LIX OLIMPIADA FIZYCZNA

ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA

CZĘŚĆ I

Rozwiązania zadań I stopnia należy przesyłać do **Okręgowych Komitetów Olimpiady Fizycznej** w terminach: część I — do 15 października b.r., część II — do 15 listopada b.r.. O kwalifikacji do zawodów II stopnia będzie decydować suma punktów uzyskanych za rozwiązania zadań części I i II.
Szczegóły dotyczące regulaminu oraz organizacji Olimpiady można znaleźć na stronie internetowej `www.kgof.edu.pl`.

Uwaga: Rozwiązania zadań należy zamieścić w kolejności zgodnej z ich numeracją. Wszystkie strony pracy powinny być ponumerowane. Na każdym arkuszu należy umieścić nazwisko i imię oraz adres autora pracy. Na pierwszym arkuszu pracy dodatkowo należy podać nazwę, adres szkoły i klasę oraz nazwisko i imię nauczyciela fizyki.

Podaj i krótko uzasadnij odpowiedź. Za każde z 15 zadań można otrzymać maksymalnie 4 punkty.

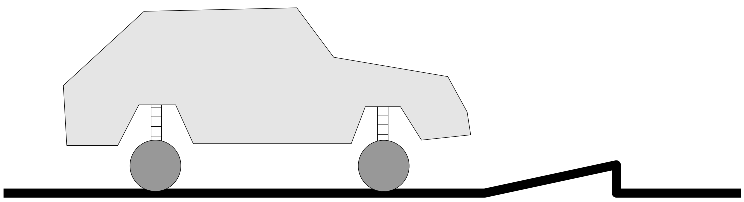
Zadanie 1.
W wysokim prostopadłościennym naczyniu o wymiarach podstawy $3R \times 2R$ umieszczono 10 jednorodnych kul o promieniu R i masie m każda. Współczynnik tarcia między kulami, a węższymi ściankami jest równy $f = 0,5$, natomiast nie ma tarcia między sąsiednimi kulami, kulami i szerszymi ściankami, oraz między najniższą kulą a podstawą naczynia. Jaka jest siła nacisku najniższej kuli na podstawę? Jaka jest siła nacisku najniższej kuli na boczną ściankę?
Przyspieszenie ziemskie wynosi g. Podstawa naczynia jest pozioma.

Zadanie 2.
Dwaj astronauci przeprowadzali w otwartej przestrzeni kosmicznej naprawę swojej stacji krążącej po geostacjonarnej orbicie wokół Ziemi. W pewnej chwili jednemu z nich młotek wyślizgnął się z ręki i zaczął się oddalać z pewną prędkością od stacji. „A to pech, straciliśmy młotek. Już go więcej nie zobaczymy” – powiedział pierwszy astronauta. „Nie martw się, ten młotek na pewno kiedyś zbliży się na tyle do naszej stacji, że będzie można go złapać.” Który z nich miał rację?
Rozważ idealną sytuację, w której pomijamy wpływ wszelkich ciał niebieskich za wyjątkiem Ziemi oraz możliwość zderzenia z kosmicznymi śmieciami.

Zadanie 3.
Czy można wykorzystać żagiel kosmiczny (lustro odbijające promieniowanie Słońca) aby napędzany nim statek kosmiczny mógł zbliżyć się do Słońca? Początkowo statek porusza się po kołowej orbicie wokół Słońca i nie powinien wykorzystywać obecności innych ciał niebieskich.

Zadanie 4.
Batyskaf składa się z pływaka – dużego zbiornika wypełnionego benzyną – oraz podwieszonych pod nim pozostałych elementów, w tym kabiny załogi i balastu.
Czy zanurzony, nieruchomy batyskaf znajduje się w stabilnym położeniu równowagi, tzn. jeśli z jakiegoś powodu nieznacznie zmieni się głębokość zanurzenia (np. w wyniku uderzenia od góry przez ciekawskiego rekina), to czy batyskaf wróci do pierwotnego zanurzenia?
Przyjmij, że ścianki pływaka są bardzo cienkie, a pozostałe elementy dla uproszczenia potraktuj jako jednolity blok stali. Jeśli potrzebujesz dodatkowych danych, wyszukaj je w dostępnych ci źródłach.

Zadanie 5.



rys. 1

Samochód ma pokonać nierówność w kształcie klina (patrz rys. 1). W którym przypadku na pokonanie tej nierówności stracimy mniej energii:

a) przejeżdżając po nierówności z jak najmniejszą prędkością;

b) przejeżdżając po nierówności z dużą prędkością, tak by karoseria samochodu uniosła się jak najmniej w trakcie przejeżdżania, a jednocześnie by koła też podskoczyły w jak najmniejszym stopniu. Zakładamy, że maksymalny skok zawieszenia jest kilka razy większy od wysokości nierówności.

Zadanie 6.
Proton znajduje się w próżni w stałym polu grawitacyjnym $\vec{g}$ ($g = 10$ m/s^2) i prostopadłym do niego polu magnetycznym $B = 1{\cdot}10^{-5}$ T. W chwili początkowej proton spoczywa na wysokości $h = 0,001$ m nad poziomą płaszczyzną, a następnie porusza się pod wpływem pola grawitacyjnego i magnetycznego. Czy proton doleci do płaszczyzny?
Masa protonu $m = 1.7 \cdot 10^{-27}$ kg, jego ładunek $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C.

Zadanie 7.
Współczynnik załamania w pewnym ośrodku jest dany wzorem

$$n(r) = \begin{cases} n_A & \text{dla } r < r_1, \\ n_B & \text{dla } r_1 \le r < r_2, \\ n_A & \text{dla } r \ge r_2, \end{cases}$$

gdzie r jest odległością od ustalonego punktu, a n_A, n_B, r_1 i r_2 są stałymi.

Jaki jest maksymalny kąt padania światła z obszaru $r > r_2$ na sferę $r = r_2$, przy którym światło wniknie do obszaru $r < r_1$?

Zadanie 8.
Rozważmy dwa identyczne krążki hokejowe, leżące na poziomym, szorstkim podłożu. Krążki pchnięto, przy czym pierwszemu nadano tylko ruch postępowy, a drugiemu także ruch obrotowy. Całkowita energia początkowa obu krażków była jednakowa. Drugi krążek przestał się obracać w tej samej chwili, w której zatrzymał się jego środek masy. Który krążek przebył większą drogę do chwili zatrzymania?
Krążki są jednorodne, a ich współczynnik tarcia o podłoże wynosi μ. Osie krążków są pionowe.

Zadanie 9.
Naczynie z wodą obraca się wokół pionowej osi ze stałą prędkością kątową ω. W naczyniu znajdują się dwa identyczne, jednorodne, sześcienne klocki – jeden na osi obrotu, drugi w pewnej odległości od tej osi. Klocki unoszą się na wodzie, nie poruszając się względem niej. Który krążek wypiera więcej wody? Gęstość każdego z klocków jest równa $1/4$ gęstości wody. Wymiary klocków są kilkanaście razy mniejsze od odległości drugiego klocka od osi obrotu. Pomiń ściśliwość wody i klocków.

Zadanie 10.
Wewnątrz cienkiej, metalowej, sferycznej powłoki o promieniu R, w odległości d od jej środka, znajduje się punktowy ładunek q. Wyznacz natężenie pola elektrycznego tuż nad powierzchnią powłoki, w punkcie najbliższym rozważanemu punktowemu ładunkowi.
Całkowity ładunek powłoki jest równy zero.

Zadanie 11.
Znajdź moment bezwładności dywanu Sierpińskiego o masie m i boku a względem prostej przechodzącej przez jego środek i prostopadłej do jego płaszczyzny. Dywan Sierpińskiego jest fraktalem otrzymanym w następujący sposób: kwadrat dzielimy na dziewięć jednakowych, mniejszych kwadratów i usuwamy ten znajdujący się w środku. Z każdym z pozostałych ośmiu kwadratów postępujemy tak, jak z kwadratem wyjściowym. Tę procedurę powtarzamy w nieskończoność.

Zadanie 12.
Jednym etapów produkcji monet w pewnej mennicy jest wycinanie z metalowej blachy krążków o odpowiednim promieniu. W etapie produkcji nóż w kształcie pionowej rury o promieniu wewnętrznym r uderza w poziomy pasek blachy. Są dwie linie produkcyjne. Na jednej wycinarka, wewnątrz której pionowo porusza się nóż, jest nieruchoma, a pasek blachy przesuwa się poziomo ze stałą prędkością v. Na drugiej pasek blachy jest nieruchomy, a wycinarka porusza się wzdłuż niego ze stałą prędkością v. Uderzenia noża są tak szybkie, że w trakcie przecinania przez nóż blacha przesuwa się względem wycinarki na pomijalną odległość.

Ze względu na spodziewaną inflację zwiększono prędkość v tak, że stała się ona porównywana z prędkością światła, zwiększając jednocześnie odpowiednio częstotliwość uderzeń noża i zmniejszając grubość blachy. Jaki kształt (podaj rozmiary) będą miały spoczywające w portfelu monety pochodzące z każdej z linii produkcyjnych tej mennicy?

Zadanie 13.
Zdjęcie (rys. 2) przedstawia żabę unoszącą się (lewitującą) pod wpływem bardzo silnego, stałego pola magnetycznego (ok. 16T). (Film przedstawiający lewitującą żabę jest dostępny na stronie *www.hfml.ru.nl/pics/Movies/frog.mpg*)

rys. 2

Uzasadnij prawdziwość lub nieprawdziwość następujących stwierdzeń:

a) żaba unosi się ponieważ jej ciało ma właściwości paramagnetyczne;

b) żaba unosi się ponieważ jej ciało ma właściwości diamagnetyczne;

c) aby wystąpiła lewitacja, pole magnetyczne musi być w dużym stopniu jednorodne;

d) aby wystąpiła lewitacja, pole magnetyczne musi być niejednorodne;

e) jeśli zmienimy zwrot pola magnetycznego (zmieniając kierunek prądu płynącego przez elektromagnes wytwarzający to pole), to żaba będzie mogła lewitować tylko jeśli obróci się głową w dół.

Weź pod uwagę, że ciała zwierząt, w tym ciało żaby, możemy w bardzo dobrym przybliżeniu traktować jako składające się głównie z wody.

Zadanie 14.
W niektórych bardzo szybkich pociągach, przy prędkości powyżej 200 km/h stosuje się hamulce elektromagnetyczne wykorzystujące prądy wirowe indukowane w przewodniku pod wpływem silnego pola magnetycznego. W takim pociągu, na wysokości kilku milimetrów nad szyną, są zawieszone elektromagnesy. Gdy elektromagnesy wytwarzają pole magnetyczne, jego oddziaływanie z szyną powoduje hamowanie pociągu. Ile razy wzrośnie lub zmaleje siła hamująca, gdy prędkość pociągu zmaleje dwukrotnie? W rozważaniach pomiń samoindukcję szyny.

Zadanie 15.
Rozważmy motocyklistę zjeżdżającego po pochyłym, równym odcinku drogi. Stwierdzono, że jeśli motocyklista używa tylko przedniego hamulca, to maksymalne opóźnienie, z jakim motor może hamować by motocyklista wraz ze swoją maszyną nie przekoziołkował przez przednie koło, wynosi a. Czy to maksymalne opóźnienie się zmieni, a jeśli tak, to czy wzrośnie, czy zmaleje, jeśli motocyklista użyje również tylnego hamulca?
Pomiń ugięcie zawieszenia i opon oraz opór powietrza.

LIX OLIMPIADA FIZYCZNA

Rozwiązania zadań

ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA

CZĘŚĆ I

Zadanie 1.

Zauważmy, że siła tarcia każdej kulki o ścianę jest równa zeru, gdyż w przeciwnym razie działałby na nią niezrównoważony moment siły.
Zatem dolna kulka musi naciskać na podstawę siłą $10mg$. Analogicznie, pionowa składowa siły $\vec{F}_{12}$, z jaką działa ta kulka na kulkę na niej leżącą, wynosi $9mg$. W stabilnym stanie równowagi najniższa kulka dotyka jednej z węższych ścianek naczynia, a leżąca na niej – przeciwległej ścianki. Ponieważ kulki działają na siebie wzdłuż prostej łączącej ich środki, z geometrii wynika, że pozioma składowa siły $\vec{F}_{12}$ jest równa

$$9\,mg \cdot \frac{3R-2R}{\sqrt{(2R)^2-(3R-2R)^2}} = 3\sqrt{3}\,mg.$$

Ponieważ dolna kulka jest w równowadze, z taką samą siłą działa ona na tę węższą ściankę, z która sie styka. Jednocześnie z geometrii zagadnienia wynika, że siła nacisku na każdą z szeszych ścianek, jest równa zeru.

Zadanie 2.
Tor ruchu młotka będzie elipsą okrążającą Ziemię i przecinającą tor ruchu stacji (bo w momencie wypuszczenia młotka te tory miały punkt wspólny). Okres obiegu młotka wokół Ziemi T_m będzie różny od czasu obiegu stacji wokół Ziemi T_s. Jeśli T_m i T_s są współmierne – i wtedy po iluś obiegach stacja i młotek znajdą się w tym samym miejscu, co w chwili wypuszczenia młotka. Jeśli T_m i T_s nie są współmierne, to po odpowiednio długim czasie młotek i stacja mogą się znaleźć dowolnie blisko siebie. Zatem w obu przypadkach wystarczy odpowiednio długo poczekać, a młotek przyleci na tyle blisko, że będzie można go złapać. Oczywiście czas czekania może być bardzo, bardzo długi...

Zadanie 3.
Parcie promieniowania słonecznego na żagiel zawsze ma składową działającą „od" Słońca i nie jest możliwe „halsowanie" statku w stronę źródła promieniowania. Jednak zmieniając kat ustawienia żagla możemy w dowolnym stopniu zmieniać stosunek składowej parcia działającej „od" Słońca do składowej do niej prostopadłej. Możemy zatem zmniejszyć jego moment pędu względem Słońca. W skrajnym przypadku, gdybyśmy zmniejszyli ten moment pędu do zera, a następnie zwinęli żagiel, to po pewnym czasie statek spadłby na Słońce. Oznacza to, że odpowiednio ustawiając żagiel, a potem go zwijając (niekoniecznie dopiero wtedy, gdy moment pędu będzie równy zeru), możemy doprowadzić do zbliżenia się statku do Słońca. Nawet ustawienie

żagla prostopadle do prostej łaczącej statek ze Słońcem, a nastęnie zwinięcie go, doprowadzi po pewnym czasie do zbliżania statku do Słońca – podobnie jak pociagnięcie w dół i puszczenie kulki wiszącej na sprężynie doprowadzi do wyskoczenia jej ponad początkowe polożenie.
Zatem żagiel kosmiczny można wykorzystać do zbliżenia statku do Słońca.

Zadanie 4.
Ponieważ ściśliwość benzyny jest dużo większa niż ściśliwość wody, położenie batyskafu jest niestabilnym położeniem równowagi.

Zadanie 5.
Gdy jedziemy wolno, zawieszenie praktycznie się nie ugina, natomiast podnosi się środek ciężkości samochodu. Praca potrzebna do podniesienia tego środka przy przejeździe przez nierówność obu osi jest nieco mniejsza (tym mniejsza, im wyżej znajduje się środek ciężkości samochodu) niż mgh, gdzie m jest masą samochodu, h – wysokością przeszkody, g – przyspieszeniem grawitacyjnym.
Gdy jedziemy szybko, środek ciężkości podnosi się w minimalny sposób, ale musimy wykonać pracę na ugięcie zawieszenia. Ta praca jest równa N_1h+N_2h, gdzie N_1 jest średnim naciskiem (w trakcie uginania) przedniej osi na podłoże, a N_2 jest średnim naciskiem tylnej osi. Ponieważ $N_1 + N_2 > mg$ (siła nacisku wzrasta przy uginaniu sprężyny, a prócz tego koło musi się poruszać z niezerowym pionowym przyspieszeniem), energia zużyta na wjechania przez koła na wierzchołek nierówności jest mniejsza przy przejeżdżaniu z bardzo małą prędkością. Ponieważ koła mają niezerową średnicę, część tej energia jest odzyskiwana gdy koła zjeżdżają z nierówności. Jednak analogiczne jak w przypadku wjeżdżania rozumowanie prowadzi do wniosku, że odzyskana energia jest tym mniejsza, im szybciej pokonujemy nierówność. Zatem przejeżdżanie nierówności z mniejszą predkościa jest bardziej korzystne energetycznie.

Zadanie 6.
Rozważmy chwilę, gdy wysokość protonu nad powierzchnią wynosi y i załóżmy, że jego prędkość tworzy z pionem kąt α. Z zasady zachowania energii jego prędkość wynosi $v = \sqrt{2g\,(h-y)}$, a przyspieszenie prostopadłe do kierunku ruchu wynosi $a_\perp = (q/m)\,vB - g\sin\alpha$. Zatem w tym momencie proton porusza się po okręgu o promieniu

$$r = \frac{v^2}{a_\perp} = \frac{2mg\,(h-y)}{qB\sqrt{2g\,(h-y)} - mg\sin\alpha}$$

Dla $y < h/2$ wartość r jest mniejsza niż

$$r_{\max} = \frac{2mgh}{qB\sqrt{2g\,(h/2)} - mg} \approx 2,4\cdot 10^{-4}\ \mathrm{m} \ll h/4$$

($r_{\max}$ otrzymaliśmy tu biorąc największą możliwą wartość licznika i najmniejszą możliwą wartość mianownika wyrażenia na r dla $0 \le y \le h/2$). Zatem gdyby proton doleciał do wysokości $y < h/2$ to dalej poruszałby się po torze bardziej zakrzywionym (ciągle w tę samą stronę) niż okrąg o promieniu $h/4$. Zatem do momentu, gdy jego prędkość będzie pozioma, proton nie doleci do rozważanej płaszczyzny. Z symetrii równań ruchu wynika, że dalszy tor będzie odbiciem dotychczasowego względem osi pionowej, a zatem proton nigdy nie doleci do rozważanej płaszczyzny.

Uwaga: Ścisły rachunek pokazuje, że proton doleci tylko do wysokości

$$h - \frac{2m^2 g}{q^2 B^2} \approx 9,77 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}.$$

Zadanie 7.
Z prawa załamania wynika, że spełnione są warunki

$$n_A \sin \alpha_{A2} = n_B \sin \alpha_{B2},$$
$$n_A \sin \alpha_{A1} = n_B \sin \alpha_{B1},$$

gdzie α_{A2} jest kątem padania promienia na sferę o promieniu r_2, α_{B2} – kątem załamania po przejściu przez tę sferę, α_{B1} – kątem padania promienia na sferę o promieniu r_1, α_{A1} – kątem załamania po przejściu przez tę drugą sferę.
Dodatkowo z czysto geometrycznych rozważań wynika, że

$$r_2 \sin \alpha_{B2} = R = r_1 \sin \alpha_{B1},$$

gdzie R jest odległością wspólnego środka sfer od prostej, po której porusza się promień po przejściu przez sferę o promieniu r_2.
Powyższe wzory oznaczają, że

$$r_2 \sin \alpha_{A2} = r_1 \sin \alpha_{A1},$$
$$n_A r_2 \sin \alpha_{A2} = n_B r_1 \sin \alpha_{B1}. \tag{1}$$

Jeśli $n_B > n_A$ to przy maksymalnym szukanym kącie padania będziemy mieli $\alpha_{A2} = 90^\circ$ (światło wpadające do obszaru $r < r_1$ będzie styczne do sfery $r = r_1$) zatem $\sin \alpha_{\max} = r_1/r_2$.
Jeśli $n_B < n_A$ to przy maksymalnym szukanym kącie padania będziemy mieli $\alpha_{B2} = 90^\circ$ (światło padające na sferę $r = r_1$ będzie do niej styczne) a zatem $n_A r_2 \sin \alpha_{\max} = n_B r_1$. Stąd $\sin \alpha_{\max} = n_B r_1 / (n_A r_2)$. W tym przypadku może się zdarzyć, że $n_B r_1 / (n_A r_2) > 1$ i wtedy $\alpha_{\max} = 90^\circ$.

Uwaga: jeśli rozważymy ośrodek o zmiennym, ale zależnym tylko od r współczynniku załamania, to wzór (1) łatwo można uogólnić do postaci

$$r \cdot n(r) \sin \alpha(r) = \mathrm{const}.$$

Zadanie 8.
Podzielmy krążek na kawałki o małej powierzchni podstawy. Praca przeciwko siłom tarcia wykonana przez taki kawałek jest równa $N\mu l$, gdzie N jest siłą nacisku tego kawałka na podłoże, a l – przebytą przez niego drogą. Ponieważ N nie zależy od tego, czy krążek się obraca, a l jest najmniejsze gdy kawałek porusza się po prostej, krążek któremu nadano tylko ruch postępowy, przebył większą drogę.

Zadanie 9.
Rozważmy zagadnienie w układzie obracającym się razem z naczyniem. Powierzchnia wody będzie w każdym punkcie prostopadła do wektora $\vec{g}_{eff} = g\vec{e}_z + \omega^2\vec{r}$, gdzie $\vec{e}_z$ jest skierowane w górę, a $\vec{r}$ jest prostopadłym do $\vec{e}_z$ wektorem od osi obrotu do danego punktu.
Oznaczmy przez p_n prostą przechodzącą przez środek masy drugiego klocka i przecinającą pod kątem prostym powierzchnię wody, a przez $g_{\perp eff}$ składową $\vec{g}_{eff}$ równoległą do p_n. Ze wzoru na $\vec{g}_{eff}$ wynika, że gdy przesuwamy się wzdłuż p_n, $g_{\perp eff}$ jest większe pod powierzchnią wody, niż nad nią. W konsekwencji średnia z $g_{\perp eff}$ w zanurzonej części klocka jest większa jest większa niż średnia z $g_{\perp eff}$ w całym klocku. Zatem, aby pozorny ciężar wody wypartej przez drugi klocek był równy pozornemu ciężarowi tego klocka, jej objętość musi być mniejsza niż objętość wody wypartej przez klocek znajdujący się na osi obrotu.
Czyli klocek znajdujący się z dala od osi obrotu wyprze mniej wody, niż klocek na tej osi.

Zadanie 10.
Ponieważ powłoka jest metalowa, ładunki w jej wnętrzu rozmieszczą sie tak, by pole elektryczne tuż nad jej powierzchnią było do niej prostopadłe. Z drugiej strony, całkowity strumień tego pola przez sferę otaczającą powłokę i współśrodkową z nią musi wynosić q/ε_0. Te warunki spełnia pole, na zewnatrz powłoki równe polu wytworzonemu przez ładunek q znajdujący się w jej środku. Zatem $E = q/\left(4\pi\varepsilon_0 R^2\right)$.

Zadanie 11.
Z wymiarowych rozważań wynika, że szukany moment bezwładności wynosi $I = kma^2$, gdzie k jest nieznaną stałą liczbową.
Dywan składa się z ośmiu mniejszych dywanów o masie $m/8$ i boku $a/3$. Z twierdzenia Steinera otrzymujemy

$$I = kma^2 = 8k\frac{m}{8}\left(\frac{a}{3}\right)^2 + 4\frac{m}{8}\left(\frac{a}{3}\right)^2 + 4\frac{m}{8}\left(\sqrt{2}\frac{a}{3}\right)^2,$$

gdzie uwzględniliśmy, że środki masy czterech spośród mniejszych dywanów znajdują się w odległości $a/3$ od osi obrotu i czterech – w odległości $\sqrt{2}a/3$ od tej osi.
Z powyższej równości otrzymujemy

$$\frac{8}{9}k = \frac{3}{2}\frac{1}{9},$$

a zatem
$$k = \frac{3}{16}, \quad I = \frac{3}{16} ma^2.$$

Zadanie 12.
W pierwszym przypadku nóż wycina z blachy krążek o promieniu r, jednak blacha ulega skróceniu zgodnie ze skróceniem Lorentza. Po zatrzymaniu wyciętego krążka będzie on miał kształt elipsy, której półosie są równe r i $r/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$. Sytuacja będzie identycznie wyglądała w drugim przypadku w układzie wycinarki, zatem z obu linii produkcyjnych będą schodzić monety o takim samym kształcie.

Zadanie 13.
Woda, a więc również ciało żaby, jest diamagnetykiem. Pod wpływem pola magnetycznego w diamagnetku indukuje się moment magnetyczny skierowany przeciwnie do kierunku pola. Taki moment magnetyczny możemy traktować jako dwa, bliskie sobie przeciwne bieguny magnetyczne (czyli jak magnes). Aby na układ tych dwóch biegunów działała wypadkowa siła, nateżenie pola magnetycznego w pobliżu jednego powinno być inne niż w pobliżu drugiego, czyli to pole musi być niejednorodne. Zatem punkty b) i d) są prawdziwe, pozostałe – nie.

Zadanie 14.
Moc siły hamującej jest równa ciepłu wydzielanemu przez indukowane prądy wirowe i jest proporcjonalna do kwadratu ich natężenia. Te prądy są proporcjonalne do szybkości zmian strumienia pola magnetycznego, a ta jest proporcjonalna do prędkości v pociągu. Zatem moc siły hamującej jest proporcjonalna do v^2, czyli sama siła hamująca jest proporcjonalna do v. To oznacza, że gdy prędkość zmaleje dwukrotnie, również dwukrotnie zmaleje siła hamująca.

Zadanie 15.
W skrajnym przypadku, gdy opóźnienie wynosi a, nacisk tylnej opony na jezdnię jest równy zeru, a zatem użycie tylnego hamulca nie powoduje pojawienia się dodatkowej siły poziomej. Jednak hamowanie tylnego koła powoduje zmniejszenie jego prędkości obrotowej, co oznacza, że to koło działa na pozostała część motocykla pewnym momentem siły, starającym się obrócić motocykl wokół przedniego koła. Oznacza to, że jeśli motocyklista używa tylnego hamulca, to maksymalne opóźnienie zmaleje.