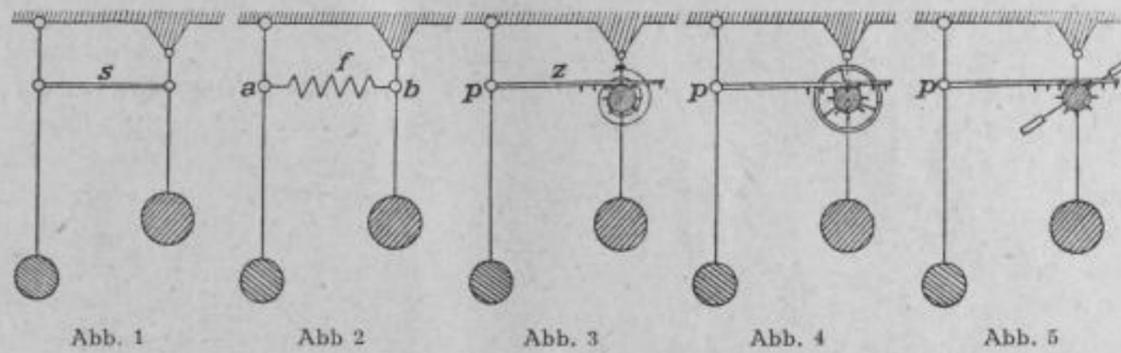


widerstand, magnetische Hysterese usw.) Wärme entsteht, schwingt gedämpft, und das völlig ungedämpfte System findet sich nur im Gebiete der „rationellen“ Mechanik, worunter man im engeren Sinne die Lehre von den sich ganz reibungslos abspielenden Bewegungen der Himmelskörper versteht.

Hat man nun mehrere schwingungsfähige Systeme, z. B. zwei Pendel, so kann man diese irgendwie aufeinander einwirken lassen. Dadurch werden aber die Schwingungen beider Systeme wesentlich verändert, und es treten ganz eigenartige wechselseitige Beeinflussungen auf, die unter Umständen geradezu komisch wirken. Man bringe z. B. zwei recht lange Magnetnadeln, die ja beide im magnetischen Felde der Erde zu schwingen vermögen, nahe aneinander heran; dann treten zu der Richtkraft des Erdfeldes die gegenseitigen Abstoßungen oder Anziehungen der Pole beider Nadeln, und es beginnt ein drolliges Bewegungsspiel, das lebhaft an die Kapriolen zweier kämpfenden Hähne erinnert. Wir haben hier also ein sinnfälliges Beispiel von zwei auf äußerst komplizierte Weise magnetisch gekoppelten Schwingungssystemen.

Nun zurück zu unseren beiden Pendeln. Man kann sie auf mannigfaltige Art und Weise miteinander koppeln, und die einfachsten Möglichkeiten sollen hier kurz besprochen werden. Abbildung 1 zeigt uns die beiden in „starrer“ Koppelung, d. h. sie sind durch eine leichte Stange  $s$  dergestalt aneinander gebunden, daß sie ihre Bewegungen nicht unabhängig voneinander machen können. Man sagt dann, der



„Koppelungsrad“ habe den Wert 1, während er zu 0 würde, wenn man  $s$  wegnähme. Bei solch absolut starrer Koppelung resultiert eine einzige gewöhnliche Schwingungsbewegung der zwei Pendel, die freilich von den Eigenschwingungen der beiden in bezug auf ihre Dauer im allgemeinen verschieden ist.

Die Abbildung 2 dagegen versinnbildlicht eine sogenannte Kraft- oder Lagenkoppelung, in der Elektrizitätslehre die kapazitive genannt. Die beiden Pendel sind durch eine zu Druck- und Zugwirkungen fähige, elastische, schraubenförmige Feder  $f$  verbunden, die stets dann auf jedes der beiden einwirkt, wenn sich die Entfernung der Punkte  $a$  und  $b$  geändert hat. Die Kraft der Feder tritt also dann in Erscheinung, wenn die gegenseitige Pendellage eine andere geworden ist; daher der Name. Schon in diesem ganz einfachen Koppelungsfalle sind die Bewegungen der beiden Pendel auch bei fehlender Dämpfung an ziemlich verwickelte Gesetzmäßigkeiten gebunden, auf deren Wiedergabe wir hier natürlich verzichten müssen. Nur so viel sei gesagt, daß jedes der zwei Systeme zwei übereinander gelagerte Schwingungsbewegungen ausführt, deren jede von den Pendelmassen und -längen, von der Federstärke und der Höhenlage der Punkte  $a$  und  $b$  auf den Stangen abhängt.

Unschwer ist einzusehen, daß man die Anordnung in der Abbildung 2 auch durch die in der Abbildung 3 ersetzen kann, wo eine leichte, vom linken Pendel gelenkig geführte Zahnstange  $z$  in ein auf dem rechten drehbar befestigtes Trieb eingreift, dessen Lage durch eine Spiralfeder beherrscht wird. Letztere ist spannungslos, wenn sich Trieb und Gelenk  $p$  in normaler Entfernung befinden.

Ersetzen wir aber die Spirale durch ein Schwungrädchen von passendem Trägheitsmoment, wie es die Abbildung 4 darstellt, so bekommen wir die sogenannte Beschleunigungskoppelung. Eine Kraft wird nämlich jetzt durch die Zahnstange nur dann auf die beiden Pendel übertragen, wenn die Geschwindigkeit, mit der sich das Trieb dem Punkte  $p$  nähert oder von ihm entfernt, eine Änderung erfährt oder, mit andern Worten, wenn das Schwungrädchen eine Drehbeschleunigung erleidet. Der Elektriker bezeichnet diese Koppelungsart als die induktive, und er realisiert sie durch die Verbindung der beiden Schwingungskreise durch gegenseitige Induktion, d. h. durch einen Transformator, dessen magnetisches Feld der Drehgeschwindigkeit unseres Schwungrädchens entspricht.

Baut man endlich an Stelle des Rädchens einen passenden Windfang ein (Abbildung 5), so erhält man die Widerstands- oder Reibungskoppelung, die in der Elektrotechnik als die konduktive bezeichnet wird. Jetzt ist die Kraft der Zahnstange jeweilig von der Geschwindigkeit selbst abhängig, mit der sich das Trieb von  $p$  entfernt oder sich ihm nähert. Da der Windfang durch Luftwirbelung und -Reibung Wärme erzeugt, so ist hier außer der natürlichen Dämpfung der zwei Pendel noch eine besondere Zusatzdämpfung am Werke, die die Schwingungen rascher abklingen läßt, als sie es bei den andern Koppelungsarten tun. Das ist eine Eigentümlichkeit der Reibungskoppelung.

Natürlich kann man die drei letzten Koppelungsarten beliebig kombinieren, z. B. kann man auf das Trieb sowohl die Spirale, als auch das Schwungrädchen und den Windfang setzen und dadurch eine Koppelung höheren Grades erzielen, deren Bewegungsgesetze äußerst verwickelt und der analytischen Behandlung direkt unzulänglich sind.

Je stärker man die Spirale, bzw. je größer man das Rädchen oder den Windfang macht, um so weniger lose ist die Koppelung, um so mehr nähert sie sich dem in der Abbildung 1 wiedergegebenen absolut „starrten“ Falle. Umgekehrt geht sie immer weiter in eine solche mit dem Koppelungsgrade 0 über, je schwächer man die Feder resp. je kleiner man das Rädchen oder den Windfang ausführt.

Haben mehrere solcher Schwingungssysteme die gleiche Eigenschwingungsdauer, so sagt man, sie seien auf einander abgestimmt. In diesem besonderen Falle treten auch besondere Bewegungsformen auf, was man Resonanz nennt. In der Nummer 6 der Deutschen Uhrmacher-Zeitung vom 4. April 1918 habe ich unter dem Titel „Die Schwingungen einer hängenden Taschenuhr“ einen besonderen Fall solcher kombinierten Bewegungen unter dem Gesichtspunkte der Interferenz beschrieben.

Wenn schließlich Herr Schieferstein ein Pendel durch Kurbel und Pleuelstange unter Zwischenschaltung einer Blattfeder antreiben will, und es wird dabei von der Abstimmung beider Systeme aufeinander gesprochen, so ist das insofern ohne rechten Sinn, weil ja die Kurbel als nicht schwingungsfähiges System gar keine ausgesprochene Eigenschwingungsdauer besitzt; von einer Abstimmung kann also hier nicht die Rede sein. Das Räderystem mit der Kurbel wird vielmehr unter Umständen Neigung zum Galoppieren zeigen, wie es z. B. auch beim Rieflergang infolge von Erschütterungen eintreten kann.

Wenn schließlich Herr Schieferstein ein Pendel durch Kurbel und Pleuelstange unter Zwischenschaltung einer Blattfeder antreiben will, und es wird dabei von der Abstimmung beider Systeme aufeinander gesprochen, so ist das insofern ohne rechten Sinn, weil ja die Kurbel als nicht schwingungsfähiges System gar keine ausgesprochene Eigenschwingungsdauer besitzt; von einer Abstimmung kann also hier nicht die Rede sein. Das Räderystem mit der Kurbel wird vielmehr unter Umständen Neigung zum Galoppieren zeigen, wie es z. B. auch beim Rieflergang infolge von Erschütterungen eintreten kann.

