

## Aufgaben 20      **Spektren** **Spektrum, Mehrfachschwinger, Eigenschwingungen**

### Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- eine neue Problemstellung bearbeiten können.
- wissen und verstehen, dass eine Summe von Sinusfunktionen gleicher Frequenz eine Sinusfunktion dieser gleichen Frequenz ist.
- wissen und verstehen, dass sich eine periodische Funktion darstellen lässt als Summe von Sinusfunktionen, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Frequenz der periodischen Funktion sind.
- wissen und verstehen, was eine Zeitfunktion, eine Spektralfunktion, ein Spektrum ist.
- wissen und verstehen, was ein Doppelschwinger, ein Mehrfachschwinger ist.
- wissen und verstehen, was eine Eigenschwingung, eine Eigenfrequenz eines Doppelschwingers, eines Mehrfachschwingers ist.
- das Spektrum eines Doppelschwingers, eines Mehrfachschwingers kennen und verstehen.
- wissen, dass ein N-fachschwinger N verschiedene Eigenfrequenzen hat und N verschiedene Eigenschwingungen ausführen kann.
- die Eigenschwingungen eines Mehrfachschwingers beschreiben und charakterisieren können.
- den Zusammenhang zwischen Trägheit und Elastizität bei einem schwingungsfähigen System verstehen.
- beurteilen können, ob bei einem schwingungsfähigen System Trägheit und Elastizität getrennt sind oder nicht.
- Beispiele von schwingungsfähigen Systemen, bei welchen Trägheit und Elastizität nicht mehr getrennt sind, kennen und deren Eigenschwingungen beschreiben und charakterisieren können.
- wissen, was die Grundschwingung und die Oberschwingungen eines schwingungsfähigen Systems sind.
- bei einem in Resonanz stehenden schwingungsfähigen System erkennen können, welche Eigenschwingung angeregt ist.
- den Zusammenhang zwischen den Eigenfrequenzen bei einem Federseil, bei einem Saiten- oder Blasinstrument kennen.
- die bei der Bewegung eines Systems gekoppelter Pendel auftretenden Impuls- und Energieflüsse kennen und verstehen.
- mit dem Computerprogramm VENSIM ein einfaches systemdynamisches Modell erstellen und abändern können.
- mit dem Computerprogramm VENSIM einfache Simulationen und Parameterstudien ausführen können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- einem Film relevante Informationen entnehmen können.

### Aufgaben

- 20.1      Studieren Sie im Buch KPK 3 die folgenden Abschnitte:
- 3.1 Einige Ergebnisse aus der Mathematik (Seiten 27 bis 29)
  - 3.2 Spektren (Seiten 29 und 30)
  - 3.3 Doppelschwinger (Seiten 30 bis 32)
  - 3.4 Mehrfachschwinger (Seite 33)
  - 3.5 Wenn Trägheit und Elastizität nicht mehr getrennt sind (Seiten 33 bis 35)

## 20.2 Experiment Posten 1: Federseil

Das Federseil ist an einem Ende fest montiert. Nehmen Sie das freie Ende in Ihre Hand, und spannen Sie das Federseil.

- a) Regen Sie nun nacheinander durch entsprechend schnelle Auf- und Abbewegungen der Hand mindestens drei verschiedene Eigenschwingungen des Seiles an.
  - i) Messen und notieren Sie sich die Frequenzen der beobachteten Eigenschwingungen, d.h. die Eigenfrequenzen.
  - ii) Finden Sie eine Beziehung zwischen den Eigenfrequenzen.
- b) Beurteilen Sie, ob beim Federseil Trägheit und Elastizität getrennt sind oder nicht (vgl. Buch KPK 3, Abschnitt 3.5, Seiten 33 bis 35)

## 20.3 Experiment Posten 2: Gekoppelte Pendel

Zwei gleiche Pendel sind über einen Faden mit angehängter Masse miteinander gekoppelt.

- a) Regen Sie alle möglichen Eigenschwingungen des Systems an.
  - i) Messen und notieren Sie sich die Frequenzen der beobachteten Eigenschwingungen, d.h. die Eigenfrequenzen.
  - ii) Beurteilen Sie, inwiefern die einzelnen Eigenfrequenzen von der Stärke der Kopplung abhängen.

Hinweis:  
Die Stärke der Kopplung kann durch eine Höhenverstellung der Kopplungsvorrichtung an den Pendelstangen variiert werden.
- b) Regen Sie das System der beiden Pendel wie folgt an:
  - Pendel 1: Anfangsauslenkung = 0, Anfangsgeschwindigkeit = 0
  - Pendel 2: Anfangsauslenkung = 0, Anfangsgeschwindigkeit = 0Beobachten und beschreiben Sie die Impuls- und Energieflüsse zwischen den beiden Pendeln.
- c) Beurteilen Sie, ob bei den gekoppelten Pendeln Trägheit und Elastizität getrennt sind oder nicht (vgl. Buch KPK 3, Abschnitt 3.5, Seiten 33 bis 35)

## 20.4 Modellieren und simulieren Sie mit **VENSIM** den folgenden Doppelschwinger: KPK 3, Abb. 3.6, Seite 31

Vorgaben:

- Die zentralen mengenartigen Grössen des Modells sollen die in den beiden Körpern gespeicherten Impulsmengen sein.
- Das Modell soll den zeitlichen Verlauf der folgenden Grössen aufzeigen:
  - Impuls, der im ersten Körper gespeichert ist
  - Impuls, der im zweiten Körper gespeichert ist
  - Ort des ersten Körpers
  - Ort des zweiten Körpers
  - Energie, die im ersten Körper gespeichert ist
  - Energie, die im zweiten Körper gespeichert ist
  - Energie, die in der ersten Feder gespeichert ist
  - Energie, die in der zweiten Feder gespeichert ist
  - Energie, die in der dritten Feder gespeichert ist

Simulieren Sie die Bewegung des Doppelschwingers für verschiedene Werte für die Massen der Körper und die Federkonstanten.

## 20.5 (siehe nächste Seite)

- 20.5 Am 7. November 1940 wurde die erst kurz zuvor eingeweihte Tacoma Narrows Brücke (siehe Bild) durch Winde derart in Schwingung versetzt, dass sie einstürzte.



Sie haben im Unterricht einen Videofilm über den Einsturz gesehen.

- Beurteilen Sie schlüssig, ob die Brücke als ein-, zwei- oder dreidimensionaler schwingender Körper zu betrachten ist.
  - Welche Eigenschwingung(en) war(en) angeregt (Grundschwingung, 1. Oberschwingung, ...)?
  - Schätzen Sie die Kräfte eines Taifuns ab.
  - Begründen Sie, warum bei einem Erdbeben kleine Brücken gefährdeter sind als grosse Brücken.
- 20.6 Eine Schwingung setzt sich wie folgt aus zwei sinusförmigen Schwingungen zusammen:

$$y(t) = \sin(t) + \sin(\sqrt{2} t)$$

Bestimmen Sie die Grundperiode  $T_0$  und die Grundfrequenz  $f_0$  dieser Schwingung.

## Lösungen

- 20.1 ...  
Lösungen zu den Aufgaben siehe kodierte Blätter (ausser Abschnitt 3.4)
- 20.2 a) i) ...  
ii) Die Eigenfrequenzen sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz (Frequenz der Grundschiwingung)  $f_0$ .  
b) Trägheit und Elastizität sind nicht getrennt.
- 20.3 a) i) ...  
ii) Nur eine der beiden Eigenfrequenzen hängt von der Stärke der Kopplung ab.  
b) ...  
c) Trägheit und Elastizität sind getrennt.
- 20.4 Ein VENSIM-Muster-File "Doppelschwinger (doppelschw.mdl)" finden Sie im Internet unter:  
<http://www.thomasborer.ch> Physik Dokumente/Links
- 20.5 a) zweidimensional  
b) 1. Oberschiwingung (Torsion), Grundschiwingung (Schwiwingung in Längsrichtung)  
c) ...  
d) ...
- 20.6 ...