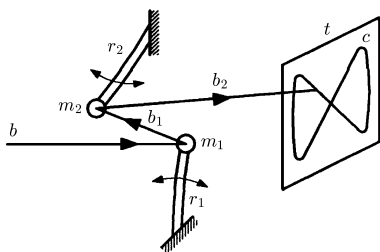


Potrzebne przyrządy i materiały: wskaźnik laserowy, dwa brzeszczoty pilki do metalu, kawałki płaskiego zwierciadła na plastikowym podłożu lub folii zwierciadlanej, klej poxipol, plastelina, dwa małe imadła, dwa głośniki elektrodynamiczne niskotonowe o średnicy ok. 20 cm i mocy ok. 50 W, kawałek sprężystej folii poliesterowej, cztery korki do butelek, przewody połączeniowe, cztery gniazdka radiowe, dwa kawałki płyty meblowej lub skleiki o rozmiarach ok. 35×20 cm, kilka wkrętów do drewna, metalowa tarcza, śruba z nakrętką motylkową, kawałek drewnianego pręta, krótką plastikową rurką, zacisk krokodylkowy, nożyczki, nóż, wiertarka z wiertłami, lutownica i cyna oraz dostęp do dwóch generatorów elektronicznych (można wypożyczyć ze szkolnej pracowni fizycznej) i aparatu fotograficznego.



Rys. 1. Schemat najprostszego układu do badania figur Lissajous; r_1, r_2 – brzeszczoty pilki do metalu, m_1, m_2 – zwierciadła, b – wiązka światła ze wskaźnika laserowego, b_1, b_2 – wiązki światła odbite odpowiednio od pierwszego i drugiego zwierciadła, t – ekran, c – figura Lissajous.

Celem naszych doświadczeń jest zbadanie torów, po których porusza się obiekt (lub jego obraz) biorący udział jednocześnie w dwóch ruchach drgających, wykonywanych wzdłuż różnych kierunków. Gdy kierunki niezależnych ruchów są prostopadłe, tory te nazywa się figurami Lissajous.

Najprostszy układ do badania figur Lissajous przedstawia rysunek 1. Dwa zwierciadła (lub kawałki folii zwierciadlanej) o rozmiarach około 2×2 cm przyklejamy na końcach brzeszczotów pilki do metalu. Pozostałe końce brzeszczotów mocujemy w imadłkach tak, żeby powierzchnie odbijające zwierciadełek były zwrócone ku sobie i znajdowały się w odległości kilku centymetrów. Jeden brzeszczot powinien być ustawiony pionowo, a drugi poziomo. Na pierwsze zwierciadło kierujemy wiązkę światła ze wskaźnika laserowego, która po odbiciu powinna paść na drugie zwierciadło i po następnym odbiciu dać plamkę na ścianie odległej o 2–3 m od układu. W miejscu, gdzie pojawiła się plamka, możemy przymocować na ścianie arkusz białego papieru, który będzie stanowił ekran.

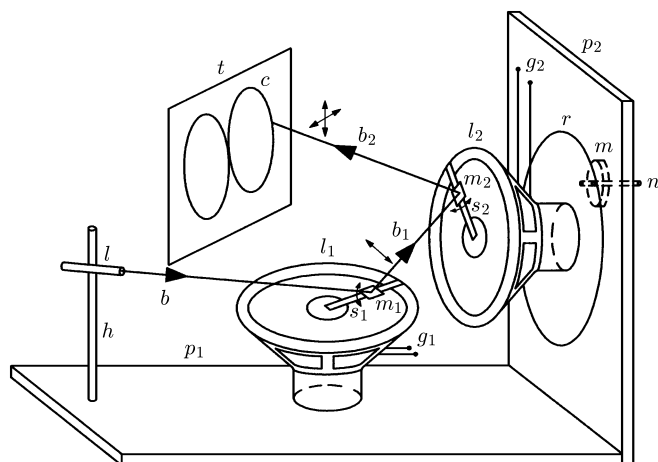
Żeby zaobserwować figury Lissajous, wprawiamy w drgania zwierciadła przez odchylenie końców brzeszczotów od położenia równowagi i puszczenie ich swobodnie. Na ekranie możemy zaobserwować bardzo różne linie, których kształt w istotny sposób zależy od wzajemnego stosunku amplitud, częstotliwości i faz początkowych obu drgań. Amplitudy możemy zmieniać przez różne odchylenia początkowe końców brzeszczotów, częstotliwości – przez zmianę długości części brzeszczotów, wystających ze szczęk imadełek lub dodatkowe obciążenie tych części plasteliną, a fazy – przez puszczenie drugiego brzeszczotu w innym momencie niż pierwszego.

Opisany układ doświadczalny jest bardzo prosty, tani, można go szybko i łatwo zbudować, ale ma również wady. Drgania w krótkim czasie zanikają, trudno jest też sfotografować otrzymane figury, gdyż przy dłuższym czasie ekspozycji obraz staje się nieostry. Znacznie większe możliwości eksperymentowania i lepsze wyniki zapewnia przyrząd z dwoma głośnikami, przedstawiony na rysunku 2.

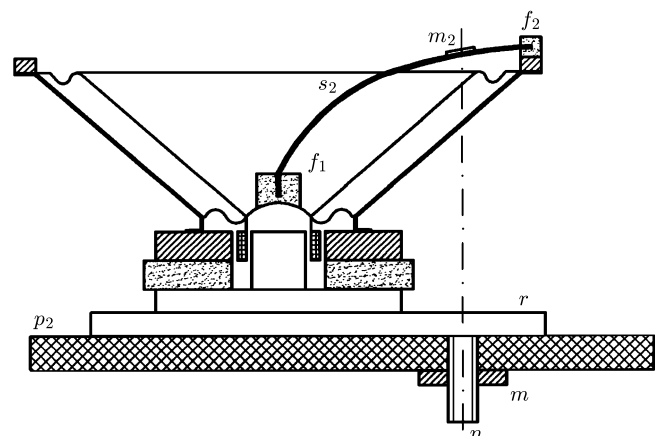
W tym przyrządzie zwierciadła wprawiane są w drgania przez membrany głośników zasilanych z generatorów elektronicznych, co pozwala na precyzyjną regulację częstotliwości, amplitud i utrzymanie stałej różnicy faz. Ponadto, generatory oprócz drgań sinusoidalnych wytwarzają też inne – o przebiegu trójkątnym, prostokątnym lub trapezowym.

W celu zbudowania przyrządu najpierw łączymy dwa kawałki płyty meblowej, otrzymując ramę przyrządu. Przycinamy dwa paski sprężystej folii o szerokości 1 cm i długości równej około 4/3 promienia membrany głośników.

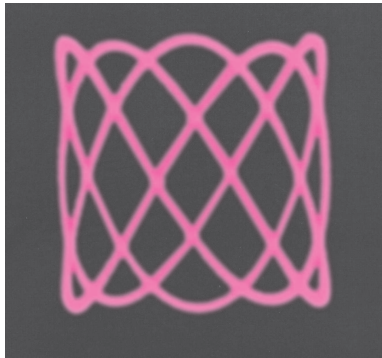
Przygotowujemy cztery kawałki korka z nacięciami do wsunięcia końców folii i dopasowujemy kształt dwóch z nich do środkowej części głośnika (tzw. kopolki),



Rys. 2. Budowa przyrządu z dwoma głośnikami do badania figur Lissajous; p_1, p_2 – płyty (pozioma i pionowa), l_1, l_2 – głośniki (leżący i pionowy), s_1, s_2 – paski sprężystej folii, h – wspornik, l – wskaźnik laserowy, r – tarcza, n – śruba, m – nakrętka, g_1, g_2 – wyprowadzenia końcówek głośników; pozostałe oznaczenia jak na rysunku 1.



Rys. 3. Sposób przygotowania głośnika; f_1, f_2 – kawałki korka; pozostałe oznaczenia jak na rysunku 2.



Przykład figury Lissajous otrzymanej za pomocą przyrządu z dwoma głośnikami.

a dwóch pozostałych do brzegu głośnika (rys. 3). Przyklejamy po jednym kawałku korka do kopułki i brzegu obu głośników, a następnie wsuwamy końce pasków z folii w nacięcia korków i przyklejamy do pasków zwierciadełka. Do metalowej tarczy, najlepiej okrągłej, przyklejamy w pobliżu jej brzegu łeb śruby, tarczę przyklejamy zaś do tylnej powierzchni jednego z głośników, ustawiając ją mimośrodowo, tak by oś śruby przechodziła przez środek zwierciadełka umieszczonego na pasku folii. W środku pionowej płyty wiercimy otwór do przełożenia śruby i przykręcamy głośnik do tej płyty za pomocą nakrętki. Na poziomej płycie przyrządu kładziemy drugi głośnik, tak by środki obu zwierciadełek wyznaczały prostą pionową. Ze wskaźnika laserowego trzymanego nad brzegiem leżącego głośnika kierujemy wiązkę światła, tak by uległa odbiciu od obu zwierciadełek i dała plamkę na ekranie. Następnie leżący głośnik przyklejamy do poziomej płyty, zachowując jego położenie. Na wsporniku zrobionym z pręta sklejonego z kawałkiem plastikowej rurki umieszczamy wskaźnik laserowy. Do końcówek głośników przylutowujemy przewody i łączymy je z gniaздkami radiowymi, osadzonymi w ramie przyrządu.

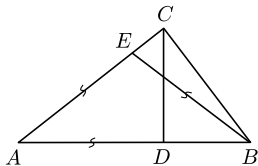
W celu przeprowadzenia doświadczeń głośniki przyłączamy do generatorów, a wskaźnik laserowy trwale włączamy, np. za pomocą krokodyłka naciskającego na przycisk wskaźnika. Zmieniając amplitudy, częstotliwości, kształty sygnałów i ich fazy, możemy w wygodny sposób badać bardzo różne przypadki składania drgań. Obrócenie głośnika pionowego o pewien kąt pozwala też badać efekty składania drgań zachodzących w płaszczyznach ukośnych. Warto zauważyć, że niektóre skomplikowane figury podobne do uzyskanych w tym doświadczeniu, zwane *głoszami*, znajdują się na banknotach i ważnych dokumentach jako trudne do podrobienia elementy zabezpieczające.



Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ

M 1423. W trójkącie prostokątnym ABC o przeciwprostokątnej AB punkt D jest spodkiem wysokości opuszczonej z wierzchołka C (rys. 1). Wyznaczyć stosunek AC/AD , jeśli wiadomo, że okrąg o środku A i promieniu AD oraz okrąg o środku B i tym samym promieniu przecinają się w punkcie E na przyprostokątnej CA .



Rys. 1

Rozwiązanie na str. 3

M 1424. Udowodnić, że jedynym rozwiązaniem równania $2x^2 + 3y^2 = 10z^2$ w zbiorze liczb całkowitych jest $x = y = z = 0$.

Rozwiązanie na str. 6

M 1425. Czy można pokolorować każdą nieujemną liczbę rzeczywistą na czarno lub biało tak, aby żadne trzy różne liczby a, b, c , spełniające $a + b = 2c$, nie były tego samego koloru? Czy można pokolorować w taki sposób zbiór liczb całkowitych nieujemnych?

Rozwiązanie na str. 2

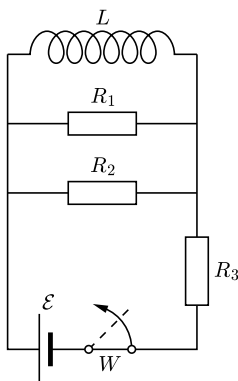
Przygotował Michał NAWROCKI

F 857. Znaleźć maksymalny potencjał ϕ_{\max} , do jakiego może naładować się oddalona od innych ciał miedziana kulka oświetlona światłem ultrafioletowym o długości fali $\lambda = 140$ nm. Praca wyjścia dla miedzi wynosi $A = 4,47$ eV.

Rozwiązanie na str. 3

F 858. W chwili początkowej w przedstawionym na rysunku 2 obwodzie wyłącznik W jest zamknięty i płynie prąd stały. Jaka ilość ciepła wydzieli się w oporze R_1 po otwarciu wyłącznika? Indukcyjność cewki wynosi L , $R_1 = R_3 = R$, $R_2 = 2R$, siła elektromotoryczna źródła wynosi \mathcal{E} . Oporność cewki oraz oporność wewnętrzna źródła są zaniedbywalne.

Rozwiązanie na str. 3



Rys. 2