

LW Olimpiada Fizyczna

zawody I stopnia

CZĘŚĆ I

ZADANIE 1

Operator nowej sieci telefonii komórkowej chciałby tak dobrać parametry sieci, żeby kierowcy mogli odbierać sygnał tylko wtedy, kiedy ich auto porusza się z prędkością nieprzekraczającą 10 km/h. Jaka powinna być częstotliwość f sygnału nośnego, jeżeli nadajniki i (spoczywające) odbiorniki przystosowane są do pracy w zakresie $f \pm 5$ kHz?

Przyjmij, że samochód jedzie w kierunku nadajnika i że przy prędkości 10 km/h odbiornik powinien przestać odbierać jakiegokolwiek sygnał z nadajnika.

ROZWIĄZANIE

Aby odbiornik nie odbierał żadnego sygnału z nadajnika, zakresy nadawanej i odbieranej częstotliwości nie mogą na siebie zachodzić. Oznacza to, że minimalna zmiana częstotliwości wywołana ruchem odbiornika wynosi $\Delta f = 2 \cdot 5$ kHz.

W zjawisku Dopplera $\Delta f/f \approx v/c$ (c – prędkość światła, v – prędkość odbiornika względem nadajnika). Stąd $f \approx (c/v)\Delta f \approx 10^{12}$ Hz.

ZADANIE 2

Dwa identyczne dielektryczne krążki naładowano jednorodnie identycznymi ładunkami. Krążki umieszczono niedaleko od siebie tak, że ich osie się pokrywają. Krążki mogą swobodnie obracać się wokół swoich osi, ale początkowo nie obracają się. Po rozkręceniu pierwszego krążka, drugi:

- będzie się obracał w tę samą stronę;
- będzie się obracał w przeciwną stronę;
- nie będzie się obracał.

ROZWIĄZANIE

I sposób: Kręcący się naładowany krążek wytwarza pole magnetyczne przenikające drugi krążek. Ze wzrostem prędkości kątowej pierwszego krążka będzie wzrastał strumień indukcji magnetycznej przenikającej przez dowolnie wybrane koło współśrodkowe z drugim krążkiem i leżące w jego płaszczyźnie. Taki

rosnący strumień indukcji wytwarza, zgodnie z prawem Faradaya, pole elektryczne styczne do okręgu będącego brzegiem rozważanego koła. Ze względu na znak „-” w prawie Faradaya, zwrot tego pola jest przeciwny do zwrotu prądu wywołanego ruchem ładunków z pierwszego krążka. Takie pole elektryczne spowoduje obracanie się drugiego krążka w przeciwną stronę niż pierwszy krążek.

II sposób: Pole magnetyczne wytwarzane przez obrót drugiego krążka powinno być takie, żeby przeciwstawić się wzrostowi pola magnetycznego wytwarzanego przez pierwszy krążek. Oznacza to, że drugi krążek powinien się kręcić w przeciwną stronę niż pierwszy.

Uwaga: w praktyce rozważany efekt może być trudny do zaobserwowania, bo niejednorodności (w treści zadania było założenie jednorodności!) w rozkładzie ładunków mogą spowodować, że drugi krążek będzie się kręcił w tę samą stronę co pierwszy.

ZADANIE 3

Jaka powinna być moc lasera, aby wysyłane przez niego światło mogło unieść lusterko o ciężarze 1 N? Zakładamy, że promień lasera jest skierowany pionowo, a światło pada prostopadłe na lusterko i odbija się od niego bez strat energii.

ROZWIĄZANIE

Jeśli w czasie dt do lusterka dolatuje strumień fotonów o pędzie dp , to zmiana ich pędu w wyniku odbicia jest równa $2dp$. Zatem siła F , z jaką fotony działają na lusterko, jest równa $2dp/dt$. Energia rozważanego strumienia fotonów jest równa $dE = cdp = \frac{1}{2}cFdt$. Zatem moc lasera powinna być równa $dE/dt = 0,5 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ N} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ W} = 150 \text{ MW}$.

ZADANIE 4

Obserwator spoczywający względem odległych, nieruchomych gwiazd stwierdza, że połowa widzianych przez niego na niebie gwiazd znajduje się w zakresie kątów od 0 do $\pi/2$ mierzonych względem kierunku do wybranej gwiazdy G. W jakim zakresie kątów (mierzonych od tego

samego kierunku) będzie on obserwował połowę widzianych gwiazd, jeśli będzie się poruszał w stronę gwiazdy G z prędkością $v = 150$ tys. km/s? Zakładamy, że w obu przypadkach obserwator widzi te same gwiazdy.

ROZWIĄZANIE

Wystarczy rozważyć, pod jakim kątem będzie widoczna gwiazda, znajdująca się początkowo pod kątem $\theta = \pi/2$. Dla poruszającego się obserwatora światło wysłane przez nią porusza się z prędkością, której składowa w kierunku gwiazdy G wynosi $-v$, stąd $v = c \cos \theta'$, gdzie θ' jest szukanym kątem. Zatem $\cos \theta' = 0,5$, czyli $\theta' = 60^\circ$. Połowę gwiazd poruszający się obserwator zaobserwuje w zakresie kątów od 0 do 60° (i oczywiście drugą połowę od 60° do 180°).

ZADANIE 5

W promieniowaniu kosmicznym obserwuje się m.in. protony o energii 10^{19} eV. Oblicz jak długo proton o takiej energii leciałby do Ziemi od najbliższej gwiazdy (odległej o ok. 4 lata świetlne) według obserwatora na Ziemi, a jak długo według obserwatora współporuszającego się z tym protonem?

ROZWIĄZANIE

Związek między energią E cząstki, jej masą spoczynkową m i prędkością v jest dany wzorem

$$E = mc^2\gamma, \text{ gdzie } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \text{ a } c \text{ jest prędkością światła.}$$

W rozważanym przypadku mamy $\gamma = 10^{19} \text{ eV} / 938 \text{ MeV} \approx 10^{10}$, co oznacza że $v \approx c$. Zatem czas lotu protonu według obserwatora na Ziemi będzie równy $T_{\text{Ziemia}} = 4$ lata. Oznaczmy przez T_{proton} czas tego lotu dla obserwatora współporuszającego się z protonem. Wykorzystując wzór na dylatację czasu, sprowadzający się w rozważanym przypadku do postaci $T_{\text{Ziemia}} = \gamma T_{\text{proton}}$, otrzymamy $T_{\text{proton}} = 10^{-10} \cdot 4 \text{ lata} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

ZADANIE 6

Pewna lekkoatletka o wzroście 1,8 m potrafi skoczyć z pozycji stojącej na odległość 2 m. Na jaką odległość potrafiłaby skoczyć jej koleżanka, która ma 1,5 m wzrostu i identyczne proporcje budowy ciała? W chwili wyskoku i w chwili lądowania lekkoatletki mają taką samą pozycję. Siła mięśni jest proporcjonalna do ich przekroju poprzecznego. Opór powietrza pomijamy.

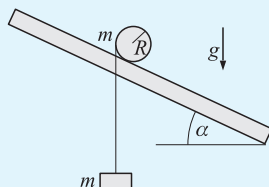
ROZWIĄZANIE

Długość skoku lekkoatletki jest proporcjonalna do kwadratu jej prędkości początkowej v . Praca W wy-

konywana przez lekkoatletkę przy skoku, a zatem i uzyskiwana energia kinetyczna, proporcjonalna jest do siły jej mięśni F i wzrostu L ($W \sim FL$). Zatem dla lekkoatletki o masie m mamy $v^2 \sim FL/m$. Jeśli F , L i m opisują lekkoatletkę wyższą, to niższą opisują odpowiednio k^2F , kL i k^3m , gdzie $k = 1,5/1,8$. Stąd dostajemy, że przy skoku prędkości początkowe obydwu lekkoatletek są równe, a więc obydwie skoczą na tę samą odległość.

ZADANIE 7

Na walec o promieniu R oraz masie m nawinięto nieważką, cienką nitkę. Walec położono na równi pochyłej o kącie nachylenia α , a przez szczelinę w równi przełożono nitkę i przymocowano do jej końca ciężarek o masie m (patrz rysunek). Dla jakich α walec będzie wtaczać się na równię? Między walcem a równią nie ma poślizgu. Również nitka nie ślizga się po walcu.



ROZWIĄZANIE

I sposób: Przytrzymajmy walec tak, by się nie poruszał, i rozważmy pozostałe siły działające na niego. Działanie siły napięcia nici oraz ciężaru walca jest równoważne działaniu jednej siły o wartości $2mg$, przyłożonej w połowie odległości między osią walca, a miejscem, w którym nitka styka się z walcem. Po puszczeniu walca, będzie się on wtaczał, jeśli prosta, na której leży ta siła, będzie (patrząc od strony podnóża równi) poza linią stycznej walca z równią. Stąd $\alpha < 30^\circ$.

Uwaga: dla $\alpha < 30^\circ$ ciężarek obniża się z pewnym przyspieszeniem, co powoduje, że napięcie nici jest mniejsze niż mg . To zmniejszenie napięcia nici nie może jednak być na tyle duże, by walec przestał się wtaczać, gdyż wtedy przyspieszenie ciężarka zmalałoby do zera, a w takiej sytuacji napięcie nici jest równe mg i zgodnie z przedstawionym rozumowaniem walec wtacza się na równię.

II sposób: Przy obrocie walca o kąt φ (przyjmijmy, że $\varphi > 0$ odpowiada wtaczaniu się walca) jego energia zmieni się o $\Delta h_{\text{walca}} mg = \varphi R \sin \alpha mg$, natomiast energia ciężarka o $\Delta h_{\text{ciężarka}} mg = (\Delta h_{\text{walca}} - \varphi R) mg = (\varphi R \sin \alpha - \varphi R) mg$ (Δh_{walca} oznacza tu zmianę wysokości, na jakiej znajduje się walec, a $\Delta h_{\text{ciężarka}}$ – zmianę wysokości, na jakiej

znajduje się ciężarek). Walec będzie się wtaczał, jeśli suma tych energii będzie ujemna, czyli gdy

$$\varphi R \sin \alpha mg + (\varphi R \sin \alpha - \varphi R) mg = \\ = (2 \sin \alpha - 1) \varphi R mg < 0,$$

stąd $\sin \alpha < 1/2$, czyli $\alpha < 30^\circ$.

ZADANIE 8

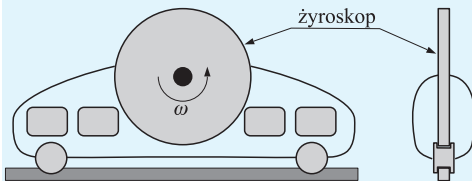
Balony na gorące powietrze mają w dolnej części powłoki mały otwór. Jak obecność tego otworu wpływa na siłę nośną balonu?

ROZWIĄZANIE

Siła nośna jest równa różnicy siły wyporu i ciężaru powłoki wraz z wypełniającym ją gorącym powietrzem (pomijamy gondolę, pasażerów, itd.). Dla danego balonu znajdującego się na pewnej wysokości siła wyporu jest maksymalna, gdy masa powietrza wewnątrz powłoki konieczna do jej napięcia jest możliwie najmniejsza. Spadek ciśnienia wraz z wysokością gazu gęstszego jest szybszy niż gazu rzadszego, więc ciśnienie (zimnego) powietrza na zewnątrz balonu maleje szybciej niż ciśnienie (rozgrzanego – lżejszego) powietrza wewnątrz balonu. Dlatego do napięcia całej powłoki balonu wystarczy, aby przy dolnej jej powierzchni ciśnienia wewnątrz i na zewnątrz były sobie równe. Jeżeli w dolnej części powłoki znajduje się otwór, to warunek równości tych ciśnień jest spełniony, dzięki czemu siła nośna jest maksymalna w danych warunkach.

ZADANIE 9

Pewien konstruktor postanowił zbudować kolej jednoszynową jeżdżącą po jednej zwykłej szynie kolei dwuszynowej. Wagon takiej kolei jedzie na umieszczonych jedno za drugim kołach jezdnych posiadających kryzy z obu stron. W celu stabilizacji wagon posiada masywne koło (żyroskop) obracające się z bardzo dużą prędkością wokół osi równoległej do osi kół jezdnych (patrz rysunek).



Konstruktor twierdzi, że przy jeździe po prostej taki wagon nie może się przewrócić, ani nawet pochylić. Pochylenie wagonu oznaczałoby bowiem, że wektor momentu pędu \vec{J} (skierowany wzdłuż osi obrotu żyroskopa) obróciłby się w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy, a zatem jego zmiana $\Delta \vec{J}$ byłaby skierowana pio-

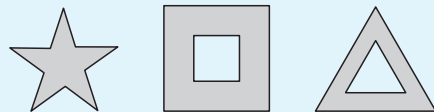
nowo. Zgodnie ze wzorem $\vec{M} = \Delta \vec{J} / \Delta t$ wektor momentu siły \vec{M} musiałby być także pionowy. Z drugiej strony, ponieważ siły oddziaływania szyn na wagon oraz siła ciężkości są pionowe, to wektor ich momentu $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ musi leżeć w płaszczyźnie poziomej. Ta sprzeczność oznacza, że wagon się nie przewróci. Czy konstruktor ma rację?

ROZWIĄZANIE

Konstruktor nie ma racji. Niezrównoważony moment sił skierowany w kierunku ruchu wagonu powodowałby zmianę momentu pędu żyroskopa o wektor skierowany w tę samą stronę. Taka zmiana wymaga obrotu osi obrotu żyroskopa w płaszczyźnie poziomej. A to oznaczałoby obrót całego wagonu wokół osi pionowej. Temu obrotowi przeciwstawiają się kryzy na kołach jezdnych, co w sumie oznacza, że na wagon działa pionowo skierowany moment sił pochodzący od szyn. A przy takim momencie sił przewrócenie wagonu na bok jest już możliwe.

ZADANIE 10

Mamy trzy graniastosłupy prawidłowe o dużej wysokości, o podstawach przedstawionych na rysunku.



Pola powierzchni podstaw i zewnętrzne obwody każdej z podstaw są takie same. Graniastosłupy ogrzano do tej samej temperatury i umieszczono w próżni w dużej odległości od siebie i od innych ciał. Tempo stygnięcia którego graniastosłupa będzie najmniejsze, a którego największe?

Graniastosłupy są wykonane z identycznego materiału o nieskończonym przewodnictwie cieplnym.

ROZWIĄZANIE

Otwór wewnątrz graniastosłupa nie ma wpływu na stygnięcie, bo całe promieniowanie emitowane do otworu jest pochłaniane przez jego ścianki (ponieważ graniastosłupy mają dużą wysokość, pomijamy promieniowanie emitowane w pobliżu ich podstaw). W przypadku graniastosłupa o podstawie gwiazdy część promieniowania wyemitowanego przez jego powierzchnię boczną jest przez tenże graniastosłup pochłaniana. Zatem najwolniej będzie stygnąć graniastosłup o podstawie gwiazdy. Szybkości stygnięcia pozostałych graniastosłupów będą większe i równe sobie.

ZADANIE 11

Czas gotowania ziemniaków (od momentu zagotowania się wody do momentu uzyskania przez nie odpowiedniej miękkości) wynosi 20 min. Ile będzie wynosił czas gotowania tych ziemniaków, jeśli dwukrotnie zwiększymy ciepło dostarczane do garnka w jednostce czasu?

ROZWIĄZANIE

Czas się nie zmienia, bo temperatura wody tuż przy powierzchni ziemniaka w obu przypadkach wynosi 100°C , a od niej zależy ilość ciepła wnikażącego do jego wnętrza.

ZADANIE 12

Stwierdzono, że gdy temperatura powietrza rośnie wraz z wysokością nad powierzchnią ziemi (np. w letnią, gwiazdzistą noc), to zasięg dźwięku jest znacznie większy, niż gdy temperatura powietrza maleje wraz z wysokością nad powierzchnią ziemi (np. w upalny dzień). Jak wytłumaczyć takie zjawisko?

ROZWIĄZANIE

Ze wzrostem temperatury rośnie prędkość dźwięku w ośrodku, co oznacza, że maleje „współczynnik załamania” dla dźwięku. W przypadku, gdy temperatura powietrza rośnie z wysokością, powietrze działa jak soczewka odchylająca dźwięk w dół. W efekcie do odległego słuchacza dochodzi dźwięk poprzez wyższe warstwy powietrza, nietłumiony przez objekty znajdujące się tuż nad ziemią. W przypadku temperatury malejącej z wysokością, dźwięk wysyłany przez źródło znajdujące się na ziemi jest odchylany do góry i nie może bezpośrednio dolecieć do odległego odbiornika (też znajdującego się na ziemi). Ten efekt nie będzie zachodził, jeśli zarówno źródło jak i odbiornik będą się znajdowały na odpowiedniej wysokości nad ziemią.

ZADANIE 13

Pręt o długości l wisi poziomo na dwóch równoległych sznurkach, przyczepionych do pręta w odległościach $l/4$ od jego końców. Tuż po przecięciu jednego ze sznurków, siła naciągu drugiego sznurka: a) wzrośnie; b) zmaleje; c) nie zmieni się.

ROZWIĄZANIE

I sposób: Wpisujemy równania dynamiczne na przyspieszenie a środka masy pręta i jego przyspieszenie kątowe ε , tuż po przecięciu pierwszego sznurka

$$\begin{aligned} ma &= mg - N, \\ I\varepsilon &= Nd, \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie N jest szukaną siłą naciągu, $d = l/4$ jest odległością środka masy od punktu zawieszenia pręta, a $I = (1/12)ml^2$ jest momentem bezwładności pręta względem jego środka masy.

Uwzględniając, że $a = \varepsilon d$ i rozwiązując ten układ równań, dostajemy

$$N = \frac{mg}{1 + md^2/I},$$

co daje $N = (4/7)mg > (1/2)mg$, a więc siła wzrośnie. Poprawna jest odpowiedź a).

II sposób: Zauważmy, że gdyby pręt składał się z dwóch stykających się ze sobą, ale nie połączonych połówek (każda wisząca na „swoim” sznurku), to w sytuacji przed przecięciem sznurka rozkład sił byłby identyczny z przypadkiem rozważanym w treści zadania, a układ nadal byłby w stanie równowagi. W tym przypadku przecięcie jednego ze sznurków nie spowodowałoby zmiany siły naciągu drugiego sznurka. Ponieważ jednak w przypadku podanym w treści zadania obie połówki pręta są ze sobą połączone, to „spadająca połowa pręta” ciągnie za sobą drugą połowę, co oznacza, że siła naciągu drugiego sznurka wzrośnie. (Ta metoda rozwiązania ma zastosowanie tylko w przypadku, gdy nici są zawieszane w odległości $l/4$ od końca pręta.)

ZADANIE 14

Rakieta wodna składa się z plastikowej butelki wypełnionej częściowo wodą i przymocowanej do butelki listewki. Butelka jest zatkana korkiem przebitym igłą do pompowania piłek, przez którą pompujemy powietrze do wnętrza butelki. Rakietka startuje, gdy ciśnienie wewnątrz butelki wypchnie korek. Zakładając, że to ciśnienie wynosi 2 atm, podać, w którym przypadku rakietka polecą wyżej:

- gdy jest wypełniona w $1/4$ objętości wodą;
- gdy jest wypełniona w $3/4$ objętości wodą.

ROZWIĄZANIE

Porównajmy sytuacje, gdy z obu butelek wyleciało już tyle samo wody. Ciśnienie powietrza wewnątrz butelki w przypadku a) będzie większe niż w przypadku b), co oznacza, że woda będzie wylatywać w przypadku a) z większą prędkością. Jednocześnie całkowita masa rakiety w przypadku b) będzie większa. Oznacza, że do momentu, gdy z rakiety wyleci objętość wody równa $1/4$ objętości butelki, każdorazowy przyrost prędkości rakiety spowodowany wyrzuceniem tej samej w obu przypadkach, małej ilości wody będzie większy w przypadku a), czyli do tego momentu rakietka a) osiągnie większą prędkość. Ale w tym końcowym momencie „silnik rakietowy” rakiety b) nie będzie już działał, bo ciśnienie w jej wnętrzu spadnie do ciśnienia atmosferycznego (przy założeniu rozprężania izotermicz-

nego – dokładnie w tej chwili, przy bardziej realistycznym założeniu rozprężania adiabatyckiego – nawet wcześniej). Skoro w przypadku a) rakietę osiągnie większą prędkość, oznacza to również, że wyżej polecą. Czyli prawidłowa jest odpowiedź a).

ZADANIE 15

Powszechnie przyjmuje się, że ruch poduszki (po poziomej powierzchni, gdy ruch jest na tyle powolny, że można pominąć opór powietrza) jest dobrym przybliżeniem ruchu bez sił oporu. Czy to stwierdzenie dotyczy również poduszkowców poruszających się wolno po spokojnej powierzchni wody? Czy pod działaniem danej siły poziomej poduszkowiec unoszący się nad powierzchnią wody uzyska takie samo przyspieszenie, jak poduszkowiec unoszący się nad twardą powierzchnią?

ROZWIĄZANIE

Nieporuszający się poduszkowiec zgodnie z zasadami hydrostatyki wytwarza w wodzie pod sobą „dołek”, analogicznie jak to robi zwykła łódka. Wolno przesuwany się poduszkowiec przesuwają pod nim dołek, a do tego niezbędna jest siła. W szczególności ruch przyspieszony wymaga „przyspieszenia” dołka. Gdy poduszkowiec porusza się szybko, przybliżenie statyczne jest nieadekwatne – „dołek” robi się coraz mniejszy i maleje związana z tworzeniem się go siła. Czyli zarówno przesuwanie jak i przyspieszanie poduszkowca unoszącego się nad powierzchnią wody wymaga większych sił, niż w przypadku poduszkowca unoszącego się nad twardą, poziomą powierzchnią.

Część II ZADANIA TEORETYCZNE

ZADANIE T1

W podróży dookoła świata balonem są wykorzystywane silne wiatry wiejące w okolicach zwrotnika w kierunku równoleżnikowym na wysokości ok. 10 km. Wiatr taki tworzą masy powietrza, które unoszą się pionowo nad równikiem, następnie przemieszczają się na wysokości 10 km w okolice zwrotnika, a w końcu tam opadają. Zakładając, że na te masy powietrza nie działają (w układzie inercjalnym) żadne siły w kierunkach równoleżnikowych, obliczyć ich równoleżnikową prędkość nad zwrotnikiem względem powierzchni Ziemi.

ROZWIĄZANIE

Moment pędu masy m powietrza nad równikiem jest równy

$$J = m\Omega R^2,$$

gdzie $\Omega = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \frac{1}{s}$ jest prędkością kątową ruchu obrotowego Ziemi, a R odległością powietrza od środka Ziemi, czyli z dobrą dokładnością promieniem Ziemi. Ponieważ nie działają żadne siły w kierunkach równoleżnikowych, moment pędu (względem osi obrotu Ziemi) jest zachowany i gdy to powietrze przemieści się na szerokość geograficzną $\theta = 23^\circ 27'$ (zwrotnik), będziemy mieli

$$J = mv_i R \cos \theta,$$

gdzie v_i jest równoleżnikową prędkością powietrza nad zwrotnikiem w układzie inercjalnym, a $R \cos \theta$ – odległością tego powietrza od osi obrotu Ziemi. Równoleżnikowa prędkość tego powietrza względem powierzchni Ziemi będzie zatem równa

$$\begin{aligned} v &= v_i - \Omega R \cos \theta = \frac{\Omega R}{\cos \theta} - \Omega R \cos \theta = \\ &= \Omega R \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - \cos \theta \right) \approx 250 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 70 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

ZADANIE T2

Według teorii Wielkiej Unifikacji istnieje pewne, bardzo niewielkie, prawdopodobieństwo rozpadu protonu na mezon π^0 i pozyton. W jednym z eksperymentów sprawdzających tę teorię obserwowano 3300 ton wody przy użyciu nadzwyczaj czułej aparatury, będącej w stanie wykryć nawet pojedynczy rozpad protonu. W ciągu roku nie wykryto żadnego przypadku rozpadu. Jakie wynika stąd ograniczenie na czas połowicznego rozpadu protonu? Dokładniej, przy jakiej wartości czasu połowicznego rozpadu w ciągu roku nastąpi z prawdopodobieństwem 95% co najmniej jeden rozpad?

ROZWIĄZANIE

Podana ilość wody to $3,3 \cdot 10^6 \frac{1}{0,018} \approx 1,8 \cdot 10^8$ moli H_2O , czyli

$$1,8 \cdot 10^8 \cdot 6,2 \cdot 10^{23} \cdot 10 \approx 1,1 \cdot 10^{33}$$

protonów (skorzystaliśmy z tego, że w H_2O jest 10 protonów).

Zgodnie z prawem rozpadu promieniotwórczego, prawdopodobieństwo zdarzenia, że jeden wybrany proton nie rozpadnie się w ciągu czasu t_1 , jest równe

$$p_1 = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t_1}{T_{1/2}}},$$

gdzie $T_{1/2}$ jest czasem połowicznego rozpadu. Ponieważ protony rozpadają się niezależnie od siebie, prawdopodobieństwo zdarzenia, że w czasie t_1 nie rozpadnie się żaden spośród N protonów wynosi $(p_1)^N$. Z drugiej strony, zgodnie z treścią zadania, to prawdopodobieństwo jest równe $1 - 0,95 = 0,05$.

Zatem

$$(p_1)^N = 0,05,$$

czyli

$$\left(\frac{1}{2}\right)^N T_{1/2} = 0,05 t_1.$$

Otrzymujemy stąd

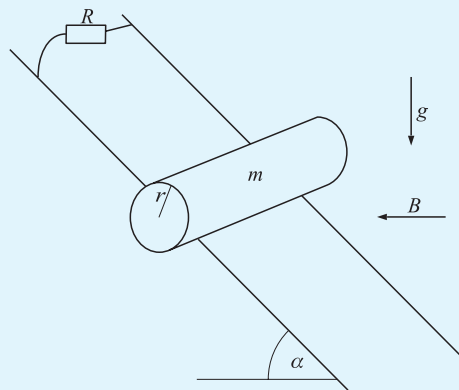
$$T_{1/2} = \frac{N}{\log_{\frac{1}{2}} 0,05} t_1.$$

Podstawiając $N = 1,1 \cdot 10^{33}$, $t_1 = 1$ rok, otrzymamy, że szukany czas połowicznego rozpadu jest równy

$$T_{1/2} \approx 2,6 \cdot 10^{32} \text{ lat.}$$

ZADANIE T3

Jednorodny, metalowy walec o masie m i promieniu r położono poziomo na dwóch równoległych, odległych od siebie o d prostoliniowych przewodach, które tworzą równię pochyłą nachyloną do poziomu pod kątem α . Końce przewodów są połączone ze sobą opornikiem o oporze R . Cały układ znajduje się w skierowanym poziomo, prostopadłym do osi walca, stałym i jednorodnym polu magnetycznym o indukcji B (patrz rysunek).



■ a) Jaka jest prędkość maksymalna v_{\max} , jaką w rozważanej sytuacji może osiągnąć staczający się walec? Przedyskutuj wynik w zależności od wartości kąta α .

■ b) Wyznacz zależność przyspieszenia a oraz przyspieszenia kąтового ε walca od jego prędkości v . Podaj wartości a i ε dla $v = 0$ oraz

$$v = \frac{1}{2} v_{\max}.$$

■ c) Opisz jakościowo zachowanie się walca w przypadku, gdy nadano mu prędkość początkową (wzdłuż przewodów) większą od v_{\max} .

Walec toczy się bez poślizgu. Opory toczenia, opór powietrza oraz opory elektryczne drutów i walca

można zaniedbać. Przyjmij, że poza bliską okolicą miejsc styku walca z przewodami prąd płynący przez walec jest równomiernie rozłożony na całej powierzchni jego przekroju poprzecznego.

ROZWIĄZANIE

a), b) Gdy walec stacza się z prędkością v , to indukowana siła elektromotoryczna

$$U = vdB \sin \alpha$$

powoduje, że płynie przez niego prąd

$$I = \frac{U}{R} = \frac{vdB \sin \alpha}{R}.$$

Ten prąd wytwarza siłę elektrodynamiczną równą

$$F_B = BId = \frac{vd^2 B^2 \sin \alpha}{R}$$

i skierowaną pionowo w górę (ta siła musi się przeciwstawiać zmianie strumienia indukcji magnetycznej, dlatego w przypadku staczającego się walca jest skierowana w górę, a nie w dół).

Rozważmy teraz moment tej siły względem chwilowej osi obrotu walca. Zgodnie z treścią zadania prąd I jest rozłożony równomiernie na całej powierzchni przekroju poprzecznego walca (jest to naturalne założenie gdy $d \gg r$), zatem również siła F_B jest sumą równomiernie rozłożonych sił działających na poszczególne „linie prądu”. Suma momentów tych sił (względem dowolnego punktu) jest równa momentowi siły F_B (względem tego samego punktu) przyłożonej na osi walca.

Z uwzględnieniem ciężaru walca, całkowity moment siły względem chwilowej osi obrotu walca jest równy

$$M = (mg - F_B)r \sin \alpha.$$

Przyspieszenie kątowe walca zatem wynosi

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{(mg - F_B)r \sin \alpha}{I + mr^2} = \\ &= \frac{mg - \frac{1}{R}vd^2 B^2 \sin \alpha}{\frac{3}{2}mr} \sin \alpha, \end{aligned}$$

gdzie $I = \frac{1}{2}mr^2$ jest momentem bezwładności walca względem jego osi. Stąd przyspieszenie walca jest równe

$$\begin{aligned} a = \varepsilon r &= \frac{mg - \frac{1}{R}vd^2 B^2 \sin \alpha}{\frac{3}{2}m} \sin \alpha = \\ &= \frac{2}{3}g \left(1 - \frac{v}{v_m}\right) \sin \alpha, \end{aligned}$$

gdzie wprowadziliśmy oznaczenie

$$v_m = \frac{mgR}{d^2 B^2 \sin \alpha}.$$

Ponieważ $a > 0$ dla $v < v_m$ oraz $a = 0$ dla $v = v_m$, powyższe v_m jest maksymalną prędkością, jaką walec może osiągnąć w rozważanej sytuacji (tzn. gdy jego prędkość początkowa jest równa 0). Oznacza to, że v_m jest szukaną w punkcie a) prędkością maksymalną walca: $v_{\max} = \frac{mgR}{d^2 B^2 \sin \alpha}$.

Wzór na a w nowych oznaczeniach przyjmie postać

$$a = \frac{2}{3}g \left(1 - \frac{v}{v_m}\right) \sin \alpha. \quad (*)$$

Dla $v = 0$ otrzymujemy

$$a = \frac{2}{3}g \sin \alpha,$$

dla $v = \frac{v_{\max}}{2}$ otrzymujemy

$$a = \frac{1}{3}g \sin \alpha.$$

Wartość ε jest zawsze wartością a dzieloną przez promień walca.

Dyskusja zależności v_{\max} od α :

Zauważmy, że $0 \leq \alpha < \pi/2$.

Z uzyskanego wzoru na v_{\max} wynika, że v_{\max} byłoby najmniejsze dla $\alpha = \pi/2$ i że v_{\max} rośnie, gdy α maleje. Gdy α dąży do 0, v_{\max} dąży do nieskończoności. Zauważmy jednak, że im mniejsze α , tym mniejsze jest przyspieszenie, a więc wzrasta czas osiągnięcia prędkości zbliżonej do v_{\max} . W przypadku dokładnego $\alpha = 0$ przyspieszenie jest równe 0 i walec pozostanie w spoczynku (czyli prawdziwa prędkość maksymalna wynosi zero). Warto zauważyć, że przy różnych kątach α graniczna wartość $v_{\max} \sin \alpha$ pionowej składowej prędkości walca jest ta sama!

c) Formalnie wzór (*) obowiązuje również dla $v > v_{\max}$; wynika z niego, że walec będzie zmniejszał swoją prędkość, aż do osiągnięcia prędkości v_{\max} . Jednak w rzeczywistości w tej sytuacji suma siły F_B i siły grawitacyjnej jest skierowana do góry, co oznacza, że walec oderwie się od przewodów. To jednak oznacza przerwanie obwodu i wyłączenie działania siły F_B , a więc niemożność oderwania się walca od przewodów! W praktyce sytuacja będzie taka, że ze względu na zmniejszenie siły nacisku (czyli powierzchni styku walca z przewodami) opór w obwodzie wzrośnie na tyle, że F_B będzie jednak mniejsze od mg . W idealnym przypadku $F_B = mg$, co oznacza, że walec poruszałby się ze stałą prędkością. Dokładnie tego, co działałoby się w rzeczywistości w takiej sytuacji, nie można określić na podstawie treści zadania i potrzebne byłyby dodatkowe założenia.

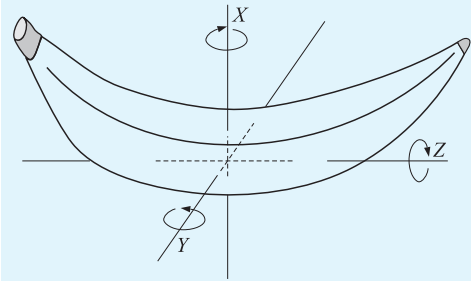
ZADANIA DOŚWIADCZALNE

ZADANIE D1

Masz do dyspozycji:

- banan o znanej masie,
- stoper,
- nitkę,
- duży guzik,
- drewniane patyczki (np. do szaszłyków) lub druty do robótek ręcznych o średnicy 2–3 mm i długości ok. 25 cm,
- linijkę,
- flamaster,
- statyw z uchwytami.

Wyznacz momenty bezwładności banana, względem trzech wzajemnie prostopadłych osi, przechodzących przez jego środek ciężkości (patrz rysunek).



Uwaga!

1. Do doświadczenia najlepiej użyć banana, którego środek ciężkości znajduje się w jego wnętrzu!
2. Do rozwiązania dołącz szkic banana w skali 1:1.

ROZWIĄZANIE

Część teoretyczna

Momenty bezwładności banana można wyznaczyć, traktując banan jako wahadło fizyczne. Okres drgań T wahadła fizycznego o masie m zawieszonego w odległości l od środka ciężkości wynosi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}, \quad (1)$$

gdzie I – moment bezwładności wahadła względem punktu zawieszenia, g – przyspieszenie ziemskie. Zgodnie z twierdzeniem Steinera moment bezwładności banana I można przedstawić w postaci:

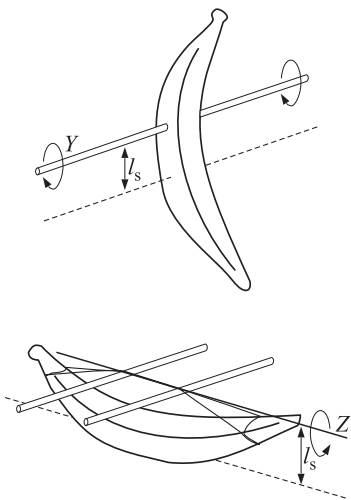
$$I = I_0 + ml^2, \quad (2)$$

gdzie I_0 oznacza szukany moment bezwładności względem osi przechodzącej przez środek ciężkości banana, równoległej do osi jego drgań.

Łącząc wyrażenia (1) i (2), otrzymujemy:

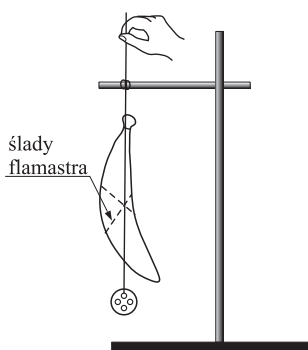
$$I_0 = ml \left(\frac{gT^2}{4\pi^2} - l \right). \quad (3)$$

Zatem dla wyznaczenia momentu bezwładności I_0 banana wystarczy odpowiednio go zawiesić i zmierzyć okres drgań względem osi równoległej do wybranej osi przechodzącej przez jego środek ciężkości. Żeby to zrobić, można przebić banan patyczkiem lub zawiesić na nitkach tak, aby drgał tylko wokół osi przechodzącej przez punkty zawieszenia nitki (rys. 1).



Rys. 1

Położenie środka ciężkości banana można wyznaczyć, zawieszając banan na różne sposoby. Trzymając w ręku guzik zawieszony na nitce, zaznaczamy flamastrem na bananie linie wzdłuż prostej pionowej przechodzącej przez punkt zawieszenia banana



Rys. 2

(rys. 2). Każdorazowe zawieszenie banana i guzika wyznacza płaszczyznę, w której znajduje się środek ciężkości banana. Trzy różne rodzaje zawieszania wystarczą więc do wyznaczenia jego położenia we wnętrzu banana.

Część doświadczalna

Masa banana użytego do pomiarów wynosiła $m = 130,1$ g. Wieszając banan w różnych konfiguracjach, wyznaczamy położenie jego środka ciężkości. Następnie zawieszamy banan tak, aby wykonywał wahania tylko w jednej, wybranej płaszczyźnie (rys. 1). Stoperem mierzymy okres drgań T . Dla każdej konfiguracji powtarzamy pomiar kilka razy. Z uzyskanych danych obliczamy wartość średnią i niepewność pomiarową T . Mierzmy odległość l od punktu zawieszenia do środka ciężkości. Jest ona obciążona niepewnością wynoszącą około 4 mm. Zatem, jeśli wartość l jest mała (oś blisko środka ciężkości), to błąd względny będzie duży. Jeśli l jest bliskie $gT^2/4\pi^2$ (oś daleko od środka ciężkości), to czynnik w nawiasie we wzorze (3) będzie obciążony znacznym błędem. Dlatego w pomiarach należy wybrać warunki pośrednie. W przypadku wahań wokół osi X, przy zawieszeniu banana na nitkach w odległości $l = (7,0 \pm 0,3)$ cm zmierzono okres $T = (0,61 \pm 0,05)$ s. Po podstawieniu do wzoru (3) i oszacowaniu niepewności pomiarowej dostajemy moment bezwładności

$I_{0X} = (2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$ kg \cdot m². Analogicznie, przy zawieszeniu banana w odległości

$l = (11,0 \pm 0,3)$ cm od środka ciężkości, dla wahań wokół osi Y zmierzono okres $T = (0,72 \pm 0,05)$ s, co daje $I_{0Y} = (2,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$ kg \cdot m².

Dla wahań wokół osi Z pomiar był bardzo trudny, gdyż okres był krótki. Ponadto, banan zawieszony na nitkach wykonywał drgania złożone, a patyk trudno byłoby wbić prawidłowo. Dla odległości $l = (1,8 \pm 0,3)$ cm okres drgań wyniósł $T = 0,35 \pm 0,05$ s, co daje

$I_{0Z} = (0,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$ kg \cdot m².

Uzyskane wyniki potwierdzają oczekiwania, że $I_{0Y} > I_{0X} \gg I_{0Z}$. Bardzo duży wpływ na uzyskane wyniki ma staranność wykonania doświadczenia. Ważne jest, aby banan wykonywał wahania w jednej płaszczyźnie. Badanie okresu drgań wahadła fizycznego nie jest jedynym sposobem wyznaczenia momentów bezwładności banana. Inna metoda pomiarowa mogłaby polegać na badaniu wahadła torsyjnego. Wymaga ona jednak bardziej skomplikowanych rozważań teoretycznych.

ZADANIE D2

Sprawnością żarówki nazywamy stosunek mocy światła emitowanego w zakresie widzialnym P_{sw} do mocy elektrycznej P_{el} pobieranej przez żarówkę: $\eta = P_{sw}/P_{el}$.

Masz do dyspozycji:

□ „zwykłą” żarówkę do latarki oraz żarówkę o podwyższonej jasności, np. kryptonową lub halogenową, o identycznych napięciach znamionowych,

- dwa oporniki o regulowanym oporze oraz baterie umożliwiające zasilenie żarówek napięciem znamionowym,
- woltomierz,
- dwa amperomierze,
- linijkę lub taśmę mierniczą,
- biały papier,
- cienki pręt (np. kredkę lub ołówek), który można ustawić w pozycji pionowej,
- dwa statywy,
- oprawki na żarówki, zaciski i przewody elektryczne, taśmę klejącą itp. elementy umożliwiające zestawienie układu doświadczalnego.

Wyznacz stosunek sprawności żarówki „zwykłej” i żarówki o podwyższonej jasności, przy zasilaniu ich napięciem znamionowym. Przyjmij, że obie żarówki mają taki sam rozkład widmowy promieniowania w obszarze widzialnym.

Uwaga!

1. Do doświadczenia postaraj się użyć żaróweczek bez wbudowanych soczewek. Jeśli miałbyś tylko żarówki z wbudowanymi soczewkami, to w doświadczeniu badaj światło, które nie przechodzi przez soczewki.
2. Zamiast baterii i oporników możesz użyć zasilacza.

ROZWIĄZANIE

Wyznaczenie stosunku sprawności żarówek polega na porównaniu mocy światła emitowanego przez żarówki oraz mocy elektrycznej pobieranej przez żarówki:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{P_{sw1}}{P_{sw2}} \cdot \frac{P_{el2}}{P_{el1}}, \quad (4)$$

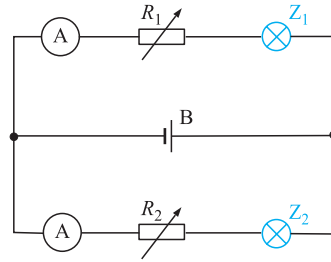
gdzie P_{sw1} , P_{sw2} oznaczają moc światła widzialnego emitowanego przez żarówki, natomiast P_{el1} , P_{el2} oznaczają moc elektryczną pobieraną, odpowiednio przez żarówkę o podwyższonej jasności i zwykłą żarówkę (spodziewamy się, że w tej kolejności szukany stosunek okaże się większy od 1).

Jeśli żarówki zasilane będą takim samym napięciem, to do wyznaczenia stosunku mocy elektrycznej żarówek wystarczy zmierzyć płynące przez nie prądy:

$$\frac{P_{el2}}{P_{el1}} = \frac{I_2}{I_1} \quad (5)$$

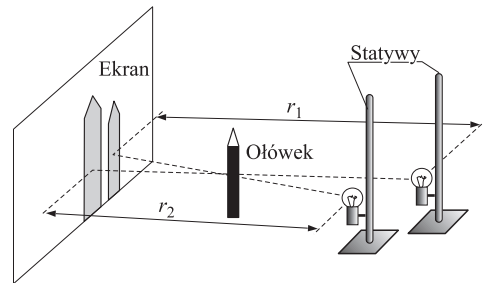
Mając do dyspozycji baterie o napięciu wyższym niż napięcie znamionowe żarówek, odpowiednie pomiary można wykonać w układzie, którego schemat elektryczny przedstawiono na rys. 3.

W układzie tym żarówki podłączone są do tego samego źródła napięcia, który stanowią np. połączone równolegle baterie 4,5 V. Odpowiednio dobierając opory R_1 oraz R_2 można doprowadzić do sytuacji,



Rys. 3

w której na zaciskach żarówek uzyska się napięcie znamionowe (mierzymy je woltomierzem). W celu wyznaczenia stosunku mocy światła emitowanego przez żarówki można porównać jasność cieni ołówka ustawionego przed ekranem.



Rys. 4

Zmieniając odległości żarówek od ekranu, można doprowadzić do sytuacji, w której jasności obu cieni są takie same. Jeśli odległości pomiędzy ołówkiem a żarówkami będą odpowiednio duże, to żarówki można traktować jako źródła punktowe. Wtedy można przyjąć, że natężenie światła docierającego do ekranu jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości żarówki od ekranu i spełniony jest związek

$$\frac{P_{sw1}}{P_{sw2}} = \frac{r_1^2}{r_2^2}, \quad (6)$$

gdzie r_1 i r_2 – odległości od ekranu odpowiednio pierwszej i drugiej żarówki.

Wykonanie doświadczenia

Do żarówek podłączamy (np. lutujemy) dostatecznie długie przewody, które umożliwią zmianę położenia żarówek przed ekranem. Żarówki przyklejamy do statywów taśmą klejącą na jednakowej wysokości (mniejszej niż długość ołówka) w taki sposób, aby osie żarówek były pionowe. Jest to ważne w sytuacji, gdy dysponujemy żarówkami z wbu-

dowaną soczewką, która istotnie zmienia kątowny rozkład natężenia światła emitowanego w kierunku osi żarówki, natomiast nie zmienia rozkładu natężenia światła w kierunku poprzecznym. Należy też zadbać o to, żeby włókna żarówek ustawione były równoległe do ekranu. Ekran może stanowić kartka białego papieru przyklejona na ścianie. Przed kartką ustawiamy pionowo ołówek, którego cień będziemy obserwować. Zmieniając odległość obu żarówek od ekranu, wyznaczamy pary odległości (r_1, r_2) , dla których cienie są jednakowo jasne (szare). Zadanie to jest dość trudne ze względu na istotnie różne barwy cieni wynikające z różnych temperatur włókien obu żarówek, tym niemniej po kilku próbach, z dokładnością ok. 5% udaje się ustalić odległości, przy których jasności cieni są zbliżone. Wykonujemy szereg pomiarów dla różnych odległości żarówek od ekranu i nanosimy je na wykres. Na osi pionowej odkładamy wartość r_1^2 , a na poziomej wartość r_2^2 , dla których jasności obu cieni są równe (rys. 4). Zgodnie ze wzorem (6)

$$r_1^2 = \frac{P_{\text{sw1}}}{P_{\text{sw2}}} r_2^2,$$

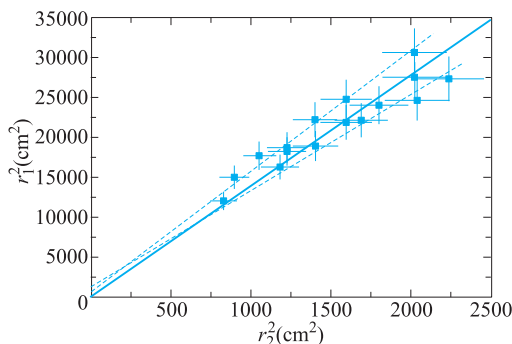
co można przedstawić w postaci:

$$r_1^2 = ar_2^2,$$

gdzie $a = \frac{P_{\text{sw1}}}{P_{\text{sw2}}}$.

Wyniki pomiarów wraz z dopasowaną prostą przedstawia rys. 5. Z dopasowania uzyskano wartość $a = 14 \pm 3$. Biorąc pod uwagę, że natężenia prądu płynącego przez żarówkę o podwyższonej jasności oraz przez żarówkę zwykłą wynosiły odpowiednio $I_1 = (0,77 \pm 0,01)$ A oraz $I_2 = (0,28 \pm 0,01)$ A, ze wzoru (4) uzyskano wartość stosunku sprawności żarówek $\frac{\eta_1}{\eta_2} = 5 \pm 1$.

Wynik ten jest obarczony błędem systematycznym wynikającym z różnej barwy światła emitowanego przez żarówki. W połączeniu z zależnością czułości



Rys. 5

ludzkiego oka od długości fali światła sprawia to, że natężenia światła docierającego do ekranu mogą być różne, mimo iż obserwator stwierdza, że są jednakowe. Ważne jest również, aby ostateczne pomiary wykonać, używając nowych baterii, na tyle szybko, aby ich nie rozładować.

ZADANIE D3

Masz do dyspozycji:

- stół z gładkim, twardym blatem (np. stół kuchenny pokryty laminatem),
- komputer z kartą dźwiękową i mikrofonem oraz oprogramowaniem umożliwiającym rejestrowanie sygnałów akustycznych,
- piłeczkę pingpongową,
- kulkę stalową o średnicy 4–5 mm (np. z łożyska rowerowego).

Wyznacz, jaki procent energii kinetycznej traci piłeczka pingpongowa, a jaki kulka stalowa podczas odbicia od stołu. Zbadaj zależność tych strat od prędkości piłeczki (kulki) przed zderzeniem.

Uwaga!

1. Do rejestracji dźwięku oraz analizy przebiegów czasowych zarejestrowanych sygnałów możesz wykorzystać np. „Rejestrator dźwięku” dostępny w systemie Windows lub program „Oscyloskop” dostępny na płycie CD dołączonej do podręcznika J. Blinowski, W. Zielicz, *Fizyka z astronomią. Kształcenie w zakresie rozszerzonym*, tom. I, WSiP, Warszawa 2002 (i 2003, II wydanie).

2. Przyjmij, że przyspieszenie ziemskie g wynosi $9,81 \text{ m/s}^2$.

ROZWIĄZANIE

Część teoretyczna

Zadanie można rozwiązać, nagrywając dźwięk emitowany podczas kolejnych zderzeń kulki ze stołem. Pomiedzy zderzeniami kulka (piłeczka) porusza się na przemian ruchem jednostajnie opóźnionym i przyspieszonym, zatem czas między zderzeniami i oraz $i + 1$ wynosi

$$T_i = \frac{2V_{0i}}{g},$$

gdzie V_{0i} to prędkość tuż przed $(i + 1)$ -szym zderzeniem. Zatem energia kinetyczna kulki (piłeczki) tuż przed $(i + 1)$ -szym zderzeniem wyniesie

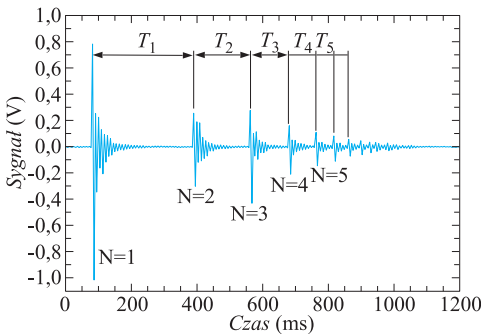
$$E_{0i} = \frac{mg^2 T_i^2}{8}.$$

Stąd względna strata energii kinetycznej przy kolejnych zderzeniach:

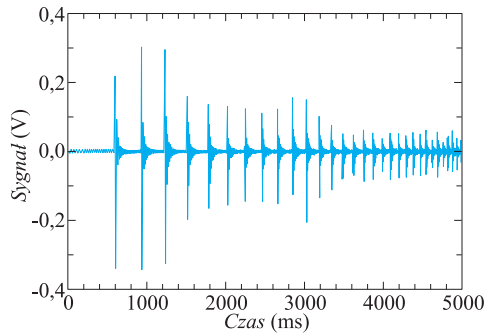
$$\eta_i = \frac{E_{0i+1} - E_{0i}}{E_{0i}} = \frac{T_{i+1}^2 - T_i^2}{T_i^2}. \quad (7)$$

Część doświadczalna

Ustawiamy mikrofon możliwie blisko miejsca, w którym będziemy badać odbicia kulki (piłeczki) od stołu. Uruchamiamy program rejestrujący i puszczamy kulkę na stół z możliwie dużej wysokości, dbając jednak o to, aby kulka nie uciekała ze stołu. Następnie odczytujemy czas, przy którym zarejestrowane zostały dźwięki odpowiadające kolejnym zderzeniom kulki ze stołem. W przypadku użycia najprostszego oprogramowania, np. programu „Rejestrator dźwięku” oferowanego przez system operacyjny Windows, robimy to, „przewijając” zarejestrowany sygnał. Dokładniejsze pomiary można wykonać, wykorzystując program „Oscyloskop”, który pozwala na rejestrację zależności czasowej amplitudy sygnału od czasu w formie ciągu par liczb: czas (ms), wartość sygnału (V). Taki sygnał można potem analizować, używając np. arkusza kalkulacyjnego. Przykładowe zależności czasowe sygnałów zarejestrowanych w ten sposób dla kulki stalowej oraz piłeczki pingpongowej, puszcanych z tej samej wysokości, są przedstawione na rys. 6 oraz rys. 7.



Rys. 6



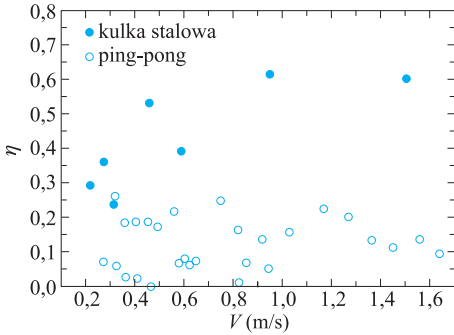
Rys. 7

Na pierwszy rzut oka widać, że czas trwania ruchu dla kulki stalowej jest kilka razy krótszy niż dla piłeczki pingpongowej. Oznacza to, że straty energii w przypadku kulki stalowej są znacznie większe niż w przypadku piłeczki pingpongowej. Przykładowe dane eksperymentalne uzyskane dla kuleczki stalowej zostały zebrane w Tabeli 1. Rys. 8 przedstawia zależności strat energii wyznaczonych ze wzoru (7) od prędkości przy odbiciu dla kulki stalowej i piłeczki pingpongowej.

Na podstawie uzyskanych danych doświadczalnych można stwierdzić, że straty procentowe energii kinetycznej przy odbiciu wykazują małą korelację z prędkością zderzenia. Dla kulki stalowej są one na poziomie 50%, natomiast dla piłeczki pingpongowej ok. 15%. Znacznie większe straty energii dla kulki stalowej można wyjaśnić tym, że kulka stalowa jest znacznie sztywniejsza niż powierzchnia stołu. Dlatego podczas zderzenia to powierzchnia stołu odkształca się w znacznie większym stopniu niż kulka. W przypadku zderzenia piłeczki pingpongowej z powierzchnią stołu sytuacja jest inna – to piłeczka jest mniej sztywna i odkształca się w znacz-

TABELA 1

N	Czas (ms)	T_i (ms)	$V_i = \frac{1}{2}gT_i$ (m/s)	$E/m = \frac{1}{2}V_i^2$ (m/s) ²	$\Delta E/m$ (m/s) ²	η
1	3621	301	1,505	1,133	0,681	0,60
2	3922	190	0,95	0,451	0,277	0,61
3	4112	118	0,59	0,174	0,068	0,39
4	4230	92	0,46	0,106	0,056	0,53
5	4322	63	0,315	0,050	0,012	0,24
6	4385	55	0,275	0,038	0,014	0,36
7	4440	44	0,22	0,024	0,007	0,29
8	4484	37	0,185	0,017		
9	4521					



Rys. 8

nie większym stopniu niż powierzchnia stołu, co sprawia, że procentowy przekaz energii od piłeczki do stołu (straty) jest mniejszy. Podobnie, różna wydaje się przyczyna rozrzutu strat energii obserwo-

wanego dla kolejnych zderzeń (rys. 8) dla kulki stalowej i piłeczki pingpongowej. W przypadku kulki stalowej jest on głównie spowodowany niejednorodnością powierzchni stołu (kulka padała na sztywniejsze i mniej sztywne obszary stołu). Natomiast w przypadku piłeczki pingpongowej obserwowany rozrzut strat wynika raczej z niejednorodności grubości (czy też sztywności) jej powłoki.

AUTORZY

■ **dr Jacek Jasiak** – część I i zadania teoretyczne w części II,

■ **dr Andrzej Wyszomółek** – zadania doświadczalne w części II.

Obaj z Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

SPADAJĄCA WINDA – FIZYKA NA LEKKO

„Dajcie mi punkt podparcia, a poruszę Ziemię” miał ponoć powiedzieć wielki Archimedes.

Przypuśćmy, że Archimedesowi dano ów poszukiwany przez niego punkt oparcia, przypuśćmy też, że zbudował dźwignię odpowiedniej długości. Czy wiecie, ile czasu potrzebowaliby Archimedes, aby podnieść kulę ziemską choćby o jeden centymetr?

Masa Ziemi wynosi w przybliżeniu

6 000 000 000 000 000 000 000 kg.

Archimedes był przekonany, że ziemską siłą ciężkości jest powszechna, tj. poza obszarem owej podnoszonej Ziemi też będzie obowiązywać. Jeżeli zwyczajny człowiek może bezpośrednio (bez dźwigni) podnieść tylko 60 kg, to żeby podnieść Ziemię, musiałby oprzeć ręce o długie ramię dźwigni, dłuższe od ramienia, na którym byłaby osadzona Ziemia

100 000 000 000 000 000 000 000 razy!

Prosty rachunek przekona nas, że kiedy krótkie ramię dźwigni podniesie się o 1 cm, drugi jej koniec w tym czasie opisze we Wszechświecie olbrzymi łuk długości

1 000 000 000 000 000 000 km.

Tę niemieszczącą się w wyobraźni drogę musiałaby przebyć ręka Archimedesza przyciskająca dźwignię, aby „podnieść Ziemię” tylko o jeden centymetr! Ile czasu trzeba by było na to zużyć? Jeśli przyjąć, że Archimedes mógł podnieść ciężar 60 kg na wysokość 1 m w ciągu sekundy, to na podniesienie Ziemi o 1 cm musiałby poświęcić

1 000 000 000 000 000 000 sekund,

czyli trzydzieści tysięcy miliardów lat! Naciskając ramię dźwigni przez całe swoje długie życie Archimedes nie „podniósłby Ziemi” nawet na grubość najcieńszego włosa...

I gdyby nawet doprowadził prędkość swej ręki do największej możliwej w przyrodzie prędkości – do 300 000 km/s (prędkość światła), to i przy takim fantastycznym założeniu „podniósłby Ziemię” o 1 cm dopiero po dziesięciu milionach lat.

