©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die Bedeutung
des
freien Mitschwingens
auf
mechanischem, akustischem, optischem, elektrischem und chemischem Gebiet.

Von

Prof. Dr. Gustav Jäger.

Vortrag, gehalten den 27. Januar 1915.

Mit 2 Figuren im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wir spannen eine Stahllamelle von etwa 30 cm Länge und 1 cm Breite mit einem Ende in einen Schraubstock horizontal ein. Drücken wir mit dem Finger das herausragende freie Ende der Lamelle nach der Seite, so merken wir direkt, daß wir eine um so größere Kraft aufwenden müssen, je weiter wir das Lamellenende aus seiner Ruhelage bringen. Eine feinere Untersuchung ergibt, daß die Kraft immer proportional der Größe des Ausschlages ist. Lassen wir die aus ihrer Ruhelage gebrachte Feder los, so macht sie eine hin- und hergehende oder, wie man sagt, eine schwingende Bewegung.

Belasten wir das freie Ende mit einem Gewicht, so werden die Schwingungen langsamer. Die Schwingungszahl, d. h. die Anzahl der in der Sekunde vollführten Schwingungen wird kleiner. Wenn wir anstatt einer zwei gleich große Lamellen in der obigen Weise mit demselben Gewicht belasten, wird die Schwingungszahl größer. Für den mathematisch gebildeten Leser können wir direkt die Beziehung zwischen Schwingungszahl, Masse und elastischer Kraft aufschreiben:

$$\text{Schwingungszahl proportional } \sqrt{\frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}}.$$

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dabei meinen wir unter Kraft jene, welche wir benötigen, um den Körper 1 cm von seiner Ruhelage entfernt im Gleichgewicht zu halten.

Eine solche schwingende Bewegung zeigt, daß die Schwingungszahl unabhängig von der Schwingungsweite, d. h. unabhängig von der ursprünglich größten Entfernung des Körpers von seiner Ruhelage ist. Es ist also für die Schwingungszahl gleichgültig, ob wir den Körper kleine oder große Schwingungen vollführen lassen.

Analog den gekennzeichneten sind die Schwingungen eines Pendels, d. i. eines an einem Faden aufgehängten Körpers. Ein solcher wird nämlich von der Schwerkraft ebenfalls in seine Ruhelage zurückgezogen mit einer Kraft, welche proportional der Entfernung aus der Ruhelage ist. Bringen wir den Pendelkörper eines kürzeren Pendels um dieselbe Strecke aus seiner Ruhelage wie den eines längeren, so müssen wir dabei jenen höher heben, d. h. es zieht ihn auch eine größere Kraft in die Ruhelage zurück. Das kürzere Pendel hat daher auch die größere Schwingungszahl. Gleich lange Pendel haben dieselbe Schwingungszahl, weil Masse und Schwere der Pendelkugel sich in gleicher Weise ändern, so daß unabhängig von der Masse der Pendelkugel das Verhältnis $\frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}$ immer dasselbe bleibt.

Fasse ich die Pendelschnur nahe ihrem Aufhängepunkt und bewege ich sie schwingend hin und her, so

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

macht die Pendelkugel gewissermaßen diese Bewegung mit, ohne im allgemeinen eine große Schwingungsweite zu erlangen. Wir nennen diese Bewegung erzwungenes Mitschwingen des Pendels. In einem bestimmten Fall werden die Pendelschwingungen jedoch immer größer. Das geschieht dann, wenn die Schwingungszahl der einwirkenden Kraft gleich ist der Schwingungszahl des frei schwingenden Pendels. Ein solches Mitschwingen nennen wir freies Mitschwingen. Dieses soll uns besonders beschäftigen.

Beispiele des freien Mitschwingens gibt es auf mechanischem Gebiet ungezählte. Wenn die Soldaten eine Brücke im Marsch passieren, dürfen sie nicht Schritt halten. Es könnte nämlich vorkommen, daß die Brücke gerade im Tempo des Marschierens Schwingungen macht. Diese würden unter dem Einfluß des regelmäßigen Aufstampfens der Marschierenden immer größer werden und könnten die Brücke und die Soldaten direkt in Gefahr bringen.

Wenn wir ein stehendes Automobil beobachten, dessen Motor angelassen wird, so können wir häufig bemerken, daß verschiedene Teile wie Laternen, Kotschützer, Schutzglas usw. vorübergehend in starkes Schwingen geraten. Der Motor vollführt nämlich bei jedem Umlauf, mag er noch so präzis gearbeitet sein, einen kleinen Schlag auf den Wagen. Mit wachsender Tourenzahl wird diese vorübergehend gleich den Schwingungszahlen verschiedener Wagenbestandteile, die dann

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sofort in freies Mitschwingen geraten. Das ist außerordentlich wichtig für den Maschinenbau, weil das Mitschwingen so stark werden kann, daß, ohne daß die einwirkende Kraft eigentlich besonders groß ist, Brüche auftreten können. So passierte es in früherer Zeit zu wiederholtenmalen, daß Schiffswellen während der Fahrt auf diese Weise brachen, ohne daß sie sonst nennenswert beansprucht worden wären.

Ein Körper, der in der Luft schwingt, erzeugt, wenn seine Schwingungszahl größer als 40 ist, einen Ton, der um so höher ist, je größer die Schwingungszahl. Durch diese ist die Tonhöhe direkt gegeben.

Eine schwingende Stimmgabel, frei in der Hand gehalten, wird kaum gehört. Erst wenn wir sie auf eine Tischplatte oder auf einen sogenannten Resonanzboden mit dem Stiel aufsetzen, hören wir einen lauten Ton. Der Stiel, welcher ebenfalls schwingt, bringt den Resonanzboden in erzwungenes Mitschwingen. Dieser setzt eine viel größere Luftmenge in Bewegung, als es die Stimmgabel allein tun könnte, und wir hören deshalb den lauteren Ton.

Treffen Schallwellen auf einen Körper auf, so üben sie eine periodische Kraft aus. Ist der Körper ein elastischer von der Schwingungszahl des auftreffenden Tones, so muß er in freies Mitschwingen, d. h. ins Mittönen geraten.

Einige Beispiele, deren es unzählige gibt, mögen dies veranschaulichen. Stellen wir zwei Stimmgabeln

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einige Meter voneinander auf und verbinden wir die eine Zinke der ersten mit einer der zweiten Stimmgabel durch einen gespannten dünnen Faden, so kommt beim Anschlagen der einen die andere in kräftiges Mittönen. Man kann dies dadurch sichtbar machen, daß man an der freien Zinke der Gabel eine leichte Pendelkugel anliegen läßt, welche beim Ertönen der Gabel weggeschleudert wird. Der Versuch gelingt nicht, sobald man die eine Stimmgabel gegen die andere verstimmt, indem man eine Zinke mit etwas aufgeklebtem Wachs oder einem sonstigen irgendwie befestigten kleinen Gewicht beschwert. Auch ohne Verbindungsfaden läßt sich die Erscheinung hervorrufen, indem die Schallwellen, welche die eine Stimmgabel in der Luft erzeugt, bereits imstande sind, die andere Gabel zum Mittönen zu bringen. Allerdings ist die Wirkung schwächer als mit einem Verbindungsfaden.

Befestigen wir an einem Zinkenende einer Stimmgabel einen Faden und spannen ihn entsprechend, so kommt er beim Ertönen der Gabel in kräftiges Mitschwingen, falls er den Stimmgabelton als schwingende Saite wiedergibt (Meldes Versuch).

Auch die Saite eines Saiteninstruments können wir durch einen gespannten Faden mit einer Stimmgabelzinke verbinden. Stimmen Saite und Stimmgabel überein, so wird der Ton der Stimmgabel beim Anschlagen deutlich gehört, während die Stimmgabel allein so schwach klingen kann, daß man sie gar nicht hört. Bei verstimmter Saite wird kein Ton hörbar.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Läßt man am Brunnen ein Gefäß langsam vollaufen, so hört man dabei ein in seiner Tonhöhe beständig steigendes Geplätscher, bis das Gefäß voll ist. Die Tonhöhe ist durch die Schwingungszahl des Luftquantums bestimmt, welches im Gefäß jeweilig vorhanden ist. Durch das hineinplätschernde Wasser kommt die Luft ins Schwingen ähnlich wie in einem Blasinstrument. Man kann daher ein Gefäß leicht auf einen bestimmten Ton abstimmen, indem man es bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser füllt. Halten wir dann eine tönende Stimmgabel derselben Schwingungszahl darüber, so wird der Stimmgabelton sehr verstärkt. Halten wir ein beliebiges Gefäß mit seiner Öffnung leicht an unser Ohr, so haben wir eine Schallempfindung von ganz bestimmter Tonhöhe, indem aus allen Geräuschen, welche an unser Ohr gelangen, jene verstärkt werden, deren Höhe der Schwingungszahl der Luft im Gefäße entspricht.

Wenn wir denselben Ton von verschiedenen Musikinstrumenten hören, klingt er uns doch verschieden. Darin liegt ja die ganze Bedeutung des Instrumentierens eines Musikstückes. Jeder musikalische Klang besteht nicht nur aus jenem Ton, dessen Höhe wir direkt hören, sondern es klingen auch gleichzeitig Töne von der doppelten, dreifachen, vierfachen usw. Schwingungszahl mit, die man gesondert nicht hört, außer man richtet seine besondere Aufmerksamkeit darauf. Das, was man direkt wahrnimmt, ist vielmehr nur der tiefste, der sogenannte Grundton. Die an-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

deren nennen wir Obertöne. Je nach der Zahl und Intensität der Obertöne ändert sich jedoch der Charakter des Klanges. Das ist die Ursache, weshalb wir hören, ob ein Ton von einem Streichinstrument, einem Blasinstrument, dem Klavier, der Harfe usw. kommt.

Um die verschiedenen Klänge zu analysieren, d. h. um festzustellen, welche Obertöne in den verschiedenen Klängen vorhanden sind, hat sich Helmholtz der von ihm zu diesem Zweck erfundenen „Resonatoren" bedient. Es sind dies Hohlkugeln aus Messing, welche an zwei gegenüberliegenden Stellen Öffnungen besitzen (Fig. 1). Die Luft im Innern hat eine bestimmte Schwingungszahl. Steckt man den Ansatz der kleineren Öffnung ins Ohr, so hört man den Eigenton des Resonators aus demselben Grunde wie oben bei dem Gefäß, welches wir mit seiner Öffnung ans Ohr halten. Zur Analyse des Klanges hat man nun eine ganze Reihe solcher Resonatoren, deren Schwingungszahlen sich wie 1 : 2 : 3 : . . . verhalten. Man erzeugt mit irgendeinem Instrument jenen Ton, welcher dem tiefsten Resonator entspricht. Man nimmt dann der Reihe nach die übrigen Resonatoren aus Ohr. Jeder Oberton, der in dem erzeugten Klang enthalten ist, wird durch den entsprechenden Resonator verstärkt gehört.

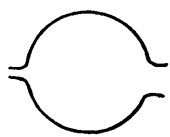

Fig. 1.

Auf diese Weise wurde auch gefunden, daß der besondere Klang der gesungenen Vokale a, e, i usw.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nur durch die Art der vorhandenen Obertöne verursacht wird. Die Bestätigung dafür können wir ohneweiters finden, wenn wir von einem Klavier den Dämpfer abheben und in die Saiten einen bestimmten Vokal in einem dem Klavier eigenen Ton hineinsingen. Da für alle Obertöne mitschwingende Saiten vorhanden sind, so muß das Klavier nachklingen, und zwar mit der Klangfarbe des erzeugenden Tones. In der Tat kann man die Klangfarbe verschiedener Instrumente auf diese Weise deutlich hören. Es gelingt auch sehr gut, die

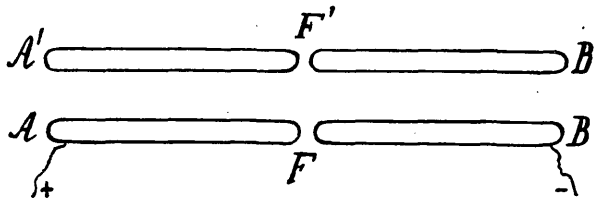

Fig. 2.

Vokale a, o, u zu erzeugen; e und i mißlingen, weil sie so hohe Obertöne haben, daß sie die Klaviersaiten nicht in genügendes Mitschwingen versetzen.

Wo immer wir Schwingungen begegnen, ist auch freies Mitschwingen möglich. Eine ganz besondere Rolle spielen in neuerer Zeit die elektrischen Schwingungen. Wir wollen einen einfachen Fall deren Erzeugung in Betracht ziehen. Wir denken uns zwei Metallzylinder mit abgerundeten Enden *A* und *B* (Fig. 2). Der erste werde elektrisch geladen. Wird die Spannung groß genug, so erfolgt eine Entladung durch einen auf *B* überspringenden Funken an der Stelle *F*. Man

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sollte nun meinen, es würde von *A* nach *B* so viel Elektrizität strömen, bis die Spannung in beiden Zylindern gleich groß ist. Dem ist aber nicht so. Auch an der strömenden Elektrizität können wir eine Eigenschaft ähnlich der Trägheit der Materie beobachten. Die Elektrizität fließt weiter und sammelt sich fast ganz in *B* an. Sie kehrt aber dann wieder zurück gegen *A* usw. Wir haben elektrische Schwingungen vor uns von außerordentlich großer Schwingungszahl. Von solchen Schwingungen werden elektrische Wellen in den Raum ausgesandt ähnlich den Schallwellen von einer schwingenden Stimmgabel.

Treffen diese Wellen eine gleiche Vorrichtung *A'B'*, wie der Wellenerzeuger *A B* sie ist, so erregen sie in dieser elektrische Schwingungen, die sich durch Funkenentladungen bei *F'* geltend machen. Diese Funken sind naturgemäß viel schwächer als bei *F*. Man kann deren Vorhandensein einem größeren Publikum leicht sichtbar machen, indem man von ihnen eine Gasflamme entzünden läßt.

Die elektrischen Schwingungen gehen äußerst rasch vor sich. Bei dem von uns beschriebenen Versuch erfolgen sie nach Millionen in der Sekunde.

Könnten wir den geladenen Konduktor *A* rasch abwechselnd in die Lage *B* und wieder zurück in die Lage *A* bringen, so würde die Elektrizität ebenfalls eine schwingende Bewegung machen, nämlich gleichzeitig mit dem Körper, auf welchem sie sich befindet. Es liegt auf der Hand, daß die so in Bewegung ge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

setzte Elektrizität nach außen gerade so in Wirksamkeit tritt wie bei sonstigen elektrischen Schwingungen. Auch in diesem Falle würden elektrische Wellen ausgesendet.

Wie die Materie so stellen wir uns auch die Elektrizität aus kleinsten Teilchen bestehend vor, die nicht weiter teilbar sind. Während wir die kleinsten Körperteilchen Atome genannt haben, nennen wir die kleinsten Elektrizitätsteilchen Elektronen. Die Elektronen sind mit den Atomen durch Kräfte verbunden und können auf und in den Atomen Schwingungen vollführen.

Durch die Wärmebewegung der Atome werden die Elektronen ins Schwingen versetzt und senden elektrische Wellen aus, die wir als Wärmestrahlen wahrnehmen. Liegen deren Schwingungszahlen zwischen 400 und 700 Billionen, so haben wir es mit sichtbaren, d. h. Lichtstrahlen zu tun.

Das Licht wird von durchsichtigen Körpern gebrochen. Wir können es mit Hilfe eines oder mehrerer Glasprismen von seinem Wege um einen beliebigen Winkel ablenken. Dabei machen wir die Beobachtung, daß verschieden gefärbtes Licht verschiedene Ablenkung erfährt, d. h. wir können mit Hilfe eines Prismas das Licht in seine Farben zerlegen. Man verfährt dabei gewöhnlich so, daß man das Licht durch einen feinen Spalt gehen läßt. Von diesem Spalt entwirft man mit Hilfe einer Linse ein Bild. Bringt man in den Strahlengang ein Prisma, so erfährt das Bild

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

eine Ablenkung, und zwar für jede Farbe eine andere. Der Spalt wird also so oft abgebildet, als verschiedene Farben vorhanden sind.

Das Licht eines festen glühenden Körpers wird dabei in ein kontinuierliches Farbenband, ein sogenanntes Spektrum zerlegt. Dieses Band besteht also aus einer Unzahl färbiger Spaltbilder, welche so enge aneinander liegen, daß man sie getrennt nicht wahrnehmen kann, daß sie vielmehr lückenlos ineinander übergehen.

Anders ist die Sache bei einem glühenden Dampf, wie wir ihn etwa erhalten, wenn wir ein Metallsalz in einem Bunsenbrenner erhitzen. Solches Licht zeigt dann kein kontinuierliches Spektrum, sondern eine bestimmte Reihe von Spaltbildern, die getrennt voneinander erscheinen. Sie werden um so sicherer voneinander getrennt sein, je schmäler wir den Spalt machen. Diese feinen Spaltbilder nennt man dann Spektrallinien.

Jeder in Dampfform glühende Körper sendet nun ihm eigentümliche Farben aus, d. h. er hat sein individuelles Spektrum. Man kann so z. B. die Spektren der chemischen Elemente ein- für allemal feststellen. Verdampft man daher einen unbekannten Körper und untersucht sein Spektrum, so kann man erkennen, aus welchen Elementen er zusammengesetzt ist. Das ist die so fruchtbare Spektralanalyse.

Treffen elektrische Wellen Elektronen gleicher Schwingungszahl, so werden diese in freies Mitschwin-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gen kommen. Gleichzeitig werden die Atome, auf welchen sich die Elektronen befinden, in lebhaftere Bewegung geraten, d. h. sie absorbieren Wärme. Der Körper wird also vorzüglich jene Strahlen absorbieren, welche er selbst aussendet. Dieses läßt sich so nachweisen, daß man in den Gang des Lichtes eines kontinuierlichen Spektrums die Flamme eines glühenden Dampfes bringt. Es zeigen sich dann im Spektrum dunkle Linien, und zwar an derselben Stelle, wo sonst die Flamme ihre hellen Linien hätte. Man pflegt das kurz so auszudrücken: Das Emissionsspektrum ist mit dem Absorptionsspektrum desselben glühenden Körpers vollkommen identisch. So finden wir im Sonnenspektrum eine große Zahl dunkler Linien und man hat daraus erkannt, daß die Sonne aus denselben chemischen Elementen besteht wie die Erde.

Wir können elektrische Schwingungen fast von beliebig kleiner Schwingungszahl sowie ohne Unterbrechung bis hinauf zu sehr hohen herstellen, so daß der Übergang von elektrischen zu Wärmewellen fast überbrückt ist. Sichtbar werden die Wärmewellen bei einer Schwingungszahl von etwa 400 Billionen. Sie erscheinen als rotes Licht. Bei wachsender Schwingungszahl erhalten wir die Farben orange, gelb, grün, blau, violett. Dieser Farbe entsprechen etwa 700 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Noch höhere Schwingungszahlen besitzen die nicht mehr sichtbaren, jedoch chemisch stark wirksamen ultravioletten

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Strahlen. Dann kommt aber eine große Lücke. Die Schwingungszahlen elektrischer Wellen, welche wir gegenwärtig genau kennen, setzen erst mit ungefähr einer Trillion wieder ein. Es sind dies die Erzeuger von Röntgenstrahlen. Ob diese Lücke ausgefüllt werden wird? Man kann es hoffen, aber nicht voraussagen. Die Möglichkeit läßt sich nicht leugnen.

Betrachten wir überhaupt die Geschichte der elektrischen Wellen, so wurden die verschiedenen Gebiete zu sehr verschiedenen Zeiten erforscht. Zuerst erkannte man die Lichtwellen, dann die Wärmewellen mit kleineren, die Wellen ultravioletter Strahlung mit größeren Schwingungszahlen als jene des sichtbaren Lichtes. Dann erzeugte man elektrische Wellen mit Schwingungszahlen kleiner als jene der Wärmewellen. Schließlich erkannte man die Wellenbewegung der Röntgenstrahlen mit den über alle Vorstellungen hinausgehenden hohen Schwingungszahlen. Von der Erzeugung elektrischer Wellen noch unbekannter Schwingungszahlen darf die Wissenschaft noch manchen künftigen Triumph erwarten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: 55

Autor(en)/Author(s): Jäger Gustav

Artikel/Article: Die Bedeutung des freien Mitschwingens auf mechanischem, akustischem, optischem, elektrischem und chemischem Gebiet. 231-245