PROFESSOR ERKLÄRBÄR

Serie Physik · Folge 9 · Advanced

PHYSIK

LEHRERINFO ZUM VIDEO

Schwingungen und Wellen

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	16 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- harmonische Schwingungen mit $y = \hat{y}\cdot\sin(\omega\cdot t)$ und $\omega = 2\pi\cdot f$ beschreiben,
- Perioden von Feder- und Fadenpendel berechnen und deren Gültigkeitsgrenzen nennen,
- Energieumwandlung, Dämpfung und Resonanz erklären,
- Wellen mit $c = \lambda\cdot f$ beschreiben und transversal/longitudinal unterscheiden,
- Interferenz, Schwebung und stehende Wellen ($L = n\cdot\lambda/2$) erklären,
- den Dopplereffekt für eine bewegte Quelle berechnen.

02 Voraussetzungen

Folge 9 Grundlagen („Schall“): Frequenz, Amplitude, Schallgeschwindigkeit. Folge 5 Advanced: Federgesetz, Spann- und Bewegungsenergie. Folge 3 Advanced: Kreisbewegung, ω. Mathematisch: Sinusfunktion, Wurzeln, Zehnerpotenzen.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	Millennium Bridge 2000 · Ident · Serien-Fahrplan (Mini-Wasserturbine)
0:49	Was du brauchst	f, T, Amplitude, 343 m/s · Federgesetz, ω
1:28	Die harmonische Schwingung	Schatten der Kreisbewegung · $y = \hat{y}\cdot\sin(\omega\cdot t)$ · Stimmgabel $\omega \approx 2760$ 1/s · $F = -D\cdot y$
2:27	Pendel	Federpendel, Auto ≈ 1 s · Fadenpendel, Schaukel 3,2 s · kleine Winkel · Galilei PAUSE-FRAGE Sekundenpendel 0,99 m
3:59	Energie und Dämpfung	$E = \frac{1}{2}\cdot D\cdot\hat{y}^2$ · gedämpfte Schwingung · Stossdämpfer

4:41	Resonanz	Schaukel · Resonanzkurve · Weinglas · Millennium Bridge · Taipei 101 · Tacoma (Flattern) · Merksatz
6:05	Wellen	transversal/longitudinal · Erdbeben · $c = \lambda \cdot f$ · Kammerton 0,78 m · Merksatz PAUSE-FRAGE Radio 3 m
7:46	Interferenz	konstruktiv/destruktiv · zwei Steine im Teich · Noise-Cancelling · Schwebung 440/442 Hz
8:41	Stehende Wellen	Knoten, $L = n \cdot \lambda/2$, f_n · Flöte · E-Saite 107 m/s, 12. Bund
9:53	Der Dopplereffekt	Wellenfronten · $f' = f \cdot c/(c \mp v)$ · Martinshorn 956/850 Hz · Fledermaus · Radarfalle
11:11	Turbinen-Baustein 9	Unwucht · Gestell-Eigenfrequenz 8 Hz = 480 U/min · Hochlaufen · auswuchten, versteifen
12:12	Prüfungsfallen	vier Fallen (siehe 04)
12:48	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs
13:25	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 10 Advanced

04 Typische Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- Fadenpendel-Formel für grosse Winkel – gilt nur für kleine Auslenkungen (Kapitel 3, 11).
- „Schwerere Masse → Fadenpendel langsamer." – Masse egal; beim Federpendel nicht (Kapitel 3, 11).
- ω und f verwechselt – $\omega = 2\pi \cdot f$ (Kapitel 2, 11).
- „Beim Mediumwechsel ändert sich die Frequenz." – f bleibt, c und λ ändern sich (Kapitel 6, 11).
- „Tacoma Narrows war einfache Resonanz." – Es war aeroelastisches Flattern (Kapitel 5).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Videoaufnahme der Millennium Bridge 2000; Vermutungen sammeln.

Experiment: Fadenpendel mit unterschiedlichen Längen und Massen; Federpendel mit Handy-Beschleunigungssensor (phyphox); Schwebung mit zwei Stimm-Apps; Dopplereffekt mit schwingendem Lautsprecher am Seil.

Vertiefung: Aufgaben 3–10; Resonanzkurven für verschiedene Dämpfungen skizzieren.

Prüfungsvorbereitung: Kapitel 11 und das Arbeitsblatt (Aufgaben im Stil von Matura-/Abiturprüfungen).

Hinweis: Die Doppler-Formel im Video gilt für eine bewegte Quelle und ruhenden Beobachter. Die Millennium Bridge wird vereinfacht als Resonanz mit Rückkopplung (synchrone seitliche Anregung) dargestellt.

06 Quellen

- Dallard, P. et al. (2001): The London Millennium Footbridge. The Structural Engineer 79(22)
- Taipei 101: Schwingungstilger ≈ 660 t – Thornton Tomasetti / taipei-101.com.tw
- Billah, K. Y. & Scanlan, R. H. (1991): Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks. American Journal of Physics 59(2)
- Gitarre: Mensur ≈ 650 mm, tiefe E-Saite 82,41 Hz (Stimmung a' = 440 Hz)
- Projektwerte der Mini-Wasserturbine: Serienplan Physik, Abschnitt „Roter Faden“
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Schwingungen und Wellen

g = 9,81 m/s² · Schallgeschwindigkeit in Luft 343 m/s · Lichtgeschwindigkeit 3·10⁸ m/s.

1 Harmonische Schwingung ●○○

Ein Körper schwingt mit $\hat{y}$ = 5 cm und f = 2 Hz. Gib T, ω und die Funktion $y(t)$ an.

2 Federpendel ●○○

An einer Feder mit D = 50 N/m hängt ein Körper mit 200 g. Berechne die Periode. Wie ändert sie sich mit 800 g?

3 Fadenpendel auf dem Mond ●●○

Ein Pendel von 1,0 m Länge schwingt auf der Erde und auf dem Mond (g = 1,62 m/s²). Berechne beide Perioden.

4 Energie ●●○

Eine Feder (D = 400 N/m) schwingt mit 3 cm Amplitude. Berechne die Schwingungsenergie. Was passiert mit ihr, wenn die Amplitude auf 6 cm steigt?

5 Resonanz ●●○

Erkläre mit dem Begriff Eigenfrequenz, warum Soldaten eine Brücke nicht im Gleichschritt überqueren sollen.

6 Wellenlänge ●○○

a) Ultraschall beim Arzt: 3 MHz in Gewebe (1540 m/s). b) Ein Ton von 440 Hz in Wasser (1480 m/s). Berechne jeweils λ.

7 Schwebung ●○○

Zwei Saiten klingen mit 196 Hz und 199 Hz. Wie oft pro Sekunde schwillt der Ton an?

8 Stehende Welle ●●●

Eine A-Saite (110 Hz) hat 65 cm schwingende Länge. Berechne die Wellengeschwindigkeit auf der Saite und die Frequenzen der ersten zwei Obertöne.

9 Dopplereffekt ●●●

Ein Zug hupt mit 500 Hz und fährt mit 30 m/s. Welche Frequenzen hörst du, wenn er auf dich zu- und wenn er wegfährt?

10 Turbine ●●○

Nach dem Versteifen hat das Gestell eine Eigenfrequenz von 15 Hz. Bei welcher Drehzahl liegt jetzt die Resonanz? Ist das Problem gelöst, wenn die Turbine höchstens 600 U/min dreht?

11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) Pendel auf dem Mond ☐ kürzer ☐ gleich ☐ länger

b) Luft → Wasser, gleich bleibt ☐ λ ☐ f ☐ c

c) Krankenwagen fährt weg ☐ höher ☐ gleich ☐ tiefer

d) doppelte Masse, Federpendel ☐ $2 \cdot T$ ☐ $\sqrt{2} \cdot T$ ☐ T

Lösungen

1 Harmonische Schwingung

$T = 0{,}5\ \text{s} \cdot \omega = 2\pi \cdot 2 \approx 12{,}6\ 1/\text{s} \cdot y(t) = 5\ \text{cm} \cdot \sin(12{,}6\ 1/\text{s} \cdot t)$

2 Federpendel

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(0{,}2 : 50)} \approx 0{,}40\ \text{s}$ · mit 800 g (vierfache Masse) doppelt so lang: ≈ 0,79 s

3 Fadenpendel auf dem Mond

Erde: $2\pi \cdot \sqrt{(1 : 9{,}81)} \approx 2{,}0\ \text{s}$ · Mond: $2\pi \cdot \sqrt{(1 : 1{,}62)} \approx 4{,}9\ \text{s}$

4 Energie

$E = ½ \cdot 400 \cdot 0{,}03^2 = 0{,}18\ \text{J}$ · bei 6 cm vierfach: 0,72 J

5 Resonanz

Liegt die Schrittfrequenz nahe an einer Eigenfrequenz der Brücke, regt der Gleichschritt sie periodisch im Takt an; die Amplitude kann sich gefährlich aufschaukeln.

6 Wellenlänge

a) $1540 : 3 \cdot 10^6 \approx 0{,}51\ \text{mm}$ b) $1480 : 440 \approx 3{,}4\ \text{m}$

7 Schwebung

199 − 196 = 3 Mal pro Sekunde

8 Stehende Welle

$\lambda = 2 \cdot 0{,}65 = 1{,}30\ \text{m} \rightarrow c = 1{,}30 \cdot 110 = 143\ \text{m/s}$ · Obertöne: 220 Hz und 330 Hz

9 Dopplereffekt

nähernd: $500 \cdot 343 : 313 \approx 548\ \text{Hz}$ · entfernend: $500 \cdot 343 : 373 \approx 460\ \text{Hz}$

10 Turbine

15 Hz · 60 = 900 U/min – weit über 600 U/min, die Resonanz wird beim Betrieb nicht mehr durchfahren.

11 Quiz

a) länger b) f c) tiefer d) $\sqrt{2} \cdot T$