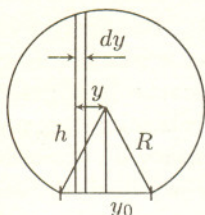




Stanisław BEDNAREK

Rozwiązanie zadania F 385.

Założmy dla uproszczenia, że zdeformowana kula ma kształt kuli ściętej.



Powierzchnia styku z podłożem wynosi $S_0 = \pi y_0^2$. Podzielmy kulę na cienkie współosiowe puszki o wysokości h i grubości dy , gdzie $y < 0, y_0 >$. Dla małych deformacji $h \approx 2R$. W procesie deformacji długość puszki skraca się o

$$\Delta h = \sqrt{R^2 - y^2} - \sqrt{R^2 - y_0^2} \approx \frac{y_0^2 - y^2}{2R}$$

Z prawa Hooke'a

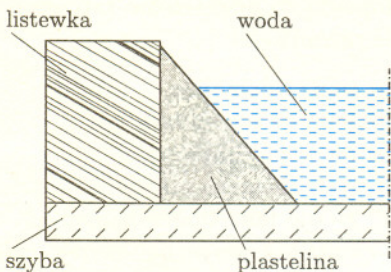
$$\frac{dF}{dS} = E \cdot \frac{\Delta h}{h}$$

gdzie $dS = 2\pi y dy$. Podstawiając h i Δh oraz całkując powyższe wyrażenie otrzymujemy

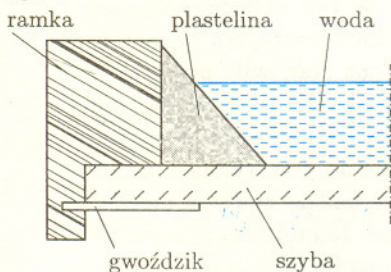
$$F = \frac{\pi E}{8R^2} y_0^4 = \frac{ES_0^2}{8\pi R^2}$$

Siła odkształcenia F jest równoważona przez siłę ciężkości $F = mg = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$. Porównując ostatecznie otrzymujemy

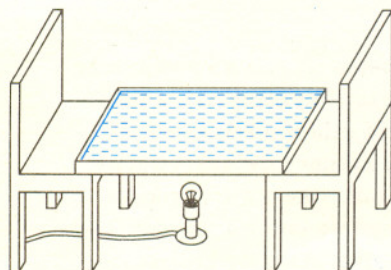
$$R = \left(\frac{3}{32\pi^2} \frac{ES_0^3}{\rho} \right)^{1/5} = 0,75 \text{ m.}$$



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Z falami spotykamy się bardzo często. Wszyscy zapewne słyszeli o falach morskich, dźwiękowych czy radiowych lub elektromagnetycznych. Fizycy określają fale jako rozchodzenie się w przestrzeni okresowego zaburzenia pewnych wielkości fizycznych, np. gęstości i ciśnienia w przypadku fal dźwiękowych czy natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, gdy mowa o falach radiowych lub elektromagnetycznych. Spróbujmy bliżej poznać to interesujące zjawisko, jakim jest fala.

Bardzo przydatnym do tego celu rodzajem fal są fale rozchodzące się na powierzchni wody. Falę taką wytwarza każde dziecko, kiedy wrzuca kamyczki do stawu lub kałuży. Obserwuje wówczas współśrodkowe okręgi rozchodzące się od miejsca wpadnięcia kamienia do wody. Żeby przeprowadzić w warunkach laboratoryjnych, a raczej domowych, następne doświadczenie dokładniej zapoznające nas z rodzajami fal i zjawiskami powodowanymi przez fale, nie musimy przenosić kałuży czy stawu do pokoju. Wystarczy w tym celu płaskie naczynie z przezroczystym dnem. Fizycy nazywają je zwykle wanienką do badania fal na wodzie. W roli tej wanienki można wykorzystać niewielkie skrzydło okienne o wymiarach około 40×25 cm, najlepiej z pojedynczą szybą. Może to być zwany z niemiecka „lufcirk” (czasem zdarza się, że coś takiego stoi w starych domach na strychu lub w piwnicy). Szyba posłuży nam jako przezroczyste dno naczynia, a drewniana rama jako jego ściany boczne zabezpieczające przed rozlaniem się wody.

Cóż jednak począć, kiedy nie mamy takiego lufcika albo rodzice nie pozwolą nam rozmontować okna? Potrzebny będzie wówczas kawałek szyby o podanych wymiarach i kilka kawałków listewki o wymiarach przekroju poprzecznego około 1×2 cm. Z listewek odcinamy piłką do drewna cztery kawałki o takich długościach, żeby można było z nich utworzyć prostokątną ramkę o wymiarach zewnętrznych równych wymiarom szyby i wysokości około 2 cm. Ramkę tę zbijemy gwoździkami i przykleimy do szyby za pomocą cienkiej warstwy plasteliny. Od wewnętrznej strony ramki umieszczamy plastelinowy pasek o przekroju równoramiennego trójkąta prostokątnego. Jego zadaniem będzie wyeliminowanie fal odbitych od ramki, które komplikowałyby obserwacje. W przekroju brzeg gotowej wanienki będzie wyglądał tak, jak na rysunku 1.

Jako wanienkę można też wykorzystać ramkę z szybą stanowiącą oprawę jakiegoś starego obrazka. Obrazek oraz zabezpieczającą go od tyłu tekturę należy, oczywiście, wcześniej usunąć, żeby uzyskać przezroczyste dno. Szparę między wycięciem ramki i szybą należy uszczelnić plasteliną, a jeżeli wewnętrzne ścianki ramki są prostopadłe do powierzchni szyby lub tworzą z nią duży kąt, trzeba, tak jak poprzednio, umieścić plastelinowy pasek od wewnętrznej strony ramki. Przekrój brzeg tej odmiany wanienki pokazany jest na rysunku 2.

Mając przygotowany jeden z rodzajów wanienki opieramy ją na dwóch krzesłach lub taboretach w sposób pokazany na rysunku 3 i nalewamy do niej wodę do wysokości około 1 – 1,5 cm (zobacz również rysunki 2 i 3). Na podłożu pod środkiem wanienki ustawiamy niską lampę nocną ze zdjętym abażurem albo lampę stołową z kloszem odwróconym do góry. Po włączeniu lampy do sieci cienie wszelkiego rodzaju zaburzeń na powierzchni wody będą widoczne na suficie. Taki sposób uwidaczniania zjawiska lub efektu fizycznego, w którym obserwujemy jego powiększony cień, nazywa się projekcją cieniową. Teraz możemy już przystąpić do badania zjawisk falowych.



Rozwiązanie zadania F 386. Ciężar samochodu (mg) jest równy iloczynowi ciśnienia p i powierzchni styku opon S . Stąd

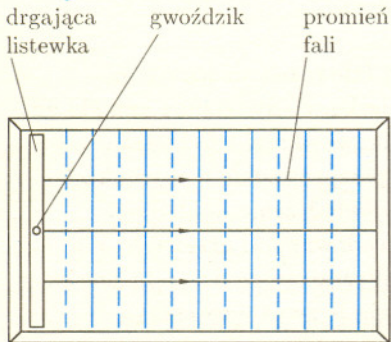
$$S = \frac{mg}{p}$$

Całkowita powierzchnia jezdnej części czterech opon wynosi

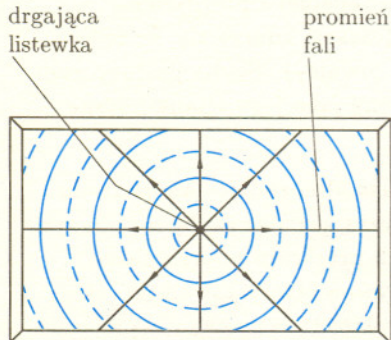
$$S_0 = 4 \cdot 2\pi r x$$

Stąd możemy obliczyć procent obwodu koła stykający się z jezdnią

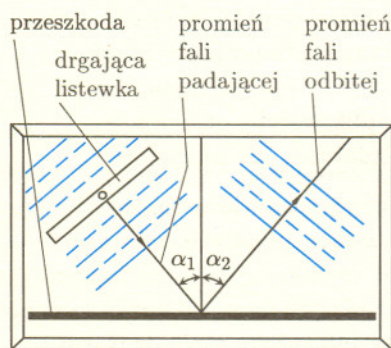
$$\epsilon = \frac{S}{S_0} = \frac{mg}{8\pi r x p} = 4,1\%$$



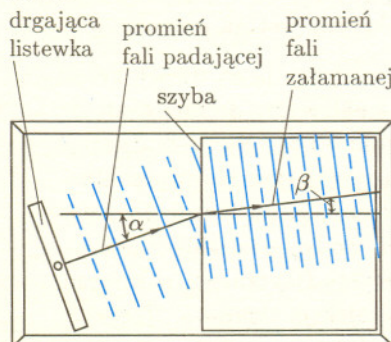
Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6



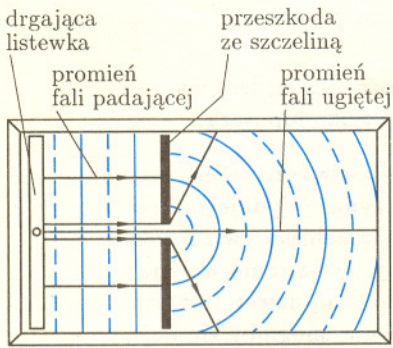
Rys. 7

Istnieją różne sposoby wytwarzania fal na powierzchni wody. Źródłem tych fal mogą być krople cieczy wypływające ze zbiorniczka zaopatrzonego w kranik i rurkę, kolec lub listewka zawieszona na sprężynce, albo bardzo wygodny w użyciu specjalny wibrator złożony z elektromagnesu lub głośnika, które zasilane są z generatora elektronicznego. My wybierzemy rozwiązanie, być może, nie najwygodniejsze, ale zapewne najprostsze i najtańsze. Będziemy wytwarzali fale uderzając regularnie w powierzchnię wody trzymaną w palcach listewką. W tym celu przytniemy kawałek listewki o wymiarach przekroju poprzecznego około 1×2 cm i długości mniejszej o około 5 cm od szerokości naszej wanienki. W połowie długości listewki wbijemy w nią gwoździł służący do trzymania listewki w palcach. Przygotujmy jeszcze kilkucentymetrowy odcinek listewki, którego koniec zestrugamy na okrągło.

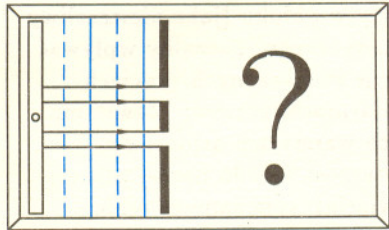
Uderzamy teraz rytmicznie w powierzchnię wody listewką trzymaną za gwoździł i umieszczoną tuż przy krótszym boku wanienki tak, jak na rysunku 4. Na suficie obserwujemy szereg równoległych odcinków poruszających się prostopadle do listewki w kierunku przeciwnego boku wanienki. Wytworzyliśmy w ten sposób falę liniową (rys. 4). Fala ta charakteryzuje się tym, że punkty ośrodka, w którym się rozchodzi, mające takie samo wychylenie z położenia równowagi i poruszające się w tę samą stronę (czyli – jak mówią fizycy – mające tę samą fazę), leżą na prostych równoległych. Ponieważ wanienka ma ograniczone rozmiary, w naszym doświadczeniu widzimy właśnie szereg równoległych odcinków. Przedstawiają one na przemian grzbiety i doliny, czyli największe wychylenia z położenia równowagi. (Na rysunkach grzbiety oznaczać będziemy linią ciągłą, a doliny przerywaną.) Gdyby udało się nam uwidocznic falę wytworzoną przez drgającą płaszczyznę, na przykład w zadymionym pokoju, wówczas otrzymalibyśmy falę płaską, dla której zbiorami punktów o stałych fazach, czyli powierzchniami fazowymi, byłyby wzajemnie równoległe płaszczyzny. Uogólnilibyśmy w ten sposób naszą dwuwymiarową falę liniową na przypadek trójwymiarowy. Linie wyznaczające kierunek rozchodzenia się fali nazywamy promieniami fali. Są one prostopadłe do powierzchni fazowych i w przypadku fali płaskiej lub liniowej wzajemnie równoległe.

Uderzamy teraz rytmicznie w środku powierzchni wody odcinkiem listewki o zestruganym na okrągło końcu. Otrzymujemy w ten sposób falę kolistą (rys. 5). Punkty o jednakowych fazach leżą na współśrodkowych okręgach, a promienie fali stanowią płaski pęk prostych zbiegających się w środku tych okręgów, czyli tam, gdzie „pracuje” źródło fali. Uogólnieniem na przypadek trójwymiarowy byłaby tu fala kulista, zwana też sferyczną, której powierzchnie fazowe są współśrodkowymi powierzchniami kul. Zobaczymy teraz, co dzieje się, gdy fala pada na przeszkodę. W tym celu przyklejamy plasteliną do dna wanienki wzdłuż jej dłuższego boku wystającą około 0,5 cm nad powierzchnię wody listewkę (rys. 6). Będzie ona stanowiła przeszkodę dla fal. Drugą listewkę z gwoździłkiem ustawiamy ukośnie w rogu wanienki i seriami kilku szybkich rytmicznych uderzeń o powierzchnię wody wytwarzamy impulsy fali liniowej. Zauważamy, że dochodzą one do przeszkody i odbijają się od niej. Dokładniejsza obserwacja wskazuje, że kąt α_2 zawarty między prostą prostopadłą do tej przeszkody a promieniem fali odbitej (nazywany kątem odbicia) i kąt α_1 zawarty między tą prostopadłą a promieniem fali dochodzącej do przeszkody (nazywany kątem padania) są równe. W ten oto sposób odkryliśmy prawo odbicia fali.

Bardzo łatwo przekonać się, że prędkość rozchodzenia się fali na powierzchni wody zwiększa się, gdy głębokość wody jest większa. Wykorzystamy to do poznania następnego zjawiska falowego. W tym celu umieszczamy na dnie wanienki prostokątną szybę o grubości kilku milimetrów zakrywającą w przybliżeniu połowę powierzchni dna (rys. 7). Listewkę z gwoździłkiem ustawiamy ukośnie w rogu wanienki i wytwarzamy falę liniową. Stwierdzamy, że w obszarze nad szybą, gdzie woda jest płytsza, fale stają się krótsze, zmniejsza się odległość między grzbiętami i dolinami oraz zmienia się kierunek



Rys. 8



Rys. 9

rozchodzenia się fal. Zjawisko to nazywamy załamaniem fal. Gdybyśmy zmierzili prędkości fal na płytszej i głębszej wodzie (oznaczając je odpowiednio przez v_2 i v_1), a także kąt β między prostą prostopadłą do linii rozdzielającej oba obszary wanienki i promieniem fali załamanej (nazywany kątem załamania) oraz określony analogicznie jak poprzednio kąt padania α , otrzymalibyśmy prawo załamania fali w postaci

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Zbadamy jeszcze, co stanie się, gdy fala liniowa przechodzi przez przeszkodę z wąską szczeliną między dwoma kawałkami listewki przyklejonymi plasteliną w poprzek wanienki do jej dna (rys. 8). Szerokość szczeliny powinna wynosić 1 – 2 cm. Za pomocą listewki z gwóźdźkiem umieszczonej równoległo do przeszkody wytwarzamy falę liniową. Zauważamy, że po przejściu przez szczelinę w przeszkodzie staje się ona falą kolistą. To zjawisko zmiany kierunku rozchodzenia się fal, które przeszły przez otwory w przeszkodach lub obok krawędzi tych przeszkód, nazywamy dyfrakcją albo ugięciem fal.

Czy to już wszystkie zjawiska falowe? Ależ skądże! Co zaobserwujemy, gdy fala liniowa przejdzie przez dwie wąskie i położone blisko siebie szczeliny (rys. 9)? Jak nazywają się zjawiska, które tutaj występują? Co stanie się, jeżeli w układzie do badania zjawiska załamania fal (rys. 7) fala padająca będzie wytwarzana na płytszej wodzie i zostanie skierowana pod dużym kątem padania w stronę wody głębszej? Czy dla fali kolistej słuszne są odkryte wcześniej prawa odbicia i załamania? Co zaobserwujemy przy pewnej częstotliwości uderzeń, gdy listewkę do wytwarzania fal ustawimy równoległo do przeszkody bez szczeliny? To tylko niektóre problemy warte samodzielnego rozwiązania za pomocą zbudowanego przez nas układu. Okazało się, że – jak to zwykle w fizyce bywa – doświadczenia dają nie tylko odpowiedź na wcześniej postawione pytania, ale również przyczyniają się do sformułowania nowych problemów.

<p>Odcinek dla poczty</p> <p>Zł</p> <p>słownie złotych</p> <p>.....</p> <p>Dokładny adres</p> <p>wpłacający</p> <hr/> <p>na r-k AMOS</p> <p>01-806 Warszawa</p> <p>ul. Zuga 12</p> <hr/> <p>nazwa banku PKO VIII O/W-wa</p> <p>Nr r-ku 1586-77578-136</p> <hr/> <p>stempel</p> <p>podpis przyjmującego</p>	<p>Odcinek dla posiadacza rachunku</p> <p>Zł</p> <p>słownie złotych</p> <p>.....</p> <p>Dokładny adres</p> <p>wpłacający</p> <hr/> <p>na r-k AMOS</p> <p>01-806 Warszawa</p> <p>ul. Zuga 12</p> <hr/> <p>nazwa banku PKO VIII O/W-wa</p> <p>Nr r-ku 1586-77578-136</p> <hr/> <p>stempel</p> <p>podpis przyjmującego</p>	<p>Potwierdzenie dla wpłacającego</p> <p>Zł</p> <p>słownie złotych</p> <p>.....</p> <p>Dokładny adres</p> <p>wpłacający</p> <hr/> <p>na r-k AMOS</p> <p>01-806 Warszawa</p> <p>ul. Zuga 12</p> <hr/> <p>nazwa banku PKO VIII O/W-wa</p> <p>Nr r-ku 1586-77578-136</p> <hr/> <p>stempel</p> <p>podpis przyjmującego</p>
Pobrano opłatę	Pobrano opłatę	Pobrano opłatę
zł	zł	zł