



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

# FENIKS

## Wykłady z pokazami, UJK, cz. IIa

### Drgania i fale

**Marek Pajek**

*Instytut Fizyki  
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy  
Jana Kochanowskiego w Kielcach*

(pisemna wersja dwugodzinnego wykładu plenarnego z pokazami  
z II semestru zajęć)

Film z wykładu: [www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK](http://www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK)



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania 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

## Wstęp

Niniejszy wykład, stanowiący drugą część cyklu popularnych wykładów z fizyki w ramach projektu FENIKS, poświęcony jest dokładniejszemu ukazaniu i omówieniu drgań harmonicznym, w tym rezonansu, a także zjawisk falowych, ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk dyfrakcji i interferencji. Omawiane zagadnienia ilustrowane są pokazami różnego rodzaju drgań, również z uwzględnieniem efektów tłumienia. Zjawiska falowe omawiane są w doświadczeniach demonstrujących fale mechaniczne, akustyczne (dźwięki) oraz fale elektromagnetyczne (światło). Warto na wstępie zaznaczyć, że uczestnicząc w wykładzie słuchacze komunikują się z wykładowcą poprzez fale dźwiękowe (słuchając) i świetlne, tj. elektromagnetyczne (widząc). Fakt, że głos jest falą akustyczną demonstrujemy przy pomocy **oscyloskopu pokazującego zmianę w czasie przetworzonej w mikrofonie w sygnał elektryczny fali dźwiękowej**. Falową naturę światła wykażemy pod koniec wykładu pokazując, że światło ulega typowym dla fal zjawiskom dyfrakcji i interferencji.

## Część A – pierwsza godzina wykładu z pokazami

### *Drgania*

Cyklicznie powtarzający się ruch ciał, zwany drganiami harmonicznymi, jest zjawiskiem powszechnie znanym z życia codziennego (drżania wahadła czy sprężyny, kołysanie się powierzchni cieczy). Mniej oczywiste jest wyjaśnienie natury i opisanie ilościowe takiego ruchu. Łatwo jednak zademonstrować, że **wielkość rozciągnięcia sprężyny jest proporcjonalna do masy obciążającego ją ciężarka**, a więc siły rozciągającej sprężynę. Wyprowadzając z położenia równowagi obciążoną ciężarkiem sprężyną widzimy, że ciężarek wykonuje cykliczne ruchy zwane drganiami. Taki rodzaj drgań, wywołanych siłą proporcjonalną do wielkości rozciągnięcia sprężyny (siła harmoniczna), nazywamy drganiami harmonicznymi.

Drgania harmoniczne charakteryzują się ściśle określoną częstością, inaczej stałym okresem drgań. Jak pokazujemy w demonstracjach, wiele prostych układów wyprowadzonych z położenia równowagi wykonuje drżania harmoniczne: **ciężarek na sznurku, uderzany dowolny przedmiot** (wtedy słyszymy drżania), **kołysząca się powierzchnia cieczy, czy prąd w obwodzie elektrycznym zawierającym cewkę, w której kołysze się magnes**. Można pokazać, że drżania harmoniczne opisuje ilościowo funkcja trygonometryczna sinus lub cosinus. Jednak nawet bez zawiłych rozważań matematycznych można bardzo prosto zademonstrować, że ruch harmoniczny ma bliski związek z dobrze nam znanym ruchem po okręgu ze stałą prędkością. Obserwując na ekranie cień kulki poruszającej się takim ruchem i oświetlonej w płaszczyźnie okręgu, widzimy, że **zrutowany na ekran ruch po okręgu** jest w istocie zaobserwowanym wcześniej ruchem harmonicznym. Można to też wykazać matematycznie, ale na naszym wykładzie lepiej to po prostu zobaczyć!

Znanym praktycznym zastosowaniem drgań harmonicznym jest wykorzystanie wahadła w zegarach do precyzyjnego odmierzenia czasu. Kluczowa jest tu stałość

okresu drgań harmonicznych wahadła, która zależy jedynie, jak zademonstrowano wcześniej, od długości wahadła. Wykorzystujemy tę właściwość do precyzyjnej regulacji zegara wahadłowego, gdy się spieszy lub opóźnia, odpowiednio zmieniając jego długość.

Zastanówmy się teraz, czy zawsze wychylenia (amplituda) drgań są takie same? Łatwo się przekonać, że tak nie jest, obserwując dostatecznie długo drgania lub umieszczając **drzający ciężarek na sprężynie lub wahadełko w naczyniu z wodą**. O ile w powietrzu układy te wykonują drgania przez długi czas z prawie stałą amplitudą, to w wodzie amplituda drgań bardzo szybko maleje i drgania ustają. Przyczyną zanikania drgań, zjawiska zwanego tłumieniem, jest występowanie sił oporu ośrodka. Tłumienie zależy od gęstości ośrodka, w którym występują drgania, jak też od rozmiarów drzającego ciała. Przekonujemy się o tym, gdy porównujemy drgania w powietrzu małego ciężarka i **drzania dużego obiektu (kartki papieru)** zawieszonych na sznurku: amplituda drgań ciężarka jest w przybliżeniu stała (ponadto nie zależy od jego masy i wielkości), natomiast drzania kartki papieru natychmiast zanikają ze względu na jej dużą powierzchnię i proporcjonalnie dużą siłę oporu powietrza.

W drzaniach tłumionych amplituda drgań szybko maleje z czasem, ale okres drgań jest nadal stały (choć inny, niż w przypadku braku tłumienia). Przekonujemy się o tym **przeciągając po zczernionym świeczką kawałku szyby drzającym ostrzem przytwierdzonym do wzbudzonego długiego kamertonu**. Rzucając na ekran wytworzony „zapis” drgań i oglądając powstałą pofalowaną rysę, widzimy wyraźnie drzania tłumione (gasnące) o stałym okresie drgań.

Tłumione drzania wzbudzonego kamertonu nie tylko można zobaczyć, ale również usłyszeć. W istocie, słyszymy fale dźwiękową, rozchodzącą się w powietrzu, wytworzoną przez **drzający kamerton**. Podobnie, uderzenie w dowolny przedmiot - czemu towarzyszy pojawiający się dźwięk - mówi nam o wzbudzeniu drgań sprężystych w tym przedmiocie. Przykład ten wskazuje na powszechność drgań harmonicznych. Co jest zatem przyczyną tej wszechobecności tego typu ruchu? Odpowiedź właściwie już znamy: jest to siła harmoniczna która, w najprostszym przybliżeniu, pojawia się wówczas, gdy zaburzamy stan równowagi ciał sprężystych.

## *Rezonans*

Rezonans jest zjawiskiem polegającym na „przekazywaniu” drgań między układami drzającymi w pewnych, odpowiednio „dopasowanych”, warunkach. Atrakcyjnym sposobem demonstrowania zjawiska rezonansu jest **wzbudzenie drgań w układzie dwóch identycznych kamertonów** umieszczonych na skrzynkach rezonansowych. Jak wiemy, dźwięk wzbudzonego uderzeniem kamertonu odpowiada drzaniom o ściśle określonej częstości charakterystycznej (własnej) dla danego kamertonu. W pokazie zjawiska rezonansu uderzamy w jeden kamerton umieszczony tuż obok drugiego identycznego kamertonu. Słyszając drzania jednego wzbudzonego kamertonu po pewnym czasie chwytamy ten kamerton dłonią, wygaszając jego drzania. Pomimo tego, słyszymy nadal dźwięk, tym razem generowany przez drugi kamerton, co świadczy o „przekazaniu” drgań z pierwszego do drugiego kamertonu. Powtarzając to doświadczenie ze zmienionym nieco pierwszym kamertonem

(przykręcamy do niego małą dodatkową masę, co powoduje niewielką zmianę jego częstości własnej), zauważamy, że nie wzbudzamy już drugiego kamertonu! Doświadczenie to pokazuje, że warunkiem „przekazywania” drgań między układami jest równość częstości własnych układów. To fundamentalne zjawisko silnego przekazywania drgań nazywamy rezonansem.

Inną prostą ilustracją rezonansu jest wzbudzanie drgań w układzie kilku wahadeł (**ciężarki na sznurku**) zawieszonych na jednej poziomej nici. Wprowadzając w drgania jedno z wahadeł obserwujemy, że po pewnym czasie zaczyna drgać inne wahadło, ale tylko to, które ma taką samą długość sznurka, a zatem taką samą częstość własną. Tak więc tylko te wahadła (w ogólności układy), które mają takie same częstości własne drgań, mogą być ze sobą w rezonansie.

Rezonans w układach elektrycznych jest zjawiskiem często wykorzystywanym praktycznie, jest bowiem podstawą telekomunikacji z wykorzystaniem fal elektromagnetycznych (radio, telewizja, telefonia komórkowa, system nawigacji satelitarnej).

Czasem jednak rezonans jest wysoce niepożądany i może prowadzić do zgubnych skutków. Ilustruje to dobrze krótki film o rezonansowym wzbudzeniu przez wiatr drgań mostu wiszącego Tacoma Bridge w stanie Washington w USA, co doprowadziło do jego spektakularnego zerwania 7 listopada 1940. (zob. film na stronie <http://www.youtube.com/watch?v=j-zczJXSxnw>). Dlatego też oddział wojska maszerujący przez most zmienia krok na „dowolny”, aby uniknąć możliwego rezonansowego wzbudzenia drgań mostu i w efekcie jego uszkodzenia czy nawet zerwania.

## **Wykaz pokazów części a)**

### **Drgania**

- 1) Drgania kolorowej sprężynki
- 2) Wizualizacja fali dźwiękowej na oscyloskopie
- 3) Wychylenie sprężyny pod wpływem ciężarków o różnej masie
- 4) Drgania sprężyny z ciężarkami o różnej masie
- 5) Drgania gumy obciążonej ciężarkami
- 6) Wahadło fizyczne
- 7) Wahadło torsyjne
- 8) Drgania gasnące w ośrodku tłumiącym – kulka na sprężynie drgająca we wodzie
- 9) Drgania tłumione wahadła z kartką papieru w powietrzu
- 10) Wizualizacja drgań (gasnących) kamertonu z pomocą rysika i zadymionej szyby
- 11) Drgania cieczy w naczyniu U-kształtnym
- 12) Wahadło na sprężynie z magnesem drgające w solenoidzie, siła elektromotoryczna, obserwacja indukowanego prądu na amperomierzu
- 13) Projekcja jednostajnego ruchu obrotowego na ekran jako wizualizacja drgań harmoniczných



Kręcący się wąż plastikowy wydaje dźwięk tylko wtedy, gdy jego koniec nie jest zakorkowany



Wszystko drga...



Wnet usłyszymy stojącą fale akustyczną w rurze o regulowanej długości



Demonstracja polaryzacji fali poprzecznej. Dwie asyentki trzymają polaryzatory



Cukier na drgającej metalowej płycie układa się wzdłuż linii węzłów fali



Kształt linii węzłów zmienia się z częstotliwością drgań, przyjmując fantazyjne formy

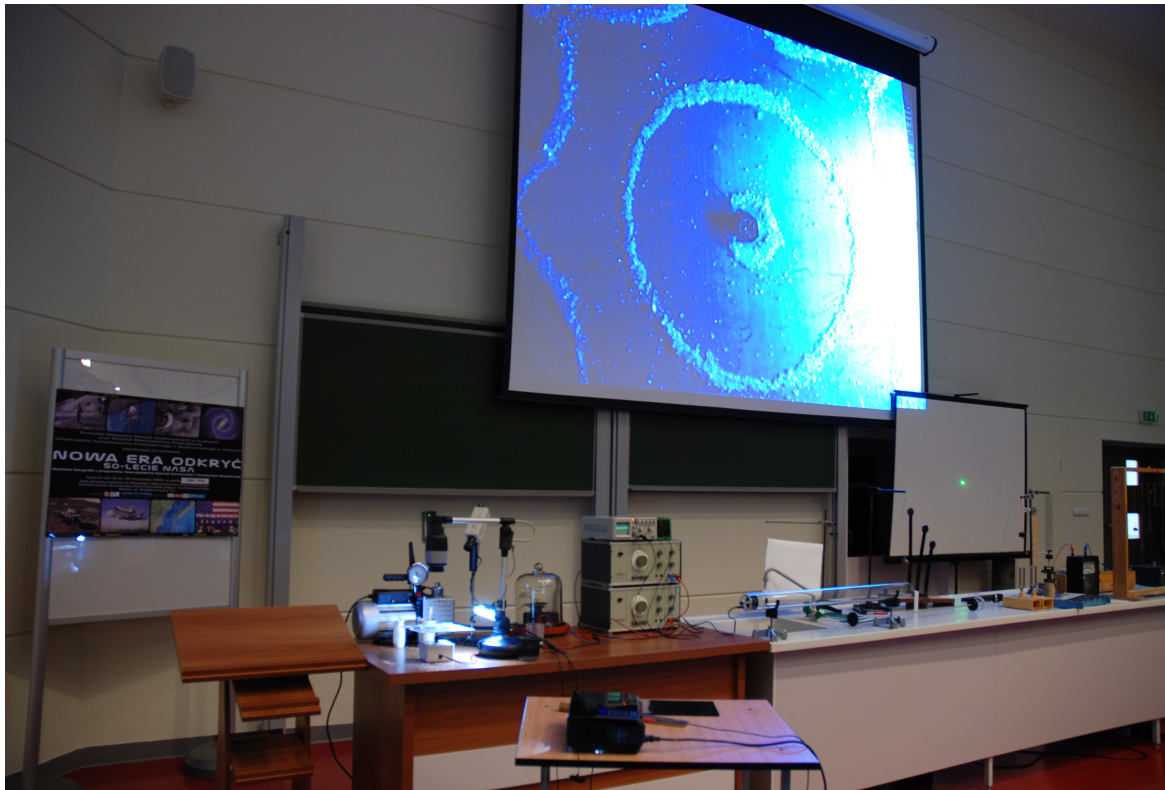




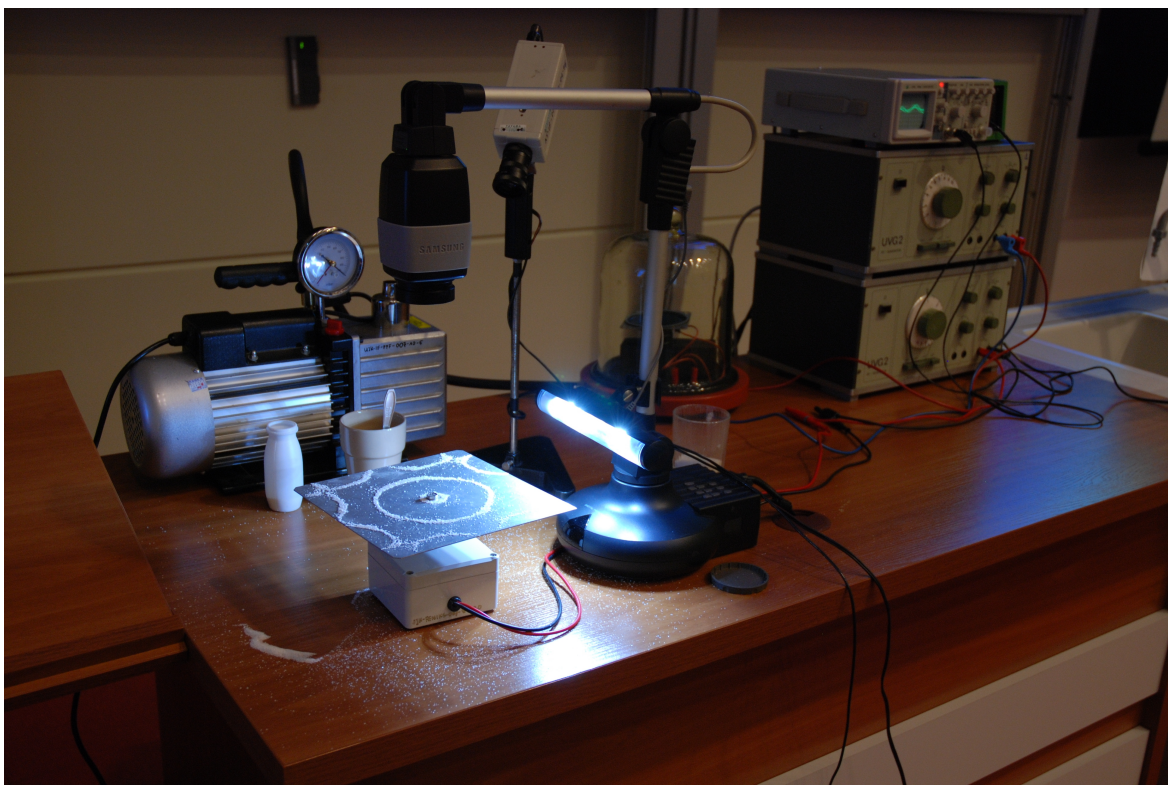
Biegająca fala poprzeczna



Sprzęt do demonstracji drgań i fal



Drgająca membrana posypana cukrem na ekranie ...



... i na stole



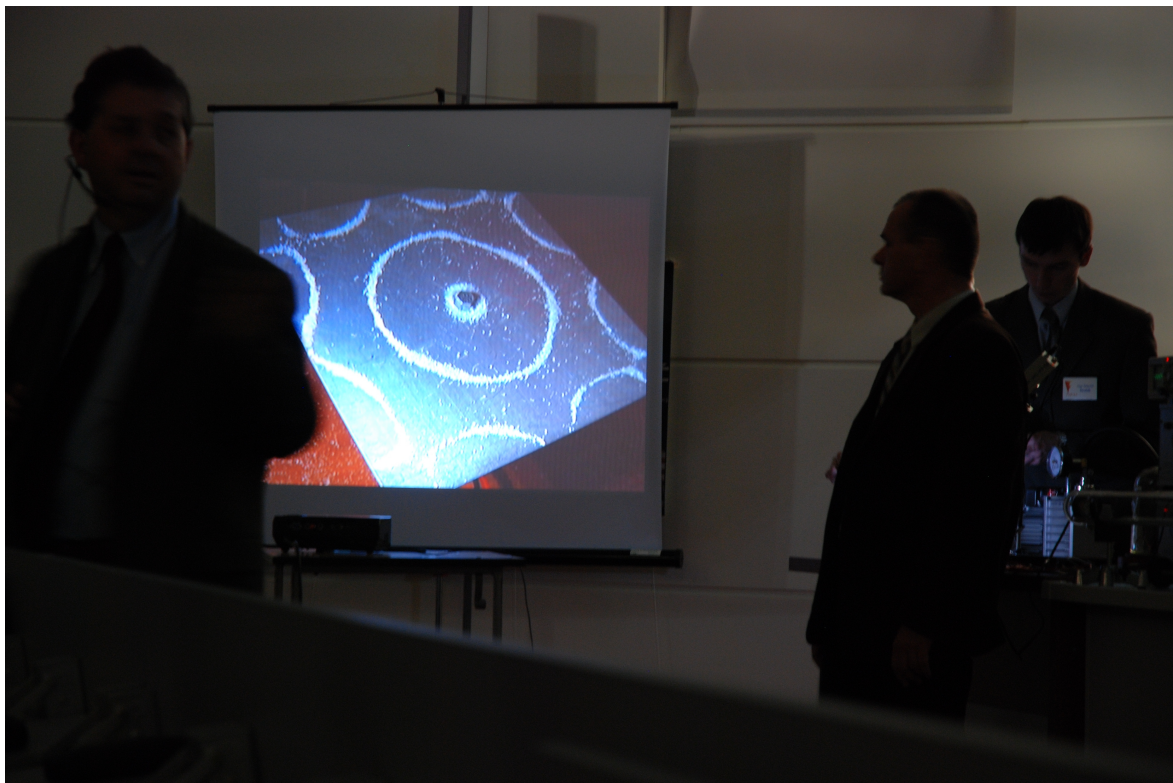
Nasza widownia



Inhalacja helum przed zamianą w krasnoludka



Ciecz tłumiąca drgania



Jeszcze raz nasza ulubiona "magiczna" drgająca płyta z cukrem