

178 Gekoppelte Pendel, gekoppelte Schwingungen und Synchronisation

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bezeichnung „gekoppelte Schwingungen“ trifft nicht das Wesen des Vorgangs, den man beschreiben möchte. Was man eigentlich zum Ausdruck bringen will, ist, dass das System zwei voneinander unabhängige harmonische Schwingungen ausführen kann, dass es also in zwei entkoppelte Teilsysteme zerlegt werden kann.

Gegenstand

Überschriften in verschiedenen Physikwerken:

„Gekoppelte Pendel“

„Gekoppelte Schwingungen“

„Koppelschwingungen“

Gemeint ist jedes Mal dasselbe. Zwei Pendel oder Federschwinger sind mit Hilfe einer schwachen Feder aneinander gekoppelt.

Mängel

Die Pendel, Abb. 1, sind gekoppelt. Zu sagen, dass die Schwingungen gekoppelt sind, ist eher ungeschickt, denn die Einsicht besteht gerade darin, dass man es mit zwei voneinander unabhängigen, also nicht gekoppelten Bewegungen zu tun hat. Von Kopplung spricht man in der Physik immer dann, wenn ein System nicht in zwei wechselwirkungsfreie Teilsysteme zerlegt werden kann. Oder in anderen Worten: Wenn die Hamilton- oder allgemeiner, die Massieu-Gibbs-Funktion nicht in variablenfremde Summanden zerfällt.

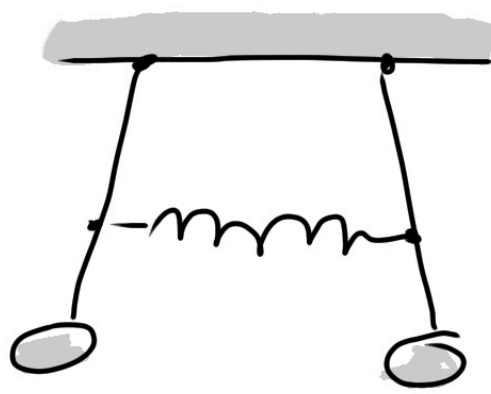


Abb. 1. Gekoppelte Pendel, aber keine gekoppelten Schwingungen

Das Pendelsystem zerfällt aber bei geeigneter Wahl der Koordinaten, nämlich der Normalkoordinaten, in zwei wechselwirkungsfreie Teilsysteme. Jede der beiden Koordinaten beschreibt eine der beiden Normalschwingungen.

Die Tendenz, die Pendel einzeln zu betrachten, statt die entkoppelten Eigenschwingungen, sieht man auch an den Erklärungsmustern der so genannten Synchronisation, einem überraschenden Phänomen, das Huygens entdeckt hat: Mehrere baugleiche Pendeluhren, die in einem gemeinsamen Gehäuse montiert sind, schwingen, wenn man ihnen etwas Zeit lässt, exakt synchron und mit einer ganz bestimmten Phasenbeziehung. Es erscheint zunächst fast als Wunder, dass sich die einzelnen Pendel von den Nachbarn hereinreden lassen, nicht nur mit welcher Phase sie schwingen sollen, sondern auch mit welcher Frequenz. Hat nicht jedes seine eigene Lieblingsfrequenz? Wie soll man die denn verändern?

So greifen die üblichen Erklärungen auf ein etwas wuchtiges Werkzeug zurück: Der Vorgang sei nichtlinear. Eine solche Erklärung ist zwar umfassend und korrekt, aber unnötig einschüchternd. Eine nützliche Regel der Lehre der Physik wird nicht beherzigt: Erkläre ein Phänomen am einfachsten Beispiel, bei dem es auftritt. Bei den normalen Schwingungen verfahren wir schließlich auch so: Erst die ungedämpfte harmonische Schwingung, und wenn noch Zeit übrig ist auch: die gedämpfte, die erzwungene, die selbst-erregte, die nichtlineare, die Kippschwingung...

Herkunft

Die Neigung, das zur Grundlage der Beschreibung zu machen, was wir mit den Augen wahrnehmen. Im vorliegenden Fall die Bewegungen der Einzelpendel.

Entsorgung

Man spricht nicht von gekoppelten Schwingungen, sondern, wenn man unbedingt will, von gekoppelten Pendeln. Man könnte auch sagen: Ein harmonischer Schwinger mit zwei Freiheitsgraden.

Was die Synchronisation betrifft:

Man betrachtet das einfachste Beispiel, etwa den Federschwinger von Abbildung 2. Wenn man das System irgendwie anregt, werden die beiden Körper im Allgemeinen ungeordnet herumwackeln.



Abb. 2. Federschwinger mit zwei Freiheitsgraden

Man führt dann eine Dämpfung ein, in Abbildung 3 durch die Schwingungsdämpfersymbole repräsentiert. Im Allgemeinen werden die beiden Eigenschwingungen unterschiedlich stark gedämpft sein. Die eine Schwingung stirbt also früher weg als die andere. Wenn es sich um eine selbsterregte Schwingung handelt, wie bei Huygens' Uhren, so wird sich das System die Energie vorzugsweise im Takt der nicht wegsterbenden Schwingung holen, sodass die eine Schwingung aufrechterhalten wird, der anderen dagegen Energie entzogen wird.

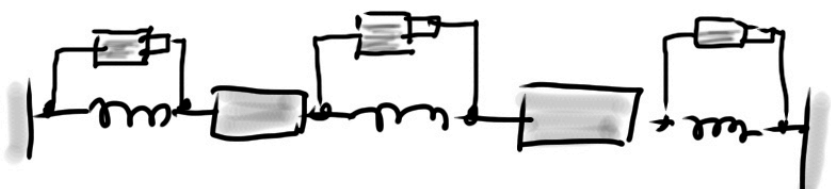


Abb. 3. Federschwinger mit Dämpfung. Eine der Eigenschwingungen ist stärker gedämpft als die andere.

Dieses Verhalten erscheint uns als Synchronisation: Wenn wir die beiden Körper als Teilsysteme sehen, so scheinen sie sich gegenseitig abzusprechen, sich auf eine gemeinsame Frequenz und Phase zu einigen – ein Wunder. Richten wir den Blick dagegen auf die beiden Eigenschwingungen, so entpuppt sich der Vorgang als ein Wegsterben der einen. Ein solches Verhalten ist für zwei unabhängige Schwingungen zu erwarten. Es wäre ganz unwahrscheinlich, dass beide gleich stark gedämpft sind.