

Ondas mecânicas

ANÁLISE DE ONDAS ESTÁTICAS SOBRE UMA MOLA ESPIRAL TENSIONADA E UMA CORDA TENSIONADA.

- Geração de ondas longitudinais estáticas em uma mola espiral e de ondas transversais estáticas em uma corda.
- Medição das frequências próprias f_n em dependência do número n de nós.
- Determinação dos comprimentos de onda λ_n pertinentes e da velocidade de onda c .

UE1050700

03/16 UD



Fig. 1: Disposição de medição para análise de ondas estáticas sobre corda tensionada (à esq.) e uma mola tensionada (à dir.).

FUNDAMENTOS GERAIS

Ondas mecânicas surgem, por exemplo, em uma mola espiral tensionada ou em uma corda tensionada. Na mola espiral, fala-se em ondas longitudinais, pois o deslocamento ocorre paralelamente à direção de propagação. Ondas na corda, por outro lado, são ondas transversais. Em ambos os casos, formam-se ondas estáticas quando o meio portador é firmemente fixado em uma extremidade, pois a onda incidente e a onda refletida na extremidade fixa se sobrepõem com amplitude e comprimento de onda iguais. Se a outra extremidade também for fixada, as ondas somente podem espalhar-se se as condições de ressonâncias forem satisfeitas.

Seja $\xi(x,t)$ o deslocamento longitudinal, respectivamente transversal no local x ao longo do meio portador no tempo t . Então, vale

$$(1) \quad \xi_1(x,t) = \xi_0 \cdot \cos\left(2\pi \cdot f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right)$$

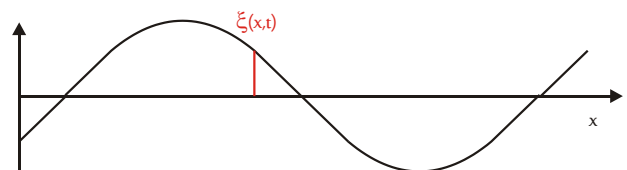


Fig. 2: Representação para definição do deslocamento local $\xi(x,t)$

uma onda senoidal correndo sobre o meio portador para a direita. A frequência f e o comprimento de onda λ são aqui interligados pela relação

(2) $c = f \cdot \lambda$
 c: Velocidade da onda.

Se esta onda for refletida vindo da esquerda em $x = 0$ em uma extremidade fixa, então se formará a onda correndo para a esquerda

(3) $\xi_2(x, t) = -\xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$

Ambas as ondas se sobrepõem para a onda estática

(4) $\xi(x, t) = 2\xi_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$

Estas reflexões valem completamente independentemente do tipo de onda e do meio portador.

Se a segunda extremidade também for fixada e isto estiver em $x = L$, para todos os tempos, a condição de ressonância

(5) $\xi(L, t) = 0 = \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot L)$

tem que ser satisfeita. Disto se conclui, para o comprimento de onda

(6a) $\frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot L = (n+1) \cdot \pi$ bzw. $\lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1}$

ou $L = (n+1) \cdot \frac{\lambda_n}{2}$

e, conforme equação (2) para a frequência

(6b) $f_n = (n+1) \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$

Ou seja, a condição de ressonância (5) demanda que o comprimento L seja exatamente um múltiplo inteiro da metade do comprimento de onda. A frequência de ressonância tem que se adequar a este comprimento de onda. n é aqui o número de nós de oscilação. Ele é zero, quando se formar somente um ventre na oscilação básica (vide Fig. 3).

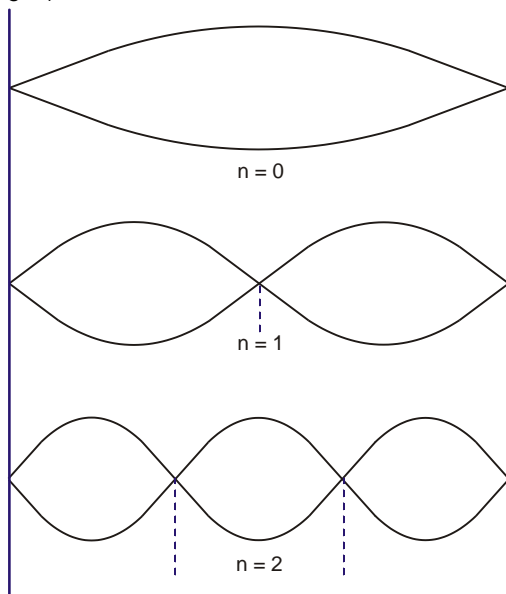


Fig. 3: Ondas estáticas

Na experiência, o meio portador – uma mola espiral ou uma corda – é fixado em uma extremidade. Na distância L em relação a ela, a outra extremidade é ligada a um gerador de vibrações que é operado por um gerador de funções para gerar oscilações com baixa amplitude e frequência f ajustável. Esta extremidade também pode ser observada como extremidade fixa para aproximação.

LISTA DE APARELHOS

- 1 Acessórios para oscilações de molas 1000703 (U56003)
- 1 Acessório para ondas em cordas 1008540 (U85560081)
- 1 Gerador de vibrações 1000701 (U56001)
- 1 Gerador de funções FG 100 @230V 1009957 (U8533600-230)
- ou
- 1 Gerador de funções FG 100 @115V 1009956 (U8533600-115)
- 1 Dinamômetro de precisão, 2 N 1003105 (U20033)
- 1 Fita métrica, 2 m 1002603 (U10073)
- 1 Par de cabos de segurança para experiências, 75cm, vermelho/azul 1017718 (U13816)

MONTAGEM

Ondas sobre mola espiral

- Fixar a haste de suporte angulada no encaixe no lado traseiro do gerador de vibrações.
- Enganchar uma extremidade da mola espiral na haste de suporte angulada, fixar o pino com auxílio do parafuso borboleta.
- Fixar a mola espiral com auxílio do pino no gerador de vibrações e tensionar desta forma.
- Ajustar o comprimento (efetivo) L da mola espiral (fig. 4a) para aprox. 30 cm. Se for o caso, adaptar a posição da haste de suporte angulada.
- Conectar o geração de funções ao gerador de vibração.

Ondas sobre corda

- Antes da colocação em operação, remover a trava de transporte (parafuso com porca) da placa de base.
- Parafusar a haste curta de suporte na placa de base. Parafusar a haste longa de suporte na haste curta de suporte.
- Colocar o dispositivo de desvio e o encaixe para dinamômetro na haste e fixar.
- Fixar a haste do suporte com pino no encaixe no lado de trás do gerador de vibrações.
- Pendurar o dinamômetro no encaixe. Se for o caso, executar calibração do ponto zero antes.
- Enganchar o elástico no dinamômetro e conduzi-lo ao gerador de vibração sob o dispositivo de desvio. Atentar para que passe paralelamente à mesa.
- Conduzir a corda pelo pino no oscilador do gerador de vibração e pela haste do suporte com pino. Com auxílio do parafuso borboleta, inicialmente fixar a corda somente na haste do suporte com pino. Isto serve como alívio de tensão transversal para a membrana do alto-falante (Fig. 5).

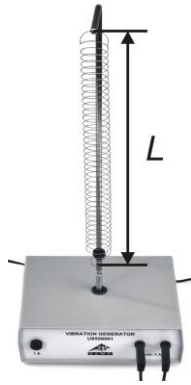


Fig. 4a: Ilustração do comprimento L efetivo da mola espiral tensionada.

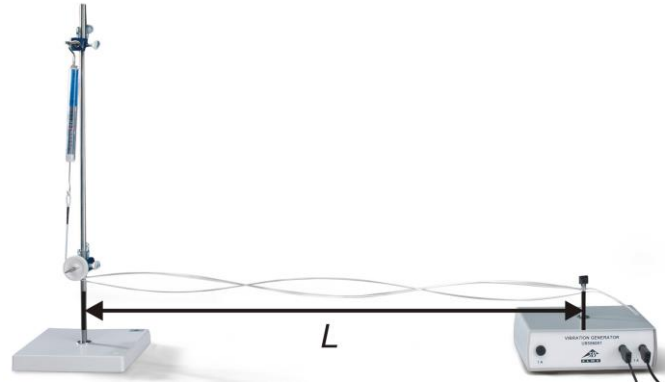


Fig. 4b: Ilustração do comprimento L efetivo da corda tensionada.

- Selecionar a distância entre o suporte com o dispositivo de desvio e o gerador de vibração de forma que o comprimento L (efetivo) da corda (Fig. 4b) seja de aprox. 90 cm. Tensionar a corda com auxílio do dinamômetro ($F \approx 0,6$ N) e fixá-la apenas levemente com auxílio do parafuso borboleta no pino do oscilador.
- Conectar o gerador de funções ao gerador de vibração.

REALIZAÇÃO

- Medir e anotar os comprimentos L efetivos da mola espiral tensionada e da corda tensionada (Fig. 4a, b).
- Selecionar a forma de onda "seno" no gerador de funções. Colocar o ajuste de amplitude em 5 V (posição de 12 horas).
- Aumentar e frequência de 1 Hz lentamente em etapas de 0,1 Hz tanto para a mola espiral quanto para a corda. As frequências de ressonância, em que não se formam nós de oscilação (um ventre de oscilação), um nó de oscilação, bem como dois, três, quatro e cinco nós de oscilação e anotar na Tab. 1 e na Tab. 2.
- Aumentar a força de tensão da corda sucessivamente para 1,0 N e 1,4 N. Para isto, deslocar o dinamômetro na haste do suporte para cima. Repetir respectivamente a medição e anotar as frequências de ressonância na Tab. 2.
- Para a determinação direta da carga da massa da corda, medir o comprimento total L_0 e a massa m da corda.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Comprimento L da mola espiral tensionada: 0,31 m
 Comprimento L da corda tensionada: 0,90 m

Tab. 1: Frequência de ressonância como função do número de nós para ondas ao longo de mola espiral

n	f_n / Hz
0	7,7
1	15,4
2	23,0
3	30,6
4	38,6
5	45,7

Tab. 2: Frequência de ressonância em dependência do número de nós para as ondas na corda com diferentes forças de tensão.

n	f_n / Hz		
	$F = 0,6$ N	$F = 1,0$ N	$F = 1,4$ N
0	7,9	9,8	12,1
1	15,7	19,6	24,0
2	23,4	29,4	35,7
3	30,9	39,2	47,3
4	39,4	49,5	59,2
5	47,5	58,7	71,7



Fig. 5: Ilustração do alívio de tensão transversal da corda tensionada.

Comprimento total da corda L_0 : 1,05 m
 Massa da corda m : 3,3 g

AVALIAÇÃO

Determinação da velocidade de onda c

Se se aplica a frequência de ressonância contra o número dos nós de oscilação, os pontos de medição segundo a equação (6b) ficam em uma reta com a inclinação

$$(7) \quad \alpha = \frac{c}{2 \cdot L} \Leftrightarrow c = 2 \cdot L \cdot \alpha.$$

Daí, é possível calcular a velocidade de onda c com comprimento L conhecido.

- Aplicar graficamente as frequências de ressonância f_n para as ondas sobre mola espiral (Tab. 1) e as ondas sobre corda (Tab. 2) contra a número n de nós de oscilação e adaptar a respectivamente uma reta (Fig. 6, Fig. 7).
- A partir das inclinações das retas α , determinar as velocidades de ondas c e anotar na Tab. 3 (ondas sobre mola espiral) e Tab. 4 (ondas sobre corda).

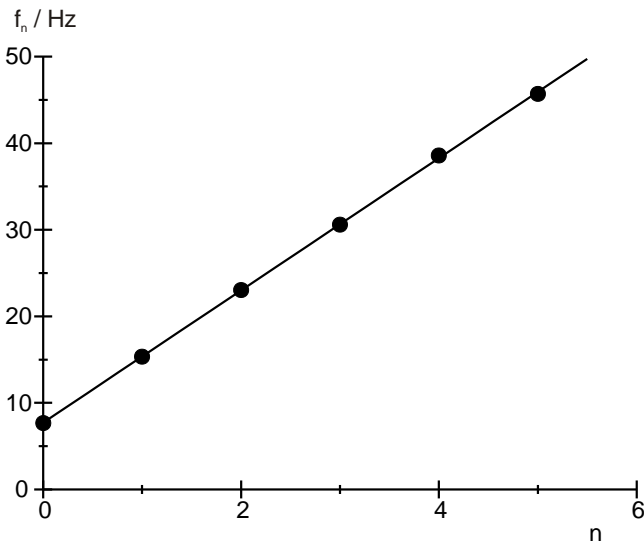


Fig. 6: Frequência de ressonância em dependência do número de nós para as ondas na mola espiral

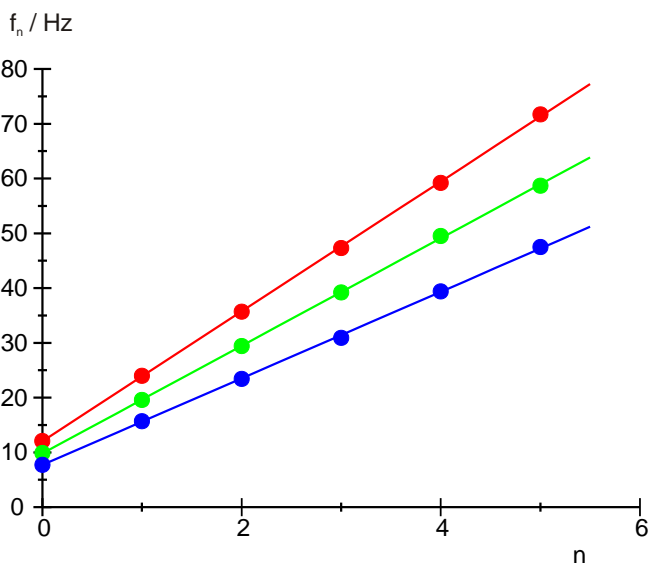


Fig. 7: Frequência de ressonância em dependência do número de nós para as ondas sobre corda com forças de tensão $F = 0,6 \text{ N}$ (azul), $F = 1,0 \text{ N}$ (verde) e $F = 1,4 \text{ N}$ (vermelho).

Tab. 3: Inclinação da reta adaptada e a velocidade de onda daí determinada para as ondas sobre mola espiral, comprimento da mola espiral (tensionada), $L = 0,31 \text{ m}$.

α / Hz	$c / \text{m/s}$
7,6	4,7

Tab. 4: Inclinação da reta adaptada, velocidades de ondas daí determinadas e seus quadrados para as ondas sobre corda com diferentes forças de tensão, comprimento da corda (tensionada) $L = 0,90 \text{ m}$.

F / N	α / Hz	$c / \text{m/s}$	$c^2 / \text{m}^2/\text{s}^2$
0,6	7,9	14,2	202
1,0	9,8	17,6	310
1,4	11,9	21,4	458

Determinação dos comprimentos de onda λ_n pertencentes às frequências de ressonância f_n

- Calcular os comprimentos de onda λ_n uma vez a partir dos comprimentos L e do número de nós n , e uma vez a partir das frequências de ressonância f_n e as velocidades de onda c para as ondas sobre mola espiral (Tab. 1, Tab. 3) e as ondas sobre corda (Tab. 2, Tab. 4) segundo as equações (6a) e (2) e anotar na Tab. 5 e Tab. 6.

Tab. 5: Comprimento de onda em dependência do número de nós para as ondas sobre mola espiral, comprimento da mola espiral (tensionada) $L = 0,31 \text{ m}$.

n	$\lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1}$	$\lambda_n = \frac{c}{f_n}$
0	0,62 m	0,62 m
1	0,31 m	0,31 m
2	0,21 m	0,21 m
3	0,16 m	0,16 m
4	0,12 m	0,12 m
5	0,10 m	0,10 m

Tab. 6: Comprimento de onda em dependência do número de nós para as ondas sobre corda, comprimento da corda (tensionada) $L = 0,90$ m.

n	$\lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1}$	$\lambda_n = \frac{c}{f_n}$		
		$F = 0,6$ N	$F = 1,0$ N	$F = 1,4$ N
0	1,80 m	1,80 m	1,80 m	1,77 m
1	0,90 m	0,90 m	0,90 m	0,89 m
2	0,60 m	0,61 m	0,60 m	0,60 m
3	0,45 m	0,46 m	0,45 m	0,45 m
4	0,36 m	0,36 m	0,36 m	0,36 m
5	0,30 m	0,30 m	0,30 m	0,30 m

Os comprimentos de onda, conforme esperado, conferem.

Determinação da densidade de peso μ da corda

A velocidade de onda depende, com os outros parâmetros iguais, da força de tensão F , como atestam a Fig. 7 e Tab. 4 para as ondas sobre corda. Vale:

$$(8) \quad c = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow c^2 = \frac{1}{\mu} \cdot F.$$

F : Força de tensão

μ : Densidade de peso

- Calcular os quadrados das velocidades de onda c^2 , anotar na Tab. 4, aplicar graficamente contra a força de tensão F e adaptar uma reta (Fig. 8).
- A partir da inclinação da reta conforme equação (8), determinar a densidade de peso μ da corda por formação do valor inverso.

$$(9) \quad \mu = \frac{1}{323 \frac{\text{m}}{\text{kg}}} = 0,0031 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 3,10 \frac{\text{g}}{\text{m}}.$$

- Determinar a densidade de peso diretamente a partir do comprimento e do peso medido de um pedaço de corda.

$$(10) \quad \mu = \frac{m}{L_0} = \frac{3,3 \text{ g}}{1,05 \text{ m}} = 3,14 \frac{\text{g}}{\text{m}}.$$

Os valores para as densidades de peso conferem até cerca de 1%.

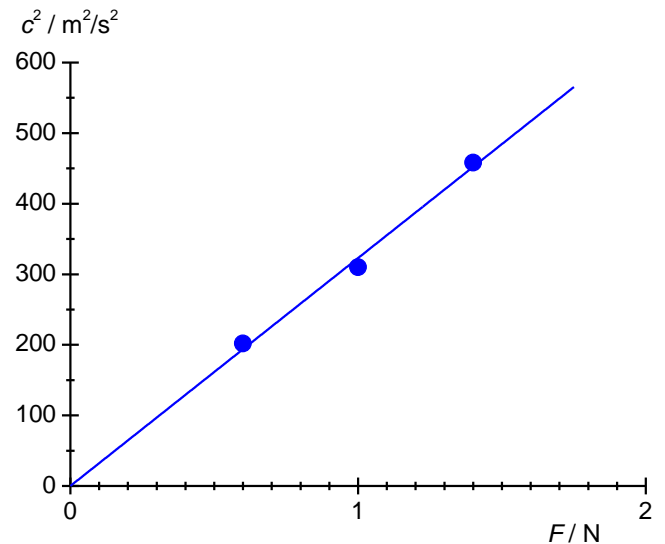


Fig. 8: Quadrado do comprimento de onda c^2 das ondas sobre a corda em dependência de F .

