

Hydrodynamische Erscheinungen, welche den elektrischen und magnetischen analog sind.

Von Prof. C. A. BJERKNES in Christiania.

Die Untersuchungen, von welchen hier die Rede ist, gehen in ihrem ersten Ursprunge zu dem Jahre 1856 zurück. In dem Wintersemester 1855—1856 hielt in Göttingen *Dirichlet* Vorlesungen über partielle Differentialgleichungen, und unter anderm behandelte er dort sein neues Fundamentalproblem über die Kugel, die in Ruhe verbleibt in der Mitte einer bewegten, unendlichen und unzusammendrückbaren Flüssigkeit. Es war unter dem Eindrucke der naturphilosophischen Ideen von *Euler*, so wie sie in seinen bekannten „lettres à une princesse d'Allemagne“ ausgesprochen wurden, dass bei diesem Studienaufenthalt den Vorträgen des grossen deutschen Mathematikers gefolgt wurde. Und indem ich eine Eigenthümlichkeit in dem Ausdrücke des Druckes für einen äusseren Punkt früh bemerkt hatte, eine Eigenthümlichkeit, welche mir von besonderer Wichtigkeit schien, entstand nach und nach die Idee zu versuchen, ob man nicht auf hydrodynamischem Wege neue Hilfsmittel würde finden können, um eine mehr rationell mechanische Erklärung gewisser Naturerscheinungen zu gewinnen.

Während dieser Zeit wurde das Problem der Ellipsoide von Hr. *Schering* gelöst. *Dirichlet* hatte dieses Problem für seine Eleven gestellt, und es wurde unabhängig von ihm und von *Clebsch* gelöst; von dem letztern doch ein wenig früher, aber in einer von der *Schering*'schen verschiedenen Richtung. Die von *Schering* gegebene Auflösung wurde nicht veröffentlicht; sie wurde mir aber mitgetheilt und veranlasste von meiner Seite eine sehr naheliegende Generalisation für einen n -fachen Raum. Diese Verallgemeinerung wurde damals ebenso wenig veröffentlicht; sie war aber der erste Schritt in der Richtung der neuen Studien, obwohl sie noch zu denselben eigentlich eine Nebenstellung einnehmen möchte.

Andere Beschäftigungen und Studien ebensowohl, als die Schwierigkeit den rechten Weg zu finden, hinderten die Fortsetzung durch sieben Jahre. Im Jahre 1863 wurde der erste eigentliche Fortschritt von grösserer Bedeutung gemacht, ein Fortschritt, der doch allein in der Auffindung eines einfachen Gedankens bestand, nicht in der Lösung von analytischen Schwierigkeiten. Es schien mir von Wichtigkeit zu sein, das Dirichlet'sche Problem in einer Richtung zu verallgemeinern, wonach nicht nur der Körper sich *bewegen* sollte, sondern auch seine *Form* und besonders sein *Volumen* verändern. Mit andern Worten, man dürfte nicht so ausschliesslich an absolut *starre* Körper denken, man müsste ebensowohl an *innere* Vorgänge denken und an die Folgen, die aus diesen Gründen entstehen möchten. Auf diese Weise allein würde man hoffen können zu apparenten Krafterscheinungen zu kommen, welche denjenigen der Natur ähnlich wären. Durch die Auflösung des Problems von der in der Flüssigkeit bewegten Kugel mit *veränderlichem Volumen* (eine Auflösung, welche ich in diesem Jahre gab) zeigte es sich auch, (aus diesem Ausdrucke des Druckes in einem äusseren Punkte), dass man sehr wahrscheinlich, wenn man dasselbe Problem für eine *Mehrheit* von Körpern verallgemeinern könnte, hydrodynamische Krafterscheinungen hervorbringen würde, welche selbst denjenigen ähnlich wären, die dem Newton'schen Gesetze gehorchen.

Gehindert durch äussere Umstände in der weiteren Verfolgung dieser Ideen, die man damals wegen der herrschenden Gedankenrichtung, nicht ohne Vorsicht hätte äussern können, und die ich somit in dem, was der Oeffentlichkeit vorgelegt wurde, unberührt liess, — wurden nun zuerst im Jahre 1868, und in den folgenden Jahren 1870 und 1871, die hydrodynamischen Untersuchungen wieder aufgenommen, und ich ging von dem Probleme des einzigen kugelförmigen Körpers zu demjenigen einer Mehrzahl, *von beliebig vielen*, über. Aus den Resultaten des Jahres 1868, obschon sie in gewissen Beziehungen eine Täuschung gaben, traten doch andererseits auf eine überraschende Weise Analogien zwischen den scheinbaren, hydrodynamisch gewonnenen Krafterscheinungen und denjenigen der Natur hervor, und gewissermaassen *die Principien der rationellen Dynamik kamen in der Aeusserung dieser apparenten Kräfte wieder zum Vorschein*. Diese Untersuchungsergebnisse wurden doch beinahe gar nicht bemerkt. Im Jahre 1871 begann ich ferner die Beweise derselben Sätze zu veröffentlichen; dieses wurde doch

bald abgebrochen, indem ich mich darauf beschränkte zu zeigen, wie man für eine beliebige Anzahl von veränderlichen Kugeln das für fernere Untersuchungen grundlegende *Geschwindigkeitspotential* würde finden können.

Es fehlte doch etwas, um den Resultaten ihre volle Fruchtbarkeit zu geben, so dass man Experimentaluntersuchungen von einiger Bedeutung würde anfangen können. Es war dies der einfache Gedanke, dass man nicht allein *gleichzeitige vibratorische* Bewegungen zu Grunde legen sollte, sondern auch dass dieselben vorzüglich *isochron* sein müssten. Sonst würde man kein Bild der Kraftwirkungen der Natur erreichen.

Im Jahre 1875 wurde dieser neue Fortschritt gemacht, ein Fortschritt, der wieder nur in der Gedankenrichtung lag und keine neue analytische Schwierigkeit darbot. Der eigenthümliche *Gegensatz*, der sich aber zeigte, indem man eine Vergleichung mit den *elektrischen* und *magnetischen* Krafterscheinungen anstellen wollte, warf doch anfänglich einen Zweifel auf in Beziehung auf die Richtigkeit eines solchen Resultates. Und ich wurde somit zu experimentellen Untersuchungen geführt, oder correcter, ich nahm wieder solche auf; seit 1868 oder noch früher hatte ich sie schon in Verbindung mit den hydrodynamischen Untersuchungen getrieben.

Diese Experimentaluntersuchungen waren doch von der primitivsten Art, indem weder Mittel, noch Locale oder mechanische Hilfe für diesen Zweck mir zu Gebote standen, und es wurde mir allein von meinem damals sehr jungen Sohne geholfen. Auf diese Weise kamen die ersten, obwohl nicht beweisenden, so doch bestätigenden Experimentalresultate zu Stande, Experimentalresultate, die ich die Versuche mit „den fallenden und auf der Oberfläche des Wassers oscillirenden Kugeln“ genannt habe. Auch Versuche mit pulsirenden Ballonen etc. wurden damals gemacht; sie gaben aber kein befriedigendes Resultat.

Um eine Verification von mehr directer Art durch Versuche zu erhalten, suchte ich dann — besonders da ich von einem wissenschaftlichen Freunde eine eifrige Aufforderung erhalten hatte dieselben fortsusetzen — Beistand bei Collegen oder Freunden, die über Werkstätten oder Laboratorien disponirten.

Auf diese Weise wurden im Herbst 1875 einige Versuche von grösserem Umfang gemacht, Versuche, wodurch wohl das Hauptziel, die Anziehungen und Abstossungen der pulsirenden Körper auf eine mehr überzeugende Weise zu demonstrieren, nicht gelang,

wodurch aber gewisse *Inductionerscheinungen*, die aus den pulsirenden Bewegungen entstanden, verdeutlicht wurden. Spätere Versuche, wobei man explosive Pulsationsschläge in kleinen Ballonen hervorzubringen suchte, wurden im Winter und Frühjahr auf dem chemischen Laboratorium mit dem Beistand von Herrn Professor *Waage* angestellt; auch diese gaben nicht die gewünschten Hauptresultate, es wurde aber auch bei dieser Gelegenheit etwas gefunden, was später von Nutzen werden sollte, indem einige von den sogenannten temporären Erscheinungen, deren Theorie ich doch noch unvollständig besass, hiebei dargestellt wurden.

Erst nachdem ich in Verbindung mit Herrn *Schötz*, Professor der Physik an der Universität, getreten war, und somit die Mittel des physikalischen Cabinets zum Theil zur Verfügung standen, konnten die Versuche mit mehr Hoffnung eines günstigen Resultates fortgesetzt werden. Doch war die Zeit dieses meines Collegen, der früher mir keinen wirksamen Beistand hatte gewähren können, noch stets sehr abgemessen, und andererseits war es auch gar nicht leicht die Bedingungen der hydrodynamischen Probleme genügend zu realisiren. Ein gemeinschaftlicher, sehr tüchtiger Assistent, Herr *Svendson*, war uns nachher bei diesen Versuchen zur Disposition gestellt. Auf diese Weise gelang es dann schliesslich am Ende des Jahres 1878 alle Hapterscheinungen in den *Analogien zu den permanent-magnetischen Kraftwirkungen* in Uebereinstimmung mit meinen Sätzen experimentell zu verificiren. Und bei der Construction der dafür nöthigen Apparate haben die Herren *Schötz* und *Svendson* den wesentlichsten Antheil gehabt.

Die damals nach der Angabe von Prof. *Schötz* ausgeführten definitiven Apparate wurden im Sommer 1879 in Paris auf dem Collège de France und in der Société de Physique vorgezeigt. Ich gab dann die Erklärung der hydrodynamischen Erscheinungen, während mein Sohn die Experimente ausführte. Die Versuche mit ganz neuen und wenig geprüften Instrumenten waren doch oft mit sehr bedeutenden Installationsschwierigkeiten verbunden, und nachdem sodann die Experimentalaufgabe gelöst war, zeigte es sich sehr wünschenswerth derselben eine bessere Lösung zu geben.

Nach meiner Zurückkunft nach Christiania im Herbst 1879 wurde das hydrodynamische Problem, welches ich mir gestellt hatte, insofern einer mehr eingehenden Detailbehandlung unterzogen, als ich durch die glückliche Durchführung einer Transformation der früher gefundenen Ausdrücke den Beweis führen konnte, dass

auch die *Erscheinungen des temporären Magnetismus* würden *hydrodynamisch nachgeahmt* werden können. Einige Bestätigungen der neuen Theoreme in gewissen übrigens mehr leicht verificirbaren Punkten wurden nun auch gleich experimentell gegeben. Ebenso wurden Apparate, um die früheren Analogien zu den permanentmagnetischen Erscheinungen zu zeigen, auch neu construirt, Apparate, welche bedeutend einfacher waren, und durch welche in dem folgenden Sommer, bei der Versammlung der skandinavischen Naturforscher in Stockholm, die neuen Erscheinungen wieder für eine Reihe von Physikern konnten veranschaulicht werden. Bei der Vorzeigung der neuen Apparate zeigten sich doch wieder Schwierigkeiten bei der Installation, so dass die experimentelle Aufgabe, obwohl die Constructionen sehr wesentlich vereinfacht waren, weiter in diesen constructiven Richtungen verfolgt werden musste, wenn man sich dem Ziel nähern sollte auch quantitative Bestimmungen ausführen zu können.

Seit dem Sommer 1880 traten diese Experimentaluntersuchungen in eine neue Phase ein. Es wurde mir ein kleines Laboratorium eingeräumt und ein Mechaniker wurde mir zur Seite gestellt. An Stelle meiner früheren Mitarbeiter, der Herren Prof. *Schötz* und *Svendsen*, welcher letzterer also unser gemeinschaftlicher Assistent war, hatte ich den Beistand meines Sohnes, Wilhelm *Bjerknes*, der von jetzt an die constructiven Arbeiten leitete und die experimentellen Detailuntersuchungen ausführte. Noch eine neue Construction der Hauptapparate wurde nun ausgeführt, und dies zwar nach einem Principe, wonach alles sich zu einem einzigen Hauptapparat, in verschiedenen Modificationen, oder wenn man will, zu zwei solchen reducirten liess. Die Erscheinungen, welche den temporär magnetischen ähnlich waren, wurden auch in den feineren und hier sehr schwierigen Details verfolgt. Die hydrodynamische Magnetisirung der Flüssigkeit durch die eingeschlossenen vibrirenden Körper wurde mit vieler Sorgfalt, von Seiten meines neuen Helfers, durch *autographisch gezeichnete Spectren* gezeigt, und sie wurden dann mit den entsprechenden magnetischen verglichen. Einige Spectren wurden auch hergestellt, wodurch Aehnlichkeiten zwischen hydrodynamischen Erscheinungen und den *elektrischen Stromerscheinungen* zum Vorschein kamen u. s. w. Dieses und die dazu construirten Apparate sind nunmehr allgemein bekannt; sie wurden auf der Ausstellung zu Paris im Jahre 1881 vorgezeigt, und es sind dieselben, von welchen ich in dem

Folgenden eine Beschreibung geben will, wobei doch das Hauptziel ist, die Erscheinungen selbst darzustellen.

Hiezu konnte noch etwas Neues hinzugefügt werden, welches sich auf die Fortsetzung der *Nachahmungen der elektrischen Stromerscheinungen* bezog. Die Untersuchungen sind inzwischen nicht in allen Richtungen so fortgeschritten, wie es zu wünschen wäre, um eine Mittheilung über dieselben zu machen. Ich ziehe deswegen vor, alles, was sich auf die Nachahmungen des Elektrodynamischen bezieht, hier zu übergehen, um dies lieber gesammelt darzustellen, wenn nach ferneren Untersuchungen darüber eine günstige Gelegenheit sich darbieten möchte.

I. Einleitende Sätze und Bemerkungen.

1. Ich werde also in dem Folgenden eine Reihe von mechanischen Erscheinungen beschreiben, die mit den elektrischen und besonders den magnetischen eine durchgehende Aehnlichkeit darbieten, nur dass alles sich auf jenem Gebiete entgegengesetzt zeigt: wo man Anziehung erwartet, bekommt man Abstossung, und umgekehrt; wo man eine Drehung nach links vermuthen sollte, wird eine Drehung nach rechts erhalten, und so weiter. Diese mechanischen Erscheinungen haben ihren Grund in Schwingungen, die von Körpern ausgeübt werden, welche in einer unzusammendrückbaren Flüssigkeit eingetaucht sind; dieselbe soll ferner auch eine vollkommene oder ideale Flüssigkeit sein. Für das Gelingen der Versuche, die die analytischen Resultate bestätigen sollten, wird es doch hinlänglich sein sich des Wassers zu bedienen. Eine andere analytische Bedingung, dass man eigentlich eine unendliche Flüssigkeit haben sollte, und dass zugleich der nöthige Druck vorhanden sein müsste, damit keine Trennungen stattfänden, wird in den Versuchen dadurch ersetzt werden können, dass die schwingenden Körper nicht in zu grosser Nähe der Wände und der Oberfläche sich befinden mögen.

Wenn ich die Körper als in Schwingungen versetzt betrachtet habe, so muss es doch genauer definirt werden, von welcher Art diese Schwingungen seien; denn eben hier tritt bald ein fundamentaler Unterschied vor. Dieses Wort *Schwingung* oder *Vibration* fasse ich dann als einen generellen Begriff, während z. B. *Pulsation* und *Oscillation* besondere Arten von Schwingungen bedeuten

sollen. Pulsation bezieht sich auf eine Aenderung des Volumens, Oscillation dagegen auf eine Aenderung der Lage.

2. Dieses vorausgesetzt, und indem wir unter diesen Vergleichen nicht an die Einwirkung zwischen imponderablen magnetischen Massen, sondern zwischen den Magneten unter einander denken, können wir nun sagen:

Eine in der Flüssigkeit eingesenkte *pulsirende* Kugel verhält sich *entgegengesetzt* wie ein *magnetischer Pol*.

Eine in der Flüssigkeit eingesenkte *oscillirende* Kugel verhält sich *entgegengesetzt* wie ein *Magnet*. Die Oscillationen sind hiebei als geradlinige gedacht.

Man stelle sich ferner vor, dass die pulsirende Kugel, wenn sie sich ausdehnt, ein Nordpol, wenn sie sich zusammenzieht, ein Südpol ist; und dass die oscillirende Kugel ihren Nordpol nach der Seite hin kehre, wohin augenblicklich die Oscillationsbewegung gerichtet ist, ihren Südpol mithin entgegengesetzt.

Der *Gegensatz*, von dem gesprochen wurde, der aber nicht erklärt worden ist, besteht darin, dass in allen diesen *magnet-ähnlichen* Erscheinungen *gleichnamige Pole einander anziehen, ungleichnamige einander abstossen*. Sonst folgen ihre Wirkungen den bekannten Naturgesetzen, wonach sie umgekehrt wie die Quadrate der wachsenden Abstände abnehmen.

Während aber die Kräfte, womit nach diesen Gesetzen die Körper fortbewegt werden, sich umgekehrt magnetisch, oder kürzer gesagt *antimagnetisch* verhalten, kommen doch auch andere in Thätigkeit; und während sie neue oscillatorische Bewegungen bedingen, mithin die Bildung von neuen *Hydromagneten* veranlassen, wird diese ihre *inductorische Thätigkeit* sich genau *magnetisch* verhalten. Gewissermaassen wird man also sagen können, dass die imponderablen, magnet-ähnlichen Flüssigkeiten, welche man der Vergleichung wegen einführen könnte, ganz wie die magnetischen influencirt werden, dass aber die sie enthaltenden Körpertheile sich gegen einander entgegengesetzt verhalten.

Betrachten wir nun bloss die Körperbewegungen, und schliessen wir selbst diejenigen aus, die sich mehr unmittelbar von den hervorgebrachten Flüssigkeitsströmen auf die Körper übertragen, mit anderen Worten, diejenigen *neuen* Schwingungen, welche sich zur selben Zeit bilden, ganz wie ein magnetischer Pol oder ein permanenter Magnet durch eine Influenz einen neuen

temporären Magnet bestimmt. Lassen wir also die Inductionserscheinungen und die damit zusammenhängenden Körperbewegungen bei Seite.

Wir haben gesagt, dass man eine völlige, aber umgekehrte Analogie besitzt zwischen den aus den Schwingungen entstehenden hydrodynamischen Krafterscheinungen und denjenigen des Magnetismus. Es ist noch etwas hinzuzufügen, wodurch die Allgemeinheit der hydrodynamischen Bedingungen beschränkt werden kann, denn sonst würde man zugleich Erscheinungen bekommen, die ausserhalb der magnetischen lägen. — Eine pulsirende Kugel ist abwechselnd Nord- und Südpol, eine oscillirende Kugel ist abwechselnd auf die eine oder die entgegengesetzte Weise orientirt. Und die Intensität dieses hydrodynamischen Magnetismus, welche zu jeder Zeit mit der Geschwindigkeit proportional ist, ändert sich in der Schwingungszeit unablässig.

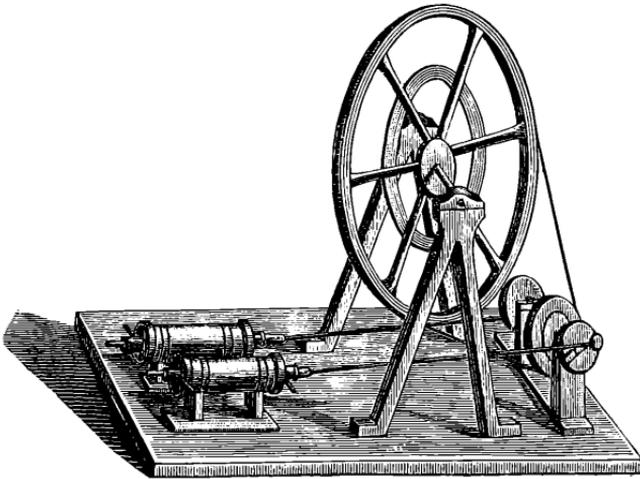
Dieses aber wird keine Störungen hervorrufen, wenn man für zwei oder mehrere schwingende Kugeln den Fall des *Synchronismus* annimmt; zur gleichen Zeit sollen nur die im Laufe derselben Schwingungsperiode erzeugten *Mittelresultate* betrachtet werden. Besonders wollen wir hierunter diejenigen Schwingungen behandeln, die wir zum Unterschied von den allgemeinen synchronen auch als *isochrone* bezeichnen wollen. Synchronismus soll sich dann ausschliesslich auf die gleiche Schwingungsdauer beziehen; Isochronismus tritt ein, wenn die Gleichzeitigkeit noch für den *Einfall* der Schwingungen besteht; als Einfallzeiten bezeichnen wir dann alle die Zeitmomente, wo die Schwingungsgeschwindigkeiten Null sind, wo also eine Schwingung endet und eine neue beginnt.

Im Falle dieses Isochronismus werden nun die sich stetig ändernden Pole gleichzeitig in die entgegengesetzten übergehen, was in dem Resultate dasselbe wäre, als ob jeder von ihnen stets einen Pol desselben Namens vorstellen möchte. Und da man die Mittelresultate nimmt, wird man sie auch als Pole mit einer constanten Stärke ansehen können. Man wähle also eine beliebige Einfallzeit heraus, und denke sich, dass man immer einen Pol derselben Art wie damals habe.

II. Vibratoren und Balanceapparate.

3. Um die Anziehungen, die Abstossungen sowohl als die Verschiebungen senkrecht zu den Verbindungslinien, und die Drehungen, welche alle in den *permanent-magnetischen* Erscheinungen sich zeigen, und hier ein eigenthümliches, negatives Gegenbild finden, um dieses (was aus den theoretischen Sätzen fliesst) auch experimentell zu verificiren, hat man besonders *zwei* Reihen von Apparaten nöthig: die *Vibratoren* und die *Balanceapparate*. Ich spreche nicht von dem eigentlichen Motor, dem Pumpenapparat (Fig. 1), womit man die vibratorischen Bewegungen

Fig. 1.



hervorbringt, und durch welchen man in Stand gesetzt wird die Phasen und die Amplituden zu reguliren. Die Einrichtung eines solchen Apparates, wie wichtig es auch für das Gelingen der Versuche ist, dass er wohl construirt sei, bleibt doch immer eine Sache von verhältnissmässig untergeordneter Bedeutung.

Was die Balanceapparate charakterisirt, das ist die grosse Leichtigkeit, womit die in Schwingungen versetzten *Balancekörper* in gewissen Richtungen verschiebbar sind, es sei nun, dass diese Körper pulsirende oder oscillirende Vibrationen ausführen. Diese Apparate kommen übrigens, selbst unabhängig von diesem Grundunterschiede, in mehreren Modificationen vor.

Die Vibratoren werden mit der Hand geführt, oder man kann sie auf andere Weise beliebig steuern. Sie sind auch von ver-

schiedenen Arten und wir nennen sie Pulsatoren oder Oscillatoren, je nachdem der *Vibratorkörper* die Bestimmung hat entweder oscillatorische oder pulsatorische Bewegungen auszuführen.

Wir fangen mit der Beschreibung dieser letztern Apparate an.

4. Der *Pulsator* (Fig. 2) besteht aus einer zu beiden Seiten mit Kautschukmembranen gedeckten *Trommel*, zu welcher die Pulsatorröhre führt. Mittelst eines Schlauches wird diese in Verbindung mit einer doppelt wirkenden Pumpe gesetzt.

Man wird nun durch die hervorgebrachten Verdichtungen und Verdünnungen der Luftmassen die Trommel in Pulsationen versetzen können, wodurch ihr Volumen abwechselnd vergrößert und verkleinert wird. Und wegen der Biegsamkeit des Schlauches kann man ferner dem Pulsator eine ganz beliebige Stellung geben.

Fig. 2.



Fig. 3.



Wir bemerken, dass, der Bequemlichkeit wegen, die nach der Theorie vorausgesetzte Kugelform hier nicht benützt worden ist. Was schon analytisch als wahrscheinlich angesehen werden müsste, hat sich auch experimentell bestätigt, dass das Wesentliche nicht die Körperform, sondern die periodischen Aenderungen seines Volumens war.

5. Ein *Oscillator* (Fig. 3) ist ein Apparat, der zum Zweck hat einer daran angebrachten Kugel, die man sonst auch nach einer beliebigen Stelle führen kann, eine oscillirende Bewegung mitzutheilen. Die Oscillatöröhre erweitert sich nach oben in einen kleinen Pumpencylinder, der mittelst eines Schlauches in Verbindung mit der Generatorpumpe steht. Unten erweitert sie sich zu einer Kapsel, in welcher die verlängerte Pistonstange der Recipientpumpe in Verbindung mit einer Kurbel steht, wodurch die oscillatorische Bewegung der Stange in eine dagegen senkrecht stehende überführt wird. Gibt man somit, wie gewöhnlich, dem Oscillator eine verticale Stellung, so wird die mit einem kleinen Arm versehene Oscillatörkugel, welche hier eingeführt wird, horizontal gerichtete Oscillationen annehmen.

Die Einfügung kann auf zwei verschiedene Weisen bewerkstelligt werden und der Oscillator tritt sodann in zwei Modificationen auf. Die Kugel kann zuerst unten angebracht werden; eine halbe Drehung um die verticale Achse entspricht dann einer Drehung des Magnetes, ohne andere Aenderung in der Lage. Der Kugel kann auch in Beziehung auf die Kapsel eine Seitenstellung gegeben werden; dieses ist von Nutzen, wenn sie z. B. über oder unter einem zweiten Körper ihre Oscillationen auszuführen hat.

Man kann sich aber auch einen Oscillator auf eine einfachere Weise verschaffen, indem man die Oscillatorkugel mit einem etwas längeren Arm oder Stiel versieht und sie dadurch zu der Membrane eines Pulsators führt.

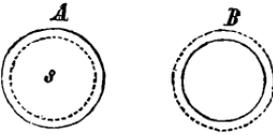
6. Nach einem ganz andern Princip lässt sich indessen auch ein Vibrator dieser Art herstellen und es hat dies zugleich ein theoretisches Interesse: man kann einfach einen doppelten Pulsator bilden (Fig. 4). Statt der einen Röhre hat man alsdann zwei, und statt der einzigen Trommel ebenso zwei, nur dass man wieder bloss zwei Membranen hat. Oder anders gesagt, die vorige Trommel ist jetzt durch eine Scheidewand in zwei Kammern getrennt. Wenn man diesen *Doppelpulsator* benutzen will, setzt man die zwei Pulsatorröhren in Verbindung, jede mit einem andern Ende desselben Pumpencylinders der grossen Generatorpumpe. Wenn dann die Luft durch die eine Röhre einströmt, wird sie durch die anderen ausströmen und umgekehrt. Die zwei Trommelkammern gerathen somit in entgegengesetzte Pulsationen, wenn also die eine, wie wir kurz sagen, Nordpol ist, wird die andere ein Südpol sein, so dass man folglich, hydrodynamisch verstanden, einen Magnet besitzt. Wie früher fixirt man als Anfangszeit eine beliebig gewählte Einfallzeit und denkt sich von nun an Alles, wie es damals war. Die Erweiterung der Kammer des Nordpols und die Zusammenziehung derjenigen des Südpols führt nun zum selben Resultat als die Oscillationsbewegung von Süd gegen Nord.

Fig. 4.



Man kann auch hier das Folgende bemerken, was die UeberEinstimmung in den Wirkungen des Oscillators und des Doppelpulsators (mit den entgegengesetzten Pulsationen in den zwei Kammern) erklärt. Es seien zwei, ursprünglich gleich grosse Kugeln gegeben, (Fig. 5), *A* und *B*. Wenn nun *A* sich zusammenzieht,

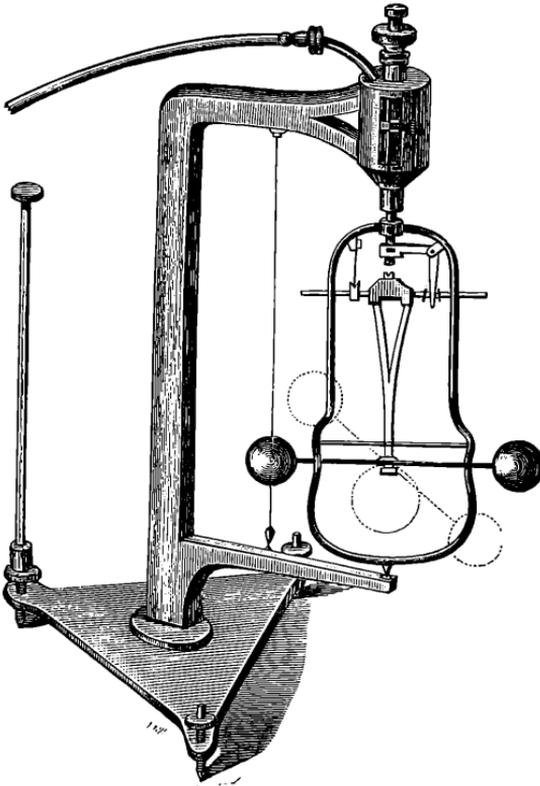
Fig. 5.



so dass sie einen Südpol bezeichnet, und B sich vergrössert, so dass sie ein Nordpol ist, so hat dies eine nicht unwesentliche Aehnlichkeit mit einer Oscillation, und zwar in der Richtung von der contractirten zu der dilatirten Kugel, d. h. von

Süd nach Nord. Denn die zwei Flüssigkeitsräume, die von den veränderten Kugeln eingenommen sind, haben nun ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt nicht mehr in der Mitte; er ist in der Richtung verschoben, die von der Richtungslinie von *s* nach *n* bezeichnet wird.

Fig. 6.



7. Die Vibrationsapparate, mit ihren sehr empfindlichen Balancen und leicht verschiebbaren vibrirenden Körpern, sind auch von zweierlei Art. Man hat einen *Pulsationsapparat* und einen *Oscillationsapparat*, von welchen der erste dazu geeignet ist die Actionen gegen die *Pole* zu zeigen, der andere die Actionen gegen die *Magnete*. Beide haben ein gemeinschaftliches Stativ und je nachdem man daran die *Pulsationsbalance* oder die *Oscillationsbalance* anbringt, wird man den einen oder andern von den besonderen Apparaten erhalten. Fig. 6

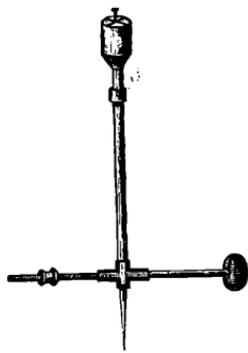
zeigt den vollständigen Oscillationsapparat, mithin auch das für die beiden Balanceapparate gemeinschaftliche Stativ.

8. Oben an dem *Stative* bemerkt man den Mantel, der von der Seite geöffnet oder geschlossen werden kann. Hiedurch

erleichtert man sich die Einsetzung der Balancen. Er nimmt die circulirenden Luftmassen auf und gibt sie wieder ab. Durch einen Schlauch steht er nämlich in Verbindung mit der Generatorpumpe. Durch die eingesetzte Balance, die in den beiden Fällen oben in einen Recipientcylinder endigt (welcher von dem Mantel des Statives sehr genau umschlossen wird) werden dieselben Luftmassen für die Hervorbringung der Schwingungen benützt. Doch geht davon ein Theil verloren, indem der auffangende Cylinder nicht ganz genau sich hineinfügt. Es geschieht dieses, um eine vollständige Drehung der Balance zu ermöglichen, ohne andere Friction als die, welche von der Bewegung um zwei kleine verticale Spitzen, oben und unten, bedingt wird. Selbstverständlich muss der Verlust der kleinst mögliche sein.

9. Um den *Pulsationsapparat* (Fig. 7) zu erhalten, setzt man also die *Pulsationsbalance* hinein. Diese ist als ein Kreuz geformt. Der verticale Stamm ist zugleich die Umdrehungsachse, und er bildet eine Röhre, die sich oben zu einem grösseren Cylinder erweitert. In diesem ist auch die obere, vertical stehende Spitze oder der Zapfen angebracht; dieselbe greift in eine Achat-höhhlung ein und mit Hilfe einer Schraube lässt sich der nöthige, sehr kleine Druck reguliren. Von dem empfangenden Cylinder geht der Luftstrom durch die Achsenröhre und ferner durch den hohlen, in einer Trommel endigenden horizontalen Balancier ein. In einem folgenden Augenblicke geht der Strom zurück. Die leicht verschiebbare Trommel, welche sonst wie diejenige des Pulsators gebildet ist, wird sodann in Pulsationen gesetzt. Der Balancier ist nach entgegengesetzter Seite mit einem Gegengewicht versehen. Die Achsenröhre setzt sich auf entgegengesetzter Seite des Kreuzpunktes in einem Volccylinder fort, und er endigt schliesslich in einer unteren Spitze, welche in die Achathöhhlung des horizontalen Querarms des Statives passt.

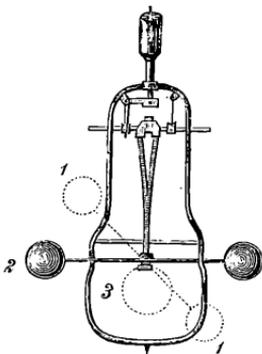
Fig. 7.



10. Um den *Oscillationsapparat* (Fig. 8) zu erhalten, wird in dem Stative eine *Oscillationsbalance* eingesetzt. Diese ist im Grossen als ein Rahmen geformt. Sie endigt also auch nach oben in einen hohlen, vertical stehenden Recipientcylinder, der in den Mantel

eingepasst wird. Oben und unten hat man wieder in derselben Lothlinie liegende Spitzen, um welche die Drehung vorgeht. Der Cylinder bildet aber jetzt einen Pumpenkörper; er ist mit einem

Fig. 8.



Piston versehen, der durch die ein- und ausströmenden Luftmassen in verticale Oscillationen gesetzt werden kann. Diese oscillatorische Schwingungs-Bewegung wird mittelst einer Hebelverbindung in eine horizontale überführt.

Man kann nun die gewonnene neue Oscillationsbewegung so benützen, dass die zwei Kugeln oder *Balancekörper* an den Enden eines Balanciers in horizontale Oscillationen versetzt werden. Diesen selbst mitschwingenden Balancier kann man dann in eine Stellung bringen, die senkrecht gegen die Schwingungsrichtung, also auch gegen die Ebene des Rahmens steht. Die Balancekörper, von welchen übrigens der eine nur als Contragewicht anzusehen ist, lassen sich hiernach allein *längs* der Oscillations- oder, wie wir sagen wollen, *Orientationslinie* fortbewegen; diese Verschiebung geht aber mit der grössten Leichtigkeit vor sich. — Man kann aber auch den Balancier in die Ebene des Rahmens bringen, so dass die Schwingungen in derselben Ebene liegen. Die oscillirenden Balancekörper werden sich dann *senkrecht* zu ihrer *Orientationslinie* verschieben. Diese beiden Arrangements werden wir als *excentrische* bezeichnen. Und man hat also *excentrische* Arrangements für *longitudinale* sowohl als für *transversale* Verschiebungen.

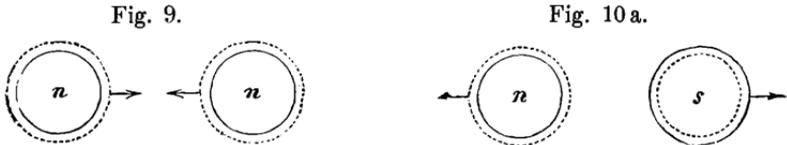
Man hat aber auch ein *axiales* Arrangement und statt der früheren zwei Balancekörper hat man nun bloss einen einzigen, welcher dann, bei den Oscillationen, den in der Drehungsachse selbst liegenden Oscillationsmittelpunkt passirt. Mit dem Rahmen oder der ganzen Balance wird sich jetzt die schwingende Kugel um ihre verticale Achse drehen.

III. Versuche, wodurch die permanent-magnetischen Kräfteerscheinungen auf inverse Weise nachgeahmt werden.

11. Wir werden nun die Wechselwirkungen zwischen *isochron-schwingenden Körpern*, und dann zwischen den *pulsirenden*, be-

trachten. Wir beginnen dann mit den einfacheren Versuchen, welche uns (entgegengesetzt) die Wirkungen zwischen *Pol und Pol* wiedergeben.

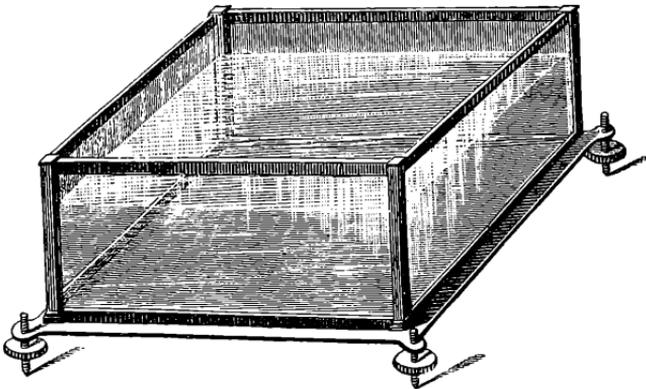
Wenn unter diesen Bedingungen die Pulsationen concordirend sind, das heisst, wenn man dieselben Phasen hat, wird man dann Anziehung bekommen (Fig. 9). Denn man hat neben einander Nord-Nord, dann Süd-Süd, dann Nord-Nord u. s. w. Sind dagegen diese



Pulsationen discordirend, mit andern Worten, hat man entgegengesetzte Phasen und mithin nach einander, Nord-Süd, dann Süd-Nord, dann Nord-Süd u. s. w., so wird man eine Abstossung erhalten (Fig. 10 a).

Um dieses experimentell zu untersuchen, nimmt man den *Pulsationsapparat*, den man in Wasser, in das Gefäss Fig. 10 b, versenkt, und in Verbindung hiermit einen *Pulsator*. Die erwarteten Erscheinungen treten dann alsbald hervor.

Fig. 10 b.



12. Indem man inzwischen besonders die Abstossungserscheinung studirt, wird man unter gewissen Umständen eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit beobachten; und diese zeigt sich auch im wirklichen Magnetismus. Schwächt man nämlich die Pulsationen der Pulsatortrommel oder auch diejenige des Balancekörpers ab,

so zeigt sich zwar die Abstossung wie früher (obschon mit einer geringeren Stärke); bringt man aber die zwei Körper in hinlänglich grosse Nähe zu einander, so geht diese Abstossung in eine Anziehung über. Im Magnetismus erklärt man die entsprechende Erscheinung so, dass der starke Pol im andern Körper einen temporären Magnetismus erregt; und dieser wird nun von solcher Stärke sein können, dass die ursprüngliche Abstossung zwischen den Polen überwunden wird.

Eine ähnliche Erklärung wird man auch dem besprochenen hydrodynamischen Experimente geben können. Es ist hier nicht der Ort, dies weiter aus einander zu setzen. Dies soll später bei Besprechung der temporären Erscheinungen geschehen.

13. Statt einen Pulsator zu benutzen, wollen wir nun in der Nähe der pulsirenden Balancetrommel eine *Oscillatorkugel* anbringen. Es sind also die Wirkungen, die von einem *Magnet* gegen einen *Pol* (alles wie früher in hydrodynamischem Sinne genommen), die wir sodann studiren werden. Aus dem Obigen folgt, dass, wenn die Oscillatorkugel bei ihren Schwingungen sich der pulsirenden Balancetrommel in dem Augenblicke ihrer Dilatation

Fig. 11.

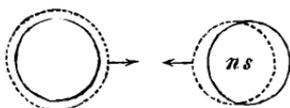


Fig. 12.



nähert, man eine Anziehung bekommt (Fig. 11); denn Nord und Nord wird nun einander am nächsten stehen. Dreht man aber den Oscillator um seine verticale Achse halb herum, so dass die Oscillatorkugel sich in der Dilatationszeit vom Balancekörper entfernt, so bekommt man Abstossung (Fig. 12).

14. Wir haben somit die Actionen gegen einen Pol behandelt. Wir gehen demnächst zu den Actionen gegen einen *Magnet* über und der Pulsationsapparat wird dann mit einem *Oscillationsapparat* vertauscht. Drei Hauptfälle bieten sich jetzt zur Untersuchung dar. Der einen Magnet darstellenden oscillirenden Kugel des Balanceapparates — welcher man eine Pulsatortrommel oder eine Oscillatorkugel nähert — kann, wie kurz vorher gesagt, eine Stellung gegeben werden, wodurch die hervorzurufende mögliche Bewegung *nach* der Oscillations- oder Orientationslinie oder auch *senkrecht* gegen dieselbe sich vollzieht. Endlich kann auch ein

drittes Arrangement stattfinden, welches zum Zwecke hat die *Drehungserscheinungen* zu untersuchen.

15. *Erstes Arrangement.* Erstens sollen also solche Krafterscheinungen untersucht werden, die *Bewegungen längs der Oscillations- oder Orientationslinie* zur Folge haben. Um dieses zu thun, nimmt man den Oscillationsapparat in einem seiner *excentrischen Arrangement* und man stellt besonders den *Balancier senkrecht gegen die Ebene des Rahmens* (Fig. 8, Arrangement 1, 1). Die Haupterscheinungen sind dann die folgenden:

16. Man bringt die Kugel des Oscillators vor der oscillirenden Balancekugel und in der Richtung der Orientationslinie derselben an. Wenn man dann die Einrichtung trifft, dass die Kugeln in derselben Verbindungslinie und auf dieselbe Weise oscilliren, so wird man offenbar Abstoßung bekommen (Fig. 13); denn Süd und Nord werden einander alsdann am nächsten stehen. Dreht man aber die Oscillatorkugel um, so wird man entgegengesetzte Oscillationen bekommen und eine Attraction wird die Folge sein.

Fig. 13.

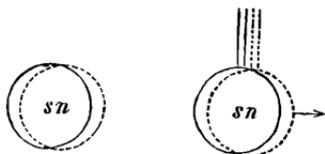
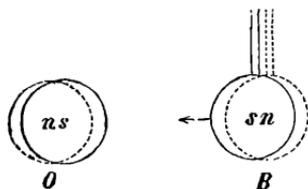


Fig. 14.

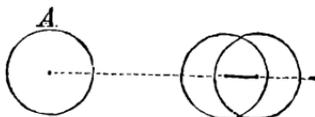


Oscillatorkugel (O), Balancekugel (B).

Um die Erscheinungen (Fig. 14) leichter zu charakterisiren, werden wir, ehe wir weiter gehen, einige Benennungen einführen.

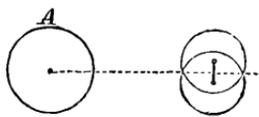
Wir sagen, dass eine *Oscillation in Beziehung auf einen andern kugelförmigen Körper longitudinal* ist, wenn die Oscillationslinie

Fig. 15.



a Longitudinale Oscillation
in Beziehung auf A.

Fig. 16.

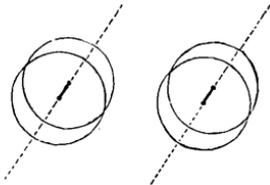


b Transversale Oscillation
in Beziehung auf A.

durch den Mittelpunkt dieses andern Körpers geht (Fig. 15). Eine Oscillation soll dagegen in Beziehung auf denselben *transversal*

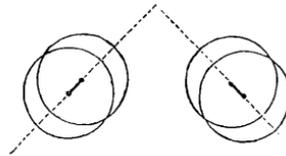
sein, wenn die Oscillationslinie gegen die Centrale oder genauer gegen die mittlere Centrale senkrecht steht (Fig. 16). Indem man andererseits *Oscillationen unter einander* vergleicht, kann man von *parallelen* Oscillationen reden (und dies sowohl im directen als im indirecten Sinne, je nachdem sie dieselbe oder entgegengesetzte Richtung besitzen) und ebenso können auch zwei Oscillationen zu einander *normal* sein (Fig. 18).

Fig. 17.



a Parallele Oscillationen.

Fig. 18.



b Oscillationen, die gegen einander normal sind.

Dies vorausgesetzt bezieht sich also das besprochene Experiment auf den Fall von *longitudinalen* und *parallelen* Oscillationen. Wenn die *Parallelität direct* ist, so hat man *Abstossung*, wenn sie *invers* ist, *Anziehung*.

17. Wir geben nun der Oscillatorkugel eine neue Stellung, so dass man anfänglich *transversale* und *parallele* Oscillationen hat. Die Oscillationen sollen ferner *direct* parallel sein; mit anderen Worten, die beiden oscillirenden Kugeln sollen sich unter diesen Transversaloscillationen auf dieselbe Weise bewegen (Fig. 19). Wenn dies so ist, so kann selbstverständlich keine neue

Fig. 19.

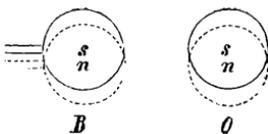
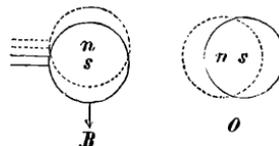


Fig. 20.



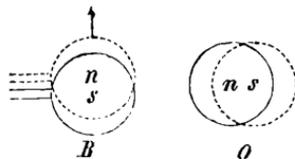
Bewegung hervorgebracht werden; denn dem gegebenen Gesetze nach kann die Balancekugel nur längs der Centrale bewegt werden, was eben durch die Verbindung mit dem Balancier verhindert wird.

Wenn wir aber von dieser nur als vorläufig gewählten Stellung ausgehend nun die Oscillatorkugel um einen rechten Winkel drehen, so ändert sich gleich das Verhältniss. Die Schwingungen der

Oscillatorkugel werden dadurch *longitudinal*, während diejenigen der Kugel des *Balancekörpers* fortwährend *transversal* verbleiben.

Sofern nun (Fig. 20) die Oscillatorkugel sich dem Balancekörper nähert, zur selben Zeit als der letztere, von der Oscillatorkugel gesehen, nach rechts geht, so wird auch gegenüber dem Nordpol der sich nähernden Oscillatorkugel, der Nordpol des Balancekörpers eine Stellung nach rechts haben. Und die Folge ist sodann eine *kurze Verschiebung* des letzten nach links. Dreht man aber die Oscillatorkugel halb herum, so wird man eine Verschiebung in der entgegengesetzten Richtung bekommen, nach rechts (Fig. 21).

Fig. 21.



18. Wir werden nun etwas Ähnliches mit dem andern Oscillator machen, dessen oscillirende Kugel an einem *horizontalen Arm* befestigt ist. Sie hat also *longitudinale Oscillationen*, während diejenigen des Balancekörpers *transversal* sind. Jetzt dreht man aber den Oscillator mit seiner Kugel um eine *horizontale Achse*, so dass die Oscillationen *vertical* werden. Man bekommt sodann *transversale Oscillationen* für die beiden Kugeln, und zur selben Zeit sind die Oscillationen unter einander *normal*. Die Krafterscheinungen, von welchen hier die Rede ist, hören dann selbstverständlich ganz auf.

19. Ähnliche Erscheinungen, obschon in einer geringeren Anzahl, wird man auch bekommen, wenn man den Oscillator mit einem Pulsator vertauscht. Es sind dann die Wirkungen *der Pole* gegen *die Magnete*, die man untersucht.

20. *Zweites Arrangement.* Wir gehen nun zu den Haupterscheinungen über, wo die *Kraftwirkungen senkrecht gegen die Orientationslinie* stehen. Der *Balancier* wird also gedreht, so dass er *in die Ebene des Rahmens* fällt (Fig. 8, Arrangement 2, 2). Wie wir wissen, kann die Balancekugel sich alsdann allein senkrecht gegen die Oscillationslinie bewegen.

21. Wir geben nun der Oscillatorkugel eine solche Stellung, dass die beiden Oscillationen *transversal* und *parallel* werden. Wenn alsdann die Parallelität eine *gleichgerichtete* ist, wird man offenbar *Anziehung* bekommen (Fig. 22); dreht man die Oscillatorkugel halb herum, so dass die Bewegungen *entgegengesetzt* werden, kommt eine *Abstossung* zu Stande. (Fig. 23.)

22. Von dieser Stellung kann man auch, indem man den Oscillator mit dem *horizontalen* Arm benützt, zu einer solchen übergehen, wo die Oscillationen unter einander *transversal* und *normal* sind: Man lässt hiernach den Oscillatorkörper verticale Oscillationen ausführen, wodurch man also eine Aufhebung der Krafterscheinungen bekommen soll.

Fig. 22.

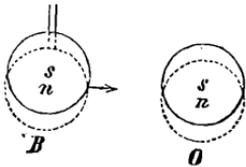
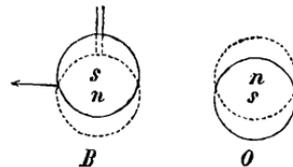


Fig. 23.



Ganz genau zeigt sich doch dies nicht so; mit dem Verschwinden der principalen Kraft macht sich nämlich eine temporäre Krafterscheinung geltend. Durch kleine Abänderungen aber, zu beiden Seiten in der Verticalität lässt es sich zeigen, wie allmählig die Anziehung in eine Abstossung oder umgekehrt übergeht.

23. Wir kehren nun noch einmal zu dem gewöhnlichen Oscillator zurück und geben ihm eine Stellung, so dass die Oscillationen seiner Kugel *transversal*, und diejenigen der *Balancekugel longitudinal* werden. Gesetzt nun, dass die Oscillatorkugel von der Balancekugel in der Zeit ihrer Annäherung gesehen, sich nach rechts bewege. (Fig. 24.) Die letzte wird dann eine kurze Ver-

Fig. 24.

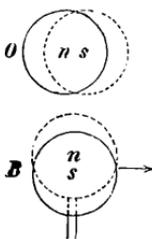


Fig. 25.

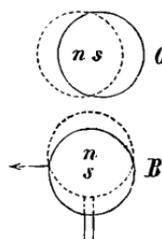
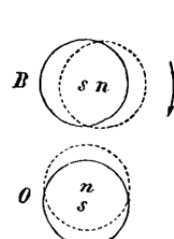


Fig. 26.



schiebung nach rechts bekommen. Es liegt nämlich jetzt der Nordpol der Oscillatorkugel nach rechts, während diejenige der verschiebbaren Balancekugel ihr eben zugekehrt ist. Selbstverständlich wird man eine entgegengesetzte Verschiebung bekommen, wenn man die Oscillatorkugel halb herumdreht. (Fig. 25.)

24. Auch in allen den Fällen wird man ähnliche Erscheinungen erhalten, und in geringerer Anzahl, wenn der Oscillator

mit einem Pulsator vertauscht wird. Man hat sich immer zu erinnern, dass eine pulsirende Kugel, wenn sie sich vergrößert, einen Nordpol bezeichnen soll.

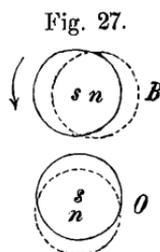
25. *Drittes Arrangement.* In dem Obigen haben wir die Kraftactionen erwähnt, die wir als die *lineären* bezeichnen wollen; *wir gehen dann zu den circulären oder rotativen über*, die in Verbindung mit entstehenden Drehungsmomenten stehen. Man wird nämlich auch rotatorische *Deviationen* bekommen können.

Ursprünglich scheint dieses etwas Paradoxes zu sein. Eine ideale, mithin reibungslose Flüssigkeit kann nämlich keine tangentielle Kraftwirkung auf die Oberfläche eines Körpers hervorbringen. Man bemerkt indessen, dass die Kugel oscillirt. Die Oscillationsebene wird sich sodann drehen können, ohne dass der Körper selbst sich noch dreht. Wegen der Verbindungen der oscillirenden Kugel mit dem in dem Stative eingesetzten drehbaren Rahmen wird aber diese Drehung der *Oscillationsebene* eine entsprechende Drehung des *Rahmens* und somit auch der Kugel zur Folge haben.

Um diese neuen Erscheinungen darzustellen, nimmt man die Oscillationsbalance in ihrer zweiten Hauptmodification, die *axiale*. (Fig 8, Arrangement 3.)

26. Wir bringen die Oscillatorkugel wieder in die Nähe der oscillirenden Balancekugel und zwar so, dass die erste *longitudinale*, die zweite *transversale* Oscillationen erhält. Gesetzt nun, dass die longitudinal schwingende Oscillatorkugel sich der anderen in einem Augenblicke nähert, wo die Balancekugel, von der ersten gesehen, von links nach rechts geht. (Fig. 26.) Offenbar wird dann die Drehung der letzten mit der Sonne gehen, denn der zugekehrte Nordpol der Oscillatorkugel wird auf den rechts liegenden Nordpol der Balancekugel mit einem Drehungsmomente einwirken. Das umgekehrte findet statt, wenn man der Oscillatorkugel eine halbe Umdrehung gibt. (Fig. 27.)

27. Gehen wir weiter von der ersten Stellung aus und vertauschen wir den bis jetzt benützten gewöhnlichen Oscillator mit einem der zweiten Art, wo also die Kugel an einem horizontalen Arm befestigt ist. Senken wir sodann diesen Oscillator etwas tiefer und verschieben wir ihn ferner nach der Orientationslinie. Man wird dadurch erreichen können, dass die zwei Kugeln beide *transversale Oscillationen* bekommen, und dass dieselben zu gleicher



Zeit unter einander *normal* werden. Nach dieser Senkung und Verschiebung wird man nun eine Drehung in entgegengesetztem Sinne erhalten, eine Drehung gegen die Sonne. (Fig. 28.) In allen Fällen setzt sich übrigens die Drehung nur so lange fort, bis die Balancekugel Oscillationen vollzieht, die der grössten möglichen Anziehung entsprechen.

Fig. 28.



28. Auch jetzt kann man selbstverständlich in einigen von den erwähnten Fällen den *Pulsator* benutzen, und man gewinnt wieder Bestätigungen der allgemeinen Theorie.

Von Interesse kann es sein, dass man der Pulsatortrommel die sich drehende Balancekugel folgen lässt, so dass immer dieselbe relative Lage und gegenseitigen Schwingungsrichtungen eingenommen werden. Auf diese Weise wird man eine fortwährende Drehung zu Stande bringen, so viel mal rund herum, als man es wünschen möchte.

29. Wir haben somit die, wie wir sie nennen, *permanenten* Erscheinungen in ihren Hauptzügen beschrieben, und alle Hauptfälle sind darunter mitbegriffen. *Wir werden nun versuchen, wenigstens von einer der Erscheinungen eine populäre Erklärung zu geben.* Und wir wählen dazu die am meisten fundamentale, nach welcher gleichpulsirende Körper einander anziehen, entgegengesetzt pulsirende einander abstossen werden.

Wir bemerken *zuerst*, dass, wenn eine Kugel *A* pulsirt, das Wasser und ebenso darin befindliche andere Körper, z. B. eine nicht pulsirende *B*-Kugel, in Oscillationen versetzt werden. Diese Oscillationen sind, in Beziehung auf *A*, von radialer Art. Die also noch als neutral betrachtete *B*-Kugel entfernt sich, wenn *A* sich vergrössert; sie nähert sich wieder, wenn das Volumen derselben *A*-Kugel sich verkleinert.

Eine *andere* Thatsache ist die, dass wenn eine Kugel sich im Wasser fortbewegt, und wenn hiebei ihr Volumen vergrössert wird, so wird ihre Geschwindigkeit zu gleicher Zeit vermindert. Wenn aber ihr Volumen vermindert wird, so nimmt die Geschwindigkeit zu. Der Grund dafür ist folgender: Eine in der Flüssigkeit eingesenkte und fortbewegte Kugel verhält sich, als ob sie eine grössere Masse mit sich führen müsste. Diese Zusatzmasse ist eben gleich der halben Masse von der Flüssigkeit, die aus ihrer Stelle gedrängt wird. Wird nun die Kugel vergrössert, so wird auch die Zusatzmasse eine grössere sein und die Bewegung in demselben

Verhältnisse abgeschwächt. Auf ähnliche Weise wird unter der Contraction die Zusatzmasse verkleinert werden, und der Körper selbst nimmt eine grössere Geschwindigkeit an.

Dieses vorausgesetzt, ist es leicht zu sehen, was nun eintreten wird, wenn die *B*-Kugel bei diesen Oscillationen, die ihr mitgetheilt werden, zugleich pulsirt.

Die *B*-Kugel soll zuerst auf dieselbe Weise wie *A* pulsiren. Fangen wir mit der Phase an, die einer Dilatation von *A* entspricht. *B* entfernt sich dann, aber diese Entfernung geht nun langsamer vor sich, weil in derselben Zeit auch das Volumen von *B* vergrössert wird. Die *A*-Kugel zieht sich demnächst zusammen, so dass *B* sich wieder nähern wird. Diese Geschwindigkeit der Annäherung aber wird nun vergrössert werden, weil hiebei auch die *B*-Kugel sich zusammenzieht. Bei der Entfernung wird also die Geschwindigkeit abgeschwächt, bei der folgenden Annäherung verstärkt. Als Schlussresultat ergibt sich also, dass nach einer vollständigen Periode die beiden Kugeln einander näher gekommen sind.

Sind die Pulsationen entgegengesetzt, so wird die Entfernung von einer Vergrösserung der Geschwindigkeit begleitet, die Annäherung von einer Verminderung derselben. Und die Folge wird jetzt sein, dass nach einer ganzen Periode die beiden Kugeln sich von einander entfernt haben werden.

Wir bemerken zugleich, dass die Anziehungen und die Abstossungen, die als Endresultat oder als Mittelresultat sich herstellen, immer mit einer Vibrationserscheinung verbunden sind. Und diese *inducirten Oscillationen* sind eigentlich in den Erscheinungen das am meisten Hervortretende, obwohl sie für die Augen weniger bemerkbar sind. Sie bedingen, wie wir später erkennen werden, eine *temporäre Magnetisirung* des Körpers, dieses Wort selbstverständlich immer in dem hydrodynamischen Sinne genommen.

IV. Der hydrodynamische temporäre Magnetismus; magnet-ähnliche Influenzerscheinungen, inversmagnetische Wechselwirkungen zwischen den Körpern.

30. In dem Obigen haben wir die permanenten Erscheinungen beschrieben. In allen Theilen sind diejenigen des permanenten Magnetismus gleich, nur dass sich Alles entgegengesetzt zeigt, aber auch die temporären Erscheinungen, die *paramagnetischen* und die

diamagnetischen, lassen sich hydrodynamisch nachahmen. Und man bekommt *dieselbe entgegengesetzte Analogie* für die *gegenseitigen Massenwirkungen*, eine *directe Analogie* aber für diejenigen, die wir als *Influenzwirkungen* bezeichnen wollen, und welche jene neuen gegenseitigen Anziehungen und Abstossungen bedingen. Krafterscheinungen nicht allein von zweitem, drittem und viertem Grade, sondern auch diejenigen von fünftem, sechstem und siebentem werden, in dem obigen Sinne, mit denjenigen der magnetischen bis in den feinsten Einzelheiten sich völlig analog zeigen.

31. Senken wir in die Flüssigkeit einen vibrirenden Körper ein, sei es dass er als solcher in Pulsationen oder in Oscillationen begriffen ist. Die ganze Flüssigkeit wird dann in oscillatorische Bewegungen gesetzt, und zwar in jedem Punkte nach den *magnetischen Linien*, die beziehungsweise einem Pole oder einem Magnete entsprechen.

Es ist leicht zu erkennen, dass diese Oscillationen im Falle einer pulsirenden Kugel radial sein müssen, wie auch der Fall sein wird, wenn man einen magnetischen Pol hat. Ebenso wird man erkennen, dass die kleinen, temporären Magnete, welche gewissermassen die influencirten Flüssigkeitstheile bilden, ganz so von Süd gegen Nord orientirt werden, wie bei dem wahren Magnetismus. Wenn sodann die Kugel sich erweitert und mithin einen Nordpol repräsentirt, so entfernen sich die Flüssigkeitspartikel, das heisst, der kleine Magnet kehrt einen Südpol gegen den influencirenden Körper. Und ebenso entgegengesetzt, wenn dieselbe Kugel sich zusammenzieht.

Wenn die Kugel oscillirt, so hat man ein weniger einfaches Verhältniss. In der Verlängerung der Pollinie sind die Oscillationen der Flüssigkeit mit denjenigen des oscilirenden Körpers gleich gerichtet. In den äquatorialen Gegenden sind die gebildeten Oscillationen zwar auch mit diesem ursprünglichen parallel, sie sind aber dort entgegengesetzt gerichtet. Dies ist auch der Fall in dem magnetischen Felde, das einen entsprechenden Magnet umgibt: die Orientationen der dort gebildeten temporären Magnete sind in der Pollinie gleich und in den Aequatorialgegenden entgegengesetzt gerichtet. Aber auch auf jeder anderen Stelle der Flüssigkeit, wo die inducirten Oscillationen nicht mehr solche parallele Richtungen bekommen, ist die Uebereinstimmung vollständig. Und noch mehr, sie dehnt sich nicht allein zu der *Orientationsrichtung*, sondern

auch zu dem Verhältnisse der Aenderung der *Intensität* mit der Lage des Punktes vollständig aus.

Man kann also sagen, dass sich auch in hydronamischem Sinne ein *magnetisches Feld* bildet; jedes Partikel wird ein kleiner temporärer Magnet werden.

Wegen des *Gegensatzes* in den *Polwirkungen*, in Verbindung mit der *Uebereinstimmung* in den *Orientationen* darf man sich also vorstellen, dass die Flüssigkeit überall von dem vibrirenden Körper abgestossen werden sollte; doch so, wie auch entsprechend beim Magnetismus, dass nicht in jedem Punkte die Krafrichtung genau durch den Mittelpunkt des *oscillirenden* Körpers (in seiner Mittelstellung) gehen würde. Man bemerkt indess, dass die von dem Körper aus abgestossene Flüssigkeit von den Wänden oder von einem äusseren Druck zurückgehalten wird. Die Partikeln können sich sodann nicht unter ihren Oscillationen entfernen; man wird im Mittel eine *Spannung* anstatt der Entfernungen erhalten. Es ist also, als ob jedes Partikel von einer äusseren Fernkraft abgestossen würde, dass aber zu gleicher Zeit ein auf die Oberfläche rund herum wirkender Druck, dessen Resultat nun als eine Druckkraft hervortritt, die fortbewegende Wirkung dieser Abstossung aufheben möchte.

32. Jetzt werden wir aber in die Flüssigkeit einen *neutralen*, das heisst einen *nicht vibrirenden* Körper einsenken.

Wäre nun dieser von derselben Dichtigkeit wie die Flüssigkeit, so würde man im Allgemeinen keine neue Erscheinung beobachten. Er schwingt hin und her wie die Flüssigkeit selbst an derselben Stelle. Ganz streng genommen, ist es doch nicht so; wir werden aber davon erst an einer späteren Stelle sprechen.

33. Denken wir uns dann zweitens, dass der neue Körper *leichter* als die Flüssigkeit sei. Er wird demnach in stärkere Oscillationen als die Flüssigkeitspartikeln selbst versetzt werden, und in demselben Verhältnisse wird er, wie wir sagen wollen, eine grössere Menge von Hydromagnetismus (oder kürzer ausgedrückt von Magnetismus) bekommen. Wo man auch den Körper anbringt, so wird diese grössere magnetische Intensität überall proportional sein mit derjenigen eines wirklichen magnetischen Feldes, das unter entsprechenden Bedingungen gebildet worden ist. Die Intensität wird also nach demselben Gesetze für die Abstände und die Richtungen bestimmt, als ob man statt des vibrirenden Körpers, je nachdem er eine pulsirende oder oscillirende Kugel wäre, be-

ziehungsweise einen magnetischen Pol oder Magnet (in gewöhnlichem Sinne des Wortes) gehabt hätte. Die Orientationen sind auch dieselben als im wirklichen Magnetismus. Da aber die Polwirkungen einem inversen Gesetz gehorchen, so wird nun eine Abstossung die Folge werden. Und dies geschieht mit der Wirkung, dass unter diesen mitgetheilten rhythmischen Bewegungen eine wirkliche Entfernung eintritt. Es ist, als ob die äussere abstossende Kraft, die im Inneren zur Thätigkeit kommt, durch die Verstärkung der Oscillationen vergrössert würde, und als ob die gegenwirkende Druckkraft von der umgebenden Flüssigkeit keine Veränderung erlitten hätte. In der That verhält es sich aber so, dass die Druckkraft ganz allein zu einer motorischen Abstossungskraft führt, als ob diese letztere eine Fernkraft wäre.

Es ist übrigens nicht die Geschwindigkeit selbst in den inducirten oscillatorischen Bewegungen, welche diese *motorische* Abstossungskraft bestimmt, es ist vielmehr die *relative Oscillationsgeschwindigkeit* in Beziehung auf diejenigen Bewegungen, die auf derselben Stelle hätten stattfinden sollen, wenn der inducirte Körper nicht vorhanden wäre, auf welche es ankommt. Und die relative Geschwindigkeit ist jetzt, im Falle des leichten Körpers, von demselben Zeichen als die Geschwindigkeit selbst.

Man hat somit ein Verhältniss, welches in der Lehre des Magnetismus dem *paramagnetischen* entspricht. Man hat, hydrodynamisch gesprochen, *Ueberschuss* von Magnetismus und zugleich eine Orientationsrichtung, die nicht allein absolut, sondern auch relativ genommen, dieselbe als in dem wahren Magnetismus ist. Die *Folge* ist aber die *umgekehrte*, dass man eine *Abstossung* bekommt.

34. Wir können nun das entgegengesetzte ganz kurz erörtern. Der neutrale Körper ist jetzt *schwerer* als die Flüssigkeit, mithin auch minder beweglich als diese. Weil dann seine Oscillationen schwächer sind, werden dieselben offenbar, *relativ* zu denjenigen der Flüssigkeit an derselben Stelle, wenn der influencirte Körper nicht vorhanden wäre, entgegengesetzt werden. Man hat also jetzt eine *diamagnetische* Orientationsrichtung und wegen der *umgekehrten Polwirkungen* bekommt man *Anziehung*. Hier wie vorher ist aber auch die Intensität der in der Flüssigkeit gebildeten Oscillationen und derjenigen, welche auf den Körper übertragen werden, denselben Gesetzen unterworfen wie in dem wirklichen Magnetismus. Und da allein die Polwirkungen sich entgegengesetzt zeigen, wird man wieder ganz zu dem Resultate wie in der Lehre des Magnetismus

kommen, abgesehen davon, dass die eigentlichen Wechselwirkungen zwischen den Körpern, welche wir von den inductorischen unterscheiden, sich hier wie früher invers zeigen.

Die Richtigkeit dieser Betrachtungen lässt sich durch die Analyse bekräftigen, wie sie auch mit den Versuchen in Uebereinstimmung stehen.

V. Versuche, die sich auf die hydrodynamischen temporären Erscheinungen beziehen; Magnetisirung und magnetisches Feld.

35. Um dieses experimentell zu bethätigen, kann man einen Körper, der leichter als Wasser ist, darin so versenken, dass er in den horizontalen Richtungen mit der grössten Leichtigkeit verschiebbar ist (Fig. 29). Eine Metallstange kann durch zwei Schwimmer in einer horizontalen Lage, und zwar in einem bestimmten Niveau erhalten werden. In der Mitte der Stange wird ein Faden befestigt, der in einer kleinen Kugel von Kork oder Hollundermark endigt. Diese wird dann auch gezwungen sein in einem und demselben Niveau unter der Wasseroberfläche zu verbleiben.

Fig. 29.



Man nähert nun der Kugel die Trommel eines Pulsators; die Kugel wird dann abgestossen werden.

Dasselbe geschieht auch, wenn man an Stelle des Pulsators einen Oscillator nimmt. Und jetzt bemerkt man selbst, dass es gleichgiltig wäre, ob man dem oscillirenden Körper desselben eine halbe Umdrehung gäbe. Früher bekam man alsdann immer das entgegengesetzte Resultat. Statt dieser oscillirenden Kugel eine solche Stellung zu geben, dass die Oscillationen dem leichten Körper gegenüber longitudinal sind, kann man mit demselben Resultate auch eine andere wählen, welche transversalen Oscillationen entspricht. Man kann selbst die Oscillationen in irgend einer schiefen Richtung bewerkstelligen; immer wird man eine Abstossung erhalten, doch mit der Aenderung, dass die Kraft-richtung jetzt nicht völlig genau mit der Centralinie (in ihrer Mittelstellung) zusammenfallen wird. Man bekommt hierin ganz kleine Abweichungen, die aber ohne sehr feine Apparate nicht leicht zu beobachten sind; sie sind übrigens dieselben wie die, welche im wirklichen Magnetismus unter den entsprechenden Umständen vorkommen würden.

36. Es ist doch hier etwas zu bemerken, was scheinbar gegen die Theorie spricht, was sie aber zuletzt nur vollständiger bestätigt. Wenn man die transversalen Schwingungen so ausführen würde, dass sie eine verticale Richtung bekämen, so würde die Abstossung in eine Anziehung übergehen. Der Grund ist leicht zu erkennen. Die eingesenkte Kugel wird jetzt selbst in verticale Schwingungen gebracht; sie wird aber durch den Faden zurückgehalten. Sie verhält sich deswegen als ein schwererer Körper; denn was wesentlich ist, ist eigentlich nicht die grössere oder kleinere Leichtigkeit für sich betrachtet, sondern vielmehr die damit in der That am häufigsten verbundene grössere oder kleinere *Beweglichkeit* desselben Körpers.

Wenn man statt eines kleinen leichten Körpers einen grossen hätte nehmen wollen, so würde man auch, wenn man den Vibrator hinlänglich genähert hätte, eine Anziehungserscheinung beobachtet haben. Und erst in einem etwas grösseren Abstände würde man die frühere Abstossung wieder bekommen. Der Grund dieser letzten Abweichung von den aufgestellten Sätzen liegt darin, dass es in grosser Nähe nicht mehr befriedigend ist, auf die Wirkungen der ersten Inductionen Rücksicht zu nehmen. Es wird dann eine kritische Stelle geben, innerhalb welcher man nicht mehr Abstossung hat, sondern Anziehung.

37. Wir untersuchen jetzt einen schwereren Körper. Eine Kugel, zum Beispiel von Siegellack oder Metall, kann in einem bestimmten Niveau, ebenso mit Hilfe eines Schwimmers erhalten werden (Fig. 30). Wenn man nun an diesen eingesenkten Körper einen Vibrator nähert, so wird er angezogen werden, ganz auf ähnliche Weise, wie man früher eine Abstossung erhielt. Diese Anziehungserscheinung zeigt sich hier auch nicht unbedeutend stärker als die vorige Abstossung.

Fig. 30.



Niveau, ebenso mit Hilfe eines Schwimmers erhalten werden (Fig. 30). Wenn man nun an diesen eingesenkten Körper einen Vibrator nähert, so wird er angezogen werden, ganz auf ähnliche Weise, wie man früher eine Abstossung erhielt. Diese Anziehungserscheinung zeigt sich hier auch nicht unbedeutend stärker als die

Wir erinnern uns noch, dass wir diesen Fall mit der Anziehung des schweren Körpers als den diamagnetischen betrachtet haben, den vorigen mit dem leichten Körper und der Abstossung als den paramagnetischen.

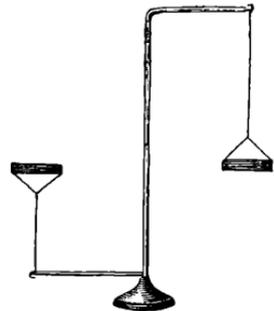
38. An der Stelle von kugelförmigen Körpern können wir auch *cylinderförmige* influenciren lassen, um die daraus entstehenden Wechselwirkungen zu untersuchen. Obschon hierdurch die Voraussetzungen überschritten werden, welche unseren analytischen Sätzen zu Grunde liegen, kommen doch die erwarteten Analogien

zum Vorschein. Wie die Kugel influencirt wird ganz auf dieselbe Weise wie im eigentlichen Magnetismus, so denken wir uns daselbe auch hier. Wir stellen uns vor, dass alle Elemente des Cylinders wie von der Flüssigkeit ebenso unabhängig von einander in Oscillationen gesetzt werden könnten, so dass man an der Seite der magnetischen Flüssigkeit auch einen magnetischen Körper bekäme, in welchem die Elementarmagnete nicht alle parallel wären. Man könnte sich dann den Cylinder mit magnetischen Schichten bedeckt denken.

Wäre dies so, so würde man wieder, in Uebereinstimmung mit den inversen Polwirkungen entgegengesetzte Drehungen erwarten. Durch die Näherung eines Magnetpoles an ein cylinderförmiges Stück von weichem Eisen wird dieses eine axiale Stellung annehmen; das sich diamagnetisch verhaltende Wismuth wird aber in eine äquatoriale Lage versetzt. In diesem hydrodynamischen Falle müsste ein leichter Cylinder von Kork oder Hollundermark sich äquatorial, ein schwerer von Siegelack oder Metall sich axial stellen. Denn der paramagnetische Fall (mit magnetischem Ueberschuss und magnetischer Orientation) entspricht dem leichten Körper und gibt ein umgekehrtes Resultat; der diamagnetische Fall entspricht dem schweren Körper und wird ebenso inverse Wirkungen veranlassen. Dass dieses so ist, ist auch leicht experimentell zu prüfen. An dem Arme eines in Wasser versenkten Statives kann man mittelst eines Fadens mit Leichtigkeit einen schweren Cylinder so anbringen, dass er um einen Mittelpunkt bloss horizontale Schwingungen ausführen kann. Aehnliches erreicht man für den leichten Cylinder, indem man ihn an einem anderen Faden befestigt, der jetzt von einem unteren Arm aufsteigt.

39. Wir gehen nun zu einer Erscheinung über, durch welche die Uebereinstimmung selbst in äusserst feinen Details hervortreten wird, und wobei die Analogien, wenn möglich sich noch deutlicher zeigen. Es ist eine magnetische *Interferenzerscheinung* und die entsprechende hydrodynamische, von welcher die Rede ist. Wir beginnen jetzt mit einer Beschreibung derselben wirklich magnetischen Erscheinungen, die eben nachgeahmt werden sollen, und

Fig. 31.



dies zwar sowohl im paramagnetischen als im diamagnetischen Falle.

40. Zwei einander nicht berührende Magnete werden über einander gestellt, so dass ihre Achsen in derselben Verticallinie liegen. Ungleichnamige Pole sollen zuerst einander zugekehrt sein. Wenn man nun in dem Zwischenraume zwischen den Polen ein kleines Stück von weichem Eisen bringt, und wenn man dafür sorgt, dass dieses Eisenstück nur in den horizontalen Richtungen bewegt werden kann, so wird es nach dem in der Achse liegenden Mittelpunkte angezogen. Kehrt man aber den einen von diesen Magneten um, so dass jetzt gleichnamige Pole einander gegenüberstehen, so wird das Eisenstück von dem Mittelpunkte weggestossen, und es sucht nun in dieser Stelle auf einer gewissen Peripherie in demselben Punkte zu verbleiben. Innerhalb dieser hat man also Abstossung, erst ausserhalb macht sich die ursprünglich erwartete Anziehung geltend.

Der Grund dieser letzten sehr eigenthümlichen Erscheinung ist leicht zu erkennen. Das, wie wir annehmen, ein wenig ausserhalb der Achsenlinie verschobene Eisenstück wird unter der Einwirkung der gleichnamigen Pole ein temporärer Magnet, dessen Achse horizontal ist. Nehmen wir an, dass die beiden Pole Nordpole sind. In dem gebildeten Magnete liegt dann ein Südpol demselben am nächsten, der Nordpol ist der entfernteste. Es wird nun zwar der zugekehrte Südpol des Eisenstückes am stärksten von den beiden Magnetpolen angezogen. Der Winkel aber, welcher die von einem der gegebenen Magnetpole nach dem gebildeten Nordpole hin gezogene Richtungslinie mit der Horizontalebene macht, ist spitzer als derjenige, welchen die nach dem zugekehrten Südpole gezogene Richtungslinie mit derselben Ebene bildet. Es wird sich daraus ergeben, dass innerhalb eines gewissen Gebietes die horizontale Componente der schwächeren Abstossungskraft grösser sein wird als die Horizontalcomponente der stärkeren Anziehungskraft. Ausserhalb des erwähnten Gebietes wird dieses Verhältniss mit den Winkeln nicht mehr einen so hervortretenden Einfluss haben.

41. Dasselbe werden wir nun auch hydrodynamisch nachahmen können. Wir nehmen einen doppelten, knieförmigen Pulsator, welchen wir übrigens, weil er hauptsächlich dazu dienen soll, eine solche Interferenzerscheinung zu veranschaulichen, einen *Interferenzpulsator* nennen werden (Fig. 32). Man kann diesen Pulsator

in zwei Hauptstellungen bringen, entweder so, dass seine zwei pulsirende Trommeln in derselben Verticalen oder in derselben Horizontalen liegen.

Wir wählen nun die erste Hauptstellung; die Trommeln befinden sich also beide in derselben Verticalen. Zwischen den beiden Trommeln bringt man jetzt einen kleinen schweren Körper an; mit der grössten Leichtigkeit soll derselbe in der horizontalen Richtung verschoben werden können, nur aber in dieser. Dies geschieht auch sehr einfach, indem man den Körper in der Mitte einer dünnen Metallstange befestigt und diese Stange wird in einer horizontalen Lage und zwar stets im selben Niveau gehalten, indem sie durch zwei Fäden getragen wird, welche in zwei entsprechenden Schwimmern enden (Fig. 33).

Lässt man nun die Trommeln entgegengesetzt pulsiren, so dass sie ungleichnamige Pole bezeichnen sollen, so wird der schwere Körper zum Mittelpunkte angezogen werden. Lässt man aber die beiden Pulsationen von derselben Art sein, so dass man gleichnamige Pole erhält, so wird der Körper abgestossen und er sucht sich dann auf einer gewissen Peripherie zu halten. Innerhalb hat man also wieder Abstoßung, ausserhalb derselben Anziehung. Alles ist sodann dem ähnlich, was man in dem vorerwähnten magnetischen Falle beobachtet hat.

Der schwere Körper entspricht hydrodynamisch dem diamagnetischen Falle und dieser ist, was die Wirkungen betrifft, dem paramagnetischen des wahren Magnetismus ähnlich.

42. Man kann nun auch hydrodynamisch den entgegengesetzten paramagnetischen Fall studiren, welcher also in den Wirkungen dem diamagnetischen des wahren Magnetismus zu vergleichen wäre. Man nimmt dann den Interferenzpulsator in seiner

Fig. 32.

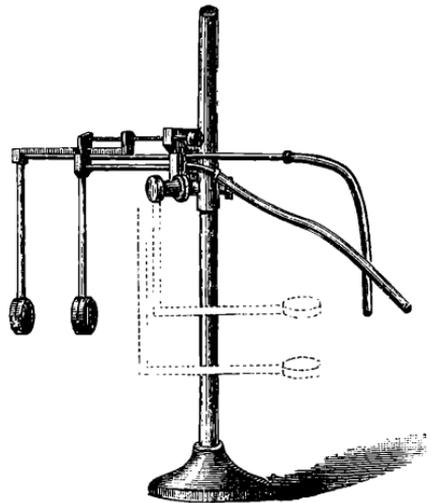
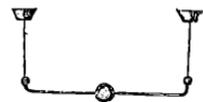


Fig. 33.



anderen Hauptstellung. Die Mittelpunkte der beiden Trommeln liegen somit in derselben Horizontalen, und es wird demnächst ein

Fig. 34.



kleiner kugelförmiger, leichter Körper zwischen den Trommeln angebracht. Wir haben schon oben erwähnt, auf welche Weise man dieses realisiren kann, so dass man stets eine leichte Verschiebbarkeit, aber bloss in den horizontalen Richtungen erhält (Fig. 34).

Fangen wir nun mit denselben Phasen an, die wir zuletzt den Trommeln gegeben hatten. Lassen wir sie also gleich pulsiren, so dass sie gleichnamige Pole vorstellen mögen. Alsdann wird man bemerken, dass innerhalb eines kleinen Intervalls der Körper gegen den Mittelpunkt angezogen wird. Ausserhalb dieses Intervalles wird er nun abgestossen. Lässt man aber die Trommeln entgegengesetzt pulsiren, so dass sie ungleichnamige Pole bedeuten, so wird der Körper, wenn man ihn nur noch so wenig von dem Mittelpunkte entfernt, stets abgestossen.

43. Wir gehen zu noch einer neuen Erscheinung über. Wir werden zeigen, dass man in einem gewissen Sinne selbst einen permanenten Magnet bilden kann.

Fig. 35.



Zu dem Ende befestigen wir eine leichte hohle Metallkugel an einem dünnen elastischen Metallstabe (Fig. 35), und wir lassen dann gegen diese einen Vibratorkörper wirken. Die Kugel wird nun durch die Vibrationen der pulsirenden Trommel oder der oscillirenden Oscillatorkugel in Oscillationen gesetzt. Aber im Allgemeinen bekommt man doch nur einen *temporären* Magnet, denn sobald die gegebenen Vibrationen aufhören, hören auch die inducirten auf. Gelingt es aber für die gegebenen permanenten Vibrationen eine Schwingungsperiode zu erhalten, welche den Elasticitätsschwingungen des belasteten elastischen Stabes entspricht, so wird man starke Schwingungen hervorrufen können. Und weil man jetzt fremde Elasticitätskräfte ins Spiel gesetzt hat, wird man Schwingungen bekommen, die nicht mehr mit denjenigen des Vibratorkörpers aufhören. Mit anderen Worten, man hat in gewissem Sinne, einen *permanenten* Magnet gebildet. Doch ist die Dauer dieser hervorgerufenen Schwingungen im Allgemeinen kurz.

Es ist hier eine kleine Störung der vollen Analogie zu bemerken. Man wird nämlich eine gewisse Aenderung in der Phase erhalten, was nicht ein Gegenbild im wahren Magnetismus hat. Dieses könnte möglicherweise ein Zeichen davon sein, dass auch auf andere Weise ein Analogon zu der Bildung eines permanenten Magnetes zu suchen wäre.

44. Den Umstand, dass man auf solche Weise eine bedeutende Verstärkung der mitgetheilten Vibrationen erreichen kann, wird man nun mit Vortheil benutzen können, um die in der Flüssigkeit selbst entstandenen Oscillationen abzuzeichnen. Man wird sodann von dem *magnet-ähnlichen* Felde, das man dadurch bekommt, ein Bild erhalten.

Fig. 36.

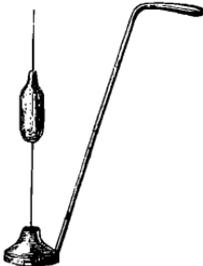
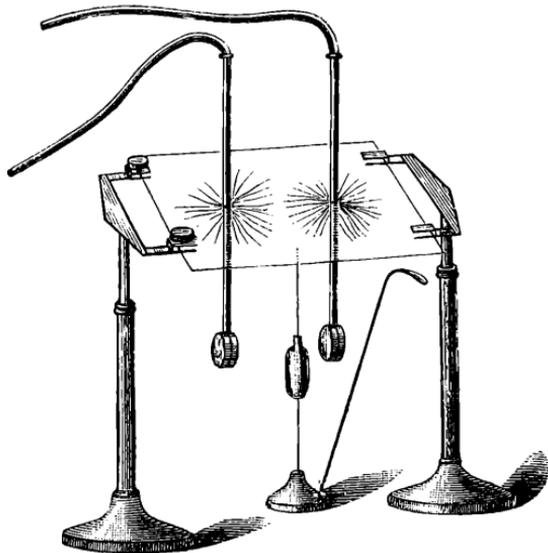


Fig. 37.



Zu dem Ende befestigt man an der eben genannten Kugel ein vertical stehendes Pendel, das mit seiner feinen Spitze über die Flüssigkeit ragt. Noch bequemer als die Kugel kann man einen cylindrisch geformten Körper wählen (Fig. 36). Man hat dadurch den Vortheil, dass man in grösserer Nähe an den versenkten schwingenden Körpern seinen Zeichnungsapparat anbringen kann.

Zu den vorigen hat man noch zwei Stative und eine darauf gelegte Glasplatte, auf welche die Zeichnungen aufgenommen

werden, hinzuzufügen (Fig. 37). Die Stative sind mit Federn versehen, so dass man die Platte durch einen kleinen Druck in unmittelbare Berührung mit der Pendelspitze bringen kann. Die Platte kann auf verschiedene Weise mit Löchern versehen werden, um die Vibratoren in der Flüssigkeit ganz beliebig anbringen zu können.

Man kann sich nun verschiedenartig hierbei einrichten, um hydrodynamisch genommene Systeme von Polen und Magneten zu bilden, deren combinirte *Spectra* man untersuchen will. Der eigentliche Schreibapparat wird von Stelle zu Stelle verschoben, um also nach und nach das ganze Spectrum abzuzeichnen. Es ist übrigens zu bemerken, dass obwohl eine Aenderung in den Phasen eintritt, dieses doch auf die gebildeten Oscillationslinien keinen Einfluss hat. Die Spectren sind also denjenigen ähnlich, die man in den entsprechenden Fällen für Systeme von wirklichen Magneten und Polen bekommen würde.

45. Auf diese Weise sind nun in der That auch mehrere von den einfacheren Fällen experimentell untersucht worden. Das radienförmige Spectrum eines Poles ist mit Hilfe eines Pulsators mit seiner pulsirenden Trommel nachgeahmt worden. Ebenso hat man das Spectrum eines kurzen Magnetes nachgebildet, indem man einen Oscillator mit seiner oscillirenden Kugel benutzt hat. Man hat weiter das Spectrum nachgemacht, welches zwei entgegengesetzten Polen entspricht; zwei entgegengesetzt pulsirende Körper treten also an die Stelle dieser Pole. Auf ähnliche Weise hat man auch das Spectrum von zwei gleichnamigen Magnetpolen mittelst zwei gleichpulsirenden Körpern nachgebildet. Ein letztes Spectrum entspricht drei magnetischen Polen, zwei gleichnamigen und einem ungleichnamigen oder anstatt dessen zwei gleichpulsirenden Körpern und einem dritten, der entgegengesetzt pulsirt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lotos - Zeitschrift fuer Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [31-32](#)

Autor(en)/Author(s): Bjerknes C.A.

Artikel/Article: [Hydrodynamische Erscheinungen, welche den elektrischen und magnetischen analog sind. 27-60](#)