

# LXVII OLIMPIADA FIZYCZNA

## ROZWIĄZANIA ZADAŃ ZAWODÓW I STOPNIA

### CZĘŚĆ I

ZADANIA CZĘŚCI I (termin wysyłania rozwiązań — 13 października 2017 r.)

Podaj i krótko uzasadnij odpowiedź (nawet jeśli w treści zadania znajdują się odpowiedzi do wyboru, uzasadnienie jest wymagane). Za każde z 15 zadań można otrzymać maksimum 4 punkty.

#### Zadanie 1.

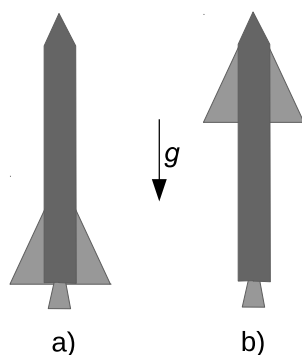
Gdy Marek jechał pewną drogą w zimowy dzień, to zauważył, że odblaskowe znaki drogowe miały z przodu przyklepioną warstwę (białego) śniegu, tak że brzeg znaku (w przypadku znaków ograniczenia prędkości – czerwona obwódka) był wolny od śniegu i dobrze widoczny. Gdy kilkanaście godzin później jechał tą samą drogą w nocy, w świetle reflektorów z daleka znaki widoczne były jako:

- a) stosunkowo ciemna obwódka oraz jasne wnętrze,  
czy
- b) jasna obwódka oraz ciemne wnętrze?

#### Zadanie 2.

Pewna rakieta została zbudowana nie po to, by lecieć w przestrzeń kosmiczną, ale po to, by utrzymywać się na stałej, niezbyt dużej wysokości nad ziemią (raketowy dron). Dysza rakiety jest względem niej nieruchoma i ma wylot skierowany dokładnie wzdłuż jej osi, ale siła ciągu jest automatycznie regulowana tak, że jej składowa pionowa równoważy ciężar rakiety.

Gdzie powinny być umieszczone stateczniki rakiety, aby ułatwić jej stabilizację pionową (powrót do pionowej pozycji w przypadku przypadkowego odchylenia od pionu):



- (a) na dole rakiety  
czy
- (b) na górze rakiety?

**Zadanie 3.**

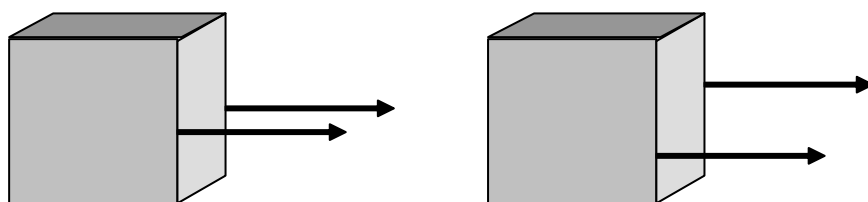
Chwyćmy sprężynkę „slinky” za górną część i pozwólmy jej zwisać swobodnie. Gdy puścimy sprężynkę, to jej najniższa część nie zacznie natychmiast spadać, ale pozostanie przez pewien czas nieruchoma (aż do momentu gdy górna część doleci do dolnej), patrz np.:

[www.kgof.edu.pl/link\\_slinky.html](http://www.kgof.edu.pl/link_slinky.html).

Czy jeśli do dolnej części sprężynki przymocujemy ciężarek (np. o masie równej masie sprężynki), to w analogicznej sytuacji też pozostanie on nieruchomy przez pewien (zauważalny) czas?

**Zadanie 4.**

Na sztywny prostopadłościan działają dwie jednakowe siły przyłożone do jego krawędzi, prostopadłe do ściany zawierającej te krawędzie (lewy rysunek poniżej). Czy ruch prostopadłościanu będący skutkiem działania tych sił się zmieni, jeśli punkt przyłożenia jednej siły przesunąć wzdłuż odpowiedniej krawędzi o pewien odcinek, a punkt przyłożenia drugiej siły – o taki sam odcinek w przeciwną stronę (prawy rysunek)?

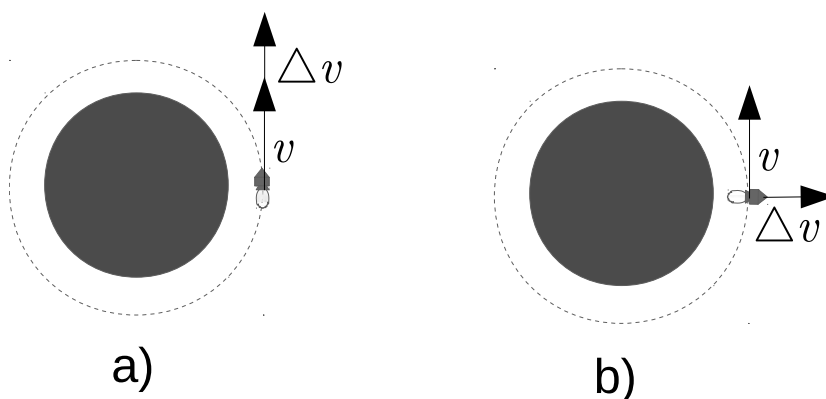
**Zadanie 5.**

Stacja kosmiczna porusza się po orbicie kołowej tuż nad górną warstwą atmosfery. Stwierdzono, że jeśli stacja zbliży się bardziej do Ziemi, to opór powietrza spowoduje jej wyhamowanie, a w efekcie spadek na Ziemię. Aby zabezpieczyć się przed tą ewentualnością, postanowiono na chwilę włączyć silniki stacji. Jakie rozwiązanie będzie lepsze z punktu widzenia przyszłości stacji:

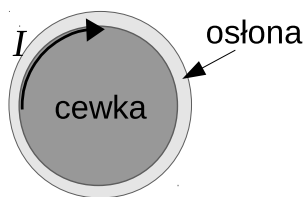
a) skierowanie dyszy silników stycznie do aktualnego toru, tak by zwiększyć stycznie do okręgu składową prędkości stacji

czy

b) skierowanie dyszy silników w kierunku środka Ziemi, aby stacja uzyskała niezerową radialną składową prędkości?

**Zadanie 6.**

Na cewkę nałożono walcową osłonę z izolatora. Osłonę może się obracać bez tarcia wokół wspólnej osi cewki i osłony. Osłonę naelektryzowano ładunkiem dodatnim.



Cewka otoczona osłoną - widok wzdłuż osi cewki.

W którą stronę będzie się obracać osłona po tym, jak przez cewkę zacznie płynąć prąd - zgodnie z kierunkiem prądu obiegającego cewkę, czy przeciwnie do niego? A może nie będzie się obracać?

### Zadanie 7.

Rozważmy dwa obiekty: (a) metalową, cienką sferę o promieniu  $R$  i masie  $M$  oraz (b) „podziurawioną sferę” otrzymaną ze sfery takiej samej jak sfera (a) przez wywiercenie identycznych małych otworów, tak że pozostała powierzchnia wynosi  $4\pi R^2/2$ , a masa (b) jest równa  $M/2$ . Otwory są równomiernie rozłożone, ich promień jest znacznie mniejszy od  $R$ , ale jednocześnie znacznie większy od grubości sfery.

Ile razy szybkość stygnięcia obiektu (b) będzie większa (lub mniejsza) od szybkości stygnięcia obiektu (a), jeśli umieścimy każdy z nich z osobna w pustej przestrzeni kosmicznej, w chwili, gdy ich temperatura wynosi  $T = 300 \text{ K}$ ?

Każdy z obiektów potraktuj jako ciało doskonale czarne i doskonale przewodzące.

Pomiń fakt, że niektóre fale emitowane przez rozważane obiekty mają długość większą niż rozmiary otworów w sferze (ich wkład do bilansu energii jest zanedbywalny).

### Zadanie 8.

Amerykański koszykarz Kyrie Irving twierdzi, że Ziemia jest płaska. Zakładając, że ma on rację i że jednocześnie teoria grawitacji Newtona jest słuszna, wyznacz grubość Ziemi, jeśli ma ona kształt płaskiego naleśnika o bardzo dużym promieniu, jednorodnej gęstości równej  $2,6 \text{ g/cm}^3$  (w przybliżeniu gęstość kwarcu), a przyspieszenie ziemskie na powierzchni tego naleśnika w jego środku wynosi  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

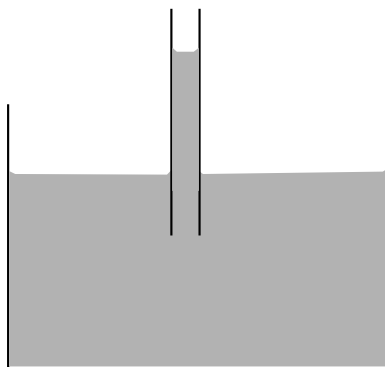
### Zadanie 9.

Projekt Hyperloop zakłada wybudowanie tuneli (według jednej z wersji mają to być metalowe rury), w których będą się poruszać na poduszce magnetycznej superszybkie pociągi. Aby umożliwić ruch z prędkością ponad  $1200 \text{ km/h}$ , z tuneli ma być wypompowane powietrze.

Zakładając że mamy dwa tunele (dwie rury) o przekroju  $5 \text{ m}^2$  (w kierunku prostopadłym do osi) oraz długości  $1000 \text{ km}$  każdy, wyznacz minimalną pracę, jaką trzeba wykonać, aby opróżnić te tunele z powietrza. Przyjmując, że tę pracę wykonują silniki elektryczne o  $100\%$  sprawności i że cena  $1 \text{ kWh}$  energii elektrycznej wynosi  $1 \text{ zł}$ , oblicz koszt tej operacji.

### Zadanie 10.

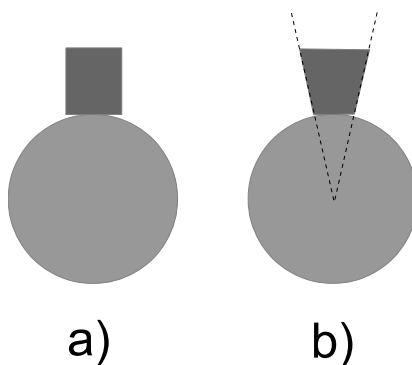
Cienką rurkę szklaną (kapilarną) umieszczono pionowo w naczyniu z wodą. Wskutek przylegania wody do szkła i napięcia powierzchniowego wody poziom wody w rurce jest wyżej, niż poziom wody w naczyniu, patrz rysunek.



Rozważamy mały fragment rurki, do którego z zewnątrz przylega powietrze, a od wewnątrz – woda. Czy ciśnienie powietrza jest w porównaniu z ciśnieniem wody na ten fragment: (a) większe (rurka jest ściskana w kierunku radialnym), (b) czy mniejsze (rurka jest rozciągana w kierunku radialnym), czy (c) - takie samo.

### Zadanie 11.

Starszy i większy brat Guliwera postawił na nieruchomej planecie wiadro z wodą – patrz rysunek. Dno wiadra jest kołem i styka się z powierzchnią planety dokładnie w swoim środku. W którym przypadku ciężar wody będzie równy parciu na dno wiadra:



- a) gdy ścianka boczna będzie prostopadła do dna,  
czy  
b) gdy ścianka boczna będzie fragmentem powierzchni bocznej stożka o wierzchołku w środku planety?

A może (c) w żadnym z tych przypadków te dwie wielkości nie będą równe?

Pomiń przyciąganie samego wiadra, obecność innych ciał, obecność (lub nieobecność) atmosfery, parowanie wody i napięcie powierzchniowe. Planeta jest jednorodną kulą.

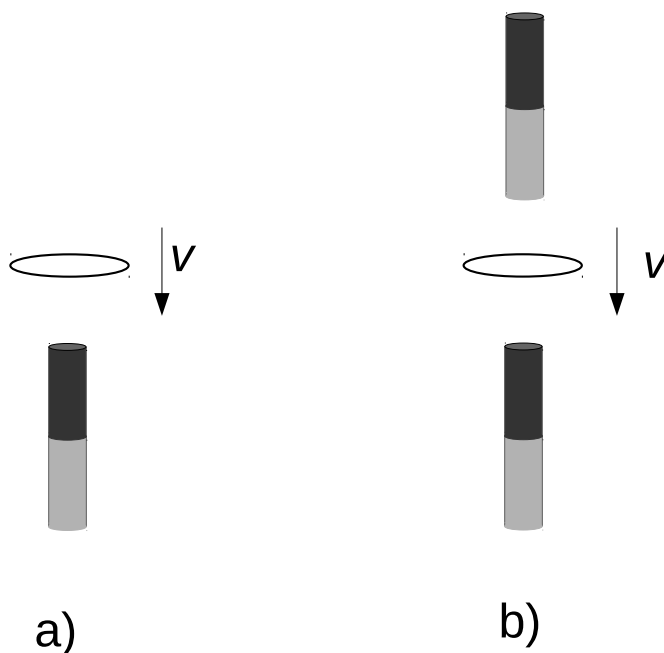
Ciężar wody to wypadkowa siła grawitacyjna, z jaką woda w wiadrze jest przyciągana przez planetę.

Parcie wody na dno wiadra jest (zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona) równe sile, jaką to dno działa na wodę.

### Zadanie 12.

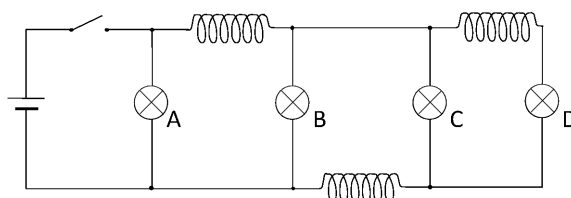
Franek zauważył, że gdy przesuwa pętlę z przewodnika w pobliżu bieguna  $N$  magnesu (patrz rys. a)), to pojawia się siła przeciwstawiająca się temu przesuwaniu. Postanowił wzmocnić ten efekt umieszczając symetrycznie względem tej pętli drugi, identyczny magnes, zorientowany zgodnie z pierwszym magnese (patrz rys. b)). Osie magnesów oraz pętli się pokrywają. Czy Franek osiągnął swój cel?

Rozważamy chwilę, gdy pętla jest w takiej samej odległości od obu magnesów.

**Zadanie 13.**

Pewna firma rozważa wyprodukowanie działających w nocy elektrowni fotowoltaicznych. Taka elektrownia ma wykorzystywać efekt fotoelektryczny – analogicznie jak zwykle fotowoltaiczne elektrownie (lub tylko panele) słoneczne. Różnica ma polegać na tym, że zamiast fotonów pochodzących ze Słońca miałyby się wykorzystywać (podczerwone) fotony występującego nawet w nocy promieniowania ciepłego (podczerwonego) obiektów z bliskiego i dalekiego otoczenia.

Przyjmując, że wszystkie obiekty mają tę samą temperaturę, oceń, czy działanie elektrowni w opisany sposób jest możliwe.

**Zadanie 14.**

Rozważmy przedstawiony na rysunku układ identycznych żarówek i identycznych cewek podłączonych przez długi czas do źródła zasilania. Która żarówka będzie świecić najjaśniej tuż po odłączeniu źródła?

Pomiń indukcyjności żarówek i przewodów łączących oraz oporności przewodów i cewek.

**Zadanie 15.**

Pochodzący z Ziemi kosmiczni turyści spotkali w trakcie swojej podróży statek Obcych. Gdy oba statki się zatrzymały, turyści zauważyli, że światła statku Obcych migają z częstotliwością 60 błysków na minutę światłem purpurowym. Analiza tego światła wykazała, że składa się ono z dwóch składowych: czerwonej – o długości fali 650 nm i niebieskiej o długości fali 440 nm. Po wymianie okazjonalnych uprzejmości statek Obcych zaczął się oddalać i po pewnym czasie turyści mogli zaobserwować, że jego światła migają ze stałą częstotliwością 49 błysków na minutę. Jaki kolor tego światła obserwowali turyści?

Informacje na temat kolorów odpowiadających długościom fali oraz mieszania kolorów wyszukaj w dostępnych Ci źródłach.

**Informacje, które mogą być przydatne**

Dla pola elektrycznego  $\vec{E}$ , pola (przyspieszenia) grawitacyjnego  $\vec{\gamma}$  oraz pola magnetycznego  $\vec{B}$  całkowity strumień  $\Phi_{\text{całk}}$  danego pola przez powierzchnię zamkniętą jest równy

$$\Phi_{\text{całk}} = \begin{cases} \frac{1}{\varepsilon_0} Q & \text{dla pola elektrycznego,} \\ -4\pi G \cdot M & \text{dla pola grawitacyjnego,} \\ 0 & \text{dla pola magnetycznego.} \end{cases}$$

gdzie  $Q$  jest całkowitym ładunkiem elektrycznym zawartym wewnątrz rozważanej powierzchni,  $M$  – całkowitą masą zawartą wewnątrz rozważanej powierzchni,  $\varepsilon_0$  – przenikalnością elektryczną próżni,  $G$  – uniwersalną stałą grawitacyjną.

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>.

**ROZWIĄZANIA****Rozwiązanie zadania 1.**

Czysta powierzchnia znaku odbija światło samochodu w jego kierunku. Śnieg rozprasza światło we wszystkich kierunkach, co oznacza, że w stronę samochodu wraca tylko niewielka część światła padającego na śnieg. Zatem prawidłową odpowiedzią jest b).

**Rozwiązanie zadania 2.**

Przyjmijmy, że rakieta odchyliła się w prawo (orientacja jak na rysunku w treści zadania). Oznacza to, że zacznie się ona poruszać w prawo. W takiej sytuacji na każdy fragment rakiety będzie działała siła oporu powietrza skierowana w lewo, ale będzie ona największa w części zawierającej stateczniki. To oznacza, że w przypadku a) ta siła będzie starała się obrócić raketę w prawo, a w przypadku b) – w lewo. Ponieważ obrót w prawo oznacza powiększenie przechyłu, a obrót w lewo – jego zmniejszenie, stabilizację rakiety w rozważanej sytuacji ułatwia statecznik umieszczony na górze i prawidłową odpowiedzią jest b).

**Rozwiązanie zadania 3.**

Gdy sprężynka zwisa swobodnie, siła ciężkości działająca na jej część poniżej dowolnego jej punktu jest równoważona przez siłę sprężystości małego rozciągniętego fragmentu znajdującego się tuż nad tym punktem. Gdy puścimy sprężynkę, górny koniec sprężynki przestaje być w równowadze i zaczyna się przesuwać w dół. To powoduje zmniejszenie rozciągnięcia górnego, małego fragmentu sprężynki, w wyniku czego punkt sprężynki znajdujący się nieco niżej przestaje być w równowadze i zaczyna się poruszać w dół. Kolejne, coraz niższe fragmenty sprężynki zaczynają się poruszać w dół, jednak punkt, nad którym sprężynka nie uległa jeszcze skurczeniu, pozostaje nieruchomy.

Możemy na to spojrzeć w ten sposób, że informacja o tym, że puściliśmy sprężynkę, rozchodzi się ze skończoną prędkością i dopóki nie dojdzie do danego elementu sprężynki, pozostaje on nieruchomy. Tego mechanizmu nie zmienia zawieszenie na sprężynce ciężarka, zatem pozostanie on nieruchomy przez pewien skończony czas.

W istocie sytuacja jest analogiczna do sytuacji z zadania doświadczalnego 67. OF.

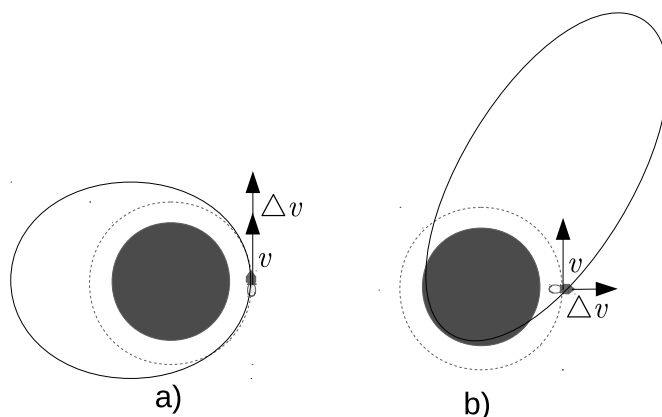
**Rozwiązanie zadania 4.**

Ruch prostopadłościanu się nie zmieni, gdyż zarówno wypadkowa siła działająca na prostopadłościan jak i wypadkowy moment siły względem środka masy prostopadłościanu są w obu przypadkach identyczne.

**Rozwiązanie zadania 5.**

Zgodnie z pierwszym prawem Keplera po wyłączeniu silników stacja będzie się poruszała po elipsie. W przypadku a) ta elipsa będzie styczna z dotychczasowym torem stacji, a miejsce, w którym włączono (i – zgodnie z treścią zadania – wyłączono) silniki, będzie perigeum nowej orbity. W przypadku b) nowa orbita będzie się przecinała ze starą, co oznacza że w trakcie obiegu przez jakiś czas stacja będzie się znajdowała bliżej Ziemi niż poprzednio.

Ponieważ właśnie lotu stacji bliżej Ziemi chcieliśmy uniknąć, rozwiązanie a) będzie lepsze z punktu widzenia przyszłości stacji.



Rysunek do rozwiązania zadania 5. Ciągła linia przedstawia schematyczny tor ruchu stacji po włączeniu silników.

**Rozwiązanie zadania 6.**

W wyniku włączenia prądu wewnątrz cewki pojawi się pole magnetyczne skierowane wzdłuż jej osi (prostopadle do powierzchni rysunku, o zwrocie za tę powierzchnię). Oznacza to, że strumień pola magnetycznego przez przekrój cewki wzrośnie i zgodnie z prawem Faradaya w obszarze osłony wytworzy się wirowe pole elektryczne skierowane przeciwnie do płynącego prądu. Ponieważ osłona jest naelektryzowana dodatnio, takie pole spowoduje obracanie się osłony przeciwnie do kierunku prądu obiegającego cewkę.

Można na to zagadnienie spojrzeć też tak: osłona będzie poruszać się tak, aby przeciwstawić się wzrostowi strumienia pola magnetycznego przechodzącego przez cewkę. To oznacza, że powinna zacząć się obracać w kierunku przeciwnym do kierunku prądu obiegającego cewkę.

**Rozwiązanie zadania 7.**

Zgodnie z prawem Stefana-Boltzmana element o powierzchni  $\Delta S$  każdego z obiektów emituje promieniowanie o mocy  $\Delta S \sigma T^4$ , gdzie  $\sigma$  jest stałą Stefana-Boltzmana.

W przypadku obiektu (a) promieniowanie wyemitowane przez wewnętrzną powierzchnię sfery jest w całości pochłaniane przez nią samą, zatem moc wypromieniowywana przez tę sferę jest równa mocy wypromieniowanej przez jej zewnętrzną powierzchnię i wynosi  $4\pi R^2 \sigma T^4$ . Przyjmując, że ciepło właściwe metalu, z którego jest wykonana sfera wynosi  $c$ , oznacza to, że szybkość stygnięcia obiektu (a) jest równa  $4\pi R^2 \sigma T^4 / (m \cdot c)$

W przypadku obiektu (b) promieniowanie wyemitowane przez wewnętrzną powierzchnię sfery jest w połowie pochłaniane przez nią samą, a druga połowa promieniowania wydostaje się przez otwory na zewnątrz. Zatem wewnętrzna powierzchnia obiektu (b) efektywnie emituje promieniowanie o mocy  $(4\pi R^2/2)\sigma T^4/2$ . Zewnętrzna powierzchnia obiektu (b) emituje promieniowanie o mocy  $(4\pi R^2/2)\sigma T^4$ , zatem w sumie obiekt (b) emituje promieniowanie o mocy  $\frac{3}{4}4\pi R^2\sigma T^4$ . Uwzględniając, że masa tego obiektu wynosi  $m/2$ , szybkość stygnięcia obiektu (a) jest równa  $\frac{3}{4}4\pi R^2\sigma T^4/(m \cdot c/2) = \frac{3}{2}4\pi R^2\sigma T^4/(m \cdot c)$ .

Zatem szybkość stygnięcia obiektu (b) będzie  $3/2$  raza większa niż szybkość stygnięcia obiektu (a).

### Rozwiązanie zadania 8.

Z daleka od brzegów rozważanej płaskiej Ziemi można przyjąć, że pole grawitacyjne na jej powierzchni jest jednorodne i prostopadłe do tej powierzchni. Rozważmy walcowaty wycinek rozważanej Ziemi o podstawach leżących na jej powierzchniach. Strumień pola grawitacyjnego przez powierzchnię rozważanego wycinka wynosi  $2Sg$  (jest to suma strumieni przez obie podstawy, przy czym przyjęliśmy, że  $S$  jest polem powierzchni każdej z podstaw; strumień przez powierzchnię boczną jest równy 0, bo w rozważanej sytuacji pole grawitacyjne jest styczne do tej powierzchni), natomiast jego masa jest równa  $Spd$ , gdzie  $d$  jest szukaną grubością Ziemi. Zgodnie z podanymi informacjami, które mogą być przydatne mamy

$$2Sg = 4\pi G S \rho d,$$

gdzie  $G$  jest uniwersalną stałą grawitacyjną.

$$\text{Stąd } d = g / (2\pi G \rho) = 9,81 / (2 \cdot 3,14 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2600) \text{ m} \approx 9000 \text{ km.}$$

### Rozwiązanie zadania 9.

Możemy sobie wyobrazić, że powietrze wypompowujemy przesuwając powoli szczelny tłok we wnętrzu każdego z tuneli. Praca wykonana w takim przypadku jest równa

$$W = Sp \cdot l \cdot 2,$$

gdzie  $S$  jest powierzchnią poprzecznego przekroju tunelu (a zatem również powierzchnią tłoka),  $p$  to ciśnienie powietrza,  $Sp$  to siła, z jaką musimy działać na tłok,  $l$  to długość tunelu (czyli droga, jaką musi przebyć tłok), a czynnik 2 odpowiada temu, że mamy dwa tunele.

Zauważmy, że powyższy proces jest procesem odwracalnym, a zatem otrzymana praca jest minimalną pracą potrzebną do wypompowywania powietrza.

Przyjmując  $p = 10^5$  Pa otrzymamy  $W = 5 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 2 \text{ J} = 1,0 \cdot 10^{12} \text{ J}$ . Ponieważ 1 kWh, to 3600 kJ, zatem szukany koszt wynosi około 280 tys. zł.

### Rozwiązanie zadania 10.

Skoro poziom cieczy w rurce jest wyższy, to sytuacja jest efektywnie taka, jakby nie było napięcia powierzchniowego, a za to ciśnienie powietrza nad wodą w rurce było niższe, niż ciśnienie powietrza nad wodą w naczyniu poza rurką. W takiej sytuacji ciśnienie wody w rurce na poziomie powierzchni otaczającej rurkę wody jest równe ciśnieniu atmosferycznemu, a ciśnienie wody wyżej – niższe od atmosferycznego. Zatem prawidłową odpowiedzią jest (a).

### Rozwiązanie zadania 11.

Parcie wody na dno naczynia może być różne od jej ciężaru tylko gdy wypadkowa sił parcia działających na boczną ściankę wiadra jest niezerowa (woda w naczyniu jest w spoczynku, zatem wypadkowa sił parcia działających zarówno na ścianki boczne jak i na dno musi być równa ciężarowi wody). W przypadku a) siła, z jaką woda naciska na dowolny mały fragment



powierzchni bocznej wiadra, jest prostopadła do wypadkowej siły grawitacyjnej działającej na wodę, a zatem suma wszystkich tych sił działających na powierzchnię boczną wiadra nie może dawać wypadkowej siły o niezerowej składowej równoległej do wypadkowej siły grawitacyjnej działającej na wodę (z symetrii wynika również, że ta siła wypadkowa nie ma też składowej prostopadłej do wypadkowej siły grawitacyjnej działającej na wodę). A zatem ciężar wody będzie równy parciu na dno wiadra w przypadku a).

### Rozwiązanie zadania 12.

Z symetrii układu b) wynika, że linie sił pola magnetycznego w połowie odległości między magnesami są równoległe do osi magnesów, tzn. gdy przechodzą przez koło, którego pętla jest brzegiem, to są prostopadłe do jego płaszczyzny. To oznacza, że małe przesunięcie pętli od położenia w połowie odległości między magnesami wzdłuż osi magnesów praktycznie nie zmienia strumienia pola magnetycznego przechodzącego przez nią. W konsekwencji, z prawa Faradaya, siła elektromotoryczna indukowana w pętli jest równa zero. To oznacza, że prąd płynący w pętli jest równy zero, a zatem również siła działająca na pętlę jest równa zero. Zauważmy, że nawet gdyby w pętli płynął prąd, to siła działająca na każdy fragment pętli byłaby prostopadła do pola magnetycznego, a zatem wypadkowa siła działająca na pętlę nie miałaby składowej równoległej do osi magnesów.

Zatem Franek nie osiągnął swojego celu, a siła oporu zmniejszyła się do zera.

### Rozwiązanie zadania 13.

Z drugiej zasady termodynamiki wynika, że niemożliwe jest uzyskanie użytecznej pracy, jeśli mamy do dyspozycji tylko ciała o identycznej temperaturze. Ponieważ w rozważanym przypadku emisja fotonów jest wynikiem promieniowania termicznego, a zarówno źródło fotonów jak i panele je pochłaniające mają tę samą temperaturę, działanie elektrowni w opisany sposób nie jest możliwe.

### Rozwiązanie zadania 14.

Indukcyjności cewek powodują, że tuż po odłączeniu źródła prąd płynący przez te cewki będzie taki sam, jak odłączeniem. Jeśli zastosujemy I prawo Kirchhoffa dla kolejnych węzłów rozpoczynając od prawej strony, to stwierdzimy, że tuż po odłączeniu źródła natężenia prądów płynących przez każdą z żarówek B, C, D nie ulegną zmianie. Ze względu na odłączenie fragmentu obwodu ze źródłem, przez żarówkę A popłynie prąd o natężeniu będącym sumą natężeń prądów płynących przez pozostałe żarówki. Zatem najjaśniej będzie świecić żarówka A.

### Rozwiązanie zadania 15.

Obserwowana częstotliwość błysków zmalała w wyniku efektu Dopplera. Skoro częstotliwość błysków zmalała 49/60 raza, to w takim samym stosunku zmalała częstotliwość każdej ze składowej wysyłanego światła. A to oznacza, że obserwowana długość fali każdej ze składowych wzrosła 60/49 raza. Zatem po oddaleniu się Obcych do turystów dociera światło posiadające składowe o długości  $(60/49) \cdot 650 \text{ nm} \approx 796 \text{ nm}$  oraz  $(60/49) \cdot 440 \text{ nm} \approx 539 \text{ nm}$ . Ponieważ zakres światła widzialnego mieści się w granicach 380-780 nm, pierwsza z tych składowych nie była widoczna. Światło o długości fali 539 nm mieści się w zakresie długości fali światła zielonego, zatem turyści obserwowali światło o kolorze zielonym.