

BIG B4NG challenge, 18. Wettbewerb Aufgabe 1

Diese Aufgabe wird vom Fachbereich Physik der Leibniz Universität Hannover gestellt.

Weitere Informationen zum Angebot der Physik für Schülerinnen und Schüler findet ihr unter <http://www.praktikumphysik.uni-hannover.de/SuS>

Schwingungstilgung bei Sendeantennen

Was war passiert?

Am 15. Januar 1985 um 6.26 Uhr stürzte der Antennenmast des WDR-Senders Bielstein ein und wurde vollständig zerstört. Der Mast war in der Nacht mehrere Stunden lang durch witterungsbedingte, energiereiche und turbulente Strömungen zu Schwingungen angeregt worden. Das führte zu einem Ermüdungsriß einer Lasche, die eines der Abspannseile mit dem Mast verband. Der Mast knickte zuerst in 160m Höhe ab. Anschließend stürzte auch der Rest des Mastes ein. Für die Berichterstattung zu dem Unfall gibt es ein Video: https://www.youtube.com/watch?v=gUMZsro_Dpc.

Zur Physik des Phänomens

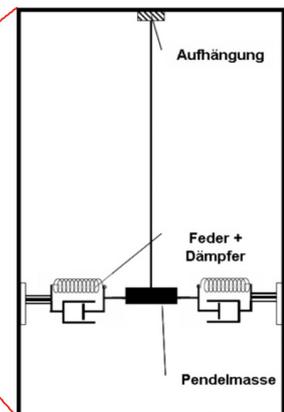
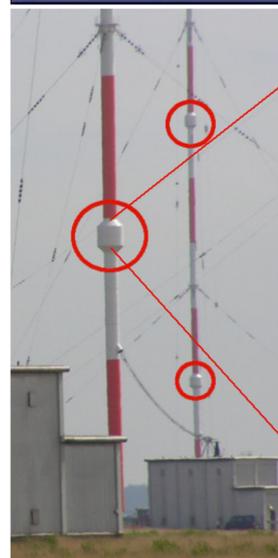
Karman-Effekt: Abwechselnd nach links und nach rechts drehend lösen sich Luftwirbel von einem umströmten Mast ab und bilden eine sog. Wirbelschleppe (Abb. rechts). Der Sendemast kann dadurch zu Schwingungen quer zur Windrichtung angeregt werden. Stimmt die Frequenz mit der Eigenfrequenz des Masts überein, kann sich die Schwingung aufschaukeln, die Amplitude wird immer größer – bis der Mast bricht.



Durch den Einbau von so genannten *Schwingungstilgern* lassen sich derartige Schwingungen stark dämpfen und die Schäden verhindern.

Wie funktioniert der Schwingungstilger?

Das Foto zeigt Sendemasten mit Schwingungstilgern: In den tonnenförmigen Verdickungen befinden sich Pendel. Für diese Pendel wird eine Pendelmasse schwingfähig zwischen Federn aufgehängt.



Gerät der Mast ins Schwingen, werden auch diese Pendel angeregt. Dieses Pendel ist mit einem Bewegungsdämpfer verbunden: Ein kleiner Stempel wird bei einer Schwingung des Pendels durch eine viskose Flüssigkeit bewegt. Die Bewegungsenergie des Pendels wird dabei durch Reibung in Wärme umgewandelt, die an die Umgebung abgegeben wird. Im Resonanzfall funktioniert diese Übertragung besonders gut. Die Schwingungsdämpfer bremsen diese Pendelschwingung wieder ab. Im Bild sind zur Vereinfachung nur zwei Feder-Dämpfer-Systeme dargestellt, die sich gegenüberstehen. Wenigstens drei solcher Systeme, jeweils um 120° versetzt, ermöglichen Schwingungsausschläge in jede Himmelsrichtung.

Die Aufgabe

Dimensioniert einen solchen Schwingungstilger (vereinfachtes Modell) und zeigt seine Wirkungsweise experimentell. An einigen Stellen hilft das Lexikon am Ende.

Grundlagenteil (10 Punkte)

- G1 Das 20 m lange Glasfaser-Kunststoffrohr auf der Mastspitze schwingt mit einer Resonanzfrequenz von 2 Hz. Wie lang ist ein Schwebependel der gleichen Frequenz?
- G2 Prüft mit einem Experiment die Formel, bestimmt experimentell den Wert des Proportionalitätsfaktors C .

$$T^2 = C \cdot L.$$

Mittlerer Aufgabenteil (10 Punkte)

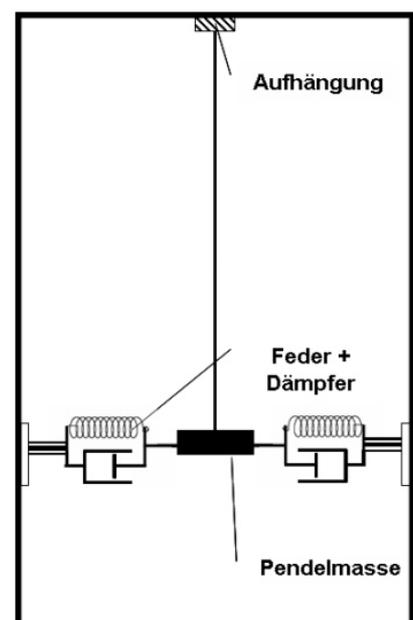
- M1 Die Pendelmasse ist beim realen Schwingungstilger zusätzlich durch drei horizontal, um 120° gegeneinander versetzt befestigte Zug-/Druckfedern elastisch aufgehängt. Wir machen uns das Leben hier etwas leichter: Berechnet hier die Gesamtfederkonstante D_{gesamt} für den einfacheren Fall zweier gegenüberliegender vorgespannter Zugfedern mit der gleichen Federkonstante D_{einzel} . Zeigt, dass gilt:

$$D_{\text{gesamt}} = 2 \cdot D_{\text{einzel}}.$$

- M2 Bestimmt D_{einzel} so, dass das Gesamtsystem Schwebependel + Federpendel mit der Federkonstanten D_{gesamt} mit einer Pendelmasse $m = 100 \text{ kg}$ eine Resonanzfrequenz von 2 Hz hat.

Für die Profis (10 Punkte)

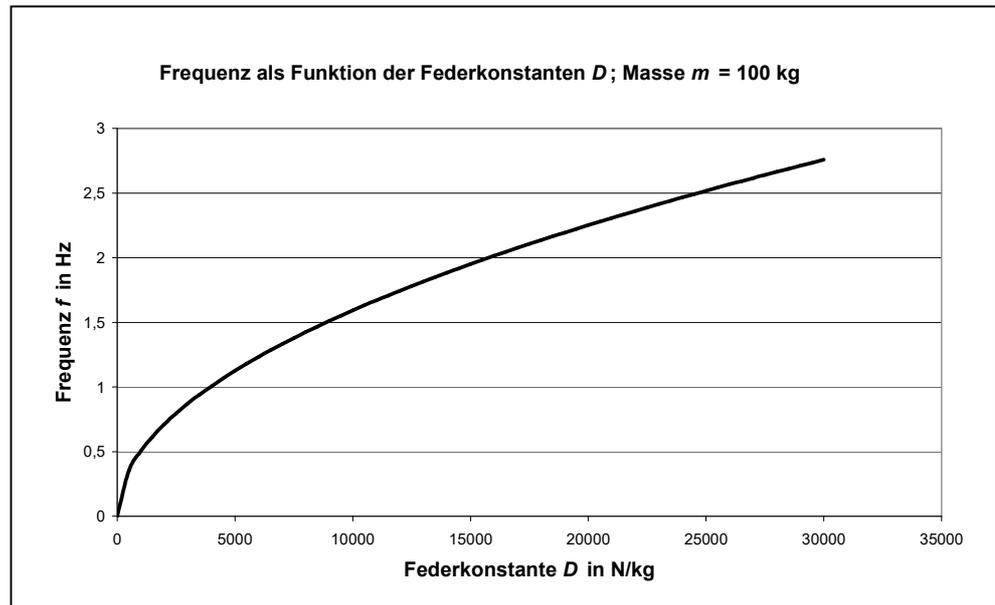
- P1 Welche Funktion haben die Schwingungsdämpfer, die parallel zu den Federn befestigt sind? Würde diesen Zweck auch ein kleines „Paddel“ erfüllen, das an der Pendelmasse befestigt ist und in eine viskose Flüssigkeit taucht? Was spricht gegen diese Lösung?



- P2 Warum stimmt man die Resonanzfrequenz des Pendelsystems auf diejenige des Sendemastes ab?
- P3 Mit einem Experiment kann man die Wirkungsweise gut demonstrieren. Entwerft eine entsprechende Anordnung, mit der der Einfluss von Pendelmasse, Pendelfrequenz und Dämpfung auf die Schwingungsamplitude bestimmt werden kann: 1. Eine gute, nachvollziehbare Zeichnung, 2. ein genau beschriebenes Messprogramm, 3. Messergebnisse.

Lexikon

Resonanz	Wird ein schwingfähiges System periodisch angeregt, beginnt es mit der gleichen Frequenz zu schwingen, mit der es angeregt wird. Stimmt die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz überein, ist die Amplitude dieser Schwingung besonders groß. Man spricht von Resonanz. Geht bei den großen Amplituden im Resonanzfall etwas kaputt, spricht man von einer Resonanzkatastrophe.
Schwingungsdauer T eines Schwerependels	Die Schwingungsdauer T ist die Zeit zwischen zwei benachbarten gleichen Schwingungszuständen. Ein Pendel mit der Länge $L = 0,994$ m braucht z. B. für eine komplette Schwingung ziemlich genau 2 s. Je größer die Pendellänge L , desto größer ist T . Die beiden Größen sind aber nicht proportional zueinander, sondern es gilt $T \sim \sqrt{L}.$
Frequenz f einer Schwingung	Die Frequenz beschreibt die Häufigkeit der Schwingungen pro Sekunde. Es gilt also: $f = \frac{1}{T}$
Gespannte Federn: HOOKE'sches Gesetz	Wird eine Feder aus dem entspannten Zustand um das Stück Δx auseinandergezogen, wirkt eine Rückstellkraft F proportional zu Δx : $F \sim -\Delta x$ Das Minuszeichen zeigt an, dass die Kraft in die zu Δx entgegengesetzte Richtung wirkt. Führt man die Proportionalitätskonstante D ein, kann man diesen Zusammenhang als Gleichung schreiben: $F = -D \cdot \Delta x.$ Man bezeichnet D als Federhärte oder auch Federkonstante.
Schwingung des Federpendels	Wird die Masse in dem Federsystem zur Seite ausgelenkt und losgelassen, schwingt sie mit der Frequenz f um den Ruhepunkt. Anders als beim Schwerependel hängt f von der Masse m ab: Je größer m , desto kleiner ist f . Auch die Federhärte bestimmt f . Je größer D , desto größer ist f . Die Grafik zeigt für eine Masse von 100 kg, wie die Eigenfrequenz f mit der Federhärte D zunimmt.



Allgemeine Hinweise

Einsendeschluss: Sonntag, 21. Oktober 2018, 19:59 Uhr.

Gebt eure Lösungen über unser Portal ab: <https://portal.studienberatung.uni-hannover.de/>

Zulässige Dateiformate sind: PDF für die zusammengeschriebene Lösung (mit eingebetteten Bildern) sowie unter Windows gängige Videoformate, die sich ohne Installation von zusätzlicher Software abspielen lassen, z. B. mp4.

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein (die Dateien können gezippt sein)! Bitte gebt auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an. Bitte benennt eure hochgeladenen Dateien nach dem Gruppennamen.

ACHTUNG bei Zip-Dateien! Um sicher zu gehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektoren/-innen zu öffnen sind, solltet ihr eure Zip-Dateien etc. noch mal von eurem Account herunterladen und öffnen. Dateien, die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Gebt eure Lösungen auch dann ab, wenn ihr nicht alle Fragen beantworten konntet! Vielleicht gelingt euch das ja bei den kommenden Aufgaben.

Die Teilnahmebedingungen und weitere Informationen findet ihr unter: www.uni-hannover.de/bigbangchallenge

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.