Lösungshinweise zu Schwingungen

Im Folgenden handelt es sich um Lösungshinweise für die Hand der unterrichtenden Lehrkraft, nicht um vollständige Lösungen.

Die Aufgaben sind Lernaufgaben für den Einsatz im Unterricht, z.B. in Partner- oder Gruppenarbeiten. Da sie teilweise aufeinander aufbauen und nicht auf ein summatives Feedback zielen, eignen sie sich in dieser Form kaum für den Einsatz in Klassenarbeiten.

Inhalt

Lösungshinweise zu Schwingungen

3111_up_gedaempfte_schwingung: Unterrichtspräsentation zum Einstieg

Folie 1

Diskutieren Sie, welches *s*-*t*-Diagramm geeigneter ist, um den Ton der Klaviersaite darzustellen.

- Im Prinzip beide, da beim oberen Diagramm so wenige Periodendauern betrachtet werden, dass die Dämpfung vernachlässigbar ist.

Folie 2

Erklären Sie, wie die Dämpfung jeweils zustande kommt.

- Reibungskräfte (konkreter Bezug zur Situation!)

Beschreiben Sie, wovon es abhängt, wie stark die Dämpfung ist.

- Je größer die Reibungskraft, desto größer die Dämpfung. (konkreter Bezug zur Situation!)

Folie 3

Überlegen Sie, welche Richtung $\vec{F}_{\text{rück}}$ und $\vec{F}_{\text{R}}$ in den beiden dargestellten Situation haben. Zeichnen Sie passende Kraftpfeile ein.

- oben: $\vec{F}_{\text{rück}}$ und $\vec{F}_{\text{R}}$ nach links
- unten: $\vec{F}_{\text{rück}}$ nach links und $\vec{F}_{\text{R}}$ nach rechts

Erstellen Sie entsprechende Zeichnungen für $s < 0\ \text{m}$.

- Bewegung von der Gleichgewichtslage weg: $\vec{F}_{\text{rück}}$ und $\vec{F}_{\text{R}}$ nach rechts
- Bewegung zur Gleichgewichtslage hin: $\vec{F}_{\text{rück}}$ nach rechts und $\vec{F}_{\text{R}}$ nach links

Folie 4

Begründen Sie, warum F_{R} „automatisch“ die korrekte Richtung hat.

- Geschwindigkeitsrichtung = Bewegungsrichtung

Erklären Sie physikalische Bedeutung von k.

- $\vec{F}_{\text{R}}$ ist proportional zu v
- Je größer k, desto größer die Dämpfung

Folie 5

Geben Sie begründet passende Anfangsbedingungen für die Bewegung an.

- Start aus der Ruhe im oberen Umkehrpunkt

Erklären Sie, welchen Einfluss ein größeres (kleineres) δ auf die Bewegung hat. Stellen Sie den Zusammenhang zu k aus der Kräftebetrachtung her.

- Größere (kleinere) Dämpfung

- Daher je größer k, desto größer δ.

Folie 7

Vergleichen Sie die Messwerte mit der Modellierung.

- Während der ersten Perioden gute Übereinstimmung, danach deutlich zu starke Dämpfung bei der Modellierung

Begründen Sie, warum die Modellierung trotz der Abweichungen sinnvoll sein kann.

- So ist eine geschlossene mathematische Beschreibung der Dämpfung überhaupt möglich.
- sinnvolle Vorhersagen für kürzere Zeispannen
- Bei systematischer Abweichung kann man die geschwindigkeitsproportionale Reibung als Modell ausschließen.

Lösungshinweise zu Schwingungen

3114_praktikum_gedaempfte_schwingung: Praktikum zur gedämpften Schwingung

Auswertung

1. Erstellen Sie für jede Messreihe ein *s*-*t*-Diagramm.

- individuelle Lösung

2. **Modellieren: Gedämpft oder ungedämpft?**

   Eine Physiklehrkraft sagt: „Wenn sich die Amplitude über mehrere Periodendauern hinweg nur wenig ändert, ist es sinnvoll, die Schwingung als ungedämpft zu betrachten.“

   a) Erklären Sie, warum die ungedämpfte Schwingung in diesem Fall ein sinnvolleres Modell ist als die gedämpfte.

- Modellierung mathematisch wesentlich einfacher

   b) Untersuchen Sie, ob man eine (oder mehrere) Messreihen näherungsweise als ungedämpfte Schwingung auffassen kann.

- individuelle Lösung

3. **Bestimmen der Dämpfungskonstante δ mit dem WTR**

   a) Bestimmen Sie bei einer Messreihe aus dem *s*-*t*-Diagramm die Amplitude in den jeweiligen Umkehrpunkten. Halten Sie die Amplituden $\hat{s}$ mit den zugehörigen Zeitpunkten *t* in einer Tabelle fest (mind. 10 Werte).

- individuelle Lösung

   Sie bestimmen nun aus den ersten sechs Werten eine Dämpfungskonstante δ.

   b) Tragen Sie hierfür die *t*-Werte in Liste 1
   und die zugehörigen $\hat{s}$-Werte in Liste 2 des WTR ein.

   c) Lassen Sie den WTR in Liste 3 den natürlichen Logarithmus
   der Werte aus Liste 2 berechnen, d.h. $\ln(\hat{s})$ berechnen.

   d) Erstellen Sie ein $\ln(\hat{s})$-t-Diagramm.

   Ist das $\ln(\hat{s})$-t-Diagramm näherungsweise linear, ist die Modellierung sinnvoll. Die negative Steigung einer entsprechenden Ausgleichgeraden ist die Dämpfungskonstante δ.

   e) Beurteilen Sie, ob die Modellierung insgesamt oder eine bestimmte Zeitspanne sinnvoll ist. Geben Sie in diesem Fall die Zeitspanne an.

   f) Bestimmen Sie für diese Zeitspanne die Dämpfungskonstante δ.

- individuelle Lösung (Vorgehen: vgl. 3103_unterricht_schwingungen, S. 7-9)

Lösungshinweise zu Schwingungen

3115_ab_erwungene_schaukel: Arbeitsblatt zum Einstieg

1. Erklären Sie mit einer Energiebetrachtung, warum das wiederholte Anstoßen notwendig ist, damit die Amplitude beim Schaukeln konstant bleibt.

   - Energieabgabe durch die Reibungskraft bei der Dämpfung

Im Physik-Unterricht kommt es zu einer Diskussion:

Ben deutet auf die Markierung in der Abbildung: „Wenn man die Schaukel anstößt, wenn sie sich vom hinteren Umkehrpunkt zur Gleichgewichtslage bewegt, ist es am besten.“

Anna: „Man kann aber auch von vorne Stoßen.“

Leo: „Ja, aber wenn man sich ungeschickt anstellt, kann man beim Anstoßen der Schaukel Energie entziehen. Das spürt man dann aber auch.“

Emma: „Meint ihr nicht, es ist im Prinzip egal, wo man die Schaukel anschubst, solange man in die richtige Richtung schubst?“

2. Diskutieren Sie die vier Aussagen.

   - Ben: Man übt dann eine Kraft in Bewegungsrichtung aus, d.h. es wird Energie auf die Schaukel übertragen. Die Position ist für das Anstoßen geschickter als z.B. in der Mitte, wo zudem die Geschwindigkeit größer ist, sodass es schwieriger ist, eine Kraft auf die Schaukel nach vorne auszuüben. (vgl. zudem Anna)
   - Anna: Das ist richtig, wenn man symmetrisch zu der von Ben geschilderten Situation handelt.
   - Leo: Korrekt: Wenn man eine Kraft gegen die Bewegungsrichtung ausübt, bremst man die Schaukel zusätzlich und man spürt die Kraft von der Schaukel auf die Hand.
   - Emma: korrekt, solange man in Bewegungsrichtung (in den Umkehrpunkten: die zukünftige Bewegungsrichtung) schubst

Eine Physiklehrkraft sagt: „Zur Resonanz kann es nur kommen, wenn Eigenfrequenz und Erregerfrequenz übereinstimmen.“

3. Erläutern Sie die Aussage. Beschreiben Sie dabei, was geschieht, wenn man die Erregerfrequenz etwas zu klein oder zu groß wählt.

   - Bei Übereinstimmung ist die Phasendifferenz immer gleich, d.h. wenn man einmal „richtig“ angestoßen hat, bleibt es dabei und man führt ihr immer wieder Energie zu, sodass es zur Resonanz kommen kann.
   - Bei etwas zu kleiner oder zu großer Erregerfrequenz, ändert sich die Phasendifferenz immer mehr, sodass man nach einer Weile entgegen der Bewegungsrichtung der Schaukel stößt und ihr somit Energie entzieht. Da die Amplitude auf diese Weise kleiner wird, kann es nicht zur Resonanz kommen.

4. Tatsächlich ist die Aussage beim Anstoßen einer Schaukel nicht ganz richtig. Formulieren Sie eine korrigierte Fassung. Begründen Sie ihre Lösung.

   - Da man nicht bei jeder Periode anstoßen muss (sondern z.B. nur jedes zweite Mal), kann die Erregerfrequenz auch so gewählt werden, dass sie ein Teiler der Eigenfrequenz ist. (Es kann sogar ungleichmäßig erregt werden, solange die Abstände zwischen den Stößen jeweils ein Vielfaches der Periodendauer der Eigenschwingung sind.)

Lösungshinweise zu Schwingungen

3116_praktikum_resonanz_pendel: Praktikum zur Resonanz beim Fadenpendel

1. Freie Schwingung: „Eigenfrequenz“

Stellen Sie das Metronom auf 60 bpm. Bestimmen Sie die Pendellänge so, dass das Metronom in jedem Umkehrpunkt tickt (s. Abb.).

- Das sollte etwa bei 1 m der Fall sein.

2. Langsame Schwingung

Stellen Sie das Metronom auf ca. 40 bpm. Bewegen Sie die Hand im Takt einige Zentimeter hin und her (s. Abb.). Beobachten Sie Frequenz, Amplitude und Phasenlage des Pendels im Vergleich zur Bewegung der Hand.

- Pendelfrequenz = Erregerfrequenz
- Amplitude: klein, etwa so groß wie die Erregeramplitude
- Phasenlage: gleichphasig

3. Schnellere Schwingung

Stellen Sie das Metronom auf ca. 80 bpm. Wiederholen Sie 2. entsprechend.

- Pendelfrequenz = Erregerfrequenz
- Amplitude: sehr klein, fast 0
- Phasenlage: gegenphasig

4. Erregerfrequenz = Eigenfrequenz

Stellen Sie das Metronom auf ca. 60 bpm. Wiederholen Sie 2. entsprechend.

- Pendelfrequenz = Erregerfrequenz
- Amplitude: wesentlich größer als die Erregeramplitude
- Phasenlage: Erreger läuft voraus; $\frac{\pi}{2}$ (schwieriger zu erkennen)

5. Weitere Möglichkeiten (freiwillig)

- Untersuchen Sie das Verhalten des Pendels bei anderen Frequenzen.
- Eigene Ideen?

- individuelle Lösung

Auswertung

a) Geben Sie den Zusammenhang zwischen Periodendauer und Pendellänge beim Fadenpendel an. Überprüfen Sie damit den Messwert bei 1. Messgenauigkeit?

- $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$; individuelle Lösung; Betrachtung der Messgenauigkeit abhängig vom vorherigen Unterricht

b) Skizzieren Sie ein Amplitude-Frequenz-Diagramm der erzwungenen Schwingung. Markieren Sie darin die Eigenfrequenz des Pendels. Stellen Sie den Zusammenhang zu ihren Messungen her.

- vgl. 3102_hintergrund_schwingungen, S. 6
- individuelle Lösung

c) Informieren Sie sich über die Begriffe „erzwungene Schwingung“ „Resonanzkurve“, „Phasenlage bei erzwungenen Schwingungen“ und „Resonanzkatastrophe“. Ordnen Sie Ihre Versuchsergebnisse anhand dieser Begriffe ein.

- vgl. 3102_hintergrund_schwingungen, S. 5-8