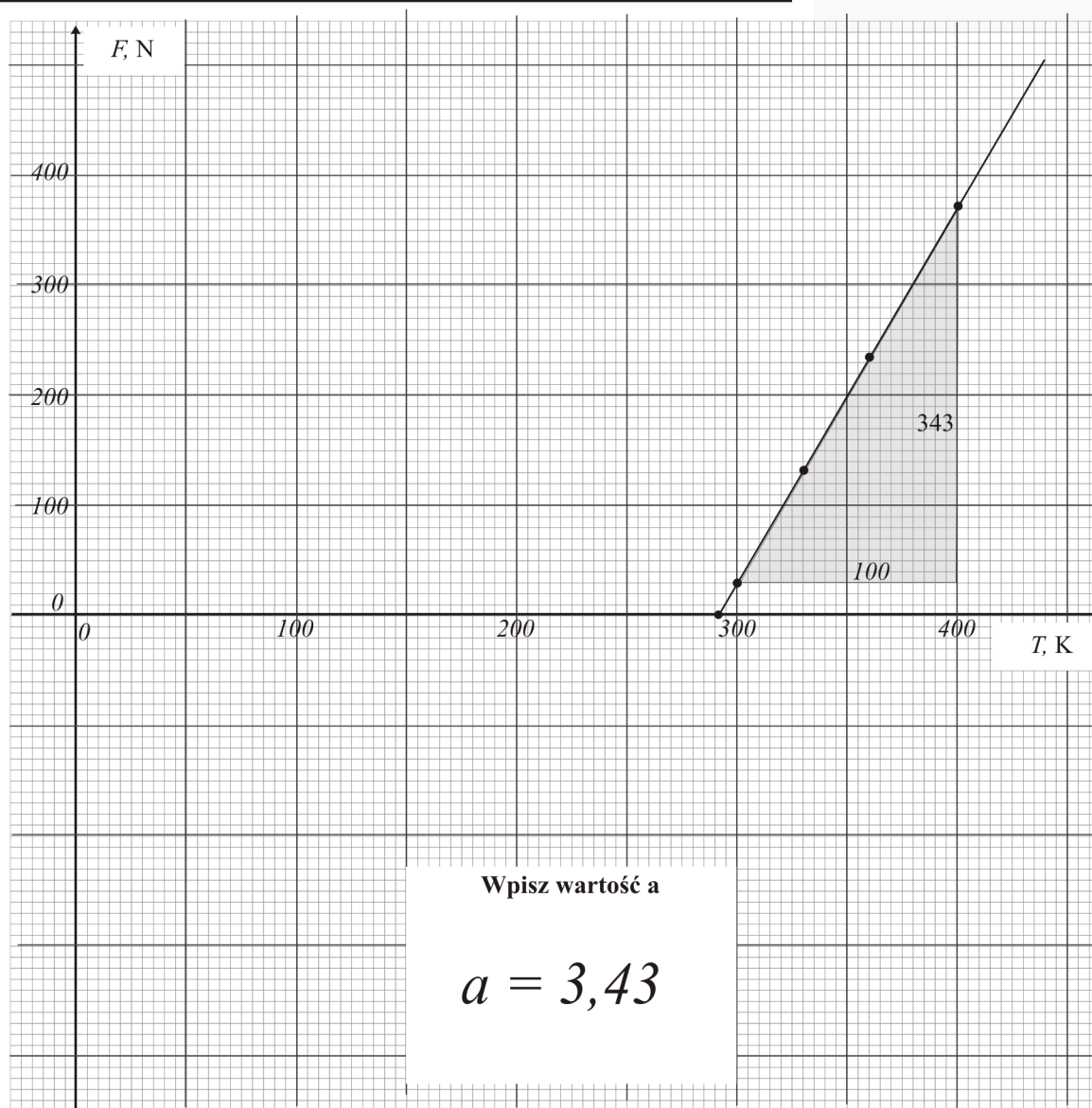
brudnopis

$$F_{wew} - F_{zew} = \Delta p \cdot S$$

$$F = F_{wew} - F_{zew}$$

$$F = \Delta p \cdot S, \quad \Delta p = F/S$$

$$p_{wew} = p_{zew} + \Delta p$$



Zadanie 11.3 (0-2)

Najpierw obliczymy liczbę moli gazu korzystając z wartości współczynnika a oraz zadania 11.1:

$$a = \frac{nR}{d} \Rightarrow n = \frac{ad}{R} \Rightarrow n = \frac{3,43 \cdot 0,3}{8,31} = 0,124 \text{ mola.}$$

Obliczamy ilość pobranego ciepła ze wzoru na ciepło dla przemiany izochorycznej:

$$Q = nc_V \Delta T \Rightarrow Q = n \frac{3}{2} R \Delta T \Rightarrow Q = 0,124 \cdot \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot (400 - 292) = 167 \text{ J.}$$

Zadanie 12.1 (0-3)

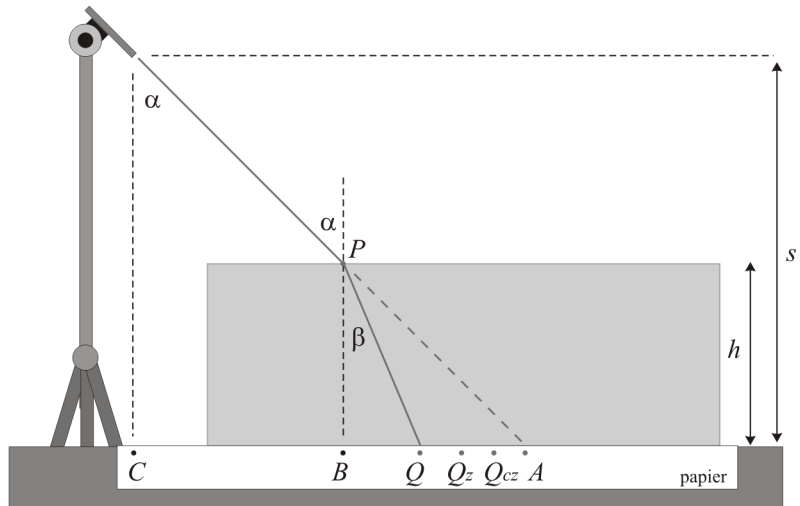
Na początek oznaczamy na rysunku kąt padania światła, kąt jemu przystający, oraz kąt załamania. Ponieważ $s = |CA|$, to oznacza, że $\alpha = \angle A = 45^\circ$. Z prawa załamania fali (elektromagnetycznej) oraz na podstawie

Wyniki jednej serii pomiarów:

$$s = |CA|,$$

$$|PB| = h = 30 \text{ cm},$$

$$|BQ| = 12,6 \text{ cm}.$$



wyników pomiarów wyznaczmy bezwzględny współczynnik załamania dla tego materiału. Z obliczonego n obliczymy prędkość światła w tym materiale v . Następnie z wykresu zależności dyspersyjnej odczytamy jakiej częstotliwości fali odpowiada obliczone v .

$$\alpha = 45^\circ, \quad |PQ| = \sqrt{|BQ|^2 + |BP|^2} = 32,5 \text{ cm}, \quad \sin \beta = \frac{|BQ|}{|PQ|} = 0,387;$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \Rightarrow n = \frac{\sin 45^\circ}{0,387} = \frac{0,707}{0,387} \Rightarrow n = 1,82.$$

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} \Rightarrow v = \frac{c}{1,82} = 0,55 c.$$

Obliczona prędkość światła w danym ośrodku odpowiada prędkości światła fioletowego w tym ośrodku.

Zadanie 12.2 (0-2)

Korzystamy z równań na ogniskową soczewki dla światła czerwonego i fioletowego:

$$\frac{1}{f_{\text{czer}}} = (n_{\text{czer}} - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad \frac{1}{f_{\text{fiol}}} = (n_{\text{fiol}} - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$\frac{f_{\text{czer}}}{f_{\text{fiol}}} = \frac{n_{\text{fiol}} - 1}{n_{\text{czer}} - 1} \Rightarrow \frac{f_{\text{czer}}}{f_{\text{fiol}}} = \frac{c/v_{\text{fiol}} - 1}{c/v_{\text{czer}} - 1};$$

$$\frac{f_{\text{czer}}}{f_{\text{fiol}}} = \frac{c/(0,55c) - 1}{c/(0,7c) - 1} = \frac{1,82 - 1}{1,43 - 1} = 1,91.$$

Zadanie 13 (0-2)

I. Moc światła od tej gwiazdy padająca na obiektyw jest 100 razy większa niż moc światła padająca na nieuzbrojone oko, natomiast natężenie tego światła padającego na obiektyw jest (*mniejsze, równe, większe*) natężeniu światła padającego na nieuzbrojone oko.

II. Zdanie I oznacza, że powierzchnia obiektywu musi być 100 razy (*większa, mniejsza*) od powierzchni źrenicy oka.

III. Tę samą gwiazdę widziano by przez lunetę dokładnie tak samo jak widzi się ją gołym okiem, gdyby znajdowała się ona w odległości 10 razy większej.

Zadanie 14.1 (0-1)

Najpierw wyznaczamy pęd elektronu przyspieszonego w różnicy potencjałów U :

$$\begin{aligned}\Delta E_{kin} = E_{kin} - 0 &= \frac{1}{2}mv^2, & \Delta E_{kin} &= eU, & p &= mv; \\ \frac{1}{2}mv^2 &= eU, & p &= mv; \\ \frac{p^2}{2m} &= eU & \Rightarrow & & p &= \sqrt{2meU}.\end{aligned}$$

Na koniec korzystamy ze wzoru na długość fali de Broglie'a dla elektronu o ustalonym pędzie.

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}.$$

Zadanie 14.2 (0-2)

- I.** Elektrony wykazują własności korpuskularno-falowe. W tym eksperymencie elektrony przejawiają swoją (*korpuskularną, falową*) naturę.
- II.** Powstawanie pasm wzmocnień natężenia wiązki rozproszonych elektronów zawdzięczamy dwóm zjawiskom: 1) *dyfrakcji* na sieci krystalicznej oraz 2) *interferencji* w przestrzeni.
- III.** Gdy zwiększymy napięcie przyspieszające elektrony, to kąty pomiędzy pasmami wzmocnień (*zmniejszą się, zwiększą się*). Świadczy o tym wzór: $n\lambda = d \sin \alpha$ oraz wzór w zadaniu 14.1.
- IV.** W tym doświadczeniu długość fali elektronowej jest (*rzędu wielkości co, dużo większa niż, dużo mniejsza niż*) odległość pomiędzy atomami monokryształu niklu.

Zadanie 15 (0-2)

Korzystamy z: zasady zachowania energii, wzoru Einsteina wyrażającego równowagę masy i energii, wzoru Plancka-Einsteina na energię fotonu oraz wzoru $c = \lambda f$. Ponieważ:

$$e_+ + e_- \rightarrow 2\gamma,$$

to

$$\begin{aligned}E_{e+} + E_{e-} &= 2hf & \Rightarrow & & m_{e+}c^2 + m_{e-}c^2 &= 2hf; \\ 2m_e c^2 &= 2hf & \Rightarrow & & m_e c^2 &= hf & \Rightarrow & & f &= \frac{mc^2}{h}; \\ f &= \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 12,4 \cdot 10^{19} \text{ Hz} = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Hz}. \\ \lambda &= \frac{c}{f} & \Rightarrow & & \lambda &= \frac{3 \cdot 10^8}{1,24 \cdot 10^{20}} = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ m}.\end{aligned}$$

Zadanie 16.1 (0-2)

Podczas zapadania grawitacyjnego gwiazdy zachowany jest jej moment pędu $\vec{L}$, dlatego, że na gwiazdę nie działają zewnętrzne momenty sił. Oznaczmy indeksem 1 wielkości w chwili początkowej, natomiast indeksem 2 wielkości po ustaniu zapadania się gwiazdy. Zachowanie momentu pędu prowadzi do zależności:

$$L_1 = L_2 \quad \Rightarrow \quad I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2,$$

gdzie ω_i są szybkościami kątowymi zaś I_i są momentami bezwładności w chwilach początkowej i końcowej. Momenty bezwładności ciał o sferycznie symetrycznym rozkładzie masy (niekoniecznie jednorodnym) są zawsze proporcjonalne do kwadratu ich promieni oraz masy: $I = kmr^2$. W związku z tym, zgodnie z założeniami zadania zapiszemy, że:

$$I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2 \quad \Rightarrow \quad kmr_1^2 \cdot \omega_1 = kmr_2^2 \cdot \omega_2 \quad \Rightarrow \quad r_1^2 \cdot \frac{2\pi}{T_1} = r_2^2 \cdot \frac{2\pi}{T_2} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{T_1}{T_2}.$$

Ponieważ $r_1 = 100r_2$ to:

$$\frac{T_1}{T_2} = 10\,000 \quad \text{czyli} \quad T_2 = \frac{T_1}{10\,000}.$$

W wyniku zapadania grawitacyjnego gwiazdy jej okres obrotu dookoła własnej osi zmniejszy się 10 000 razy. Zauważmy przy okazji, że szybkość kątowa tego obrotu wzrośnie 10 000 razy.

Zadanie 16.2 (0-2)

Energie kinetyczne ruchu obrotowego gwiazdy w chwili początkowej i końcowej dane są wzorami:

$$E_{kin\ 1} = \frac{1}{2} I_1 \cdot \omega_1^2 \quad \text{oraz} \quad E_{kin\ 2} = \frac{1}{2} I_2 \cdot \omega_2^2.$$

Ponieważ $\omega_1 < \omega_2$ oraz $I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2$ (zachowanie momentu pędu), to:

$$I_1 \cdot \omega_1 \cdot \omega_1 < I_2 \cdot \omega_2 \cdot \omega_2 \quad \text{czyli} \quad I_1 \cdot \omega_1^2 < I_2 \cdot \omega_2^2.$$

Porównując to ze wzorami na energie kinetyczne stwierdzamy, że:

$$E_{kin\ 1} < E_{kin\ 2}$$

Uwolniona częściowo grawitacyjna energia potencjalna gwiazdy spowodowała między innymi wzrost energii kinetycznej jej ruchu obrotowego.