

LABORATORIUM
METROLOGIA OPTYCZNA WŁASNOŚCI
MECHANICZNYCH

Instrukcja do ćwiczenia 5

BADANIE REZONANSU MECHANICZNEGO

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem rezonansu mechanicznego poprzez pomiar istotnych dla niego parametrów fizycznych. Ćwiczenie pokazuje też, jak światłowodowy odbiciowy czujnik odległości można zastosować do pomiarów częstotliwości i amplitudy drgań mechanicznych.

Drgania blaszki są wymuszane za pomocą elektromagnesu cyklicznie ją przyciągającego i odpychającego. Elektromagnes jest zasilany prądem zmiennym z generatora, którym można regulować wartość częstotliwości. Dzięki światłowodowi drgania blaszki są przetwarzane na sygnał optyczny, a dzięki detektorowi światła – na sygnał elektryczny, który z kolei jest obrazowany przez oscyloskop w formie sinusoidy. Oś pozioma ekranu oscyloskopu wyskalowana jest w milisekundach i w ten sposób mierzymy okres drgań. Oś pionowa wyskalowana jest w miliwoltach i w ten sposób pośrednio mierzymy amplitudę drgań (po przetworzeniu sygnału mechanicznego (amplituda) na sygnał elektryczny (napięcie)).

Tabela pomiaru krzywej rezonansowej

Lp.	T , ms	A , mV	ω , s^{-1}
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Obliczenia

a. Wyznaczenie parametrów rezonansu mechanicznego, w tym doświadczalnej częstotliwości drgań własnych

- Wyniki pomiarów $A(T)$ zapisujemy w tabelce. Z okresu drgań T obliczamy częstość kołową ω i wykonujemy wykres XY z punktami $A(\omega)$.
- Na podstawie punktów $A(\omega)$ wyznaczamy częstość rezonansową poprzez dopasowanie **krzywej rezonansowej**, która wynika z teorii zjawiska, jakim są drgania wymuszone i rezonans. Dopasowanie wykonujemy np. za pomocą programu Origin lub MNK. Wzór krzywej rezonansowej do dopasowania (metodą najmniejszych kwadratów, least squares method, nonlinear curve fitting) jest następujący

$$A(\omega) = \frac{A_o}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_o^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}}$$

Jako wartości początkowe (guess values) **trzech** parametrów można przyjąć:

ω_o – wartość częstości, dla której jest maksimum (naprawdę ω_o jest to **częstość drgań własnych nietłumionych**);

$\beta \approx 0.01 \cdot \omega_o$ (naprawdę jest to współczynnik tłumienia drgań; jego wartość jest mała dla rezonansu, który charakteryzuje się znacznym zwiększeniem amplitudy drgań);

$A_o \approx 2\beta\omega_o A_m$ (wartość tę otrzymujemy przez przyjęcie $\omega = \omega_o$ w powyższym wzorze), gdzie A_m to wartość maksymalna amplitudy.

Teoria drgań mówi, że częstość rezonansową obliczamy jako $\omega_r = \sqrt{\omega_o^2 - 2\beta^2}$, jednak ponieważ β jest bardzo małe, można przyjąć, że $\omega_r = \omega_o$.

Krzywą rezonansową zaznaczyć na wykresie $A(\omega)$.

– Doświadczalną częstotliwość drgań własnych obliczamy ze wzoru

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi}$$

Obliczamy niepewność $u(f_o)$ metodą propagacji niepewności na podstawie niepewności $u(\omega_o)$ uzyskanej z dopasowania MNK krzywej rezonansowej.

b. Wyznaczenie teoretycznej częstotliwości drgań własnych

– Wyznaczamy teoretyczną częstotliwość drgań własnych belki (dla przypadku ogólnego belki jednostronnie utwierdzonej na końcu, wykonanej z materiału o gęstości ρ i przekroju jak na rys.4.9), gdzie dane dla belki (cienkiego listka z blachy) są następujące:

$E = 210 \text{ GPa}$	moduł Younga dla stali
$l = (50,0 \pm 0,5) \text{ mm}$	długość płytki drgającej wraz z niepewnością
$g = 0,15 \text{ mm}$	grubość płytki drgającej
$b = 10,2 \text{ mm}$	szerokość płytki drgającej
$S = b \cdot g$	pole przekroju poprzecznego
$\rho = 7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	gęstość płytki stalowej

Teoretyczną częstotliwość drgań własnych (nietłumionych) obliczamy z przybliżonego wzoru

$$f_t = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{l^3} \frac{140}{33\rho Sl}}$$

lub lepiej ze wzoru dokładnego

$$f_t = \frac{(1.875)^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho Sl^4}}$$

gdzie geometryczny moment bezwładności

$$I = \frac{bg^3}{12}$$

– Obliczamy niepewność $u(f_t)$ metodą propagacji niepewności dzięki $u(l)$. Wymiary b i g traktujemy jako dokładne, bo element drgający jest wykonany z blaszki szczelinomierza o bardzo dokładnym wykonaniu. Natomiast długość l wynika z zamocowania drgającej blaszki jednym końcem na podstawie i jest zmierzona nie tak dokładnie.

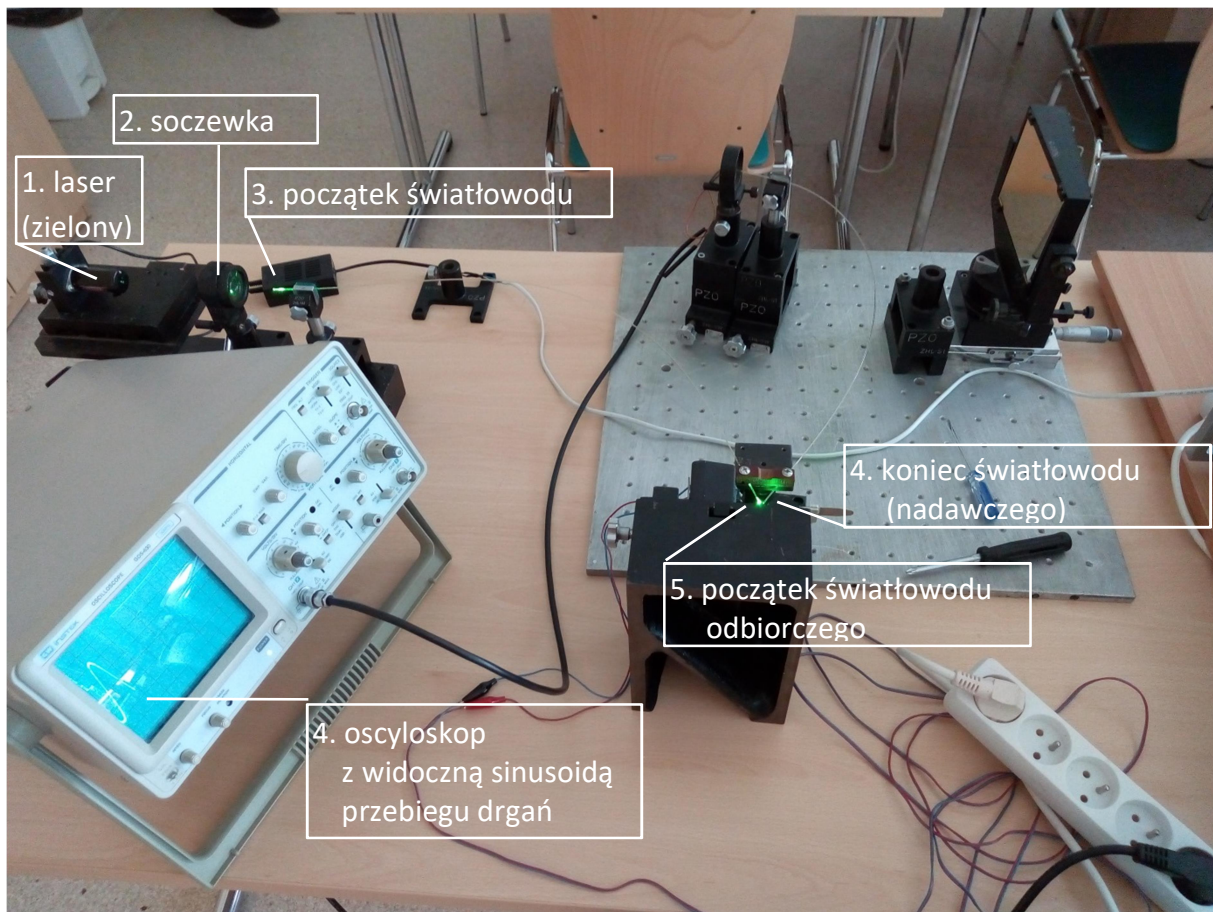
– We wnioskach porównujemy częstotliwość doświadczalną f_o z częstotliwością teoretyczną f_t . Do porównania należy użyć niepewności obu tych wielkości, tak jak to opisano w skrypcie „Laboratorium I pracownia”.

Literatura:

K. Piszczyk, J. Walczak- Drgania w budowie maszyn PWN 1972

LC. Paiais - Zarys telekomunikacji światłowodowej WKŁ Warszawa 1991

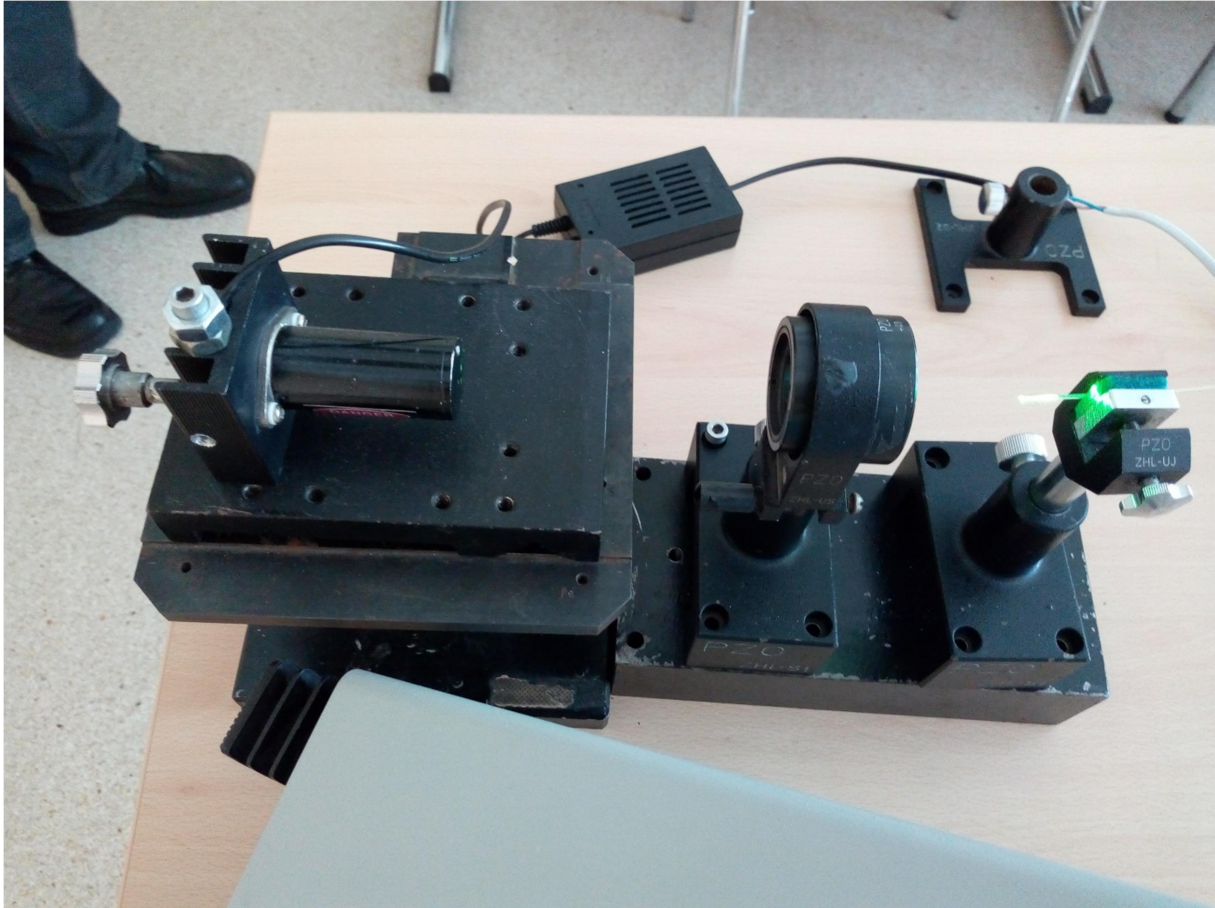
M. Szustakowski - Elementy techniki światłowodowej WNT Warszawa 1992



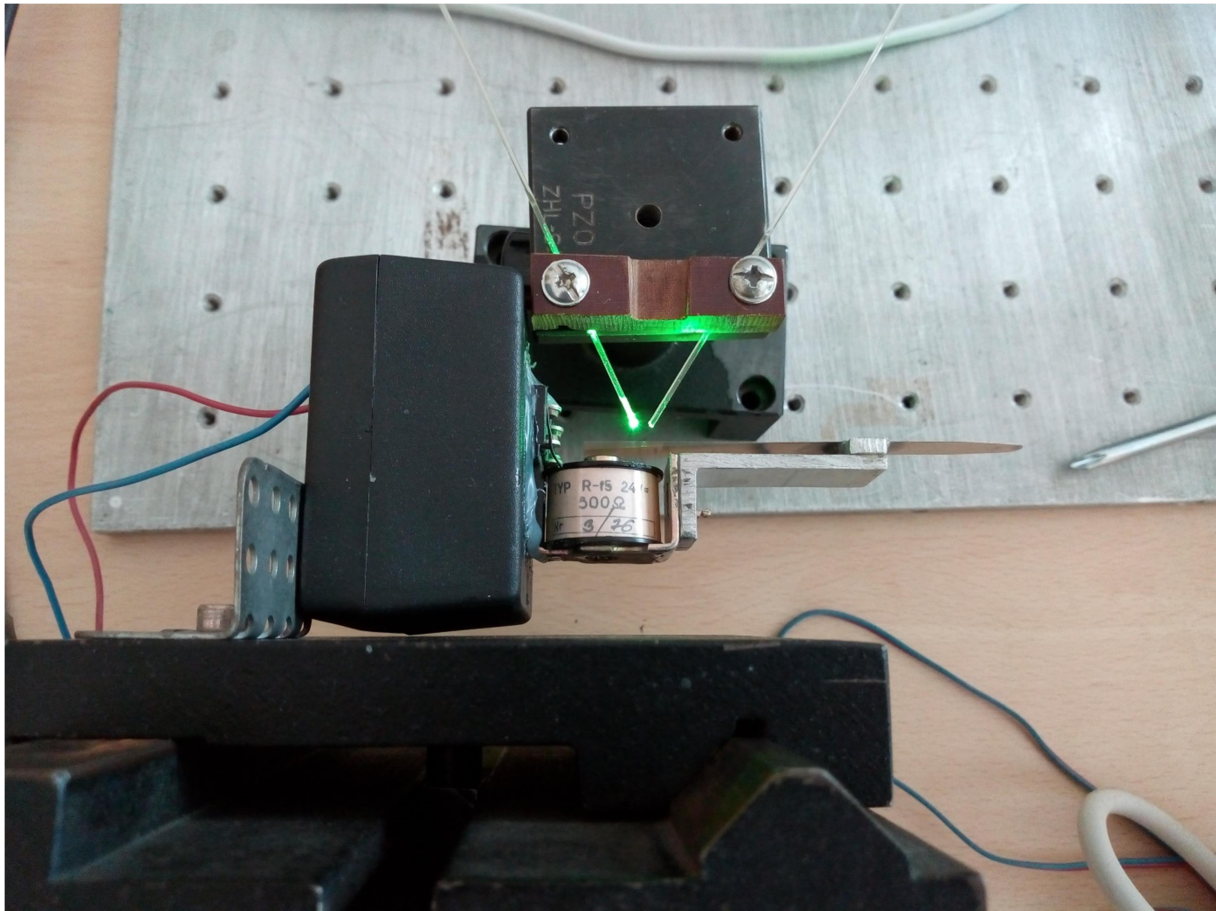
Układ pomiarowy



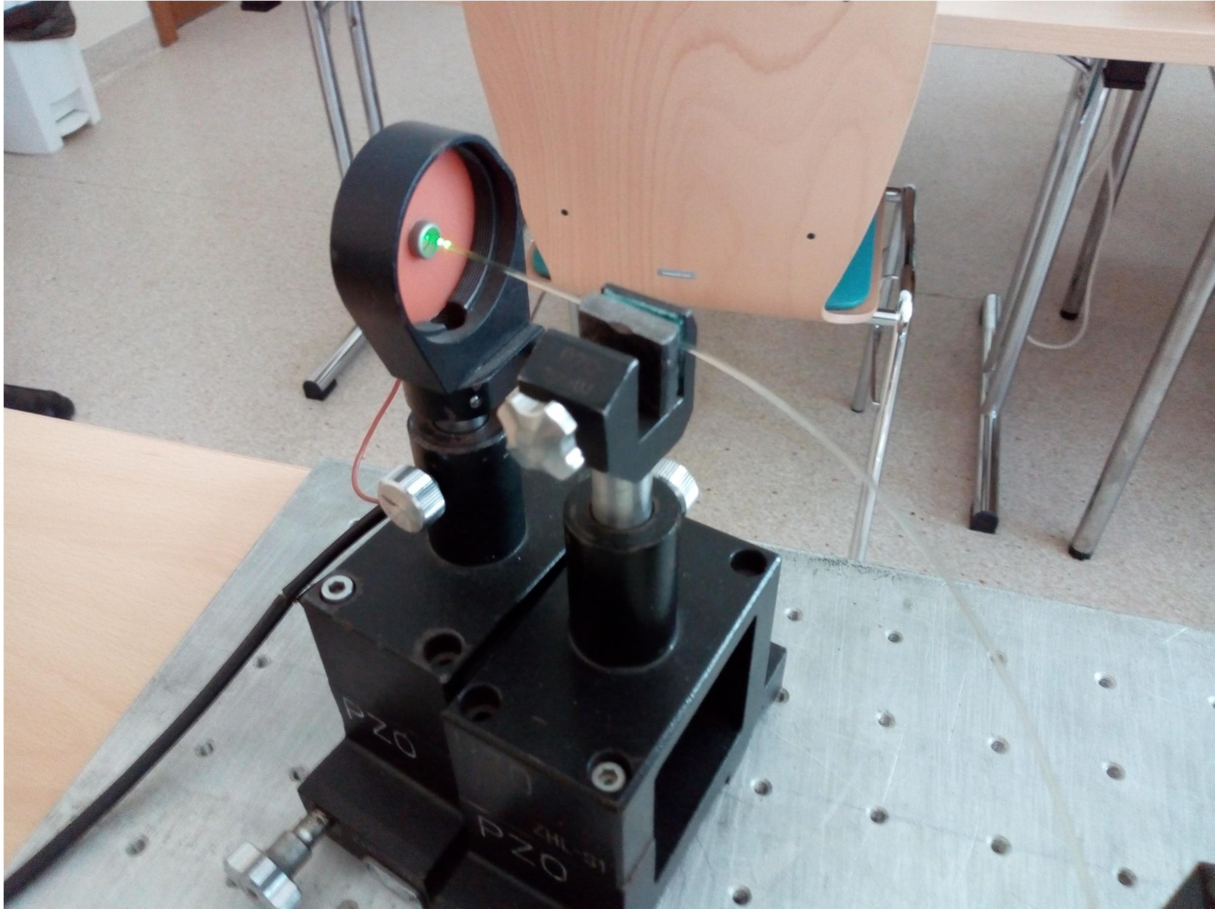
Układ pomiarowy od drugiej strony



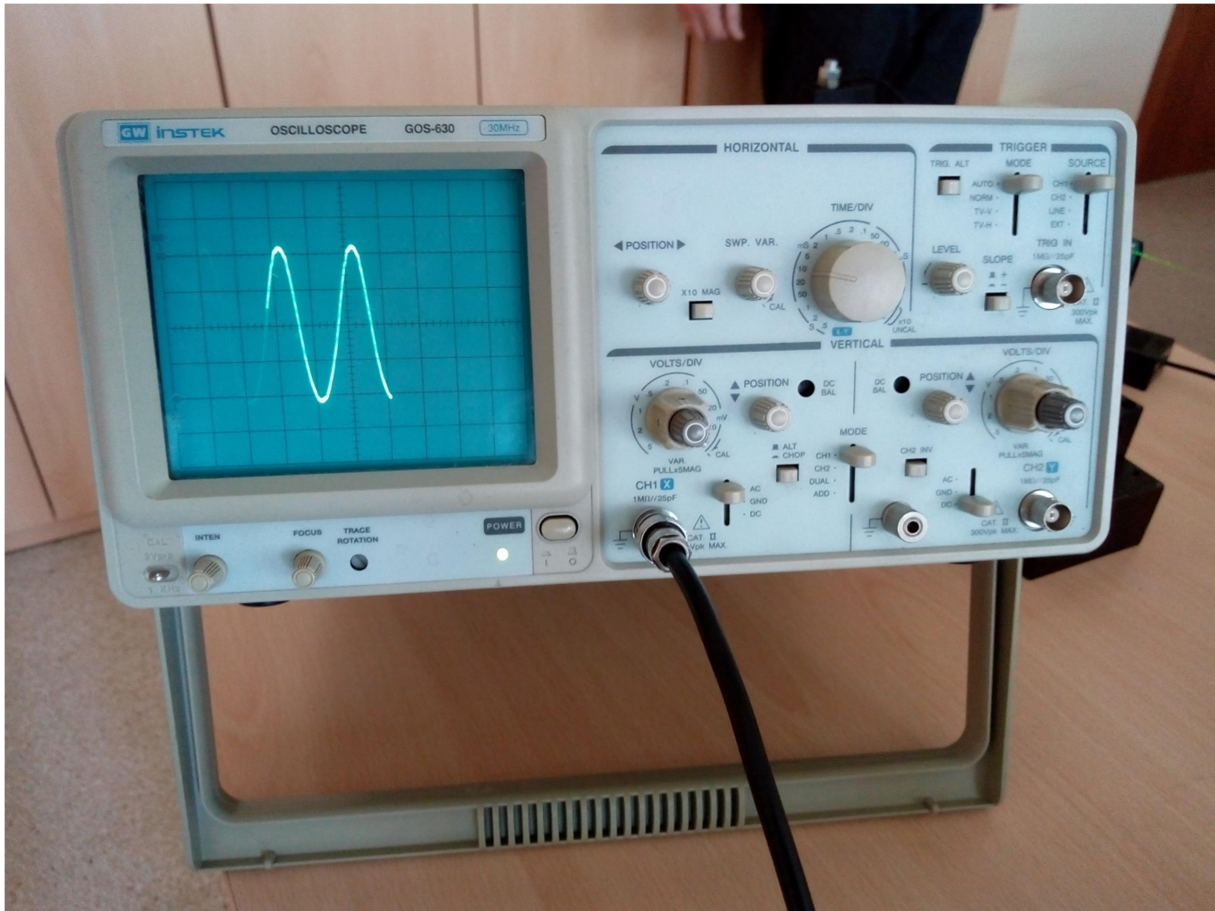
Laser, soczewka i znajdujący się w ogniskowej soczewki początek światłowodu



Światłowod oświetlający drgający element (blaszka) i światłowod odbiorczy.
Widoczna jest też poniżej blaszki okrągła cewka wytwarzająca zmienne pole magnetyczne
wprawiające blaszkę w drgania wymuszone.



Koniec światłowodu odbiorczego skierowany na detektor światła



Sygnal generowany na detektorze przez światło wychodzące ze światłowodu odbiorczego.