



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

# FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

## **Pakiet nr 8: Procesy falowe – od huśtawki do tsunami**

dr Małgorzata Wysocka-Kunisz

*Institut Fizyki,  
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy  
Jana Kochanowskiego w Kielcach,  
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce*

**Wersja UJK/1.0**

Niniejszy tekst w odniesieniu do ćwiczeń realizowanych na uczelni dotyczy realizacji pakietu na UJK. Materiał będzie aktualizowany w miarę poszerzania bazy aparaturowej pracowni uczelnianych.



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



<b>POTENCJALNE ZAGROŻENIA, ZASADY BHP .....</b>	<b>4</b>
<b>ZAGADNIENIA I DOŚWIADCZENIA DO REALIZACJI W SZKOLE.....</b>	<b>5</b>
<b>S.8.01 Ruch drgający .....</b>	<b>5</b>
S.8.01.1 Okres wahadła.....	5
S.8.01.2 Przyspieszenie ziemskie .....	8
S.8.01.3 Rezonans mechaniczny .....	9
<b>S.8.02 Fala sprężysta.....</b>	<b>10</b>
S.8.02.1 Fala sprężysta poprzeczna .....	11
S.8.02.2 Fala sprężysta podłużna .....	12
S.8.02.3 Fala sprężysta na wodzie.....	13
S.8.02.4 Fala na wodzie.....	13
S.8.02.5 Fala stojąca.....	14
<b>S.8.03 Dźwięk .....</b>	<b>15</b>
S.8.03.1 Źródło dźwięku .....	16
S.8.03.2 Dzwon z łyżeczki .....	16
S.8.03.3 Domowa orkiestra .....	17
S.8.03.4 Zjawisko Dopplera .....	20
<b>S.8.04 Światło .....</b>	<b>21</b>
S.8.04.1 Jak rozchodzi się światło? .....	21
S.8.04.2 Prostoliniowy bieg światła .....	22
S.8.04.3 Ogniskowa soczewki.....	23
S.8.04.4 Odbicie światła.....	24
S.8.04.5 Współczynnik załamania szkła .....	26
<b>DOŚWIADCZENIA DO WYKONANIA NA UCZELNI .....</b>	<b>28</b>
<b>U.8.01 Ruch drgający.....</b>	<b>28</b>
U.8.01.1 Składanie drgań .....	28
U.8.01.2 Ruch harmoniczny prosty .....	30
U.8.01.3 Rezonans mechaniczny.....	31
U.8.01.4 Drgania własne układu .....	31
<b>U.8.02 Fala sprężysta .....</b>	<b>32</b>
U.8.02.1 Fala podłużna i poprzeczna .....	33
U.8.02.2 Fale na wodzie .....	34
<b>U.8.03 Dźwięk .....</b>	<b>34</b>
U.8.03.1 Kamerton .....	35
U.8.03.2 Rezonans akustyczny.....	35
U.8.03.3 Dźwięk w próżni.....	36
U.8.03.4 Drgania strun .....	37
U.8.03.5 Długość fali akustycznej.....	38
U.8.03.6 Prędkość dźwięku w powietrzu .....	41
<b>U.8.04 Światło .....</b>	<b>43</b>
U.8.04.1 Optyka geometryczna .....	43
U.8.04.2 Długość fali świetlnej .....	44
U.8.04.3 Ogniskowa soczewki .....	47
<b>LITERATURA.....</b>	<b>49</b>

## Potencjalne zagrożenia, zasady BHP

Przy wykonywaniu wielu ćwiczeń konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności i przestrzeganie zasad bezpieczeństwa. Przy posługiwaniu się źródłami zasilania sieciowego, łatwopalnymi materiałami (np. denaturat lub nafta), grzałkami, gorącymi cieczami występuje zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia. Przy wykonywaniu ćwiczeń w pracowniach należy przestrzegać obowiązującego w nich regulaminu BHP. Wykonywanie niektórych doświadczeń w domu jest możliwe, ale tylko po konsultacji z nauczycielem i pod nadzorem osoby dorosłej.

W związku z powyższym zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

- 1) Nie wolno włączać zasilania sieciowego ani uruchamiać przyrządów doświadczalnych bez zgody prowadzącego zajęcia.
- 2) Elementy zestawów ćwiczeniowych należy łączyć zgodnie ze schematami podanymi w instrukcjach, szczególną uwagę zwracając na poprawność połączeń obwodów elektrycznych.
- 3) Wszystkie przyrządy i urządzenia należy stosować zgodnie z ich przeznaczeniem i zasadami ich stosowania (podanymi w instrukcjach obsługi). W razie potrzeby stosować rękawice, odzież ochronną lub inne niezbędne środki ochrony osobistej.
- 4) Należy zachować szczególną ostrożność podczas pracy z:
  - a) grzejnikami i ciałami podgrzanyymi do wysokiej temperatury,
  - b) cieczami łatwopalnymi i odczynnikami chemicznymi,
  - c) ostrymi narzędziami lub przedmiotami - w miarę potrzeby stosować rękawice ochronne,
  - d) przedmiotami ciężkimi, kruchymi albo łatwo tłukącymi się,
  - e) laserem - nie dopuścić do wprowadzenia wiązki światła do nieosłoniętego oka,
  - f) izotopami promieniotwórczymi - preparaty należy prawidłowo umieszczać pod licznikiem.
- 5) Doświadczenia należy wykonywać w pomieszczeniach, w których jest zapewniona właściwa wentylacja.
- 6) O powstałych w czasie wykonywania ćwiczeń wątpliwościach należy informować prowadzącego zajęcia.



Taka ikonka znajduje się przy ćwiczeniach wymagających zachowania ostrożności.

## Zagadnienia i doświadczenia do realizacji w szkole

*Tytuł*

### **S.8.01 Ruch drgający**

*Cel ćwiczenia, opis*

Poznanie wielkości opisujących ruch drgający i zjawiska rezonansu mechanicznego.

*Wymagana wiedza ucznia*

Ruch drgający, wahadło matematyczne, amplituda, okres, częstotliwość, energia w ruchu harmonicznym, drgania wymuszone i rezonansowe.

#### **S.8.01.1 Okres wahadła**

*Cel ćwiczenia, opis*

Zbadanie, od czego zależy okres  $T$  wahadła i określenie parametrów, dla których wahadło będzie przyrządem do pomiaru czasu.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Mocna nitka lub cienki sznurek, ciężarek (metalowe nakrętki, kulka z plasteliny, metalowa kulka z dziurką lub haczykiem), stoper lub zegarek z sekundnikiem, przymiar metrowy lub metr krawiecki, kątomierz lub ekierka.

*Przebieg ćwiczenia*

Sprawdzenie, czy okres wahadła zależy od masy ciężarka.

- Przygotowujemy sznurek o długości ok. 1,1 m.
- Przywiązujemy nakrętkę do sznurka lub mocujemy kulkę z plasteliny.
- Wieszamy wahadło tak, aby mogło się swobodnie wahać.
- Wyznaczamy długość  $l$  nitki (od punktu zawieszenia do połowy wysokości nakrętki lub kulki).
- Odchylamy wahadło od pionu o mały kąt, ok.  $20^\circ$ , i puszczamy.

- Mierzmy trzykrotnie przy użyciu stopera czas  $t$  potrzebny na wykonanie przynajmniej dwudziestu pełnych wahań. Wyniki zapisujemy w tabeli.
- Dokładamy dodatkowe nakrętki lub zwiększamy masę plasteliny. Pomiar wykonujemy dla trzech różnych mas wahała.
- Obliczamy wartość średnią czasu trwania dwudziestu wahań  $t_{sr}$  i okres drgań wahała.

Mierzona wielkość	Pomiar I dla masy $m$	Pomiar II dla masy $m_2 > m_1$	Pomiar III dla masy $m_3 > m_2$
$l$ (m)			
$t_1$ (s)			
$t_2$ (s)			
$t_3$ (s)			
$t_{sr}$ (s)			
$T = t_{sr} / 20$ (s)			

Sprawdzenie, czy okres drgań wahała zależy od kąta jego maksymalnego wychylenia.

- Wykonujemy wahadło i wyznaczamy jego długość  $l$ .
- Odchylamy wahadło od pionu o mały kąt, ok.  $20^\circ$ , i puszczaemy.
- Mierzmy trzykrotnie czas  $t$  przynajmniej dwudziestu pełnych wahań. Wyniki zapisujemy w tabeli. Pomiar wykonujemy jeszcze dla dwóch innych kątów z przedziałów podanych w tabeli. Kąty określamy w przybliżeniu (z pomocą kątomierza lub ekierki).
- Obliczamy wartość średnią czasu trwania dwudziestu wahań  $t_{sr}$  i okres drgań wahała.

Mierzona wielkość	Pomiar I $10^\circ < \alpha_{max} < 25^\circ$	Pomiar II $30^\circ < \alpha_{max} < 45^\circ$	Pomiar III $50^\circ < \alpha_{max} < 70^\circ$
$l$ (m)			
$t_1$ (s)			
$t_2$ (s)			
$t_3$ (s)			
$t_{sr}$ (s)			
$T = t_{sr} / 20$ (s)			

Sprawdzenie, czy okres drgań wahadła zależy od długości wahadła.

- Przy ustalonej masie wahadła i kącie odchylenia ok.  $20^\circ$  wykonujemy trzykrotne pomiary dwudziestu pełnych drgań wahadła dla każdej z podanych w tabeli jego długości.
- Obliczamy wartość średnią czasu trwania dwudziestu wahaniec  $t_{\text{śr}}$  i okres drgań wahadła  $T_{\text{dośw.}}$ .
- Obliczamy okres drgań wahadła matematycznego ze wzoru  $T_{\text{teor.}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Mierzona wielkość	$l = 25 \text{ cm}$	$l = 50 \text{ cm}$	$l = 75 \text{ cm}$	$l = 100 \text{ cm}$	$l = 125 \text{ cm}$	$l = 150 \text{ cm}$
$t_1 \text{ (s)}$						
$t_2 \text{ (s)}$						
$t_3 \text{ (s)}$						
$t_{\text{śr}} \text{ (s)}$						
$T_{\text{dośw.}} = t_{\text{śr}} / 20 \text{ (s)}$						
$T_{\text{teor.}} \text{ (s)}$						

- Określamy niepewności pomiarów prostych  $l$  i  $t$ , przyjmując wartość działki elementarnej przyrządów pomiarowych.
- Rysujemy wykres zależności  $T_{\text{dośw.}}(l)$  zaznaczając poszczególne punkty pomiarowe wraz z ich niepewnościami.
- Rysujemy wykres  $T_{\text{teor.}}(l)$  i dyskutujemy otrzymane rezultaty.

Okres drgań wahadła zależy od jego długości; jest on wprost proporcjonalny do pierwiastka z długości:  $T \sim \sqrt{l}$ . Dla małych wychyleń wahadła (niewielkich amplitud) okres wahań wahadła nie zależy od amplitudy. Zjawisko to nosi nazwę izochronizmu. Wahadło może być użyte do odmierzenia równych odstępów czasu. Z otrzymanego wykresu możemy odczytać długość wahadła potrzebną do zastąpienia zegarka z sekundnikiem wykonanym przez siebie wahadłem.

### S.8.01.2 Przyspieszenie ziemskie

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła matematycznego.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Cienki sznurek lub mocna nitka o długości około 2 m, ciężka metalowa kulka o średnicy ok. 2 cm (z przewierconym otworem lub z haczykiem) lub ciężarek z zestawu do mechaniki, stoper, suwmiarka, przymiar metrowy.

Równanie na okres drgań wahadła matematycznego  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  pozwala na wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego, jeśli znamy długość  $l$  i okres drgań  $T$  wahadła.

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Mierzmy średnicę  $d$  kulki (lub wysokość ciężarka) za pomocą suwmiarki. Pomiar powtarzamy trzykrotnie.
- Przywiązujemy nitkę do kulki, a następnie wieszamy wahadło tak, aby mogło się swobodnie wahać.
- Wyznaczamy kilkakrotnie długość  $l$  nitki (łącznie z haczykiem).
- Odchylamy wahadło od pionu o mały kąt (do ok.  $15^\circ$ ) i puszczamy.
- Mierzmy czas  $t$  potrzebny na wykonanie dwudziestu pełnych wahaniec przy użyciu stopera. Pomiar powtarzamy trzykrotnie. Wyniki zapisujemy w tabeli.

Mierzona wielkość	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Wartość średnia
$d$ (mm)				
$l$ (m)				
$t$ (s)				
$T = t/20$ (s)				
$L = d+l$ (m)				
$g$ (m/s <sup>2</sup> )				

- Określamy niepewności pomiarów prostych  $d$ ,  $l$  i  $t$ , przyjmując za nie wartość działki elementarnej przyrządów pomiarowych.



- Wyznaczamy wartości średnie  $d$ ,  $l$  i  $t$ , ze związku:

$$x_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Za niepewności wartości średnich przyjmujemy niepewności pojedynczego pomiaru bezpośredniego, jeśli uzyskane wyniki nie różnią się od wartości średniej więcej niż o wartość niepewności pojedynczego pomiaru. W przypadku większych różnic za miarę niepewności przyjmujemy niepewność maksymalną określoną ze wzoru:

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}.$$

- Obliczamy długość wahadła:  $L = l + \frac{1}{2}d$  i jej niepewność.
- Obliczamy wartość  $g$  ze wzoru:  $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$ .
- Szacujemy niepewność pomiaru metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP) lub uproszczoną metodą logarytmiczną (UML). Odpowiadamy na pytanie, jakie czynniki wpływają na wartość niepewności pomiarowej i jakie są sposoby jej zmniejszenia?

### S.8.01.3 Rezonans mechaniczny

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie zjawiska rezonansu mechanicznego.

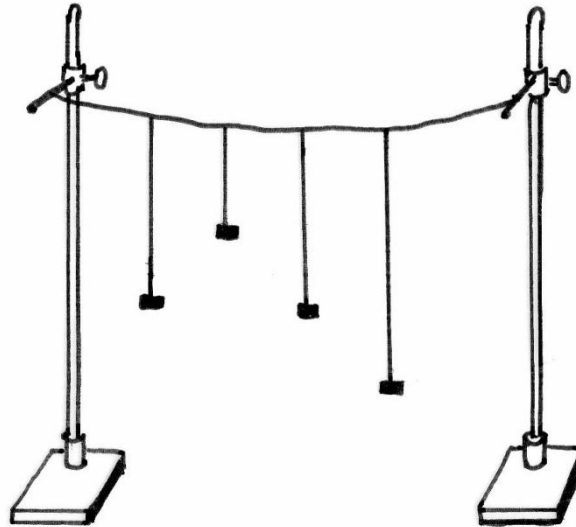
Jeśli częstotliwość siły wymuszającej i częstotliwość drgań własnych układu są równe (lub zbliżone), to amplituda drgań osiąga wartość maksymalną. Zjawisko takie nazywamy rezonansem, a częstotliwość wymuszającą drgania rezonansowe – częstotliwością rezonansową.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Sprężysty sznurek (np. tzw. szpagat), cztery kulki z plasteliny o średnicy ok. 2 cm lub duże, jednakowe nakrętki, nitka, dwa krzesła (albo ciężkie statywy), linijka.

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Kawalek sznurka o długości ok. 60 cm mocno napinamy pomiędzy np. dwoma krzesłami (statywami).
- Na sznurku wieszamy w odległości ok. 7 cm od siebie cztery kulki z plasteliny na nitkach o długości odpowiednio: 25 cm, 15 cm, 25 cm i 35 cm.



- Pierwszą z kulek (na nitce 25 cm) wychylamy z położenia równowagi i pozwalamy jej się wahać.
- Obserwujemy wszystkie kulki.
- Następnie wychylamy kulkę na nitce o długości 15 cm, a później następne i za każdym razem obserwujemy odpowiednio długo wszystkie kulki.

Jeżeli wprawimy w drgania jedno z dwóch wahadeł o jednakowej długości, zaczepionych na wspólnej, poziomo zawieszanej nitce, to wykona ono kilka gasnących wahań. W tym samym czasie drugie wahadło będzie wykonywało, początkowo słabe, wahania o narastającej amplitudzie. Następnie sytuacja ulegnie odwróceniu; wahania drugiego wahadła będą tłumione, a pierwszego zaczną narastać. Pozostałe wahadła będą wykonywać słabe chaotyczne drgania. Wprawiane w ruch jako pierwsze nie będą wywoływać zjawiska rezonansu (brak wahadeł o tych samych długościach, a tym samym częstotliwościach drgań własnych).

*Tytuł*

### **S.8.02 Fala sprężysta**

*Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, że fala to zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym i demonstracja różnych rodzajów fal.

### *Wymagana wiedza ucznia*

Pojęcie fali, fala podłużna, fala poprzeczna, wielkości charakteryzujące fale, zjawisko odbicia, interferencja fal, fala stojąca, fale na wodzie, dyfrakcja.

### **S.8.02.1 Fala sprężysta poprzeczna**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja fali sprężystej, poprzecznej powstającej na wężu gumowym.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Wąż gumowy o długości około 3 metrów (giętka skakanka lub sznur bawełniany do suszenia bielizny), kawałek kolorowej tasiemki lub sznurka, uchwyt przy ścianie (możemy wykorzystać klamkę u drzwi lub nogę od stołu).

#### *Przebieg ćwiczenia*

##### Wersja I

- Przymocujemy gumowy wąż do uchwytu przy ścianie.
- Przywiązujemy kolorową tasiemkę w połowie długości węża.
- Naciągamy lekko wąż trzymając go jedną ręką, a drugą (trzymając dłoń prostopadle) uderzamy go. Obserwujemy wąż.
- Następnie uderzamy w wąż rytmicznie w stałych odstępach czasu i obserwujemy, co się dzieje.

##### Wersja II

- Jeden koniec węża wkładamy np. pod nogę od stołu.
- Układamy wąż na podłodze, nie napinając go.
- Poruszamy (krótkim szarpnięciem) wolny koniec węża w kierunku pionowym, a prostopadłym do węża i obserwujemy zachowanie węża.
- Poruszamy wolny koniec w kierunku poziomym, prostopadłym do węża. Powtarzamy ruchy zmieniając ich częstotliwość.

Powstały na wężu impuls przemieszcza się szybko wzdłuż węża, lecz przywiązana tasiemka nie porusza się wraz z impulsem. Wykonuje drgania jedynie w górę i w dół swego położenia równowagi. W ciele stałym wychylenie pewnej jego części, z uwagi na istnienie dużych sił

oddziaływania między jego cząsteczkami, powoduje wychylenie sąsiadujących części ciała. Każdy punkt gumowego węża drga wokół położenia równowagi, a odkształcenie przesuwa się wzdłuż węża ze stałą szybkością. W taki sposób rozchodzi się w ośrodku fala poprzeczna, w której kierunek drgań cząsteczek ośrodka jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali.

### **S.8.02.2 Fala sprężysta podłużna**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja fali sprężystej podłużnej.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Sprężyna „slinky”, kij (np. od szczotki), kawałek sznurka lub plastelina, dwa krzesła (dwa statywy).

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Sprężynę nasuwamy na kij, który kładziemy na krzesłach.
- Przymocowujemy jeden koniec sprężyny i lekko ją naciągamy.
- Na drugim końcu sprężyny ściskamy kilka jej ogniw, a potem puuszczamy je swobodnie.
- Następnie wykonujemy rytmiczne ruchy wzdłuż kija i obserwujemy sprężynę.

Odształcenie fragmentu sprężyny (impuls falowy) przesuwa się wzdłuż niej jako lokalne zagęszczenie i rozrzedzenie zwojów. Kierunek drgań cząsteczek ośrodka jest w tym przypadku zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali. Sprężyna stanowi model ciała, w którym cząsteczki tworzące ośrodek wykonują drgania wokół położenia równowagi. Gdy zaburzenie ustaje, wszystkie wracają do położenia początkowego. Fale podłużne mogą rozchodzić się we wszystkich ośrodkach, które cechuje sprężystość objętości. Dotyczy to wszystkich stanów skupienia. Drgające cząsteczki ośrodka, pobudzając do drgań następne, przekazują im energię. Fala, dzięki temu, że niesie energię może wykonać pracę.

### **S.8.02.3 Fala sprężysta na wodzie**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja fali sprężystej powstającej na wodzie.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Duża, płaska, przezroczysta forma do pieczenia ciasta (płaskie, plastikowe pudełko po słodyczach, inny zbiornik lub akwarium), korek, woda.

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Do płaskiego naczynia nalewamy wody do około 5 cm wysokości.
- Na powierzchnię wody w wanience wrzucamy korek i obserwujemy powierzchnię wody patrząc na nią z góry.
- Wprawiamy korek w okresowy ruch drgający, zanurzając go raz głębiej, raz płycej w wodzie. Obserwujemy powierzchnię wody i korek patrząc na nie z boku.

Na powierzchni wody obserwujemy rozchodzące się we wszystkich kierunkach odkształcenia wywołane drganiem korka. Cząsteczki wody (ośrodka) wprawione przez korek w ruch drgają z taką samą jak on częstotliwością. Kolejne odkształcenia wody rozchodzą się w postaci kręgów, tworząc kolejno grzbiety i doliny. Patrząc z boku obserwujemy sinusoidalny kształt wody na jej powierzchni. Drgający korek jest źródłem rozchodzącego się po powierzchni wody odkształcenia – okresowej fali sprężystej.


### **S.8.02.4 Fala na wodzie**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja fali kolistej i płaskiej powstającej na wodzie.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Duża, prostokątna forma do pieczenia ciasta, kawałek taśmy stalowej o szerokości ok. 2 cm i długości ok. 60 cm lub kawałek wielokrotnie złożonej, sprasowanej folii aluminiowej, buteleczka z kropłomierzem, plastikowa linijka o długości ok. 20 cm, woda.

 Ostre krawędzie – możliwość skaleczenia.

### *Przebieg ćwiczenia*

- Do formy nalewamy wody do wysokości 1,5–2 cm.
- Z wysokości ok. 15 cm puszczaemy krople wody z kropłomierza i obserwujemy powierzchnię wody w foremce.
- Następnie uderzamy w wodę linijką (nie zanurzając jej głęboko) równolegle do krótszego boku blachy i obserwujemy powierzchnię wody.
- Z metalowej taśmy formujemy półkole o średnicy równej długości krótszego boku formy i umieszczamy je w wodzie przy jednym końcu. Taśma powinna wystawać kilka milimetrów nad powierzchnię wody.
- Przy drugim końcu uderzamy rytmicznie powierzchnię wody linijką ustawioną równolegle do krótszego boku formy.
- Dobieramy częstotliwość uderzeń tak, aby obserwować fale odbite od taśmy.

Kolisty kształt deformacji na powierzchni cieczy o środku w miejscu pierwotnego zaburzenia świadczy, że powstała fala kolista rozchodzi się w ośrodku jednorodnym we wszystkich kierunkach. Jeśli źródłem fali jest drgająca linijka ułożona równolegle do powierzchni wody, to grzbiety i doliny takiej fali będą się układały wzdłuż linii prostych, równoległych do linijki. Tak powstałą falę nazywamy falą płaską. Rozchodzi się ona po powierzchni wody tylko w jednym kierunku. Fala płaska natrafiwszy na przeszkodę, ulega odbiciu, zmieniając kierunek rozchodzenia się fali.

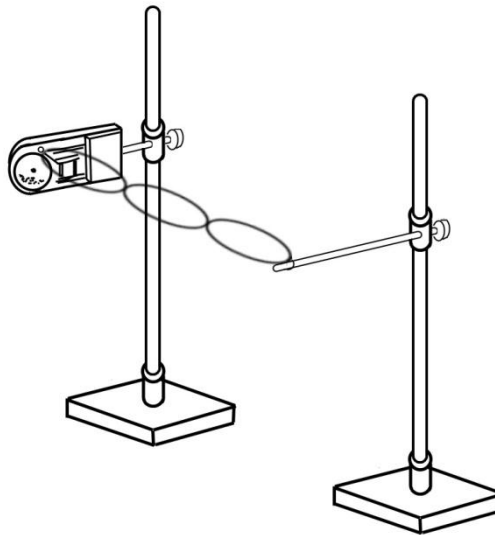
### **S.8.02.5 Fala stojąca**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie powstawania fali stojącej. Wprowadzenie pojęć węzły i strzałki oraz przedstawienie sposobu określania długości fali.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Dzwonek elektryczny z młoteczką (zdemontowany), sznurek, źródło zasilania, dwa statywy).



### *Przebieg ćwiczenia*

- Odkręcamy osłonę dzwonka.
- Przytrzymujemy dzwonek w łapkach statywu.
- Do młoteczka dzwonka przywiązujemy sznurek i trzymając w kierunku prostopadłym do drgań młoteczka rozciągamy poziomo pomiędzy dzwonkiem, a drugim statywem.
- Lekko napinamy sznurek.
- Włączamy dzwonek i obserwujemy sznurek.

W pewnych miejscach sznurka, zwanych strzałkami, sznurek drga silnie, zaś w innych, zwanych węzłami, pozostaje nieruchomy. Fale przemieszczają się od drgającego młoteczka wzdłuż sznurka i po odbiciu biegną z powrotem. Falę będącą wypadkową dwóch fal biegnących w przeciwnych kierunkach, a mających taką samą długość i amplitudę nazywamy falą stojącą. Odległość między dwoma sąsiednimi węzłami równa jest połowie długości fali. Wytworzenie fali stojącej i pomiar odległości węzłów od siebie jest częstym sposobem pomiaru długości fal np. w akustyce.

### *Tytuł*

## **S.8.03 Dźwięk**

### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie źródeł dźwięków i charakterystyka fali dźwiękowej. Poznanie zjawiska Dopplera.

*Wymagana wiedza ucznia*

Wielkości charakteryzujące falę dźwiękową, zjawisko Dopplera.

### **S.8.03.1 Źródło dźwięku**

*Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja powstawania fali dźwiękowej.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Plastikowa lub stalowa linijka o długości ok. 30 cm, stół lub ławka, ewentualnie stos ciężkich książek.

*Przebieg ćwiczenia*

- Wysuwamy linijkę ok. 25 cm poza krawędź stołu i mocno przytrzymujemy ręką (lub stosem książek) część linijki leżącą na stole.
- Wprawiamy linijkę w drgania, odchylając jej koniec od położenia równowagi.
- Następnie powtarzamy czynności zmniejszając za każdym razem (stopniowo) część linijki wysuniętą poza krawędź stołu.

Przy maksymalnym wysunięciu linijki, wykonuje ona ruch drgający, nie wydając przy tym żadnego dźwięku (zbyt mała częstotliwość drgań). Jeśli odpowiednio zmniejszymy długość drgającej linijki, to usłyszymy dźwięk. Jedna strona drgającej linijki ściska przylegającą do niej warstwę powietrza, a z drugiej strony powoduje jednocześnie jego rozrzedzenie. Następujące po sobie kolejno zagęszczenia i rozrzedzenia rozchodzą się, tworząc w powietrzu falę podłużną. Zmniejszając długość drgającej części linijki, zwiększaliśmy częstotliwość jej drgań.

### **S.8.03.2 Dzwon z łyżeczki**

*Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja powstawania i rozchodzenia się fali akustycznej.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Dwie łyżeczki, cienki sznurek o długości ok. 1 m.



### *Przebieg ćwiczenia*

- W połowie sznurka przywiązujemy łyżeczkę (łyżkę).
- Nawijamy końce sznurka na palce wskazujące i prosimy drugą osobę, aby uderzyła łyżeczką w tę przywiązaną do sznurka (lub uderzamy przywiązaną łyżeczką o stół).
- Powtarzamy doświadczenie, wkładając końce palców wskazujących do uszu i porównujemy dźwięki, jakie powstały w czasie obu prób.

Uderzając łyżeczkę, w jej niewielkim obszarze, wprawiamy drgania cząsteczki łyżki, które rozchodzą się w niej, a później przekazywane są sznurkowi. Jest to fala akustyczna. W pierwszej próbie słyszymy dźwięk przenoszony przez powietrze, we wszystkich możliwych kierunkach. Do naszych uszu trafia tylko niewielka część przenoszonej energii. W drugiej próbie sznurek i palce przenoszą znacznie więcej energii do naszych uszu, dlatego dźwięk jest zdecydowanie lepiej słyszalny.

### **S.8.03.3 Domowa orkiestra**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Demonstracja powstawania fali dźwiękowej w różnych instrumentach muzycznych. Pokazanie wpływu pudła rezonansowego na głośność dźwięku. Sprawdzenie, czy długość drgającego słupa powietrza wpływa na wysokość wydawanego dźwięku. Wykonanie różnych instrumentów muzycznych.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Pudło po butach z przykrywką, przykrywka (lub karton o wymiarach) pudła po butach, nitka nylonowa lub cienka gumka kapelusznicza, pinezki, nożyczki, klej do papieru, rurki do napojów, taśma klejąca, kilka szklanych, wąskich butelek po napojach, woda, plastikowy kubek lub puszka po groszku, balon, gumka recepturka, zapalka lub gwóźdź, blaszana wanienska (duża tortownica lub duże blaszane wiadro), drewniany drążek o długości ok. 1,5 m, mocny sznurek, narzędzia.



Ostre narzędzia, możliwość skaleczenia.

## *Przebieg ćwiczenia*

### Gitara

- Wycinamy w dnie pudełka po butach okrągły otwór o średnicy około 8 cm, na środku w odległości ok. 10 cm od krótszej krawędzi dna pudełka.
- Pasek kartonu o wymiarach ok. 4 cm x 10 cm składamy na pół wzdłuż, wykonujemy z niego tzw. podstawek i przyklejamy równolegle do krawędzi na szerokości wyciętego otworu pomiędzy otworem, a krawędzią pudła.
- Ucinamy sześć odpowiednio długich kawałków nitki i przypinamy za pomocą pinezek, mocno je napinając, do boku pudła tak, aby wsparte o podstawek znalazły się nad wyciętym otworem.
- Przypinamy takie same nitki, w tej samej odległości od siebie do płaskiego kartonu.
- Szarpiemy za struny obu instrumentów i porównujemy wydawane dźwięki.

Drgające naciągnięte nitki (gumki) wprawiają w drgania otaczające je powietrze. Gdy nie ma pudła energia drgającej struny przekazywana jest równomiernie we wszystkich kierunkach i do naszych uszu dociera słabo słyszalny dźwięk. Obecność pudła powoduje, że drgania gumki są wzmocnione i szybciej przekazywane do otoczenia (tak działa pudło rezonansowe gitary). Im bardziej napięta nić, tym wyższy wydaje dźwięk.

### Flet

- Odcinamy z dwóch boków jednego końca słomki kawałki o długości ok. 1 cm tak, aby uzyskać końcówkę w kształcie trójkąta (stroik fletu).
- Wkładamy stroik do ust i lekko dociskając ustami dmuchamy, aż uda nam się wydobyć dźwięk.
- Ciągłe dmuchając w słomkę (w trakcie wydobywania się dźwięku), odcinamy stopniowo kawałki drugiego końca słomki i wsłuchujemy się w wydawany dźwięk.

Wdmuchiwanie do słomki powietrze wprawia w drgania stroik, a ten przekazuje je powietrzu wewnątrz słomki. Wysokość dźwięku wzrasta, gdy słomka zostaje skrócona.

### Fletnia

- Siedem rurek do napojów nalepiamy równolegle na taśmie samoprzylepnej w odległości około 10 mm.

- Skracamy rurki tak, aby każda następna była ok. 1 cm krótsza.
- Dmuchamy delikatnie w poprzek górnego końca każdej z rurek.

#### Organy

- Sześć butelek napełniamy wodą do różnej wysokości (stopniowo zwiększamy wysokość słupa wody w butelce).
- Dmuchamy w poprzek otworu każdej kolejnej butelki i wsłuchujemy się w wydawany dźwięk.

Dmuchając do butelek wytwarzamy drgania powietrza znajdującego się nad powierzchnią wody (we flecie drgania powietrza wewnątrz słomki). Wysokość dźwięku zależy od wysokości słupa powietrza.

#### Jednostrunowa gitara

- Na plastikowy kubek lub pustą puszkę (z jednym denkiem) nakładamy wokół dużą gumkę recepturkę tak, aby była dość dobrze naciągnięta.
- Szarpiemy gumkę palcem nad otworem. Słuchamy wydawanych dźwięków.
- Nawijamy gumkę na zapalnik (lub gwóźdź) zwiększając stopniowo jej naciąg (jednak tak, aby nie pękła). Za każdym razem szarpiemy gumkę i porównujemy wydawane dźwięki.

Im silniej napięta jest gumka tym dźwięk struny jest wyższy. Na tym między innymi polega strojenie instrumentów strunowych.

#### Kontrabas

- Wycinamy rowki na końcach długiego drążka.
- Przymocowujemy drążek do obrzeża odwróconej do góry dnem wanienki (dużej tortownicy, wiadra).
- W środku dna robimy niewielki otwór, przeciągamy przez niego sznurek i zawiązujemy na końcu supeł, żeby sznurka nie można było wyciągnąć.
- Drugi koniec sznurka przywiązujemy lekko napięty do drążka.

- Postawioną na obrzeżu stopą przyciskamy wanienkę do ziemi, a palcami szarpiemy sznurek napinany drugą ręką.

Kiedy szarpiemy sznurek zaczyna on drgać, a drgania przenoszone są do dna wanienki, które również zaczyna drgać. Słyszymy wyraźny dźwięk. Im mocniej napięta jest struna, tym wyższy słyszemy dźwięk.

#### **S.8.03.4 Zjawisko Dopplera**

##### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, jak zmienia się wysokość dźwięku odbieranego od poruszającego się obiektu.

Zjawiskiem Dopplera w akustyce nazywamy zmianę częstotliwości odbieranego dźwięku w zależności od prędkości źródła (rozbieżność między częstotliwością dźwięku wysyłanego przez nadajnik a częstotliwością tego dźwięku odbieranego przez odbiornik, gdy obiekty te poruszają się względem siebie).

##### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Głośno tykający budzik (kuchenny minutnik lub inne źródło dźwięku), kawałek mocnego sznurka, siatka po owocach, dwie osoby lub jedna i statyw.

##### *Przebieg ćwiczenia*

- Obserwacje prowadzimy z odległości około 2-3 kroków od budzika.
- Dzwoniący budzik umieszczamy w siatce (wieszamy za uchwyt budzika na sznurku) i trzymając w ręku wprawiamy w ruch wahadłowy (lub mocujemy do statywu i wprawiamy w ruch wahadłowy). Jeśli mamy dużo miejsca i wykonujemy doświadczenie w dwie osoby, to jedna z osób może trzymając budzik na sznurku zataczać nim okręgi nad głową (lub obok siebie).
- Ustawiamy się w odpowiedniej odległości od budzika (lub od siebie, jeśli doświadczenie wykonujemy w dwie osoby) i słuchamy jego dźwięku. Potem ewentualnie zamieniamy się rolami.

Wysokość słyszanego przez nas dźwięku zależy od jego częstotliwości. Jeśli źródło dźwięku zbliża się do nas, to w tym samym czasie odbieramy więcej fal dźwiękowych (fale docierają

do obserwatora z prędkością będąca sumą prędkości dźwięku i prędkości źródła). Skutkuje to zmianą częstotliwości odbieranego przez nas dźwięku. Jeśli nadajnik się zbliża odbierana częstotliwość rośnie (słyszymy wyższy dźwięk), jeśli oddala to maleje (dźwięk niższy).

*Tytuł*

### **S.8.04 Światło**

*Cel ćwiczenia, opis*

Poznanie natury światła i najważniejszych praw optyki geometrycznej.

*Wymagana wiedza ucznia*

Światło, fala elektromagnetyczna, prawo odbicia, prawo załamania, rozproszenie światła, całkowite wewnętrzne odbicie, dyfrakcja, interferencja, polaryzacja, zwierciadła, soczewki, pryzmat, siatka dyfrakcyjna, przyrządy optyczne, laser.


#### **S.8.04.1 Jak rozchodzi się światło?**

*Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, że w ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

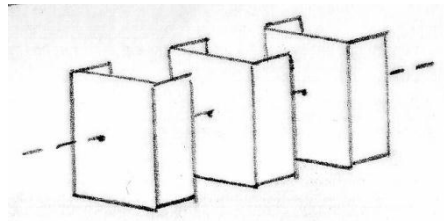
Karton z bloku technicznego, latarka, gruba igła, nitka.

 Ostre narzędzia, zagrożenie skaleczeniem.

*Przebieg ćwiczenia*

- Wycinamy trzy prostokąty np. wielkości połowy kartki A4.
- Składamy kartony razem i przekłuwamy je w środku igłą.
- Zaginamy kartony, w tych samych odległościach (ok. 4 cm) od dwóch naprzeciwległych, krótszych krawędzi.

- Ustawiamy kartony na stole, jeden za drugim tak, aby otworki znajdowały się na jednej linii (żeby mieć pewność, przeciągamy przez otwory nitkę i naciągamy ją).



- Na wysokości otworów ustawiamy latarkę i włączamy ją.
- Zaskłaniamy okna (ewentualnie wyłączamy światło, możemy również wszystko przykryć dużym pudłem z okienkiem, przez które będziemy patrzeć) i patrzymy przez trzy otwory jednocześnie na latarkę.
- Przesuwamy jeden z kartoników i patrzymy, czy w dalszym ciągu widać latarkę.

W pierwszej części doświadczenia światło latarki jest widoczne, po przesunięciu jednego z kartoników już nie. Dowodzi to, że w ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo.

#### **S.8.04.2 Prostoliniowy bieg światła**

##### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, z zastosowaniem metody szpilek, że w ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo.

##### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Podstawa ze styropianu wielkości kartki z zeszytu, szpilki krawieckie, kartka z zeszytu, linijka, ołówek.

##### *Przebieg ćwiczenia*

- Na podstawkę ze styropianu kładziemy kartkę z zeszytu.
- Wbijamy szpilkę w odległości ok. 2 cm od krótszego boku.
- Patrzymy na szpilkę (najlepiej zamykając jedno oko) trzymając podstawkę na wysokości oka.
- Ustawiamy następne szpilki (około pięciu) coraz dalej od krawędzi, przy której stoi szpilka tak, aby cały czas widzieć tylko pierwszą szpilkę.

- Kładziemy podstawkę na stole, wyciągamy szpilki i rysujemy linię przechodzącą przez dziurki po wbitych szpilkach.

Narysowana linia jest linią prostą. Doświadczenie dowodzi prostoliniowości rozchodzenia się światła. Metoda ta wykorzystywana jest np. przez geodetów do wyznaczania linii prostej w terenie.

### **S.8.04.3 Ogniskowa soczewki**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, z zastosowaniem metody szpilek, ogniska soczewki skupiającej (rozpraszającej).

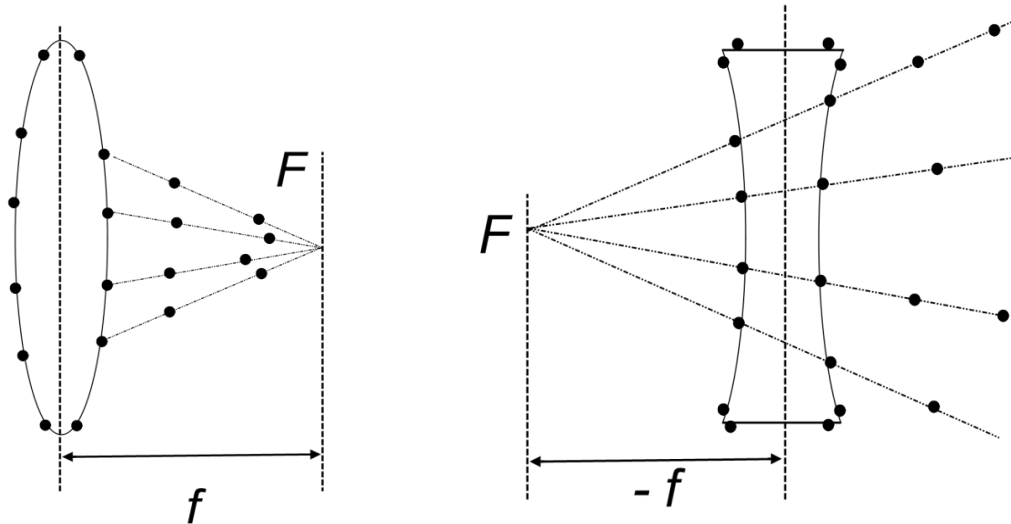
#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Podstawka ze styropianu wielkości kartki z zeszytu, szpilki krawieckie, soczewki z zestawu do optyki geometrycznej (stolika optycznego lub wykonane z żelatyny lub galaretki owocowej, rozpuszczonych w mniejszej ilości wody), ołówek, linijka.

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Na podstawkę ze styropianu kładziemy kartkę z zeszytu.
- Mocujemy soczewkę do podstawki, wbijając przy jej końcach po dwie szpileczki z każdej strony tak, aby łepki szpilek przytrzymały soczewkę oraz kilka szpilek z boku podstawki, aby można z nich było łatwo korzystać w dalszej części doświadczenia (Rysunki poniżej).
- Wbijamy szpilkę przed soczewką, ok. 0,5 cm w prawo od jej osi głównej.
- Patrzymy na szpilkę (najlepiej zamykając jedno oko) trzymając podstawkę na wysokości oka.
- Bierzymy następną szpilkę do ręki i wstawiamy ją tuż za soczewką w takim miejscu, aby przy patrzeniu przez soczewkę nie było jej widać (była zasłonięta przez szpilkę wbity przed soczewką).
- Postępujemy analogicznie z następną szpilką odsuwając ją około 2 cm od ostatnio wbitej szpilki (od siebie). W ten sam sposób postępujemy z kolejną szpilką.
- Następnie wbijamy szpilkę przed soczewką ok. 0,5 cm w lewo od jej osi głównej i następne szpilki za soczewką coraz dalej od niej (tak samo jak za pierwszym razem).

- Powtarzamy czynności jeszcze dwukrotnie, odsuwając szpilki o następne 0,5 cm w prawo i w lewo głównej osi optycznej soczewki.
- Kładziemy podstawkę na stole, obrysowujemy soczewkę i rysujemy linie wzdłuż śladów szpilek (Rysunek z lewej poniżej).



Narysowane linie proste przecinają się w jednym punkcie zwanym ogniskiem soczewki. Odległość ogniska od środka soczewki nazywamy jej ogniskową. Dla soczewki rozpraszającej (Rysunek z prawej powyżej), przedłużamy linie przed soczewką i znajdujemy ognisko pozorne.

#### S.8.04.4 Odbicie światła

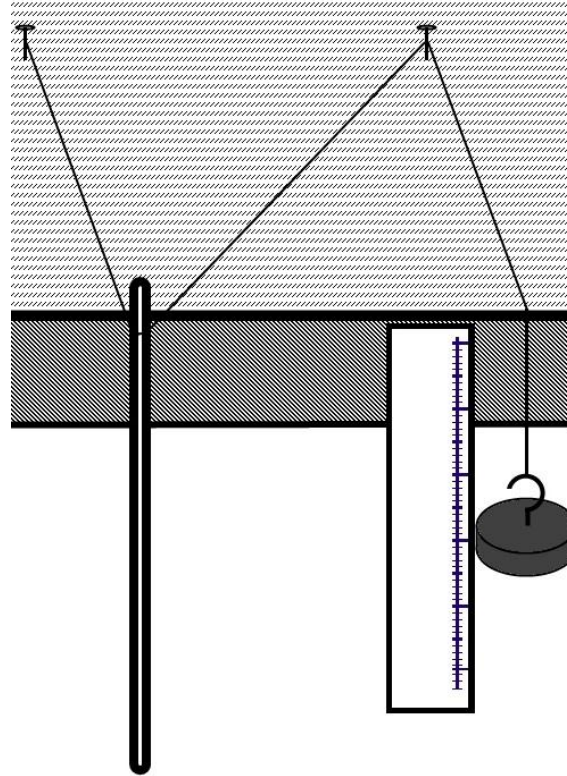
##### *Cel ćwiczenia, opis*

Modelowanie odbicia światła od granicy dwóch ośrodków w oparciu o zasadę Fermata.

##### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Deska wielkości co najmniej ok. 15 cm x 25 cm, gwoźdźniki, cienki pręt lub patyczek (np. do szaszłyków) krótka linijka, nitka, niewielki obciążnik (np. ciężarek z zestawu do mechaniki), kreda, kątomierz, młotek.





#### Przebieg ćwiczenia

- W deskę leżącą dłuższym bokiem wzdłuż krawędzi stołu wbijamy dwa gwoźdźdiki w odległości ok. 10 cm od krawędzi i ok. 15 cm od siebie (Rysunek powyżej).
- Na końcu nitki wiążemy pętelkę i zaczepiamy ją o pierwszy z gwoźdździków.
- Nitkę przerzucamy przez drugi gwoźdździk i przywiązujemy do końca nitki niewielki odważnik, który układamy tak, aby zwisał swobodnie ze stołu.
- Wzdłuż nitki z odważnikiem przyczepiamy do stołu krótką linijkę (prostopadle do jego krawędzi).
- Nitkę pomiędzy gwoźdździkami odchylamy przy pomocy cienkiego pręta tak, by trzymany pionowo pręt był styczny do krawędzi stołu. W ten sposób naprężona nić zaczepiona pomiędzy dwoma gwoźdździami symbolizować będzie promień świetlny, a krawędź deski – powierzchnię graniczną między dwoma ośrodkami.
- Przesuwamy pręt wzdłuż krawędzi stołu (deski) i obserwujemy położenie ciężarka.
- Mierzmy kąty pomiędzy normalną do krawędzi (możemy ją narysować kredą) a obiema nitkami w przypadku, gdy obciążnik znajduje się w najniższym punkcie.

Gdy obciążnik znajduje się w najniższym położeniu, długość nitki rozpiętej pomiędzy gwoźdździkami jest najkrótsza. Zgodnie z zasadą Fermata promień świetlny biegnący między

dwoma punktami (miejsca wbicia gwoździ) porusza się po torze, na przebycie którego potrzebuje najmniej czasu. Ponieważ promień świetlny padający i odbity rozchodzą się w tym samym ośrodku i szybkość światła się nie zmienia oznacza to, że przebywają w tym samym czasie najkrótszą z możliwych dróg, poruszając się po torach prostoliniowych. Odpowiada to w naszym doświadczeniu sytuacji, gdy nić rozpięta między gwoździkami jest najkrótsza. Pomiar kątowny, będących odpowiednikami kąta padania i odbicia pokazują, że są one jednakowe.

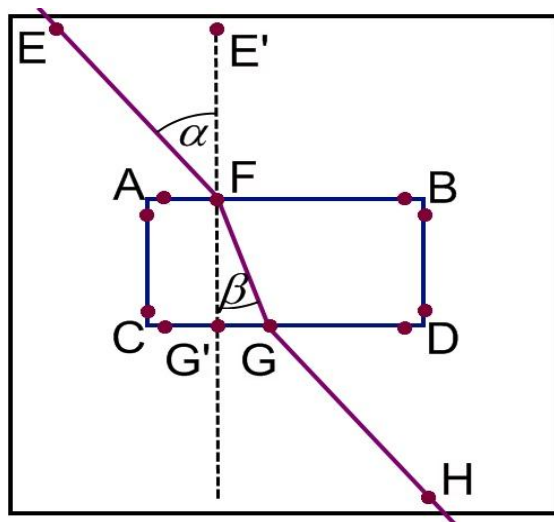
### S.8.04.5 Współczynnik załamania szkła

*Cel ćwiczenia, opis*

Wyznaczenie, z zastosowaniem metody szpilek, współczynnika załamania szkła za pomocą płytki równoległościennej.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Podstawka ze styropianu wielkości kartki z zeszytu, szpilki krawieckie, płytka równoległościenna z zestawu do optyki geometrycznej (stolika optycznego lub pudełeczko po tabletkach TIC-TAC napelnione wodą), kartka papieru, ołówek, linijka.



*Przebieg ćwiczenia*

- Na podstawkę ze styropianu kładziemy kartkę z zeszytu.
- Mocujemy płytkę równoległościenną do podstawki, wbijając przy jej rogach po dwie szpileczki tak, aby łepki szpilek przytrzymały płytkę (Rysunek powyżej).

- Wbijamy po jednej stronie płytki szpilki F, E (F tuż przy krawędzi płytki, E dość daleko od niej) tak, by linia łącząca je tworzyła kąt  $\alpha = 40-50$  stopni z prostopadłą do krawędzi AB płytki.
- Patrzymy na szpilki F, E przez płytkę od strony krawędzi CD, równoległe do powierzchni kartki z takiego kierunku, żeby ich obrazy się pokryły.
- Wbijamy dwie następne szpilki G, H tak, aby wydawało nam się, że wszystkie cztery szpilki znajdują się na jednej prostej (szpilkę G tuż przy krawędzi płytki, a H możliwie daleko od niej).
- Obrysowujemy płytkę oraz zaznaczamy symbolami E, F, G, H położenia odpowiadających im szpilek.
- Usuwamy szpilki i płytkę. Na kartce rysujemy wyznaczony szpilkami bieg promienia świetlnego oraz prostą prostopadłą do krawędzi AB w punkcie F. Punkt przecięcia prostopadłej z krawędzią CD oznaczamy G'.
- Konstruujemy trójkąty prostokątne EFE' oraz GFG'.
- Mierzmy trzykrotnie długości boków EE', EF, GG', GF i zapisujemy je w tabeli.

Mierzony odcinek	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Wartość średnia
EE'				EE' <sub>śr</sub> =
EF				EF <sub>śr</sub> =
GG'				GG' <sub>śr</sub> =
GF				GF <sub>śr</sub> =

- Obliczamy  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\frac{EE'}{EF}}{\frac{GG'}{GF}} = \frac{EE' \cdot GF}{EF \cdot GG'}$ .
- Obliczamy niepewność pomiaru (np. uproszczoną metodą logarytmiczną).

# Doświadczenia do wykonania na uczelni

*Tytuł*

## **U.8.01 Ruch drgający**

*Cel ćwiczenia, opis*

Poznanie wielkości opisujących ruch drgający i zjawiska rezonansu mechanicznego.

*Wymagana wiedza ucznia*

Ruch harmoniczny, amplituda, okres, częstotliwość, energia w ruchu harmonicznym, drgania wymuszone i rezonansowe, wahadło matematyczne, wahadło fizyczne, krzywe Lissajous.

### **U.8.01.1 Składanie drgań**

*Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, że złożone ruchy okresowe dadzą się przedstawić, jako ruch wypadkowy ruchów drgających prostych oraz zademonstrowanie krzywych Lissajous.

Dodawanie dwóch drgań harmonicznnych zachodzących w kierunkach wzajemnie prostopadłych, przy założeniu, że stosunek ich częstości jest liczbą wymierną, daje drganie wypadkowe tworzące tzw. krzywą Lissajous. Kształt krzywej zależy od stosunku częstości drgań składowych i od fazy początkowej.

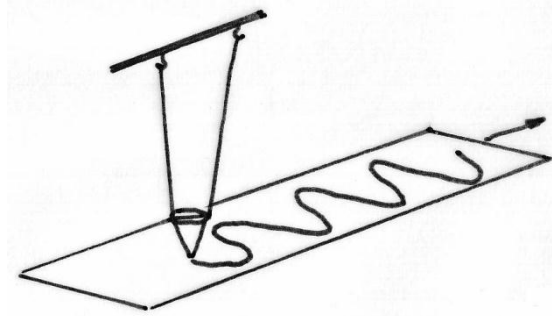
*Niezbędne przedmioty i materiały*

Wahadło w kształcie lejka z cienkiej blachy o podwójnym zawieszeniu, statyw z metalową poprzeczką i dwoma haczykami, suchy piasek, tektura o wymiarach ok. 25 cm x 100 cm, gąbka, woda.

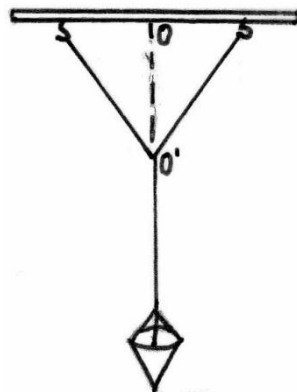
*Przebieg ćwiczenia*

- Wahadło zawieszamy na dwóch nitkach (Rysunek poniżej), będących przedłużeniem powierzchni bocznej stożka tworzącego wahadło.

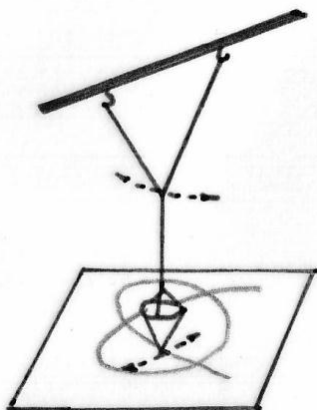
- Pod otworem lejka umieszczamy początek tekturki przetartej gąbką zwilżoną lekko wodą.
- Nasypujemy do lejka piasku zatykając palcem otwór wahadła.
- Wprawiamy wahadło w ruch drgający, zdejmujemy palec zatykający otwór, a tekturkę przesuwamy ruchem jednostajnym, prostopadle do płaszczyzny wahań.



Otrzymujemy linię falową, będącą wykresem zależności wychYLENIA od czasu w ruchu drgającym.



- Wprawiamy w ruch wahadło z piaskiem (rysunek powyżej) zawieszone w  $O$  w jednym kierunku, a w  $O'$  w kierunku do niego prostopadłym. Obserwujemy ślady na kartonie.
- Skracamy sznurek zawieszony w  $O'$  zmieniając okres drgań i za każdym razem obserwujemy złożenie drgań.



Otrzymujemy krzywe Lissajous. Doświadczenie potwierdza, że złożone ruchy okresowe dają się przedstawić jako wypadkowy ruchów harmonicznym prostym.

## U.8.01.2 Ruch harmoniczny prosty

### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, że ruch po okręgu jest złożeniem dwóch ruchów harmoniczných prostých odbywających się wzdłuż prostých wzajemnie prostopadłych i przesuniętych w fazie o  $\pi/2$ . Wyprowadzenie wzorów na współrzędne położenia (wychylenia), prędkości, przyspieszenia i siły w ruchu po okręgu.

### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Gramofon (tarcza obrotowa), dwa ekrany, dwa źródła światła, drewniana kulka (plastelina), modele wektorów (można wektory wyciąć z kartonu).

### *Przebieg ćwiczenia*

- Na obrotowe ramię gramofonu (lub do obrotowej tarczy) nakładamy drewnianą kulkę (przyklejamy kulkę z plasteliny).
- Obok gramofony ustawiamy dwa ekrany (wzajemnie do siebie prostopadłe).
- Oświetlamy tarczę dwiema równoległymi wiązkami światła tak, aby na ekranach widoczny był wyraźny cień kulki.
- Włączamy gramofon i obserwujemy ruch cienia kulki na ekranach.

Ruchy cienia kulki są ruchami drgającymi o amplitudzie  $A$  równej długości ramienia, na którym zamontowana jest kulka (promienia okręgu, po którym porusza się kulka). Na podstawie doświadczenia możemy wyprowadzić wzory przedstawiające zależność wychylenia od czasu, w każdym z ruchów. Kulkę traktujemy jako punkt materialny poruszający się po okręgu, a jej cienie na ekranach jako rzuty chwilowych położeń na osie kartezyjańskiego układu współrzędnych.

- Do kulki doczepiamy wektor, przedstawiający prędkość kulki w ruchu po okręgu.
- Włączamy gramofon i na ekranach obserwujemy ruchy cienia wektora prędkości.
- Następnie doczepiamy wektor przedstawiający występujące w rozważanym ruchu po okręgu przyspieszenie dośrodkowe.

Analogicznie, jak w pierwszej części doświadczenia, możemy wyprowadzić wzory na współrzędną prędkości i współrzędną przyspieszenia w ruchu po okręgu, który rozłożyliśmy na ruchy harmoniczne.

### **U.8.01.3 Rezonans mechaniczny**

*Cel ćwiczenia, opis*

Zademonstrowanie zjawiska rezonansu mechanicznego.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Przyrząd do pokazu zjawiska rezonansu mechanicznego (podstawka - huśtawka (kołyska) z zamontowanymi na osi obrotu trzema metalowymi prętami różnej długości, zakończonymi metalowymi krążkami).

*Przebieg ćwiczenia*

- Wprawiamy huśtawkę w energiczne drgania o zmiennej częstotliwości i obserwujemy zachowanie metalowych prętów.

W zależności od częstotliwości drgań wymuszających, w drgania wprawiane są pręty o tej (lub zbliżonej) częstotliwości drgań własnych.

### **U.8.01.4 Drgania własne układu**

*Cel ćwiczenia, opis*

Badanie drgań własnych układu złożonego ze sprężyny i obciążnika. Wyznaczenie wartości współczynnika  $k$  sprężyny.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Sprężyna, odważniki, statyw, stoper.

*Przebieg ćwiczenia*

- Zawieszamy sprężynę na statywie, a na niej odważnik dobrany tak, aby wydłużenie sprężyny nie przekraczało 2 cm.

- Wychylamy odważnik z położenia równowagi i po puszczeniu go wyznaczamy za pomocą stopera czas dziesięciu pionowych drgnień.
- Powtarzamy pomiary po zwiększeniu obciążenia sprężyny odważnikami o masie kolejno: dwukrotnie, czterokrotnie i dziewięciokrotnie większej. Wyniki zapisujemy w tabeli.

Masa odważników	m	2m	4m	9m
Czas 10 drgnień				
Okres drgań				

- Określamy niepewność pomiaru okresu drgań.
- Zaznaczamy punkty pomiarowe wraz z ich niepewnościami na wykresie zależności okresu drgań własnych od pierwiastka kwadratowego z masy układu.
- Wykorzystując znajomość zależności liniowej okresu drgań od pierwiastka kwadratowego z masy układu:  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ , obliczamy wartość współczynnika  $k$ , wiedząc, że współczynnik kierunkowy wykreślonej prostej, czyli tangens kąta, pod jakim nachylona jest do osi poziomej, równy jest  $\frac{2\pi}{\sqrt{k}}$ .

*Tytuł*

## **U.8.02 Fala sprężysta**

*Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, że fala to zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym i demonstracja różnych rodzajów i właściwości fal.

*Wymagana wiedza ucznia*

Pojęcie fali, fala podłużna, fala poprzeczna, wielkości charakteryzujące fale, zjawisko odbicia fali, interferencja fal, fala stojąca, fale na wodzie, zasada Huygensa, dyfrakcja.



### U.8.02.1 Fala podłużna i poprzeczna

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Wytwarzanie i obserwacja fali podłużnej i poprzecznej.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Przyrząd do modelowania jednowymiarowej fali (możemy również wykonać go samodzielnie).

Przygotowanie przyrządu.

- Do gumki modelarskiej przywiązujemy co 5 cm nici o długości około 30 cm.
- W miejscach połączeń mocujemy jednakowe ciężarki z zestawu do mechaniki.
- Naciągamy lekko gumkę, a jej końce zaczepiamy do pionowych wsporników (statywów) podtrzymujących poziomą listwę.
- Wolne końce nici, po uformowaniu pętelek, zawieszamy na drewnianej listwie umieszczonej na wspornikach (statywach).

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Lekko uderzamy w skrajny ciężarek prostopadle do kierunku wyznaczonego przez napiętą gumkę i obserwujemy zachowanie ciężarków.
- Po ustaniu drgań uderzamy ponownie skrajny ciężarek teraz w kierunku wyznaczonym przez gumkę (w stronę sąsiedniego ciężarka) i obserwujemy przyrząd.

W przedstawionym doświadczeniu modelowym kolejne ciężarki symbolizują elementy ośrodka sprężystego. Po dojściu zaburzenia rozchodzącego się w sprężystej gumie, każdy z odważników wykonuje drgania harmoniczne wokół swego położenia równowagi. W obu sytuacjach kierunek rozchodzenia się fali wyznaczony jest przez napiętą gumkę, ale różny jest kierunek drgań poszczególnych elementów ośrodka względem tego kierunku. Jeżeli wychylenia są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali, to falę nazywamy poprzeczną, jeśli równoległe - podłużną.

### **U.8.02.2 Fale na wodzie**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Obserwacja zjawisk falowych na powierzchni swobodnej wody.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Wanienka do demonstracji fal (duże płaskie naczynie z przezroczystym dnem) z dodatkowym wyposażeniem, grafoskop, ekran, woda.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Obserwacja deformacji powierzchni swobodnej wody dla źródła punktowego i o kształcie płaskim.
- Obserwacja fal wytworzonych na powierzchni wody przez dwa źródła punktowe – interferencja fal.
- Obserwacja fal wytworzonych na powierzchni wody przez liniowy układ źródeł punktowych.
- Obserwacja zmiany kształtu fali na przeszkodzie – dyfrakcja fali.
- Obserwacja zmiany kształtu powierzchni falowych fali po przejściu przez przeszkodę (jedną szczelinę, układ szczelin).

#### *Tytuł*

### **U.8.03 Dźwięk**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie źródeł dźwięków i charakterystyka fali dźwiękowej.

#### *Wymagana wiedza ucznia*

Wielkości charakteryzujące falę dźwiękową, dźwięki, tony, szmery, cechy dźwięków, fale podłużne i poprzeczne, interferencja fali, fala stojąca, rezonans.

### U.8.03.1 Kamerton


#### *Cel ćwiczenia, opis*

Poznanie kamertonu jako źródła dźwięku i pokazanie, że dźwięk jest falą.

Kamerton, to zgięty, metalowy pręt umocowany na drewnianym uchwycie lub na otwartym z boku pudle.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

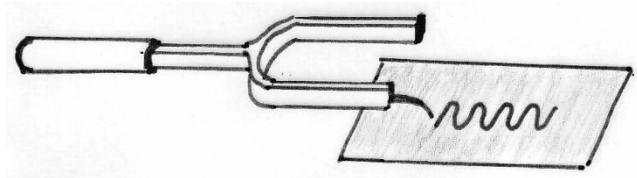
Kamerton z rysikiem, szklana szybka, świeca, zapałki.

 Wysoka temperatura, możliwość poparzenia.

#### *Przebieg ćwiczenia*

- Pokrywamy szklaną szybką cienką warstwą sadzy nad płomieniem świecy.
- Uderzamy w kamerton z rysikiem.
- Przykładamy rysik do okopconej szybki i przesuwamy go wzdłuż niej, równoległe do drgającego pręta.

Jeśli uderzamy jeden koniec kamertonu, to wykonuje on drgania, które przenoszone są na pudło. Kamerton jest źródłem fali dźwiękowej, zwanej tonem. Falista linia zakreślana przez rysik obrazuje drgania, które wykonuje źródło wydające ton.



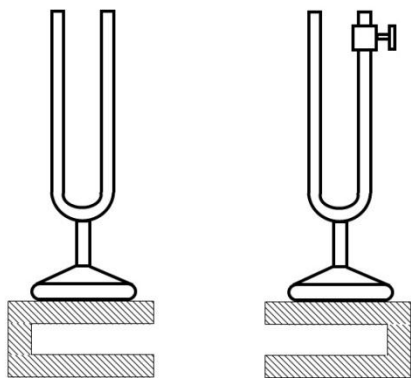
### U.8.03.2 Rezonans akustyczny

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie zjawiska rezonansu akustycznego.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Dwa identyczne kamertony (wydające ten sam ton) na pudełkach rezonansowych, młoteczek, metalowy uchwyt do nałożenia na widelki kamertonu.



### *Przebieg ćwiczenia*

- Kamertony ustawiamy w niewielkiej odległości, otworami w pudełkach do siebie.
- Pobudzamy jeden z kamertonów do drgań.
- Następnie wygaszamy drgania, przytrzymując jego widełki ręką i słuchamy, co się dzieje.
- Powtarzamy czynności, po nałożeniu na drugi kamerton metalowej nakładki.

Po krótkim czasie drugi kamerton zostaje pobudzony do drgań przez cząsteczki powietrza, tzn. przez falę akustyczną wysyłaną przez pierwszy kamerton, jeśli częstotliwości ich drgań są jednakowe. Obserwowane zjawisko nazywamy rezonansem akustycznym. Po nałożeniu metalowej nakładki (zmieniamy okres drgań widełek) zjawisko nie występuje.

### **U.8.03.3 Dźwięk w próżni**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Pokazanie, że dźwięk rozchodzi się w ośrodkach sprężystych.

#### *Niezbędne przedmioty i materiały*

Budzik najlepiej z zewnętrznym młoteczkem (minutnik), pompa próżniowa z kloszem.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

### Przebieg ćwiczenia

- Dzwoniący budzik wstawiamy pod klosz pompy próżniowej i wypompowujemy powietrze spod klosza. Słuchamy dźwięku budzika.

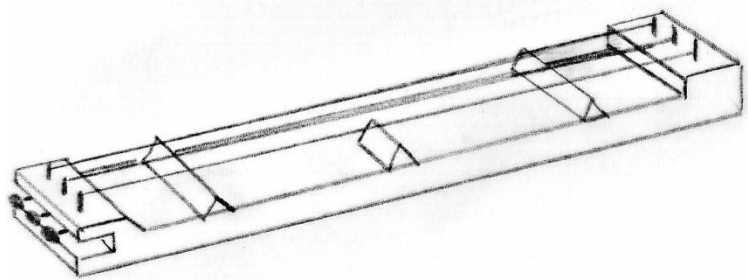
Dźwięk przenoszony jest przez ośrodek sprężysty - powietrze, we wszystkich możliwych kierunkach. Po wypompowywaniu powietrza spod klosza dźwięk przestaje być słyszalny.

### U.8.03.4 Drgania strun

#### Cel ćwiczenia, opis


Pokazanie, dźwięków wydawanych przez struny i sprawdzenie, od czego zależy wydawany przez strunę dźwięk.

Polychord to przyrząd, który w najprostszym wykonaniu stanowi podłużna deska o szerokości około 10 cm i długości 80 cm, wzdłuż której rozpięte są struny. Inna wersja zawiera drewniane pudło z otworami, w którym rezonuje zawarte w nim powietrze, wzmacniając drgania strun. Z jednej strony struny zamocowane są na stałe, z drugiej przyłączone są do wkrętek, na które możemy struny nawijać, zmieniając w ten sposób ich naprężenie. Struny podparte są na pryzmatycznych podstawkach o mosiężnych krawędziach. Dwie podstawki są nieruchome, trzecia daje się przesuwać i w ten sposób zmieniać długość napiętej struny.



#### Niezbędne przedmioty i materiały

Polychord ze strunami.

 Ostre przedmioty, możliwość skaleczenia.

### Przebieg ćwiczenia

- Sprawdzamy, jak wychylenie struny, jej naprężenie, długość i grubość wpływa na wydawany przez nią dźwięk.

Słuchając wydawanych przez struny dźwięków możemy stwierdzić, że im krótsza jest struna, silniej napięta i cieńsza tym dźwięk, jaki wydaje jest wyższy (większa częstotliwość). Wydawany dźwięk zależy również od tego, z jakiego materiału wykonana jest struna.

#### **U.8.03.5 Długość fali akustycznej**

##### *Cel ćwiczenia, opis*

Badanie fali akustycznej, pokazanie powstawania fali stojącej i demonstrowanie zjawiska rezonansu.

Przyrząd do demonstracji fal akustycznych składa się z piszczałki do wytwarzania fal i rury rezonansowej podobnej do rury Kundta. Piszczałka i rura są zamontowane na wspólnej podstawie. Piszczałka o średnicy 10 mm i długości 105 mm jest typem piszczałki krytej wargowej, którą pobudzamy do drgań gruszką gumową. Zamyka ją tłoczek o długości 100 mm z podziałką. Przesuwając tłoczek zmieniamy długość słupa powietrza w piszczałce. Podziałka na tłoczku jest tak wykonana, że odczytując wskazanie na krawędzi piszczałki otrzymujemy bezpośrednio długość słupa powietrza – czynną długość piszczałki. Długość fali równa się czterokrotnej długości piszczałki. Najdłuższa fala, jaką może wytworzyć piszczałka wynosi 32 cm. Rura rezonansowa jest rurą szklaną o średnicy 2 cm i długości 40 cm. Do rury wkłada się tłok korkowy osadzony na pręcie. Bez tłoka rura jest rezonatorem otwartym o stałej długości; po wsunięciu tłoka staje się rezonatorem zamkniętym na jednym końcu i może mieć różne długości w zależności od położenia tłoka.

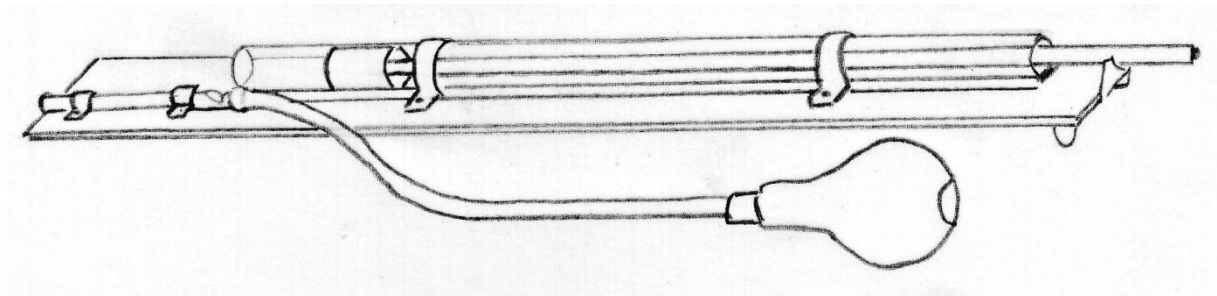
W rurze rezonansowej możemy wzbudzić drgania falą, wytworzoną przez piszczałkę, o ile częstotliwość drgań własnych słupa powietrza w rurze, równa jest częstotliwości drgań fali dźwiękowej piszczałki.

W rurze rezonansowej powstaje fala stojąca na skutek nakładania się fali biegnącej i odbitej. Fala ta w rurze zamkniętej ma węzeł na końcu zamkniętym, a strzałkę na końcu otwartym. Liczba węzłów i strzałek zależy od długości rury i częstotliwości drgań wzbudzonych. Długość rury równa jest nieparzystej wielokrotności  $\frac{1}{4}$  długości fali.

Fala stojąca w rurze otwartej na obu tych końcach strzałki. Długość otwartej rury rezonansowej równa jest parzystej wielokrotności  $\frac{1}{4}$  długości fali.

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do demonstracji fal akustycznych.



Przebieg ćwiczenia

Wytwarzanie fal akustycznych o różnych długościach i wykazanie zależności wysokości dźwięku od częstotliwości drgań, a więc i od długości fali ( $f = \frac{v}{\lambda}$ ).

- Wdmuchujemy do piszczałki powietrze za pomocą gruszki gumowej.
- Odczytujemy na skali tłoczka długość piszczałki.
- Obliczamy długość fali dźwiękowej (w cm) i częstotliwość drgań, wstawiając do wzoru długość fali dźwiękowej w cm/s .
- Zmieniamy położenie tłoczka i słuchamy wydawanych przez piszczałkę dźwięków.
- Uzupełniamy tabelę:

Odczyt na skali piszczałki $a$	Długość fali dźwiękowej $\lambda = 4 \cdot a$	Częstotliwość drgań $f = \frac{v}{\lambda}$

Wyznaczenie długości fali dźwiękowej. Pokazanie powstawania fali stojącej w rurze wypełnionej powietrzem – zamkniętej na jednym końcu lub obustronnie otwartej.

Demonstracja zjawiska rezonansu.

- Wsypujemy do rury suchy proszek korkowy i rozprowadzamy go równomiernie po ścianie na całej długości.
- Umieszczamy tłok wewnątrz rury na samym jej początku.
- Wdmuchujemy powietrze do piszczałki. Jeżeli proszek nie drga, przesuwamy tłok powoli w głąb rury dotąd, dopóki nie trafimy na takie miejsca, w których tworzy się fala stojąca.
- Wyliczamy odległość między węzłami i obliczamy długość fali. Uzupełniamy tabelę.

- Obracamy rurą i powtarzamy czynności. Stwarzamy warunki, w których zachodzi rezonans.

Odległość między węzłami	Długość fali	Długość słupa powietrza	Liczba $\frac{1}{4}$ długości fali

- Doświadczenie powtarzamy zmieniając długość fali w piszczałce.
- Wyjmujemy tłok i powtarzamy wszystkie czynności szukając rezonansu w rurze obustronnie otwartej. Uzupełniamy tabelę.

Odległość między węzłami	Długość fali	Długość słupa powietrza	Liczba $\frac{1}{4}$ długości fali

Wykazanie, że w przypadku rezonansu długość fali w rurze jest taka sama, co i w piszczałce (częstotliwości w obu falach jednakowe – warunek rezonansu).

- Ustawiamy tłoczek w piszczałce w określonym miejscu np. na działce 5, ustalamy jej długość czynną, a tym samym długość fali wytworzoną przez piszczałkę.
- Obliczamy długość rury, w której zmieści się nieparzysta liczba ćwiartek fali. W naszym przykładzie będzie to długość rury: 5 cm, 15 cm, 25 cm i 35 cm.
- Umieszczamy w tych miejscach tłok rury rezonansowej i wdmuchujemy do piszczałki powietrze.
- Sprawdzamy, czy proszek ułoży się w charakterystyczny dla fali stojącej sposób, a tym samym, czy spełniony jest warunek rezonansu.
- Dla rury otwartej obustronnie, długość rury dzielimy przez liczbę parzystą. W naszym przykładzie 40 cm dzielimy przez np. 8. Otrzymujemy  $\frac{1}{4}$  długości fali, jaka może powstać w rurze.
- Ustawiamy tłoczek w piszczałce na działce 5 i sprawdzamy warunek rezonansu.



### U.8.03.6 Prędkość dźwięku w powietrzu

#### *Cel ćwiczenia, opis*

Wyznaczenie prędkości fali dźwiękowej w powietrzu metodą rezonansu (Quinckego).

Fala dźwiękowa jest podłużną falą mechaniczną o częstotliwości z zakresu słyszalnego dla człowieka od około 20 Hz do około 20 kHz. Rodzaj fal rozchodzących się ośrodkiem zależy od jego właściwości sprężystych. W danym ośrodku rozchodzą się tylko te drgania, które wywołują sprężyste odkształcenia ośrodka. Jeśli cząsteczki ośrodka wykonują drgania w kierunku zgodnym z kierunkiem rozchodzenia się fali mówimy, że w ośrodku rozchodzi się fala podłużna. Jeśli wykonują drgania w kierunku prostopadłym do kierunku rozchodzenia się fali, mówimy o fali poprzecznej. W gazach i w większości cieczy, wykazujących jedynie sprężystość objętości, rozchodzą się tylko fale podłużne. W ciałach stałych, które ulegają zarówno odkształceniu objętościowemu, jak i postaci, rozchodzą się zarówno fale podłużne, jak i poprzeczne.

Wyznaczenie prędkości fali dźwiękowej w powietrzu metodą Quinckego polega na wzbudzeniu drgań podłużnych słupa powietrza znajdującego się w szklanej rurze nad powierzchnią wody. Jeśli źródło drgań (kamerton lub głośnik podłączony do generatora) umieścimy u wylotu rury, to znajdujące się w rurze powietrze będzie wówczas wykonywać drgania wymuszone. Powstające u wylotu fale biegną do końca rury i tam się odbijają. W wyniku nałożenia (interferencji) fal padających i odbitych powstaje fala stojąca. Zmieniając długość słupa powietrza możemy uzyskać rezonans drgań wymuszonych, przejawiający się maksymalną amplitudą tych drgań. Warunkiem rezonansu jest zgodność częstotliwości drgań pobudzających z częstością drgań własnych słupa powietrza, zależnych od długości tego słupa. Jeżeli słup powietrza drga w rezonansie, to na powierzchni odbijającej jest miejsce zaniku drgań - węzeł fali stojącej, a u wylotu rury, w miejscu pobudzania drgań – strzałka tej fali. Ogólny warunek rezonansu dla rury o zmieniającej się długości  $l$  ma postać:

$$l = (2n + 1) \frac{\lambda}{4},$$

gdzie  $n = 0, 1, 2, \dots$

Mierząc długość  $l$  rury w czasie rezonansu można wyznaczyć długość  $\lambda$  fali w powietrzu.

### Niezbędne przedmioty i materiały

Długa, szklana rura (z podziałką) o długości 1 m połączona węzłem gumowym ze zbiornikiem wody, pompka nożna połączona z drugiej strony węzłem gumowym ze zbiornikiem wody, zacisk, głośnik podłączony do generatora drgań akustycznych, termometr.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

### Przebieg ćwiczenia

- Podłączamy głośnik do gniazd generatora oznaczonych symbolem „WY 2”
- Włączamy generator przesuwając dźwignię wyłącznika w pozycję „sieć”. Napięcie wyjściowe generatora ustawiamy za pomocą przełącznika klawiszowego oraz pokrętła umieszczonego pod miernikiem. Wciskamy klawisz oznaczony napięciem 7,75 V.
- Częstotliwość generatora ustawiamy wybierając przełącznikiem skokowym jeden z podzakresów, a następnie przeprowadzamy płynną regulację za pomocą wyskalowanego pokrętła. Pomiary przeprowadzamy dla trzech różnych częstotliwości generatora (np. 1000 Hz, 1500 Hz i 2000 Hz).
- Naciskamy pedał zacisku znajdujący się na węźle łączącym naczynia umożliwiając przepływ wody i pompujemy wodę do szklanej rury zwracając uwagę, aby nie przelać wody.
- Zwalniamy pedał i w trakcie opadania wody w rurze odczytujemy położenia, w których sygnał ulega wyciszeniu (miejsca węzłów). Pomiary prowadzimy do momentu zrównania się poziomów wody w rurze i zbiorniku. Dla jednej częstotliwości przeprowadzamy 3 serie pomiarów.
- Wyniki zapisujemy w tabeli:

Częstotliwość $f$ (Hz)	Położenie kolejnych węzłów (cm)	Odległość między węzłami $\lambda/2$ (cm)	Wartość średnia odległości między węzłami $\lambda_{sr}/2$ (m)	Długość fali dźwiękowej $\lambda_{sr}$ (m)
1000				

- Obliczamy wartość prędkości fali dźwiękowej ze wzoru  $v = \lambda_{sr} \cdot f$  dla każdej częstotliwości.
- Obliczamy  $v_{sr}$ .
- Odczytujemy temperaturę powietrza  $t$  i obliczamy wartość prędkości fali dźwiękowej w powietrzu o temperaturze  $t$  ze wzoru  $v_t = v_0 \sqrt{1 + 0,004t}$ , gdzie  $v_0 = 331 \frac{m}{s}$ .
- Określamy niepewności pomiarowe pomiarów prostych i niepewność wyznaczenia  $v$ .

*Tytuł*

## **U.8.04 Światło**

*Cel ćwiczenia, opis*

Poznanie natury światła i najważniejszych praw optyki geometrycznej.

*Wymagana wiedza ucznia*

Światło, fala elektromagnetyczna, prawo odbicia, prawo załamania, rozproszenie światła, całkowite wewnętrzne odbicie, dyfrakcja, interferencja, polaryzacja, zwierciadła, płytka równoległościenna, soczewki, pryzmat, siatka dyfrakcyjna, przyrządy optyczne, laser.

### **U.8.04.1 Optyka geometryczna**

*Cel ćwiczenia, opis*

Opis rozchodzenia się fal świetlnych, podstawowe prawa optyki geometrycznej.

Optyka geometryczna zakłada, że w ośrodku jednorodnym światło nienapotykające na żadne przeszkody rozchodzi się po liniach prostych.

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Laserowy zestaw do optyki geometrycznej.



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Praca z laserem - wprowadzenie wiązki światła do oka, grozi utratą wzroku.

### *Przebieg ćwiczenia*

- Pokazanie prostoliniowości biegu promieni świetlnych.
- Badanie biegu promienia świetlnego po odbiciu od granicy dwóch ośrodków.
- Obserwacja biegu promieni świetlnych po odbiciu od wklęsłego zwierciadła sferycznego.
- Obserwacja biegu promieni świetlnych po odbiciu od wypukłego zwierciadła sferycznego.
- Obserwacja załamania światła na granicy dwóch ośrodków przezroczystych i wyznaczenie względnego współczynnika załamania światła.
- Obserwacja biegu promienia świetlnego przy przejściu ze szkła do powietrza. Określenie kąta granicznego. Obserwacja zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia.
- Obserwacja biegu promieni świetlnych w modelach światłowodów.
- Obserwacja załamania światła w pryzmacie i wyznaczenie współczynnika załamania materiału pryzmatu.
- Obserwacja wiązki światła przy przejściu przez soczewkę skupiającą i rozpraszającą.
- Obserwacja wiązki promieni równoległych po przejściu przez soczewkę ogniskową.
- Obserwacja efektów wykorzystania różnych układów soczewek.

### **U.8.04.2 Długość fali świetlnej**

#### *Cel ćwiczenia, opis*

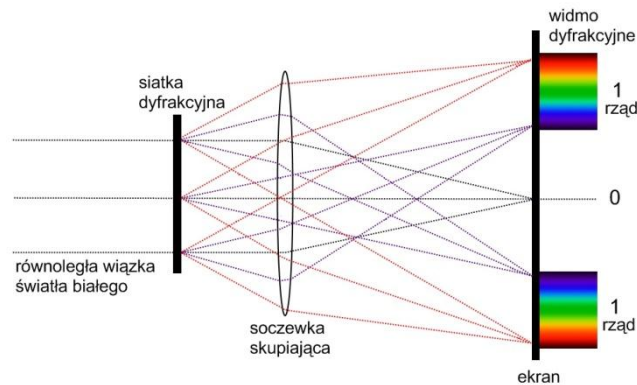
Wyznaczanie długości fali świetlnej za pomocą siatki dyfrakcyjnej.

Siatka dyfrakcyjna składa się z dużej liczby wzajemnie równoległych i równo oddalonych od siebie szczelin. Odległość pomiędzy środkami sąsiadujących szczelin nazywamy stałą siatki. Światło padające na siatkę ulega ugięciu (dyfrakcji) na każdej szczelinie, która to z kolei staje się źródłem drgań i wysyła promienie we wszystkich kierunkach. Promienie ugięte nakładają się (interferują ze sobą). Warunek wzmocnienia promieni ugiętych na siatce dyfrakcyjnej ma postać:

$$k\lambda = d\sin\varphi,$$

gdzie:  $d$  oznacza stałą siatki, a  $k$  to rząd widma. W przypadku światła zawierającego kilka długości fali lub wszystkie (światło białe), maksimum  $k$ -tego rzędu dla każdej długości fali występuje przy innym kącie  $\varphi$ . Maksimum zerowego rzędu, dla wszystkich długości fal

występuje przy  $\varphi = 0$ . Dla światła białego obserwujemy białe, niezabarwione centralne maksimum zerowego rzędu, a po obu jego stronach widma dyfrakcyjne pierwszego, drugiego i dalszych rzędów. Widma mają postać tęczywch pasm. Dla światła monochromatycznego maksima dyfrakcyjne wszystkich rzędów mają tę samą barwę.



Chcąc wyznaczyć długość fali świetlnej posługujemy się zestawem składającym się z lampy rtęciowej, której widmo powstałe po przejściu przez siatkę dyfrakcyjną będzie widoczne na ekranie. Dla rozpatrywanej linii widmowej obliczamy średnią odległość obserwowanego prążka  $x_{sr} = \frac{x_l + x_p}{2}$ , a po określeniu odległości siatki  $l$  od ekranu, możemy wyznaczyć  $\sin\varphi = \frac{x_{sr}}{\sqrt{x_{sr}^2 + l^2}}$ . Po podstawieniu otrzymanych zależności do wzoru na warunek wzmocnienia

i odpowiednim przekształceniu otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{d \cdot x_{sr}}{k \cdot \sqrt{x_{sr}^2 + l^2}} .$$

Jeśli mamy siatkę dyfrakcyjną o nieznaney stałej  $d$  możemy najpierw posługując się światłem o znanej długości fali (światło lasera) wyznaczyć stałą siatki, a następnie przejść do wyznaczania długości fali świetlnej badanego widma lampy kwarcowej.

#### Niezbędne przedmioty i materiały

Ława optyczna, siatka dyfrakcyjna, lampa rtęciowa, laser, przymiar milimetrowy.



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Praca z laserem - wprowadzenie wiązki światła do oka grozi utratą wzroku. Lampy rtęciowa może się przegrzać i musi być chłodzona wentylatorem; należy ściśle stosować się do instrukcji.

### Przebieg ćwiczenia

Wyznaczanie stałej siatki dla znanej długości fali światła laserowego ( $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ).

- Ustawiamy siatkę dyfrakcyjną na drodze wiązki światła laserowego i mierzymy odległość  $l$  siatki od ekranu.
- Określamy odległość prążków na obrazie dyfrakcyjnym po prawej ( $x_p$ ) i po lewej ( $x_l$ ) stronie prążka centralnego, dla dwóch dowolnie wybranych rzędów widma  $k$  za pomocą podziałki milimetrowej. Odczytane wartości wstawiamy do tabeli wyników.

Lp	$x_p$ (cm)	$x_l$ (cm)	$x_{\dot{s}r}$ (cm)	$l$ (cm)	$k$	$d$ (nm)

- Obliczamy  $x_{\dot{s}r} = \frac{x_l + x_p}{2}$ .
- Wyznaczamy stałą  $d$  siatki dyfrakcyjnej z warunku na położenie maksimum interferencyjnych:  $d = \frac{\lambda \cdot k \cdot \sqrt{x_{\dot{s}r}^2 + l^2}}{x_{\dot{s}r}}$ .

Wyznaczanie długości fali badanego widma lampy rtęciowej.

- Włączamy wentylator lampy rtęciowej.
- Włączamy lampę rtęciową, ustawiając wyłącznik czasowy na 15 min (wskaźnik na czerwonej kresce) i czekamy około 5 min aż do nagrzania się lampy.
- Ustawiamy ekran w pewnej odległości ( $l$ ) od siatki dyfrakcyjnej, a ostrość obrazu soczewką umieszczoną na wysięgniku obudowy lampy.
- Mierzmy za pomocą podziałki milimetrowej położenie  $x_p$  i  $x_l$  wybranych linii widmowych (dla kilku barw) na obrazie dyfrakcyjnym. Pomiary wykonujemy dla dwóch rzędów widm i dla trzech odległości siatki od ekranu. Wyniki umieszczamy w tabeli.

Lp	$x_p$ (cm)	$x_l$ (cm)	$x_{\dot{s}r}$ (cm)	$l$ (cm)	$k$	$\lambda$ (nm)

- Wyznaczamy długości fali odpowiadające barwie wybranych prążków, korzystając z warunku na położenie maksimów interferencyjnych. Wykorzystujemy obliczoną wartość stałej siatki dyfrakcyjnej  $d$ :

$$\lambda = \frac{d \cdot x_{sr}}{k \cdot \sqrt{x_{sr}^2 + l^2}}$$

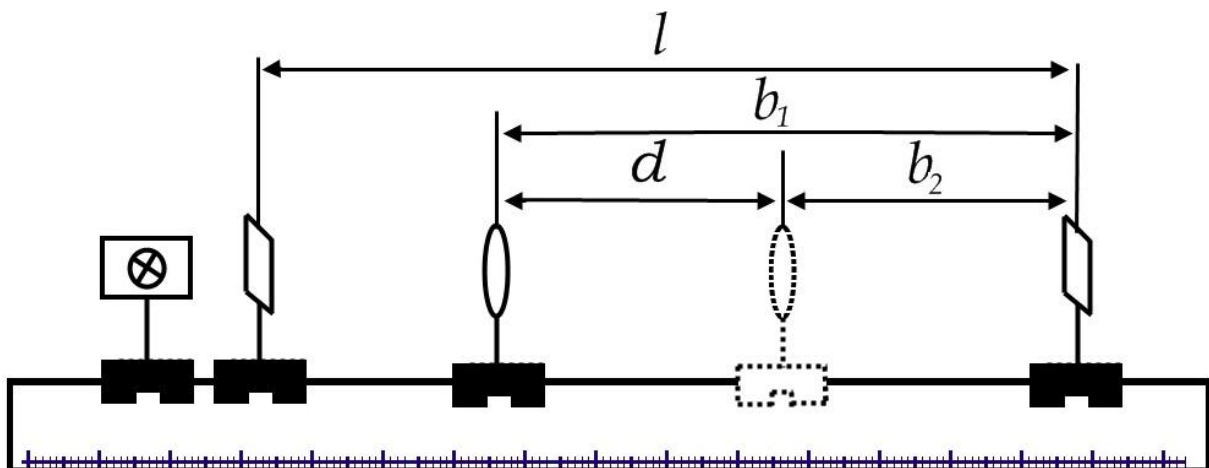
- Określamy niepewności pomiarowe pomiarów prostych i niepewność wyznaczenia  $d$  i  $\lambda$ .

### U.8.04.3 Ogniskowa soczewki

#### Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej metodą Bessela.

W metodzie Bessela posługujemy się zestawem przedstawionym na rysunku poniżej.



Przesuwamy soczewkę wzdłuż ławy optycznej, aby znaleźć dwie odległości soczewki od ekranu  $b_1$  i  $b_2$ , dla których będziemy obserwować ostry obraz. W jednym położeniu obraz jest powiększony, a w drugim pomniejszony. Odległości pomiędzy ekranem a soczewką, przy których jest obserwowany ostry obraz, wyznaczamy z równania soczewki  $\frac{1}{l-b} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ , gdzie  $l$  jest ustaloną odległością między przedmiotem a ekranem. Równanie jest równaniem kwadratowym ze względu na  $b$  i posiada dwa rozwiązania  $b_1$  i  $b_2$ , pod warunkiem, iż  $l > 4f$ . Mierząc odległość między położeniami soczewki  $d = b_1 - b_2$ , w których jest obserwowany ostry obraz przedmiotu, możemy wyznaczyć ogniskową soczewki ze wzoru:

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} = \frac{1}{4} \left( l - \frac{d^2}{l} \right).$$

*Niezbędne przedmioty i materiały*

Ława optyczna, źródło światła, soczewka, ekran, przedmiot.

 Źródło światła zasilane napięciem 230 V.

*Przebieg ćwiczenia*

- Na jednym końcu ławy umieszczamy oświetlony przedmiot, a na drugim ekran; ich odległość  $l$  musi być większa od  $4f$ .
- Umieszczamy soczewkę na saneczkach i przesuwamy je do chwili uzyskania obrazu powiększonego na ekranie i odczytujemy tę pozycję względem dowolnego znaczka na saneczkach.
- Przesuwamy soczewkę bliżej ekranu, aż do uzyskania na nim obrazu zmniejszonego. Odczytujemy znaną pozycję.
- Znajdujemy odległość  $d$  między obu pozycjami.
- Mierzymy odległość między przedmiotem i ekranem.
- Pomiary wykonujemy trzykrotnie i dla trzech różnych soczewek.
- Wyniki umieszczamy w tabeli:

Rodzaj soczewki	Obraz powiększony	Wartość średnia $b_{1sr}$	Obraz zmniejszony	Wartość średnia $b_{2sr}$	Odległość $l$	$l_{sr}$	$d = b_{1sr} - b_{2sr}$	Odległość ogniskowa
	Odległość soczewki od przedmiotu $b_1$		Odległość soczewki od przedmiotu $b_2$					
								$f_1 =$

								$f_2 =$

								$f_3 =$



- Obliczamy ogniskową soczewki ze wzoru  $f = \frac{1}{4} \left( l - \frac{d^2}{l} \right)$ .
- Określamy niepewności pomiarowe.

## Literatura

- I. Antipin, *Zadania doświadczalne z fizyki. Kurs podstawowy*, WSiP, Warszawa 1986
- R. J. Brown, *200 doświadczeń dla dzieci*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999
- J. Van Cleave, *Fizyka dla każdego dziecka. 101 ciekawych doświadczeń*, WSiP, Warszawa 1994
- J. Domański, *Domowe zadania doświadczalne z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999
- J. Domański, J. Turło, *Nieobliczeniowe zadania z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997
- T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa 1980
- Foton, Pismo dla nauczycieli fizyki i ich uczniów, IF UJ, Kraków
- M. Godlewska, D. Szot-Gawlik, *Doświadczenia z fizyki dla uczniów gimnazjum, cz.2*, ZamKor, Kraków 2005
- M. Halaunbrenner, *Ćwiczenia praktyczne z fizyki. Kurs podstawowy*, WSiP, Warszawa 1976
- M. Halaunbrenner, *Ćwiczenia praktyczne z fizyki. Kurs średni*, WSiP, Warszawa 1982
- P. G. Hewitt, *Fizyka wokół nas*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2000
- Z. Kostić, *Między zabawą a fizyką*, WNT, Warszawa 1964
- A. Magiera (red.), *I Pracownia Fizyczna*, IF UJ, Kraków 2007
- L. C. McDermott i in., *W poszukiwaniu praw fizyki*, T.1, 2, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000
- J. Perelman, *Zajmująca fizyka*, WP, Łódź 1955
- T. Potocki (red.), *Fizyka i chemia. Katalog*, PZWS, Warszawa 1963
- E. M. Rogers, *Fizyka dla dociekliwych*, PWN, Warszawa 1970
- M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier, J. M. Kreiner, *Fizyka dla gimnazjum cz.1-3*, Wydawnictwo "Zamiast Korepetycji", Kraków 1999
- J. Salach (red.), *Fizyka dla szkół ponadgimnazjalnych, cz.1, 2*, Wyd. ZamKor, Kraków 2004
- J. Semaniak, J. Semaniak, J. Krywult, *Fizyka i astronomia*, MAC Edukacja, Kielce 2003
- Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, PWN, Warszawa 1976
- G. L. Squires, *Praktyczna fizyka*, PWN, Warszawa 1992
- K. Tabaszewski, *Fizyka z prostymi doświadczeniami*. Prószyński i S-ka, Warszawa 2000

B. Tokar, B. Pędzisz, D. Tokar, *Wykorzystanie przedmiotów codziennego użytku do doświadczeń domowych*, WSP, Opole 1984

D. Tokar i in., *Doświadczenia z fizyki dla szkoły podstawowej*, WSiP, Warszawa 1990

D. Tokar i in., *Zbiór zadań doświadczalnych z fizyki – kurs średni*, WSiP, Warszawa 1980

## **Rysunki**

Kazimierz Kunisz