Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 10 (1937)

Heft: VI

Artikel: Demonstrationsapparat zur Wellenlehre : Gruppen- und Phasengeschwindigkeit

Autor: Greinacher, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-110759

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Demonstrationsapparat zur Wellenlehre; Gruppen- und Phasengeschwindigkeit

von **H. Greinacher** (Bern).

(18. XI. 37.)

Die Interferenz zweier Wellenzüge mit nahezu gleicher Frequenz führt in bekannter Weise zu Schwebungen. D. h. auf der Strecke liegen in gleichmässigem Abstand Stellen maximaler Verstärkung und maximaler Schwächung. Diese Energiemaxima bzw. -minima wandern mit dem Wellenzug, so dass die ankommende Wellenintensität periodische Schwankungen aufweist. Sofern beide Wellen dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit besitzen, pflanzen sich auch die Energiemaxima bzw. -minima mit derselben Geschwindigkeit fort, und die Schwebungsfrequenz ist in diesem Falle gleich der Differenz der Einzelfrequenzen. Anders wenn die Wellen Dispersion zeigen. Dann breitet sich die Wellenenergie mit grösserer oder kleinerer Geschwindigkeit fort als die Wellen selbst, und man hat, wenn mit c_g die Gruppengeschwindigkeit bezeichnet wird

$$\text{nach Rayleigh } c_g = c - \lambda \frac{dc}{d\lambda}.$$

Diese Beziehung, die z. B. bei der Ausbreitung von Wasserwellen oder Lichtwellen im dispergierenden Mittel anzuwenden ist, hat in neuerer Zeit womöglich noch an Bedeutung gewonnen. Gibt sie doch nach de Broglie den Zusammenhang der mechanischen Geschwindigkeit eines Massenteilchens mit der Geschwindigkeit der ihm zuzuordnenden Materiewellen an. Hier tritt der Unterschied zwischen c_g und c besonders sinnfällig in Erscheinung. Während c Überlichtgeschwindigkeit besitzt, ist z. B. für ein ruhendes Masseteilchen $c_g = 0$. Es können also Wellen noch so grosse Ausbreitungsgeschwindigkeit besitzen, die Wellensignale d. h. die Energie bzw. Massenpakete stehen im Raume fest und kommen gar nicht an.

Um diese Beziehungen eindrücklich demonstrieren zu können, wurde der im folgenden beschriebene Apparat entwickelt. Das Prinzip desselben geht aus dem Schema der Fig. 1 hervor. Hier sind die Wellen nicht durch Sinuslinien, sondern durch Recht-

ecke dargestellt. Ein dunkles bedeute etwa einen Wellenberg, ein helles ein Wellental. Die beiden Wellenzüge sind somit durch zwei Reihen von abwechslungsweise dunklen und hellen Rechtecken wiedergegeben. Das Verhältnis der Wellenlängen ist gleich 10 : 9 gewählt. Da, wo übereinander helle oder schwarze Zähne stehen, haben wir Verstärkung, d. h. die Bäuche B. Zwischendrin liegen die Knoten K.

Wenn man nun die beiden Reihen *übereinander* legen würde, so wären die Knoten dadurch ausgezeichnet, dass sich dort schwarze Zähne aufeinander folgen. Liesse man daher eine solche Reihe am Auge vorbeiziehen, so sähe man nacheinander Stellen mit Hell- und Dunkelwechsel dann wieder schwarze Stellen, oder, sofern die Bewegung rasch erfolgt, würden Stellen mittlerer Helligkeit mit solchen vollkommener Dunkelheit abwechseln. Man sähe in dieser Weise Bäuche und Knoten an sich vorbeiziehen. Ihre Laufgeschwindigkeit wäre gerade die der Wellengeschwindigkeit selbst.

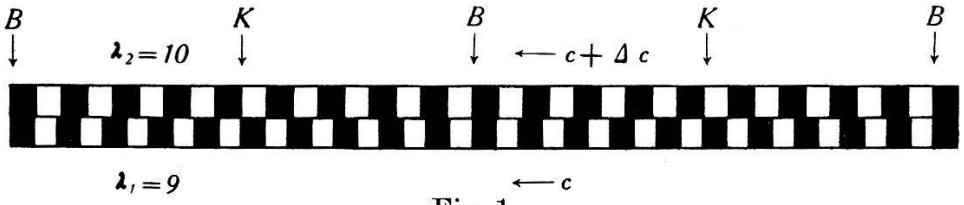

Fig. 1.

Nur wenn die beiden Reihen etwas verschieden schnell laufen, werden die Gruppen eine andere Geschwindigkeit aufweisen. Besitzt z. B. die obere Reihe der Fig. 1 eine etwas grössere Geschwindigkeit als die untere, so wird c_g kleiner als c ausfallen. Denn nach Rayleigh folgt für diesen Fall, wo mit der grösseren Wellenlänge auch eine grössere Geschwindigkeit verknüpft ist, d. h. für $dc/d\lambda > 0$, dass dann $c_g < c$. Das sieht man unmittelbar ein, wenn man zunächst die beiden Reihen als feststehend annimmt und jetzt die obere Reihe ein Weniges nach links verschiebt. Dann rücken die Knoten etwas nach rechts. Bei bewegten Wellen heisst das aber nichts anderes, als dass die Knoten gegen diese etwas verzögert seien, oder dass $c_g < c$.

Um dies nun zu demonstrieren, hat man nur eine Einrichtung zu treffen, die erlaubt, die beiden Wellenzüge der Fig. 1 übereinander zu legen und sie mit einem gewissen Geschwindigkeitsunterschied am Auge vorbei wandern zu lassen. Dann wird man die Grösse der Gruppengeschwindigkeit jederzeit an der Schnelligkeit ermessen können, mit der die dunklen Stellen, eben die Knoten, vorbeiziehen. Es lässt sich natürlich auch der Grenzfall realisieren, wo die schwarzen Stellen trotz grösster Phasengeschwindig-

keit feststehen, ja wo sie sogar sich rückläufig bewegen. Statt dass Signale dann fortwandern, kommen deren rückwärts fortwährend von einem imaginären Wellenzentrum an.

Der Apparat ist nun in Fig. 2 abgebildet. Er besteht aus zwei kreisförmigen Glasscheiben, auf denen dunkle und helle Sektoren angebracht sind, so dass sich in regelmässigem Abstand undurchsichtige und transparente Stellen folgen. Auf der einen Scheibe befinden sich 12, auf der anderen 13 Sektorenpaare. Eine mechanische Vorrichtung bewirkt, dass die Scheiben gleichsinnig, jedoch mit regulierbar verschiedener Geschwindigkeit rotieren können. Diesem Zweck dient ein Antrieb mittels zweier konischer Riemenscheiben. Durch Verschieben des Riemens

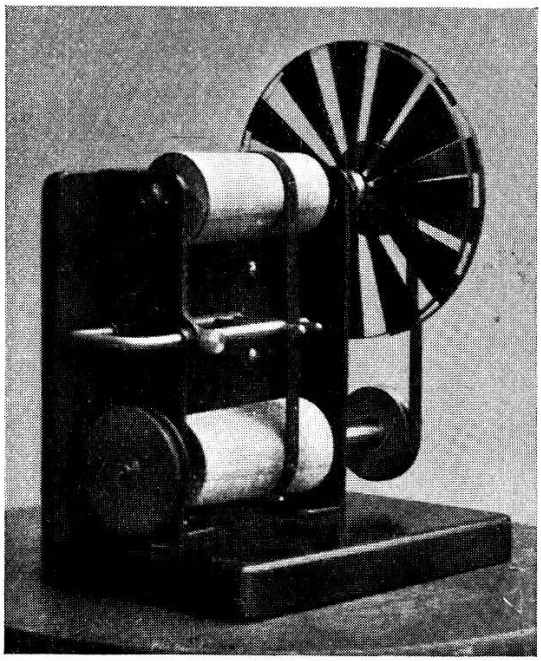

Fig. 2.

mittels einer beweglichen und fixierbaren Gabel kann das Geschwindigkeitsverhältnis der beiden Axen kontinuierlich verändert werden. Da die Steigung der Konusse etwa $^{10}/_{9}$ beträgt, kann die Übersetzung von etwa $^{9}/_{10}$ bis $^{10}/_{9}$ variiert werden. Das Verhältnis der Wellenlängen liegt mit $^{13}/_{12}$ innerhalb dieses Bereiches. Der untere Konus ist einerseits mit der zweiten Scheibe durch Riemenantrieb 1 : 1 verbunden, andererseits mit einem Rad für Schnurantrieb durch einen Motor versehen. Für die Kupplung der Räder erwies sich im übrigen ein weiches Elastikband als zweckmässig.

Zur Demonstration wird man kondensiertes Licht durch die obere Partie der Glasscheiben hindurchsenden. Die Scheiben

selbst projiziert man an die Wand. Durch Verstellen des Elastikriemens an der Metallgabel kann man es leicht so einrichten, dass auch bei grosser Rotationsgeschwindigkeit der Scheiben ein schwarzer Sektor erscheint, der nun stehen bleibt oder sich dann im einen oder anderen Sinn langsam herumbewegt. Es ist leicht einzusehen, dass das Wellenpaket dann stehen bleibt, wenn $c = k\lambda$. Denn unter dieser Bedingung liefert die Rayleigh'sche Beziehung $c_g = 0$, unabhängig von der Grösse der Proportionalitätskonstanten k.

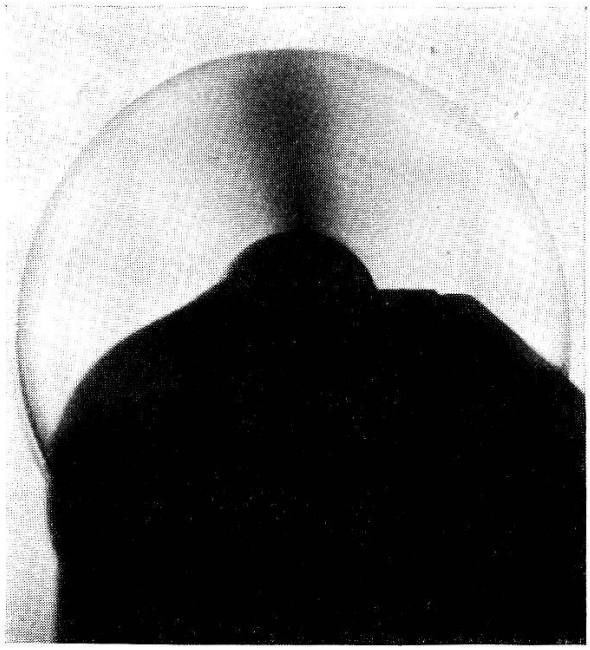

Fig. 3.

Zum Schluss sei noch eine photographische Aufnahme der Erscheinung wiedergegeben, wie sie mir in freundlicher Weise von Herrn W. Klein ausgeführt worden ist. Fig. 3 zeigt in ausdrucksvoller Weise den ruhenden schwarzen Sektor, der, wie zu erwarten, nach den Seiten zu ins Helle abschattiert ist. Für die Demonstration nicht wesentlich, aber als Einzelheit erwähnenswert ist der Umstand, dass der Sektor nicht völlig radial verläuft, sondern an der Peripherie etwas im Bewegungssinn mitgeführt erscheint. Eine Erklärung für dieses Verhalten steht noch aus.

Anhang. Kommt es nur darauf an, den speziellen Fall $c_g = 0$ für $c = k\lambda$ zu demonstrieren, dann kann auch folgende einfache Einrichtung verwendet werden. Man wählt zwei Schraubenspindeln mit rechteckigem Gewindequerschnitt und etwas verschiedener Ganghöhe. Man lasse beide um zwei einander parallele Axen nahe beieinander mit gleicher Geschwindigkeit rotieren.

Blickt man nun quer zu den Spindeln so, dass die Gewindeprofile wie die beiden Zahnreihen der Fig. 1 hintereinander liegen, so erkennt man leicht die Stellen, wo die Zähne scheinbar ineinander eingreifen. Diese Stellen bleiben bei beliebiger Rotationsgeschwindigkeit der Spindeln exakt immer an der gleichen Stelle.

Dreht sich nämlich eine Spindel einmal um ihre Axe, so verschiebt sich die Zahnreihe um eine Ganghöhe, d. h. um eine Wellenlänge. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle ist aber Ganghöhe durch Umdrehungsdauer. Da letztere für beide Spindeln dieselbe ist, so ist die Wellengeschwindigkeit in beiden Fällen der Ganghöhe, d. h. der Wellenlänge proportional. Dies hat aber den Erfolg, dass die Verzahnungsstellen, d. h. die Wellengruppen immer an derselben Stelle bleiben müssen.

Physikalisches Institut der Universität Bern.