Drei Abhandlungen

aus dem Gebiete der

Wellen-Lehre,

nebst Anwendungen auf

Akustik, Optik und Astronomie.

Von

Christian Doppler,

o. ö. Professor der Mathematik und praktischen Geometrie, und ordentlichem Mitglied der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften.

1. Methode, die Geschwindigkeit, mit der die Luftmolekel beim Schalle schwingen, zu bestimmen.
2. Über eine vom Zerstreuungsvermögen des Fortpflanzungsmittels völlig unabhängige rotatorische Dispersion des Lichtes, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur rotatorischen Brechung.
3. Über eine Vorrichtung, mittels deren sich jede noch so geringe Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bahn wahrnehmen und messen lässt, nebst Hinweisung auf solche Fälle, wo eine derartige Ablenkung vielleicht Statt haben dürfte.

Methode,

die Geschwindigkeit, mit der die Luftmolekel beim Schalle schwingen, zu bestimmen.

(Ein weiterer Beitrag zur Wellenlehre.)

---

§. 1.

Bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft nehmen alle Physiker übereinstimmend an, dass die Luftmolekel longitudinale Schwingungen vollführen, deren Richtung mit der, nach welcher die Wellen fortschreiten, zusammenfällt, und wobei die Bewegungsgeschwindigkeit des Molekels jedesmal an dem Orte seiner Ruhelage ihr Maximum erreicht. Ferner wird allgemein angenommen, dass die Intensität eines Schalles durch das Quadrat eben dieser absoluten Geschwindigkeit oder der Amplitude der Schwingung dieser Molekel dargestellt wird *), welche Annahme durch das sogenannte Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte geboten wird. Endlich ist es eine eben so theoretisch begründete, wie durch Experimente erhärtete Wahrheit, dass die Intensität eines Schalles im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung abnimmt. Hieraus ergibt sich nun, dass die Intensität eines Schalles, selbst bei völlig ungehemmter und ungeschwächter Fortpflanzung durch die Luft, stets von zwei Ursachen abhänge, von der Entfernung der Schallquelle vom Beobachter, und von der Energie, mit welcher die ursprünglichen Impulse des schwingenden oder tönenden Körpers auf die Molekel der Luft übertragen werden. Alles, was demnach eine grössere Entfernung der Tonquelle bedingt, oder die ursprüngliche Schwingungsgeschwindigkeit vermindert, vermindert auch unausbleiblich jenes Tones Intensität. Eine solche Verminderung muss aber nothwendig Statt haben, wenn die Tonquelle, als Ursache jener Molekularbewegungen, in einer zurückweichenden Bewegung begriffen ist, die es unstreitig verhindert, die Impulse mit ihrer ganzen Stärke, die ihnen an sich zukömmt, auf die ruhenden Lufttheilchen zu übertragen, ja es ist klar, dass dieser Abbruch an Geschwindigkeit, den sie zu erleiden haben, vollkommen der Bewegungsgeschwindigkeit

*) S. Herschel v. Licht §. 578 pag. 308. — Ferner: F. W. G. Radicke's Handbuch der Optik, Band 1, pag. 30.

64 *

der Tonquelle selbst gleichkommt. Eben so begreiflich ist es ferner, dass eine Bewegung im entgegengesetzten Sinne die Intensität in gleichem Masse vermehren muss. — Diess vorausgesetzt, wird es nicht schwer halten, mich mit den geehrten Lesern in Betreff eines in Vorschlag zu bringenden, leicht ausführbaren Versuches zu verständigen, der es uns möglich machen wird, die absolute Geschwindigkeit, mit der die Luftmolekel bei verschiedenen Intensitätsgraden und Tonhöhen an dem Orte ihrer Ruhelage schwingen, zu bestimmen.

§. 2.

Es sei Fig. 1 BAC ein Stück einer geradlinigen Eisenbahn, auf der man sich in angezeigter Richtung, d. i. von B gegen C hin eine Locomotive Q in der Art fahrend denkt, dass sie, in A angelangt, bereits eine constante, an sich beliebige Geschwindigkeit a erreicht habe. Von diesem Augenblicke, wo Q in A angelangt ist, beginnen wir sofort unsere weitere Betrachtung. Auf dem letzten Waggon der Locomotive sowohl, wie an dem fixen Orte B, dessen Abstand von A wir durch L bezeichnen wollen, befinden sich zwei ganz gleiche Vorrichtungen, durch welche man einen beliebigen Ton mit völlig gleicher Intensität, bei der einen wie bei der andern, hervorzubringen und einige Zeit hindurch fortdauern zu lassen vermag. Eine weitere Besprechung dieser Vorrichtungen sei auf weiter unten verspart. — Lässt man ungefähr zu der Zeit, wo Q bei A vorbeifährt, beide Instrumente (jenes in B und das auf Q) zugleich ertönen, so wird ein Beobachter in A den Ton, der von Q herrührt, anfänglich ohne Zweifel wegen der grössern Nähe der Tonquelle stärker vernehmen, als jenen des entferntern Instruments in B. Wäre nun die Bewegung der Tonquelle auf dessen Intensität ganz ohne allen Einfluss, so ist es gewiss, dass, damit beide Töne von einem Beobachter in A gleich stark vernommen werden, die Locomotive bereits eine Entfernung von A erreicht haben müsste, die jener des B vollkommen gleich wäre. Diess wird aber ganz gewiss nicht der Fall sein. Vielmehr lässt sich mit aller Bestimmtheit erwarten, dass dieses Ereigniss schon bei einer bedeutend geringern Entfernung des Q von A eintreten wird. Sobald der Beobachter in A demnach die beiden Töne für gleich stark erkennt, gebe er gegen den Führer in Q ein Zeichen, der sofort zur Bezeichnung dieser Stelle (da die Locomotive nicht augenblicklich zum Stillstehen zu bringen ist) ein Signal auswirft. Es geschehe diess in einer Entfernung von A gleich l. — Heisst man nun die Endgeschwindigkeit, die das Luftmolekel bei der Intensität jenes angespielten Tons an dem Orte seiner anfänglichen Ruhelage hat, V, die Geschwindigkeit der Locomotive wie gesagt a, $AB = L$, und $AQ = l$, so ist bezüglich des Tones A, wo μ einen constanten Factor bedeutet, dessen Intensität oder $J = \mu \frac{V^2}{L^2}$ und jene gleichgrosse von Q her, oder $J = \mu \frac{(V-a)^2}{l^2}$; wodurch somit durch Gleichstellung: $\frac{V}{L} = \frac{(V-a)}{l}$ und hieraus

$$(1) \quad V = \frac{a\,L}{L-l} \text{ sich ergibt.}$$

Für den Fall dagegen, wo sich die Locomotive annähert, hat man Fig. 2 wegen:

$$J = \frac{\mu V^2}{L^2} \text{ und } J = \frac{\mu (V+a)^2}{l^2}, \text{ d. i. wegen } \frac{V}{L} = \frac{a+V}{l} \text{ offenbar:}$$

$$(2) \quad V = \frac{a L}{l - L}.$$

Durch Zurücksubstituiren findet man endlich für die Intensität selber in beiden Fällen:

$$(3) \quad J = \frac{\mu a^2}{(L-l)^2},$$ d. h. die Intensität des in A wahrgenommenen Tones ist dem Quadrate des Quotienten proportional, aus der Differenz der beiden Entfernungen von A in die Geschwindigkeit der Locomotive. — Es wird dem Leser nicht entgehen, dass der constante Factor μ, welcher nur von der absoluten Tonhöhe und absoluten Intensität des ursprünglichen Schalles in der Entfernung Eins abhängt, aus allen bisherigen und den folgenden Formeln mit alleiniger Ausnahme jener der absoluten Intensitätsbestimmungen (3) u. s. w. hinausfällt. Aber selbst hier kann man, so lange mit demselben Tone experimentirt wird, denselben der Einheit gleichsetzen und so jene absolute Bestimmung in eine relative verwandeln. Die relative Intensität gibt also an, wie vielmal ein Ton in einer gewissen Entfernung stärker oder schwächer vernommen wird, als derselbe Ton in der Entfernung Eins. — Die Grösse μ erhält also erst dann einen Einfluss, wenn ursprünglich verschiedene Töne mit einander in Vergleich kommen. Bei unsern gegenwärtigen Untersuchungen hätten wir demnach diesen Factor μ recht gut durchwegs der Einheit gleichsetzen können.

Ist demnach im Falle (1) z. B. $a = 16'$, $L = 600'$, und $l = 450'$, so ist wegen:

$$V = \frac{16 \cdot 600}{600 - 450} = 64'$$

d. h. das betreffende Luftmolekel schwingt bei dieser Tonhöhe und Intensität unmittelbar an der Quelle A oder Q in seiner Ruhelage mit einer Geschwindigkeit von $64'$ in der Secunde. Die absolute Intensität des in A wahrgenommenen Tones ist nur $\frac{64}{5625}$ oder beiläufig $\frac{1}{88}$ des ursprünglichen*).

Es sind sehr triftige Gründe vorhanden, die es wahrscheinlich machen, dass selbst sehr starke Schalle nur ganz mässige Geschwindigkeiten der Molekel bedingen.

§. 3.

Zum sichern Gelingen des Versuches ist es vorerst unerlässlich, dass die Möglichkeit dargethan werde, zwei übereinstimmende Instrumente von der Art herzustellen, dass sie

*) Der in diesem Paragraphe ausführlich besprochene Versuch könnte fast noch zweckmässiger, wie es mich dünkt, in der Weise angestellt werden, dass dem stabilen Instrumente B ein Ort seitwärts angewiesen, dafür aber der beschriebene Versuch nicht nur mit der gehenden, sondern früher auch mit der kommenden Locomotive vorgenommen würde, wodurch bei Bestimmung des Resultats mittels des arithmetischen Mittels der Einfluss des Windes und andere constante Beobachtungs- oder Versuchsfehler von selbst entfallen würden.

sowohl verschiedene Töne, als auch denselben Ton mit jeder innerhalb gewisser Grenzen liegenden Intensität zu produciren vermögen. Diess dürfte aber, wenn man nicht die Anforderung einer absoluten Gleichheit macht, eine Bedingung, die weder bei diesem, noch irgend einem andern physikalischen Experimente erfüllbar ist, nicht einmal grossen Schwierigkeiten unterliegen. Um hier nur das Wesentliche mit wenigen Worten zu berühren, werde bemerkt, dass man sich hierzu recht gut einer, mit einem doppelten Blasebalge und einer mit einem Regulator versehenen Windkammer, construirten einfachen Orgelvorrichtung mit offenen Pfeifen bedienen könnte, die sich durch entsprechende Auflegegewichte mit zureichender Genauigkeit auf dem Wege der Versuche zum Ansprechen von Tönen möglichst gleicher Intensitäten zusammenstimmen lassen, und deren Intensitäten sich zu jeder Zeit und beliebig oft, wenn nur ihre ihnen entsprechenden Belastungsgewichte angemerkt werden, wieder erzeugen lassen. — Eine kleine scheinbare Schwierigkeit für das Gelingen dieses Versuches scheint sich aus dem Umstande ergeben zu wollen, dass ja bekanntlich (nämlich zu Folge meiner durch Hrn. Dr. Ballot*) zu Utrecht experimentell bestätigten Theorie) die Bewegung der Tonquelle eine Änderung in der Höhe des Tones bewirkt, wodurch unfehlbar die Vergleichung der beiden Töne nach ihrer Intensität in Etwas erschwert wird. — Allein es ist in Erwägung zu ziehen, dass sich theils dieser Unterschied schon vor dem eigentlichen Versuche ausgleichen lässt, theils darf man nicht unbeachtet lassen, dass die Intensitäten in Folge einer Bewegung ungleich schneller und bedeutender abnehmen dürften wie die Tonhöhen, die bei der grösstmöglichen Geschwindigkeit der Locomotive kaum viel über einen halben Ton abweichen. Die Vermuthung, dass selbst schon eine mässig schnelle Bewegung einen bedeutenden Einfluss auf die Intensität desselben ausüben werde, gründet sich unter anderen auch auf die notorische Erfahrung, dass auch Luftströmungen einen sehr merkbaren Einfluss auf die Stärke eines Tones ausüben. — Eben dieser Umstand könnte aber die weitere Befürchtung erwecken, dass der Winde wegen auf genaue Resultate nicht zu hoffen sei. Hierauf ist aber zu erwidern, dass man ja zu diesen Versuchen vollkommen windstille Tage wählen kann, sich auch überdiess rücksichtlich dieses Einflusses genaue Rechnung tragen lässt. Und so scheint es denn, dass erhebliche Bedenken und Zweifel rücksichtlich des günstigen Erfolgs solcher Versuche sich kaum vorbringen lassen dürfen.

§. 4.

Es ist ein genugsam bekannter, in der Wellentheorie für elastische Medien geltender Satz, den ich wohl hier nicht erst weiter zu begründen brauche, dass die Geschwindigkeit, mit der die Molekel schwingen, von jener, nach der die Wellen sich fortpflanzen, durchaus und in jeder Beziehung unabhängig ist. (S. Herschel Licht §. 572, pag. 305.) Die Luftmolekel bei der Schallerregung können also an sich alle Geschwindigkeitsgrade von Null bis zu einer gewissen, durch die Elasticität des Fortpflanzungsmittels und die Stärke der ursprünglichen Impulse der Quelle selber bedingten obern Grenze annehmen. Hiermit soll jedoch keineswegs behauptet werden, dass diese Schallerregung auch schon von uns

*) S. Poggendorfs Annalen d. Physik B. 66, pag. 321.

müsste wahrgenommen werden. Es ist vielmehr als gewiss anzunehmen, dass die Luftmolekel schon mit einer gewissen Geschwindigkeit schwingen müssen, damit von uns Etwas mittelst unseres Ohres noch wahrgenommen werden könne. — Es ist daher gewiss nicht uninteressant, wenn ich die oben abgeleiteten Formeln nebstbei dazu anwende, die geringste Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der ein Luftmolekel schwingen muss, damit es das Ohr eines gewissen Beobachters noch rühre. Man stelle sich zu diesem Behufe vor, man habe bereits den im §. 2 beschriebenen Versuch gemacht, und für Formel (1) die nöthigen Bestimmungsstücke L, l und a empirisch ermittelt. Diejenige Intensität eines Tones, von welchem angefangen er aufhört, für einen gewissen Beobachter noch wahrnehmbar zu sein (denn er ist noch immer da, nur wird er nicht mehr gehört), werde durch i bezeichnet, und die dazu gehörige Geschwindigkeit des Molekels in dem Orte seiner Ruhelage durch w. Man schreite nun zur zweiten Hälfte des Versuches, die darin besteht, dass sich der Beobachter in A von B allmälig so weit entfernt, bis er aller Anstrengung und einer *fallacia spontanea* ungeachtet zu dem Eingeständniss gezwungen wird, dass er in der That nichts mehr wahrnehme. Die Entfernung von B, in der sich das ereignet, heisse L', so hat man nebst der Formel (1) oder

$$V = \frac{aL}{L-l}, \text{ auch noch: } i = \mu\, w^2 = \frac{\mu\, V^2}{L'^2}; \text{ und durch Substitution sofort:}$$

$$(4) \quad w = \frac{aL}{L'(L-l)}; \text{ und somit } i = \left[\frac{aL}{L'(L-l)}\right]^2 \mu.$$

Da die Schärfe des Gehörs im gerade umgekehrten Verhältnisse mit i zunimmt oder vielmehr dessen reciproker Werth selber ist, so kann man die Formel (4) unmittelbar zur Bestimmung der absoluten individuellen Scharfhörigkeit benützen. Wird der zweite Theil des Versuches von mehren, z. B. zwei Individuen zugleich gemacht und für letztern L'' gefunden, so hat man wegen (4) und der Formel

$$i = \left(\frac{aL}{L''(L-l)}\right)^2 \mu; \text{ wenn man zugleich } \frac{1}{i} = s \text{ und } \frac{1}{i'} = s' \text{ setzt, offenbar:}$$

$$s : s' = \mu \left(\frac{L'(L-l)}{aL}\right)^2 : \mu \left(\frac{L''(L-l)}{aL}\right)^2 = L'^2 : L''^2;$$

d. h. die relative Scharfhörigkeit mehrer Individuen verhält sich in diesem Falle direct wie die Quadrate der beziehungsweisen Entfernungen, bei welchen für sie ein gewisser beliebiger Ton von gegebener Höhe unwahrnehmbar zu werden beginnt.

§. 5.

Die Geschwindigkeit, mit der die Luftmolekel an dem Orte ihrer anfänglichen Ruhelage beim Schalle schwingen, lässt sich aber ferner noch durch den einen oder andern der beiden nachfolgenden Versuche ermitteln, deren Grundgedanken, wenn gleich unter sich sowohl, wie von jenem des oben besprochenen Versuches wesentlich verschieden, doch nicht minder einfach und anwendbar mir zu sein scheinen. Insbesondere dürften dem weiter unten anzuführenden dritten Versuche Anwendungen der wichtigsten Art in dem Gebiete der Astronomie und Optik bevorstehen. — Ich gehe sofort zur Beschreibung des Versuches selbst über.

An zwei hinreichend von einander entfernten Puncten einer geradlinigen Eisenbahn B und C Fig. 3 seien die im Vorhergehenden beschriebenen tongebenden Instrumente B und C aufgestellt, und eine Locomotive mit dem Beobachter A bewege sich mit der Geschwindigkeit a von B gegen C hin. An der Stelle Q angelangt, werde in A der Ton von C mit jenem von B herrührenden gleich stark vernommen, und dieser Ort durch das Auswerfen eines Signals festgestellt. Ist daher $QC = L$, und $BQ = l$, so hat man, wenn die Geschwindigkeiten, mit welchen die Luftmolekel an dem Orte Q schwingen, beziehungsweise der von B und C herrührenden Töne, durch V'' und V' bezeichnet werden, aus früheren Gründen;

wegen $V'^2 = \frac{V^2}{L^2}$ und $V''^2 = \frac{V^2}{l^2}$; sofort $V' = \frac{V}{L}$ und $V'' = \frac{V}{l}$.

Demnach bezüglich C; $J = \left(\frac{V}{L} + a\right)^2$; und bezüglich B; $J = \left(\frac{V}{l} - a\right)^2$.

Durch Gleichstellung also: $L(V + al) = l(V - aL)$, woraus $l(V+aL) = L(V-al)$

$$(5)\quad V = \frac{2\,a\,l\,L}{L - l};$$ und durch Substitution

$$(6)\quad J = \left(\frac{a(L+l)}{L-l}\right)^2 \mu;$$ als Ausdruck für die Intensität des in Q vernommenen Tones. — Ebenso erhält man durch Substitution in die Gleichung: $w = \frac{V}{L'}$, sofort

$$(7)\quad w = \frac{2\,a\,l\,L}{L'(L-l)};$$ durch welchen Ausdruck, wie im §. 4, sich das subjective Minimum der Schwingungsgeschwindigkeit bestimmen läst, bei welchem ein Ton von bestimmter Höhe eben aufhört, für ein gewisses Ohr hörbar zu sein.

Berücksichtigt man, dass die oft erwähnten Geschwindigkeiten, mit der die Luftmolekel schwingen, durch die Quadratwurzeln aus den entsprechenden Intensitäten ausgedrückt werden, so verhilft uns die Formel $V' = \frac{V}{L}$, sofort zu nachfolgendem nicht unwichtigen Ausdruck:

$$(8)\quad L = \frac{V}{V'} = \sqrt{\frac{J}{J'}};$$ d. h. die Entfernung einer Tonquelle ist gleich dem Quotienten aus den beziehungsweisen Geschwindigkeiten der Luftmolekel, oder auch gleich der Quadratwurzel aus dem Quotienten der entsprechenden Intensitäten des erzeugten Tones in der Entfernung Eins und an dem Orte des Beobachters.

§. 6.

Ein drittes Verfahren endlich, zum gewünschten Ziele zu gelangen, besteht in Folgendem: Ein Beobachter A Fig. 4 befähre zweimal nach einander eine Eisenbahn CB in angezeigter Richtung mit den beziehungsweisen Geschwindigkeiten a und a'. In Q angelangt, bestimme er jedesmal die Intensität des in B erzeugten Tones mit Hilfe eines Intensitätsmessers. Er finde dafür beziehungsweise J und J'. Ist nun die Entfernung der Tonquelle vom Beobachter gleich L, so hat man wegen:

$$J = \mu\left(\frac{V}{L}+a\right)^2; \text{ und } J' = \mu\left(\frac{V}{L}+a'\right); \text{ und wenn } \frac{J}{J'} = m \text{ gesetzt wird:}$$

$$\frac{J}{J'} = m = \left[\frac{V+aL}{V+a'L}\right]^2; \text{ woraus sofort:}$$

$$(9) \quad V = \frac{L(a'\sqrt{m}-a)}{1-\sqrt{m}}.$$ — Es wird dem Leser nicht entgehen, dass, da in beiden Fällen der Bewegung eine Annäherung von A an B hier zunächst vorausgesetzt wird, für diesen Fall auch stets $J > J'$ und somit $m > 1$ anzunehmen ist. — Einer der wichtigsten speciellen Fälle dieser ganz allgemeinen Formel ist der, wo die Geschwindigkeit der zweiten Bewegung zwar mit jener der ersten gleich gross ist, die Bewegung selbst aber im entgegengesetzten Sinne Statt findet, wesshalb man $a' = -a$ zu setzen hat. Man erhält diessfalls:

$$(10) \quad V = aL\frac{(\sqrt{m}+1)}{\sqrt{m}-1}.$$ Ein anderer specieller Fall ist jener, wo die zweite Intensitätsbeobachtung von A im Zustande der Ruhe unternommen wird, d. h. bei $a' = 0$. — Es entspricht diesem Falle die Gleichung

$$(11) \quad V = \pm\frac{aL}{\sqrt{m}-1}; \text{ für die Annäherung und Entfernung.}$$

Durch Substitution ergibt sich ferner für die Intensität

$$(12) \quad J = \mu\left(\frac{(a'-a)\sqrt{m}-2a}{(1-\sqrt{m})}\right)^2.$$

Nimmt man ferner an, dass bei einer retrograden Bewegung von A und zwar bei einer Geschwindigkeit gleich a'', jede Tonwahrnehmung erlischt, so bietet dieser Umstand ein Mittel dar, die schon öfters erwähnte Grösse i zu bestimmen. Es ist nämlich wegen

$$i = \left(\frac{V}{L'} - a''\right)^2:$$

$$(13) \quad w' = \left[\frac{(a'L + a''L')\sqrt{m} - (a''L' + aL)}{L'(1-\sqrt{m})}\right].$$

§. 7.

Die vorhergehenden Betrachtungen und die darauf sich gründenden Formeln, wenn sie, wie ich zuversichtlich hoffe, auch in der Erfahrung richtig befunden werden, dürften nebst den in den früheren Paragraphen auseinandergesetzten Anwendungen auf die Bestimmung der Molekularbewegungen und der absoluten, wenn gleich subjectiven Scharfhörigkeit noch mehre andere höchst nützliche Anwendungen insbesondere dann gestatten, wenn sich meine Vermuthung bestätigen sollte, dass nämlich die entsprechende Molekulargeschwindigkeit bei sehr schwachen, für den Versuch jedoch immer zulänglichen Tönen jedenfalls nur mässig gross befunden wird. Diese Vermuthung gründet sich hauptsächlich auf die mehrfach gemachte Wahrnehmung, dass z. B. das Geläute einer nicht sehr entfernten Glocke bald stark, bald fast gar nicht vernommen wurde, je nachdem die Richtung des Windes der Beobachtung günstig oder dem contrár war. Da die Geschwindigkeit der Luftströmung doch gewiss keine 30′ in der Secunde betragen mochte, so scheint diess zu der Annahme zu berechtigen, dass die Geschwindigkeit der Luftmolekel bei mässig starken Tönen kaum einige hundert Fuss, ja bei den etwas schwächern vielleicht gar nur 40′—50′ die Secunde betragen dürfte. — Von den vielen Anwendungen, die sich von den oben abgeleiteten Formeln machen lassen, mögen einige derselben, die mir eben beifallen, hier eine Stelle finden.

1) Vorerst liesse sich nämlich, unter der obigen Voraussetzung, die Formel (1) oder (2) dazu benützen, in gewissen Fällen die Geschwindigkeit einer statthabenden Bewegung durch einen einmaligen Versuch zu ermitteln. Denn bestimmt man z. B. aus (1) die Grösse a, und bedenkt man, dass der entsprechende Werth für V sich aus eigens für die verschiedenen Tonhöhen und Intensitätsgrade auf beschriebenem Wege construirten Tafeln entnehmen lassen wird, so findet man für:

$$a = V\left(\frac{L-l}{L}\right).$$

2) Unter eben dieser Voraussetzung könnte die genannte Formel auch dazu verwendet werden, um die Entfernung l vom Beobachter zu ermitteln. Es ist diessfalls nämlich:

$$l = L\left(1-\frac{a}{V}\right).$$

3) Wenn es einmal dahin gekommen sein wird, dass sich die Akustik in dem Besitze eines bequemen und genauen Intensitätsmessers für Töne jeder Höhe sieht, oder von Tabellen für die verschiedenen Molekulargeschwindigkeiten bei beliebiger Höhe und Intensität eines Tones, wird man mit vielleicht zureichender Genauigkeit und grosser Leichtigkeit zur Bestimmung von Entfernungen sich auch der Formel (8) bedienen können, nach der:

$$L = \frac{V}{V'} = \sqrt{\frac{J}{J'}} \text{ ist.}$$

4) Endlich kann man mit Zuhilfenahme der schon bei einer frühern Gelegenheit für die Änderung in der Tonhöhe in Folge einer statthabenden Bewegung abgeleiteten Formeln, nämlich

$$n' = \frac{n}{\left(1 \mp \frac{b}{v}\right)}; \text{ d. i. für die kommende und gehende Quelle, und}$$

$$n' = n\left(1 \pm \frac{a}{v}\right); \text{ d. i. für den kommenden und sich entfernenden Beobachter noch}$$

nachfolgendes Problem auflösen.

Es sei Fig. 5 *MJNK* eine Eisenbahn von elliptischer Form, und *Q* eine auf einer Locomotive befindliche Tonquelle (etwa eine Glocke), die nach allen Richtungen ihren Schall in ganz gleicher Weise verbreitet. Die Locomotive bewege sich mit gleichförmiger bekannter Geschwindigkeit oder doch nach einem bekannten Gesetze, und in *A* befinde sich ein blinder Beobachter, dem zugleich die Befähigung fehlen soll, aus der Schallempfindung auf den Ort der Schallquelle zu schliessen. Er soll nun die Richtung der Bewegung, die Grösse der elliptischen Bahn, so wie ihre Form u. s. w. nach Massgabe der ihm zu Gebote stehenden Schallmessmittel bestimmen. Die Elemente zur vollständigen Lösung dieser Aufgabe liegen vor, ihre Auflösung möge bis dahin aufgeschoben bleiben, wo die in diesen Mittheilungen theoretisch aufgestellten Formeln in gleicher Weise ihre Bestätigung durch die Erfahrung werden gefunden haben, wie meine früheren durch Hrn. Dr. Ballot zu Utrecht.

§. 8.

Indem ich nun die gegenwärtigen Gedanken dem wissenschaftlichen Publicum zur Prüfung vorlege, weiss ich wohl, dass auch sie manchen Widerspruch werden zu erfahren haben. Insbesondere wird man daran Anstoss nehmen, dass ich die Intensität eines Tones oder Schalles als bloss von der Geschwindigkeit, mit der die Luftmolekel an der Quelle schwingen, und von der Entfernung des Beobachters, nicht aber zugleich auch von der Grösse der schwingenden oder tönenden Masse abhängig mir denke, die doch notorisch darauf einen bedeutenden Einfluss nimmt? Hierauf aber erwiedere ich vorerst, dass sich dieser Einfluss jedenfalls dadurch eliminiren lasse, dass man ja sämmtliche in Rechnung zu nehmende und in Betracht kommende Intensitäten auf eine beliebig festgesetzte Einheit stets zu reduciren vermag, so dass demnach alle oben abgeleiteten Formeln vor wie nach ihre ungeschmälerte Anwendung finden müssen. Anderseits ist von aufmerksamen Musikern schon lange der Unterschied erkannt worden zwischen der Intensität eines Tones oder Schalles und dem, was man die Masse desselben zu nennen pflegt. Der schmetternde Ton einer Trompete in der Nähe einiger Fuss ist gewiss ungleich intensiver, wie der massenhafte erschütternde Knall einer Kanone in gleicher Entfernung. Das, was man die Masse eines Tones nennt, gehört zur Qualität desselben, und ist direct proportional der wirksamen tonerregenden Oberfläche der Quelle. Überall, wo demnach von der Intensität eines Schalles im engern Sinne gesprochen wird, muss von der Masse desselben abstrahirt und bei Versuchen diese selber ausgeschieden werden. — Mögen die hier niedergelegten Ansichten eine Veranlassung abgeben zu weiteren nützlichen und interessanten Erwägungen.

Über eine vom Zerstreuungsvermögen des Fortpflanzungsmittels völlig unabhängige rotatorische Dispersion des Lichtes, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur rotatorischen Brechung.

(Ein weiterer Beitrag zur Wellenlehre.)

---

§. 1.

In einer von mir veröffentlichten kleinen Schrift*) habe ich den Einfluss darzuthun gesucht, welcher sich bei Licht- und Schallstrahlen jedesmal dann geltend machen muss, sobald sie in ein in rotatorischer Bewegung begriffenes Fortpflanzungsmittel eintreten, und hiedurch gleichsam an dessen drehender Bewegung theilnehmend, von ihrem anfänglichen Wege mehr oder weniger abgelenkt werden. — Die freundliche Aufnahme, die jener einfache Gedanke gefunden, und das hiedurch veranlasste nochmalige Zurückkehren zu demselben liessen mich seither erkennen, dass ich die Folgerungen, die sich aus jenem allgemeinen Satze ergeben, noch keineswegs erschöpft hatte, und dass die verschiedenen Anwendungen desselben noch lange nicht vollständig daselbst aufgezählt worden waren. Diess rücksichtlich der Dispersion des Lichtes zu thun, ist der Vorwurf dieser gegenwärtigen Mittheilung.

§. 2.

Die Erklärung der Dispersion des Lichtes nach der neuern Undulationslehre erheischt mit Nothwendigkeit anzunehmen, dass die Geschwindigkeit, mit der sich die Wellen in einem und demselben Mittel fortpflanzen, von der Anzahl der in einer Zeitsecunde vollbrachten Schwingungen abhänge. Dem gemäss pflanzt sich in demselben Mittel rothes Licht schneller als gelbes, dieses wieder schneller als blaues u. s. w. fort, und violettes bedarf hiezu die längste Zeit. — Beim Schalle haben freilich rücksichtlich der verschiedenen Töne selbst die genauesten Beobachtungen einen solchen Unterschied nicht nachgewiesen, vielmehr haben mit aller Vorsicht angestellte Versuche gezeigt, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Töne und für alle Intensitätsgrade derselben genau dieselbe sei; — und durch die Er-

*) Über eine bei jeder Rotation des Fortpflanzungsmittels eintretende eigenthümliche Ablenkung der Licht- und und Schallstrahlen etc. von Chr. Doppler, Prag 1844, bei Borrosch & André.

fahrung nachgewiesen ist das Gegentheil davon auch bezüglich des Lichtes noch keineswegs. — Allein Töne sind noch keine Farben, und diese Voraussetzung zurückweisen, hiesse offenbar auf die mühsam gewonnene Erklärung der Zerstreuung und Auflösung des weissen Lichtes in seine farbigen Bestandtheile wieder Verzicht leisten, die wir doch so eben erst durch Cauchy's und Anderer verdienstliche Bemühungen errungen haben.

§. 3.

Ich habe nun in meiner früher erwähnten Abhandlung bis zur Evidenz nachgewiesen, dass, wenn ein Lichtstrahl *PQ* Fig. 6 genöthigt ist, seinen Weg durch ein in drehender Bewegung begriffenes Fortpflanzungsmittel *AB* zu nehmen, er völlig abgesehen von der etwa bei *a* und *b*, d. i. beim Ein- und Austritt ihn treffenden gewöhnlichen Brechung auch noch eine eigenthümliche rotatorische Ablenkung erleide, in Folge deren er statt seinen Weg (bei gleichem Brechungsvermögen des *AB* mit seiner Umgebung) nach *P* fortzusetzen, vielmehr um den Winkel ϱ von seiner anfänglichen Richtung abgelenkt und nach *R* zu gehen genöthigt wird. Diese Ablenkung wurde als um so bedeutender nachgewiesen, je grösser der in diesem Fortpflanzungsmittel zurückzulegende Weg, ferner je grösser die Umdrehungsgeschwindigkeit ist, und je langsamer endlich der Wellenstrahl selbst sich in jenem Mittel fortpflanzt. Sind in zwei Fällen die beiden ersten Bedingungen gleich, so hängt die Grösse ihrer Abweichungswinkel direct von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Wellenstrahls ab, und sie verhalten sich umgekehrt wie diese.

§. 4.

Findet also rücksichtlich der verschiedenen, das weisse Licht constituirenden farbigen Strahlen eine solche Verschiedenheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der That Statt: so ist hiedurch auch eine Verschiedenheit des Abweichungswinkels rücksichtlich der verschiedenen farbigen Strahlen bedingt. Diese ist aber eben, was man, wegen der damit nothwendig verbundenen Sonderung der verschiedenen farbigen Strahlen, die Dispersion des Lichtes zu nennen pflegt. — Die Existenz einer rotatorischen Dispersion des Lichtes ist demnach als erwiesen anzusehen. — Um auch ihre Grösse für jeden einzelnen Fall bestimmen zu können, wollen wir aus meiner frühern Abhandlung uns der daselbst abgeleiteten Formel bedienen. Bedeutet nämlich d den in geographischen Meilen ausgedrückten zurückzulegenden Weg des Lichtstrahls, t'' die in Zeitsecunden ausgedrückte Umdrehungszeit des Fortpflanzungsmittels *AB*, und drücken α und α' die beziehungsweisen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten (gleichfalls in Meilen ausgedrückt) für die beiden äussersten der im Strahle *Qa* zu weissem Lichte vereinigten farbigen Strahlen aus: so findet man für die entsprechenden Abweichungswinkel ϱ und ϱ', so wie für die Grösse der Dispersion, d. h. für $P = \varrho - \varrho'$, nach §. 1, pag. 4 meiner frühern Abhandlung:

$$\varrho = \frac{1296000}{t''}\left(\frac{d}{\alpha}\right); \text{ und } \varrho' = \frac{1296000}{t''}\left(\frac{d}{\alpha'}\right) \text{ und somit:}$$

$$\text{für: (1) } P = \varrho' - \varrho = \frac{1296000}{t''}\left(\frac{\alpha - \alpha'}{\alpha\,\alpha'}\right) d.$$

Diese Formel zeigt nun augenscheinlich, dass die durch Rotation bewirkte Dispersion des Lichtes um so bedeutender ist:

1) je bedeutender der im Fortpflanzungsmittel zurückzulegende Weg ist,
2) je grösser die Umdrehungsgeschwindigkeit desselben, und
3) je grösser der numerische Unterschied in den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden extremsten Strahlen bei gleichwohl möglichst kleinstem Producte derselben ist, d. h. je näher die eine der beiden Grössen α und α' dem ∞, die andere dagegen dem Werthe $\frac{d}{t''}$ zustrebt.

§. 5.

Eine noch weitere Erwägung aller hier möglicherweise eintretenden Fälle führt ferner noch auf nachfolgende bemerkenswerthe Folgerungen. Vorerst ist klar, dass, wenn die rotatorische Ablenkung sowohl bei homogenem farbigem, als bei weissem Lichte eine gewisse Grösse erreicht, der einfallende Strahl nicht mehr gebrochen, sondern reflectirt zu werden scheinen muss. Durch den Hinblick auf Fig. 7 wird es klar, dass dieses jedesmal dann der Fall sein muss, wenn der Strahl PQ genau eben so viel Zeit braucht, um von a nach b zu gelangen, wie der Punct b benöthigt, um in Folge der Rotation von AB von da nach a zu gelangen. Eine ganz einfache Rechnung zeigt, dass dieses stets dann der Fall sein wird, wenn der Radius des Kreises r genannt:

$$(2)\quad \begin{cases} \varphi^0 = 2\, arc.\, sin.\, \dfrac{d}{2r}; \\ t'' = \dfrac{1296000\, d}{(1296000 - \varphi'')\,\alpha}. \end{cases}$$

Bezeichnet man sofort für diesen Fall den Reflexionswinkel mit Ψ, so hat man offenbar wegen $\Psi = \varrho - 180^0$:

$$\Psi'' = 1296000\left(\frac{2\,d - \alpha\, t''}{2\,\alpha\, t''}\right).$$

Die Grösse des Brechungswinkels ist demnach, so wie auch der Reflexionswinkel selbst, von der Rotationsgeschwindigkeit völlig unabhängig und hängt bloss ab von dem Verhältnisse des vom Strahle zurückgelegten Weges einerseits zur Fortpflanzungsgeschwindigkeit in jenem Mittel und anderseits zum Radius des Kreises. — Fällt demnach ein Lichtbündel nicht bloss auf einen einzelnen Punct, sondern auf einen namhaften Theil oder gar auf die ganze der Lichtquelle zugewandte Seite eines solchen rotirenden Mediums (seine Form mag übrigens was immer für eine sein), so wird das auffallende Licht nach allen möglichen Richtungen zerstreut. Stellt man die hier allgemein durchgeführte Betrachtung unter der viel einfachern Voraussetzung an, dass jener Strahl durch den Mittelpunct geht, so werden obige Formeln höchst einfach. Denn da diessfalls $d = 2r$, und sofort $arc.\, sin.\, \frac{d}{2r}$

$= arc.\, sin.\, 1 = 90^0$ wird, so erhält man für $l'' = \frac{d}{\alpha}$ und für $\Psi' = 0$. — Es ergibt sich demnach für diesen Fall, dass der auffallende Strahl wieder in sich selbst zurückgeworfen wird.

Eine weitere bemerkenswerthe Folgerung scheint mir die zu sein, dass, wenn parallele Strahlen selbst eines absolut homogenen farbigen Lichtes auf ein derlei rotirendes Mittel auffallen, diese in Folge der Rotation nach ihrem Austritt in ungleichförmiger Weise zwar, aber im Ganzen genommen dennoch divergent werden, indem selbst in diesem Falle eine Dispersion Statt findet. Ja noch mehr, es scheint fast für gewiss angenommen werden zu können, dass auf der durch die Richtung der Bewegung angedeuteten Seite sogar Interferenzphänomene sich bemerkbar machen müssen. Diess gründet sich auf den einfachen Umstand, dass die dem Centrum näher liegenden Strahlen einen grössern rotatorischen Brechungswinkel bedingen als die entfernteren. Ganz ähnliche Erscheinungen müssen sich endlich noch ergeben, wenn das Fortpflanzungsmittel, statt in einer rotatorischen, in einer oscillirenden oder pendelartig hin- und herschwingenden Bewegung begriffen ist. Wer weiss, ob nicht selbst schon Molekularbewegungen, wie sie bei tönenden Glasscheiben u. s. w. vorkommen, hinreichend sein mögen, derlei Zerstreuungen und Interferenzphänomene auf eine für die genauere Beobachtung noch wahrnehmbare Weise hervorzurufen?

§. 6.

Die nächste nützliche Anwendung dieses Satzes über die rotatorische Dispersion des Lichtes dürfte sich nun in Mitte und zu Gunsten der theoretischen Optik selbst ergeben, wenn es sich ja als praktisch ausführbar erweisen sollte, die sogleich anzudeutende mechanisch-optische Vorrichtung mit der nöthigen Präcision zur Ausführung zu bringen, worüber Sachkenner entscheiden mögen. Diese Anwendung bestünde in nichts Geringerem, als in der empirischen Erhärtung der oben erwähnten Voraussetzung der neuern Undulationslehre, und somit in einer directen und entscheidenden Prüfung derselben rücksichtlich ihrer Haltbarkeit nach der Gesammtheit ihrer hypothetischen Annahmen. Denn soll eine Lichttheorie widerspruchslos für eine richtige gelten, so muss sie vor allem Andern nebst der geradlinigen Fortpflanzung der Lichtstrahlen und der damit zusammenhängenden Erscheinungen (z. B. der Aberration? sieh m. Abhandlg.*) auch noch jene der Reflexion, der Brechung und der Zerstreuung des Lichtes vollständig und ohne Zuhilfenahme neuer bis dahin unerwiesener Hilfshypothesen erklären.

Schon Hr. Dr. Ballot hat an einem andern Orte**) darauf aufmerksam gemacht, dass sich mein im Frühern angedeuteter Satz durch einen directen Versuch erweisen lassen müsste, wenn man im Stande wäre, einem mit optischer Präcision geschliffenen Glascylinder von 1 Meter im Durchmesser eine so schnelle Rotationsgeschwindigkeit zu ertheilen, dass er sich in der Secunde etwa 1000mal um seine Achse drehte. Er bezweifelt aber, und wie mich

*) Über die bisherigen Erklärungsversuche des Aberrations-Phänomens von Chr. Doppler. Prag 1845, bei Borrosch und André.

** Poggendorfs Annalen d. Physik B. 66, pag. 321.

bedünkt mit Recht, die Möglichkeit einer derartigen Ausführung. Es scheint mir aber, dass sich diese Schwierigkeiten in der Ausführung ungemein verringern müssten, wenn die Anordnung getroffen würde, die hier nur einem Cylinder auferlegte Leistung unter mehre in dioptrischer Verbindung stehende, bedeutend kleinere und auch bedeutend langsamer sich bewegende Cylinderchen zu vertheilen. — Der Erfolg wird ein um so mehr gesicherter sein, wenn sich dabei das Multiplicationsprincip auf die unmittelbar durch Rotation erzeugten Ablenkungswinkel anwenden lassen wird. Um diesen Zweck zu erreichen, bedarf man nur etwa fünf gläserner und eben so vieler spiegelmetallener Cylinder von beiläufig 2 Zoll Durchmesser, von denen die letzteren in Ruhe, erstere dagegen in möglichst schneller Bewegung begriffen sind. Ihre Anordnung und Aufeinanderfolge wäre eine abwechselweise und zugleich eine solche, dass ein homogener Lichtstrahl, den man auf den ersten rotirenden Glascylinder in möglichst centraler Richtung leitet, bei ruhendem Mechanismus nach dessen Austritt, so viel wie nur immer möglich, tangentiell auf den nicht allzunahen fixen Metallcylinder auffällt, von wo aus er reflectirt wird und den zweiten Glascylinder wieder möglichst diametral trifft u. s. f. — Hinter dem letzten Spiegelcylinder befindet sich nun das Auge und nimmt einen solchen durch ein Ocular-Diopter fixirten Ort ein, dass bei unbewegtem Mechanismus ein bestimmter auf den ersten Glascylinder auffallender Lichtstrahl von demselben gut wahrgenommen werden kann. Setzt man nun den Mechanismus in schnelle Bewegung, so muss augenblicklich dieser Lichtstrahl für das Auge unsichtbar werden, und um ihn wieder zu erblicken, wird es seinen anfänglichen Ort merklich zu verändern haben. Die Ortsveränderung des Auges aber gestattet sofort einen sichern Rückschluss auf die Grösse der rotatorischen Brechung. Da die spiegelmetallenen fixen Cylinder die Wirkung der einzelnen rotatorischen Brechungen ungemein vergrössern und somit als wahre Multiplicatoren wirken: so lässt sich wohl leicht ermessen, dass sich mittels dieses Mechanismus selbst schon die geringsten Winkelabweichungen müssten nachweisen lassen. — Eine noch ungleich einfachere und leichter ausführbare Vorrichtung, die noch überdiess in vielen andern Fällen eine nützliche Anwendung finden dürfte, soll den Gegenstand einer eigenen Abhandlung bilden. — Ich habe mich desshalb auch begnügt, die Beschreibung vorerwähnter Vorrichtung nur in flüchtigen Umrissen zu geben. — Stellt man demnach die Versuche nach einander mit den verschiedenfarbigen homogenen Lichtstrahlen an, so muss es sich unfehlbar zeigen, ob sie alle gleiche rotatorische Brechung erleiden und ihnen sofort auch eine gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit zugesprochen werden muss, oder aber nicht.

§. 7.

Noch muss ich erwähnen, dass man sich vielleicht im ersten Augenblicke versucht fühlen könnte, meine Theorie der rotatorischen Brechung zur Erklärung einer Erscheinung anzuwenden, auf die sie meines Erachtens keine Anwendung finden kann*). Es betrifft diess nämlich den allerdings höchst sonderbaren Umstand, dass nach kaum zu bezweifeln-

*) S. Dr. Merz in München, im astronomischen Jahrbuch von Fr. v. P. Gruithuisen, 7. Jahrg. pag. 210. 1844.

den Beobachtungen die Abirrungs-Constante, so wie sie aus den unmittelbaren Beobachtungen folgt, merklich grösser sich zeigt, wie jene ist, die aus den Verfinsterungen der Jupiterstrabanten erschlossen wird. Diess würde es sofort nachgerade nöthig machen, anzunehmen, dass Fixsternenlicht und Planetenlicht sich mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanze — eine Annahme, zu der man sich gewiss nur ungern verstehen würde.

Eine rotatorische Ablenkung findet zwar bei der Verfinsterung der Trabanten Jupiters durch dessen Schatten allerdings Statt, da aber diese für jeden Abstand unserer Erde genau dieselbe sein muss, so kann sich auch meines Erachtens nirgends, die Erde mag sich nun in Opposition oder in Conjunction mit demselben befinden, eine Verspätung der Verfinsterung bemerklich machen. Hat es demnach in der That mit dieser Anomalie seine volle Richtigkeit: so dürfte der wahre Grund hievon wohl in ganz andern Umständen zu suchen sein.

Über eine Vorrichtung, mittels deren sich jede noch so geringe Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bahn wahrnehmen und messen lässt nebst Hinweisung auf solche Fälle, wo eine derartige Ablenkung vielleicht Statt haben dürfte.

(Ein weiterer Beitrag zur Wellenlehre.)

---

§. 1.

Es dürfte gewiss nicht bloss für den zunächst vorliegenden Zweck, nämlich für die Erhärtung der rotatorischen Ablenkung und Dispersion des Lichtes an sich sowohl als eines Mittels, die letzten Zweifel über die Haltbarkeit einiger von der neuern Undulationslehre aufgestellten Hypothesen (s. die vorstehende Abhandlung) zu zerstreuen oder zu begründen, — sondern auch in vielfach anderer Beziehung höchst wünschenswerth erscheinen, einen Apparat zu besitzen, der mit einem gleichen oder mit einem noch höhern Grade von Genauigkeit die Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bahn zu ermitteln gestattet, als jener ist, mit dem Wheastone mittels seines rotirenden Spiegels die Zeitdifferenz ungemein schnell auf einander folgender Lichterscheinungen zu bestimmen vermochte. Hat demnach letzteres Instrument gewiss mit Recht die Aufmerksamkeit aller Physiker auf sich gezogen, so darf ich wohl hoffen, dass auch mein gegenwärtiger Vorschlag einige Beachtung finden wird. Bevor ich jedoch auf denselben übergehe und von einer allenfalsigen Anwendung spreche, scheint es gerathen, die Lösung nach folgenden mathematisch-optischen Problemens zum Vorhinein vorzunehmen.

§. 2.

Es sei Fig. 8 $ABCF$ der Durchschnitt eines reflectirenden Cylinders aus Spiegelmetall; Q der Ursprung zweier Lichtstrahlen QR und QG, von denen der erstere den Cylinder tangirt, der andere dagegen ihn im Puncte G trifft und von da nach J reflectirt wird. Es werde der in Graden oder Secunden ausgedrückte Winkel, den dieser Strahl unreflectirt mit dem Strahle QR macht, ϱ, und jener nach der Reflexion desselben ∞ genannt. Der doppelte Einfallswinkel oder JGQ heisse Ψ, und der Abstand FQ, a; der Radius des Kreises $ACBF$ sei endlich r, und der Abstand OH vom Centrum δ. — Es werde nun die Grösse des Winkels ω gesucht, den ein den Cylinder anfänglich berührender, sodann ihn im Puncte G treffender und von da reflectirter Strahl GJ mit der Tangente QR macht? — Wegen der Ähnlichkeit der beiden Dreiecke OHK und KFQ ist: $\llcorner HOK = \varrho$; somit ist $KF = a\, tang.\, \varrho$; und $OK = r - a\, tang.\, \varrho$; zugleich: $OK = \delta\, sec.\, \varrho$; also durch Gleichstellung: $\delta = r\, cos.\, \varrho - a\, sin.\, \varrho$. — Anderseits ergibt sich für δ auch ein Werth mittels $\triangle OHG$, nämlich: $\delta = r\, sin.\, \frac{\Psi}{2}$; und hieraus $\Psi = 2\, arc.\, sin.\, \frac{\delta}{r}$; und durch Substitution obigen Werthes ergibt sich:

$$\Psi = 2\, arc.\, sin. \left(cos.\, \varrho - \frac{a}{r}\, sin.\, \varrho\right);$$

da nun $\omega = 180^0 - (\Psi + \varrho)$; so ist:

$$\omega^0 = 180^0 - \left(2\, arc.\, sin. \left(cos.\, \varrho - \frac{a}{r}\, sin.\, \varrho\right) + \varrho^0\right); \text{ oder in Secunden:}$$

$$(1) \quad \omega'' = 648000'' - \left(2 arc.\, sin. \left(cos.\, \varrho - \frac{a}{r}\, sin.\, \varrho\right)'' + \varrho''\right).$$

Da ϱ jedenfalls immer nur einen höchst kleinen Werth hat, so kann für obigen Ausdruck auch der nachfolgende gesetzt werden, nämlich: wegen $cos.\, \varrho = 1$, und $sin.\, \varrho = 0{\cdot}0000048481\, \varrho''$;

$$(1') \quad \omega'' = 648000 - \left(2 arc.\, sin. \left(1 - 0{\cdot}0000048481\, \frac{a\varrho''}{r}\right) + \varrho''\right);$$

wofür man auch, da $arc.\, cos.\, Z = \frac{\pi}{2} - arc.\, sin.\, Z$ ist, setzen kann:

$$(1'') \quad \omega'' = 2\, arc.\, cos. \left(1 - 0{\cdot}0000048481\, \frac{a\varrho''}{r}\right) - \varrho'';$$

die Vervielfältigung M des Winkels ϱ, oder $\frac{\omega}{\varrho}$ ist demnach:

$$(2) \quad M = \frac{\omega''}{\varrho''} = \frac{2}{\varrho''}\, arc.\, cos. \left(1 - 0{\cdot}0000048481\, \frac{a\varrho''}{r}\right) - 1''.$$

§. 3.

Aus den hier abgeleiteten Formeln (1″) und (2) ersieht man, dass sowohl die absolute Grösse des Winkels ω, als auch die Vervielfältigungszahl M um so grösser wird, je bedeutender der Quotient $\frac{a\varrho''}{r}$ selbst ist, und dass sich bei demselben ϱ jede noch so bedeutende Vervielfältigung von ϱ, d. h. jede beliebige Grösse von M erzielen lasse, wenn man nur a und r so annimmt, dass $\frac{a}{r}$ gross genug wird. Der Abweichungswinkel ω erreicht sogar die Grösse von 180^0, wenn der Quotient:

$$\frac{a}{r} = \frac{206266}{\varrho''} + \frac{1}{2} \text{ angenommen würde.}$$

Um das Gesagte an einem speciellen Beispiel zu erläutern, wollen wir annehmen, der Winkel: $\varrho = \left(\frac{1}{100}\right)''$, $a = 50''$, $r = \left(\frac{1}{2}\right)''$; so erhält man nach (1''), wegen $\frac{a\varrho}{r} = 1$, und *arc. cos.* $0\cdot9999951519 = 10', 47'' = 647''$, sofort:

$$\omega = 1294'' = 21', 34''; \text{ und } M = \frac{\omega}{\varrho} = 129400;$$

d. h. der Abweichungswinkel ϱ wird durch die einfache Reflexion nicht weniger als 129400 Mal vergrössert. — Denkt man sich nun diesen Strahl von da auf einen zweiten derartigen spiegelnden Cylinder auffallen, wobei angenommen wird, dass $a = 12''$, $\varrho = \omega = 1294''$, und $r = \left(\frac{1}{2}\right)''$, so hat man wegen:

$$\omega' = 2\,arc.\,cos.\,(1 - 0\cdot0000048481\,.\,31056) - 1294'' =$$
$$= 2.arc.\,cos.\,0\cdot8494374064 - 1294'' = 63^0, 19', 54'' =$$
$$= 227994'' \text{ — und somit:}$$

$$M' = \frac{\omega'}{\varrho} = 22799400,$$

also mehr wie das $22\frac{1}{2}$ Millionfache des ursprünglichen Winkels. — Übrigens muss schon hier ausdrücklich bemerkt werden, dass die vorausgesetzte Berührung des Cylinders durch den Strahl keineswegs absolut nöthig, sondern nur zur Erzielung einer so namhaften Wirkung wünschenswerth ist.

§. 4.

Gestützt auf die in den vorhergehenden Paragraphen dargelegte Wahrheit, schreite ich nun zur Angabe derjenigen Vorrichtung, welche mir zur Ermittlung selbst noch so geringer Abweichungen eines Lichtstrahls von seiner frühern Richtung in hohem Grade geeignet scheint. Ich gebe natürlich nicht eine detaillirte Beschreibung des betreffenden Apparates, sondern nur eine Hindeutung auf diejenigen Puncte, welche mir bei der Construction eines solchen von vorzüglicher Wichtigkeit zu sein scheinen, alles übrige dem eigenen Ermessen geübter Experimentatoren in diesem Fache anheimstellend. — In Fig. 9 bedeute *QR* die Richtung eines Lichtstrahls, *A* und *B* seien zwei polirte Cylinder aus Spiegelmetall von sehr mässiger Höhe und von einem Durchmesser von etwa 1 Wiener Zoll. Ihre Achsen *c* und *c'* seien verstellbar, und zwar gestatte *A* eine Bewegung, die senkrecht auf *QR* steht, *B* dagegen eine solche, die mit *QR* parallel läuft, d. h. beide Bewegungen beziehungsweise längs der Nuthen *a'b'* und *ab*. — Der Cylinder *A* hat die Aufgabe, einen Lichtstrahl *QR*, der von dieser Richtung durch irgend einen Umstand um einen höchst geringen Winkel *LQK* (ϱ) abgelenkt wird und bei *K* auf denselben auffällt, in der Richtung *LJ* zu reflectiren, und so den an sich gar noch nicht wahrnehmbaren Winkel *KQL* durch den öfters mehre Hunderttausend Mal grössern Winkel *JLR* (d. i. ω) zur Wahrnehmung zu bringen. Der zweite Cylinder *B* hat eine doppelte Aufgabe zu lösen. Erstlich vergrössert er den ursprünglichen Abweichungswinkel neuerdings und zwar in sehr bedeutendem Grade, indem er den auffallenden Lichtstrahl von LJ nach JS ablenkt, und sodann dient er weiters noch zur genauern Einstellung des ersten Cylinders A, in der Weise, dass man mit sehr grosser Schärfe diesen Cylinder mit dem ursprünglichen Strahl in Berührung bringen kann. Diese Berührung ist zwar nicht absolut nöthig für den beabsichtigten Erfolg, wohl aber zur Erzielung der grösstmöglichen Wirkung sehr wünschenswerth. — In o und o' sind verstellbare Diopten, von denen die erstere zur grössern Bequemlichkeit mit dem Cylinder B in fester Verbindung steht. — Die Einstellung geschieht nun auf folgende Weise: Man stelle vorerst den Cylinder A so weit zurück, dass er vom Strahle QR nicht getroffen wird, den Cylinder B dagegen mit der zugehörigen Diopter ziehe man gegen b zurück. — Hierauf erst gebe man der Diopter o eine solche Lage gegen B, dass der vom Puncte G reflectirte Strahl GH durch dieselbe geht. Ist diess geschehen, so nähere man den Cylinder A mittels einer Stell- und Mikrometerschraube dem Strahle QR, bis das Auge in o eine Abweichung dieses Strahls verspürt, welches augenblicklich und zwar in sehr merklicher Weise Statt haben wird, sobald der Strahl QR, statt den Cylinder A zu berühren, ihn an einer Stelle treffend, von ihm reflectirt wird. Zur Erzielung einer sehr grossen Wirkung schiebe man nun B recht nahe an den Cylinder A, damit der Strahl LJ eine nochmalige bedeutende Reflexion erleide, und z. B. nach JS abgelenkt werde. Der Diopter o' wird man einen solchen Ort anzuweisen haben, dass der zweimal reflectirte Strahl SJ durch dieselbe gesehen werden kann. Die Lage dieser Diopter gegen den Cylinder B und dieses letztern gegen A gestattet sofort nach den Bestimmungen des vorigen Paragraphs einen sichern Rückschluss auf die Grösse des fraglichen Abweichungswinkels ϱ. Obgleich man nun recht wohl durch Hinzufügen eines dritten Cylinders C die Wirkung noch ganz ausserordentlich erhöhen könnte: so dürfte man doch bei zweckmässiger Wahl der Bestimmungsstücke mit zwei Cylindern selbst noch in jenen Fällen ausreichen, wo es sich um die Ermittelung von Winkelabweichungen im Betrage von $\frac{1}{200000}$ einer Secunde handelt.

§. 5.

Mein nächster Zweck bei Erfindung dieser Vorrichtung war, wie gesagt, die Ermittelung der rotatorischen Ablenkung und Dispersion des Lichtes. Zu diesem Behufe sei in Q der schon in der vorigen Abhandlung besprochene Glascylinder von 2 Zoll Durchmesser so aufgestellt, dass dessen Rotationsachse mit Q selbst zusammenfällt. Auf diesen falle ein Lichtstrahl so, dass er möglichst genau durch die Achse geht, wenn der Cylinder in Ruhe ist. Eine leichte Rechnung zeigt nun, dass, damit ein Lichtstrahl durch die Rotation von seiner geradlinigen Bahn um $\frac{1}{100}$ Secunde abgelenkt werde, sich der betreffende Cylinder nur $44\frac{1}{2}$ Mal in der Secunde zu drehen braucht. Dieser geringe rotatorische Ablenkungswinkel bedingt aber, wie wir oben gesehen haben, nach seiner doppelten Reflexion schon den höchst bedeutenden Winkel von $63^0, 19', 54''$. — Bedenkt man ferner noch, dass bei cylindrischen Scheiben selbst für eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 1000 Umläufen in der Secunde keine bedeutenden mechanischen Schwierigkeiten obwalten dürften, da schon

Wheastone's rotirender Spiegel bei dem grossen zu bewältigenden Luftwiderstande factisch sich 800 Mal in der Secunde drehte: so wird man uns gerne zugestehen, dass man durch gegenwärtigen Apparat noch Winkeldifferenzen wird ermitteln können, deren Betrag selbst noch unter dem 200000ten Theil einer Bogensecunde liegt, und wobei sich gleichwohl noch immer nothwendige Verstellung der letzten Augendiopter um einen Winkel von $\left(\frac{3}{5}\right)^0$ oder 36 Minuten herausstellen wird. — Und somit ist also auch die Möglichkeit geboten, die von der neuern Undulationslehre als nothwendig vorausgesetzte Ungleichheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit für die verschiedenen farbigen Strahlen in einem lichtbrechenden Mittel durch directe Versuche nachzuweisen oder zu widerlegen. — Dass die definitive Entscheidung dieser Frage für die Wissenschaft von höchstem Belange sei, wird man kaum in Abrede stellen wollen. — Herschel d. j. erklärt es (in seinem Werke über das Licht §. 564 und 565, Übersetzung von Schmidt) selbst »für eine grosse Schwierigkeit, die man sich nicht verhehlen dürfe, und für einen Einwand von der grössten Wichtigkeit gegen die neuere Undulationslehre,« und fügt noch hinzu, dass er es für besser halte, diesen Mangel lieber gleich frei heraus zu sagen. — Und hat nicht Arago selbst zur Ermittelung dieses Umstandes die Anwendung von Wheastone's rotirendem Spiegel in Vorschlag gebracht? — Dass aber meine Vorrichtung einen bedeutenden Vorzug vor jenen besitzen dürfte, scheint mir kaum zweifelhaft.

§. 6.

Ausser dem eben erwähnten Gebrauche könnte die Wissenschaft auch noch von dieser Vorrichtung eine höchst wichtige weitere Anwendung zur Ermittelung des wahren Sachverhaltes machen, ob nämlich auch unter nachfolgenden Umständen eine Ablenkung der Licht- oder Schallstrahlen Statt finde, oder aber nicht.

1) Wenn eine Wellenquelle Q Fig. 10 einem wellenbrechenden Objecte AB in senkrechter Richtung OQ Wellen zusendet, und es ist dieses Object AB selbst in einer gegen B (oder A) gerichteten Bewegung begriffen: so frägt es sich, ob nicht die Richtung des Wellenstrahls OQ, indem derselbe in AB eindringt, auf ganz ähnliche Weise eine Brechung erleidet, wie wenn AB in Ruhe, dagegen die Richtung der ankommenden Wellen schief wäre. Es würde demnach der Strahl OQ nach seinem Eintritte in AB nicht in der Richtung OP fortgehen, sondern nach OR gebrochen werden. Bewegt sich AB von B gegen A, so geschieht auch die Brechung nach entgegengesetzter Seite des Lothes. Diese Art von Brechung wäre sogar noch allgemeiner, als die gewöhnliche Brechung, da sie selbst in jenen Fällen Statt fände, wo das Object AB mit dem umgebenden Medium M von vollkommen gleicher Beschaffenheit ist. Ist dagegen, wie in Fig. 11 und Fig. 12, die Richtung der ankommenden Wellen schief, so hätte diessfalls der Wellenstrahl nebst der gewöhnlichen Brechung (wenn AB von M materiell verschieden ist) auch noch eine ungewöhnliche zu erleiden, und der Strahl OQ ginge statt nach P, der ungewöhnlichen Brechung wegen, nach R. — Unter solchen Umständen wäre es demnach sehr begreiflich, dass die gewöhnliche Brechung durch die ungewöhnliche bald vermehrt, bald vermindert, bald auch völlig aufgehoben würde.

2) Wenn eine Wellenquelle Q Fig. 13 auf ein wellenreflectirendes oder spiegelndes Object AB in der senkrechten Richtung OQ Wellen sendet, so frägt es sich, ob diese nicht, wenn AB in einer von A gegen B (oder umgekehrt) gerichteten Bewegung begriffen ist, durch den Einfluss derselben statt wie bei ruhendem AB in der Richtung OQ vielmehr in jener von OR zurückgeworfen werden? Ein Gleiches müsste sodann auch unter der Voraussetzung geschehen, wenn der Wellenstrahl, wie in Fig. 14 und Fig. 15, in schiefer Richtung auffällt. — Dieser durch die blosse geradlinige Bewegung von AB veranlassten Abweichung des Wellenstrahls dürfte man vielleicht am geeignetsten, natürlich wenn sich deren Existenz erweist, den Namen motorische Brechung und motorische Reflexion beilegen.

3) Wenn eine Wellenquelle Q Fig. 16 ihre Wellen in senkrechter Richtung gegen ein sich ihr in derselben Richtung annäherndes, oder entweichendes, brechendes, oder reflectirendes Object AB sendet: so steht zu erwarten, dass weder eine motorische Brechung, noch auch eine derlei Reflexion Statt habe; wohl aber ist die Anzahl der innerhalb einer gewissen Zeit bei AB ankommenden Wellen im erstern Falle eine grössere, im zweiten dagegen eine kleinere. Zugleich ist in jenen Fällen, wo die Molekel des Mediums longitudinal schwingen (wie z. B. beim Schalle), damit nothwendig auch eine Änderung in der Intensität verbunden. Die Intensität der Wellenschläge wird nämlich diessfalls beim Annähern sich vermehren, beim Entfernen dagegen sich vermindern. — Eben so wenig erleidet ein Strahl, der, wie in Fig. 17, in schiefer Richtung auf ein Object AB fällt, eine motorische Reflexion oder eine derlei Brechung, falls sich AB in der Richtung des ankommenden Strahls selbst von oder gegen Q bewegt. — Die Anzahl der in der Zeiteinheit ankommenden Wellen, so wie auch die Intensität des Strahls dagegen erfahren auf ähnliche Weise wie oben eine Änderung. Diesen Fall habe ich der Hauptsache nach schon in meiner frühern Abhandlung (über das farbige Licht der Doppelsterne etc.) in Erledigung gebracht.

4) Wenn Fig. 18 ein Wellenstrahl Q in schiefer Richtung Strahlen nach dem Objecte AB sendet, und es bewegt sich dieses letztere in einer auf AB selbst senkrechten Richtung gegen oder von Q, oder endlich, wenn, wie in Fig. 19, ein wellenbrechendes oder reflectirendes Object AB sich in einer gegen den senkrecht einfallenden Strahl schiefen Richtung OS von oder gegen Q bewegt: so frägt es sich, ob im erstern Falle nebst der gewöhnlichen Brechung oder Reflexion auch noch eine motorische Statt habe, im zweiten Falle dagegen, ob jedoch eine motorische allein? Dass in beiden Fällen die Anzahl der in der Zeiteinheit bei AB ankommenden Wellen, so wie bei vorausgesetzten longitudinalen Schwingungen der Molekel (wie z. B. beim Schalle) auch die Intensität des Strahls sich ändern müsse, unterliegt, nach meinen frühern Untersuchungen, wohl keinem weitern Zweifel.

§. 7.

An eine theoretische Beantwortung dieser aufgestellten Fragen ist natürlich so lange nicht zu denken, bis sich die eigentlichen Vertreter der Undulationstheorie zu einer bestimmten Erklärung dessen werden verstanden haben, was man denn eigentlich unter der Richtung eines Licht- oder Schallstrahls sich zu denken habe. Und es ist dabei nicht genug, einen blossen abstracten Begriff, eine mathematische Definition dafür zu bieten, sondern man muss auch die Zulässigkeit desselben auf den Vorgang des Sehens und bei den übrigen optischen Vorgängen (z. B. bei der Aberration?) nachweisen. — Fresnel, Fechner u. A. (s. Fechner's Rep. B. 2, pag. 365) erklären die Richtung eines Strahls als den *radius vector*, welchen man von dem Ursprung der Wellen nach einem beliebigen Punct der Wellenoberfläche sich gezogen denkt, während wieder andere darunter die Normale auf die Wellenfläche verstehen. Strahl aber ist ihnen der Inbegriff der materiellen Äthertheilchen, die in dieser Richtung liegen. — Das Auge empfindet aber weder einen *radius vector*, noch auch eine Normale, und wie wenig sich das Richtvermögen desselben nach den Präcedentien und frühern Zuständen eines Strahls und seiner Theilchen richtet, können wir täglich aus dem Vorgange bei der irdischen und astronomischen Strahlenbrechung sehen, wo doch offenbar das letzte die Retina berührende Theilchen, nicht aber die entferntern unser Urtheil über den Ort der Wellenquelle bestimmt. Man wird also wohl genöthigt sein anzunehmen, die Bewegungbeschaffenheit des letzten Theilchens bedinge unser Urtheil über die Richtung eines Strahls? — Hier begegnet man aber wieder neuen Schwierigkeiten. Denn während wieder einige (s. Fechner Repertorium B. 2) annehmen, dass die Äthermolekel (beim Lichte) in Ebenen schwingen, die genau senkrecht auf der Richtung des Strahls stehen, nehmen andere dieses nur nahezu an, und wieder andere (wie z. B. Cauchy) geben sogar zu, dass nebst den lateralen oder die Lichtempfindung erzeugenden Schwingungen noch longitudinale vorhanden seien, die sogar erstere an Grösse um Vieles übertreffen, aber für die Lichtempfindung völlig insensibel sind. — Es ist mir ganz und gar unbegreiflich, wie eine Fortpflanzung des Wellenstrahls bei einer bloss lateralen Schwingungsweise der Molekel sollte möglich sein, und wie diese noch überdiess hiezu sollte noch eine gewisse Zeit brauchen? — Bei dieser Unbestimmtheit in den ersten Begriffen der geradlinigen Lichtfortpflanzung muss ich mich begnügen, ein Mittel zur Erledigung der obigen Fragen auf experimentellem Wege geboten zu haben, es der neuern Undulationslehre überlassend, einstweilen das wichtige, bisher unerklärte Problem der Aberration ihren Principien getreu zu erklären.

§. 8.

Die theoretische Beantwortung sowohl, wie die experimentelle Erhärtung obiger Fragen rücksichtlich des Schalles scheint weit geringere Schwierigkeiten darzubieten, wie beim Lichte. — Es mögen demnach die beiden Hauptfragen hier einer Betrachtung unterzogen werden. Es sei Fig. 20 *Q* der Ort einer Schallquelle, von welcher ein Strahl *QO* auf ein gewisses der Wellenfortpflanzung fähiges Object *AB* gesendet wird, und welches wir uns anfänglich in Ruhe, sodann aber in angezeigter Weise in schneller Bewegung begriffen vorstellen wollen. Ferner seien *m* und *m'* Theilchen, denen die Wellenfortpflanzung übertragen ist, und von denen das eine Molekel noch dem Medium *M*, das andere schon dem *AB* angehört. — Endlich wird bekanntlich in der Schalllehre vorausgesetzt, dass die Molekel des schallfortpflanzenden Mediums in der Richtung des Strahles *QO* selbst schwingen. So lange *AB* in Ruhe sich befindet, unterliegt es im Allgemeinen keinem Zweifel, und ist überdiess aller Analogie gemäss, dass die Bewegung des m auf m' mit derselben Richtung, wohl aber vielleicht mit geänderter Energie und Geschwindigkeit übertragen werde, und dieses schwingende Theilchen m' genügt sofort schon, dem Strahle QO in AB seine Bahn vorzuzeichnen. Der Strahl QO wird also unter den bisherigen Voraussetzungen nach OP fortgehen. — Darf man aber diess auch mit derselben Sicherheit vermuthen, wenn AB in einer mit der Geschwindigkeit des Molekels in Betracht kommenden Schnelligkeit in angezeigter Richtung sich bewegt? Ich glaube kaum, dass man diess so geradezu sich wird zu behaupten getrauen. Vielmehr scheint es mir, als müsste man diessfalls Nachfolgendes als nicht ganz unwahrscheinlich voraussetzen. Da schon einmal angenommen wurde, m vermöge auf m' einzuwirken, befinde sich also vor der Bewegung von m mit diesem in der Lage seines Gleichgewichts, wodurch es also vermöge ihrer Cohäsion jeder Entfernung, so wie jeder Annäherung von m einen gewissen Widerstand entgegensetzt: so muss man zugestehen, dass, wenn zwar m in Ruhe, dagegen AB und somit auch m' in Bewegung begriffen gedacht wird, die Anwesenheit von m auf m' die Wirkung ausübt, dass es anfänglich dasselbe zurückhält, d. h. ihm eine Bewegung mittheilt, die mit der Richtung, nach welcher AB sich bewegt, in Widerstreit steht. Nähert sich aber in Folge seiner Schwingung m, während AB sich bewegt, so ändert diess den wahren Sachverhalt nur in so ferne, als zu dieser Bewegung noch die früher betrachtete auf AB senkrechte hinzutritt und sich mit ihr zu einer resultirenden vereinigt. Das Theilchen m' und somit der Wellenstrahl QO selbst wird demnach nicht mehr in der Richtung OP, sondern in jener OR fortschreiten. Im nächsten Augenblicke freilich wird das Theilchen m' wieder in seine frühere Gleichgewichtslage zurückkehren, und so die zweite Hälfte ihrer Bewegungsphasen bilden. — Es gäbe daher diessfalls, wenn ich nicht irre, in der That eine motorische Brechung.

§. 9.

Nach der so eben ziemlich ausführlich gepflogenen Untersuchung rücksichtlich der motorischen Brechung, wird es nicht schwer halten, eine ähnliche Betrachtung auch bezüglich der motorischen Reflexion anzustellen. Die Rückwirkung, die das Theilchen m Fig. 21 nämlich erfährt, indem es m' zurückzuhalten sucht, ist der Richtung nach jener von m' entgegengesetzt, also mit der Richtung der Bewegung von AB übereinstimmend. Denn m hält das Molekel m' nicht gänzlich auf, es verzögert nur seine Bewegung, hindert nur, dass es sich so schnell wie AB selbst bewegt, und macht es somit in Beziehung auf AB rückgängig. Indem es aber dem m' einen gewissen Widerstand entgegensetzt, erfährt es selbst die Wechselwirkung desselben, die m nöthigt, von m nach H zu gehen. Diese Bewegung mit der zurückkehrenden von m setzt sich aber zu OH zusammen, und der Strahl QO wird somit nicht in sich selbst, sondern in der Richtung OR reflectirt. Es gibt also auch, wenn ich nicht irre, unter obigen Voraussetzungen eine motorische Reflexion. — Bedenkt man nun, dass das früher rücksichtlich der motorischen Brechung Vorgebrachte völlig identisch ist mit dem, was man in Bezug auf das Licht die Aberration nennt, so ergäbe sich sofort die wichtige Folgerung: Nicht nur beim Lichte, sondern auch für den Schall gibt es eine Aberration.

Es müsste nicht schwierig sein, diese motorische Brechung oder akustische Aberration, wenn sie anders nicht zu unbedeutend ist, durch einen directen Versuch auf einer Eisenbahn zu erhärten. Denn da die einem Beobachter in einen Waggon umgebende Luft bekanntlich mitgeht, so kann Fig. 13 diessfalls *AB* den Wagen und *R* den Beobachter in demselben vorstellen. — Eben so leicht müsste sich die Existenz und Grösse der motorischen Reflexion durch Versuche auf Eisenbahnen constatiren lassen. Befände sich nämlich unmittelbar hinter dem mittels einer Breterwand verschlossenen Waggon eine derlei feststehende, sonst gleiche Wand *VW* Fig. 21, so würden beim Vorbeifahren des Wagens *AB* abwechselnd der Trompeter in *Q* und ein Beobachter *R* den Ton mit grösster Intensität vernehmen. Der Nichtbefund einer derartigen motorischen Brechung und Reflexion selbst bei grösstmöglichster Schnelligkeit einer Eisenbahnfahrt würde indess noch keineswegs das Nichtvorhandensein einer solchen beweisen, sondern vorerst nur darthun, dass sie zu unbedeutend ist, um noch vernommen werden zu können. Denn es ist nicht zu übersehen, dass hier nicht die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles von 1000 Par. Fuss in der Secunde, sondern die Geschwindigkeit, mit der das Luftmolekel schwingt, mit der Geschwindigkeit des Waggons zu einer Resultanten sich zusammensetzt. — Fände sich aber dagegen eine solche, so würde diese einen sichern Rückschluss auf die Molekularbewegung der Lufttheilchen, ja vielleicht sogar mittels einer Vergleichung mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auf ihren Abstand von einander gestatten. Ein wissenschaftlicher Gewinn, der mir gross genug zu sein dünkt, um zu Versuchen dieser Art aufzumuntern. — Endlich muss noch bemerkt werden, dass es eigentlich nicht wahrscheinlich ist, die Übertragung der ganzen Bewegung bei der motorischen Brechung sowohl wie Reflexion sei bloss zweien Molekeln übertragen, und eine solche Annahme war auch nichts weniger als nothwendig. Vielmehr leuchtet von selbst ein, dass alles am obigen Orte Gesagte auch bei einer allmäligen, durch beliebig viele Zwischenglieder vermittelten Mittheilung der Bewegung Statt finden müsse.

§. 10.

Um die motorische Reflexion beim Lichte, falls sie vorhanden sein sollte, nachzuweisen, könnte man sich, wie ich glaube, mit gutem Erfolge nachfolgender Vorrichtung bedienen. — Es seien Fig. 22 *M, N, P* spiegelmetallene und fein polirte, ziemlich niedrige Cylinderchen von 1 — 2″ im Durchmesser, die mittels eines einfachen Mechanismus in angedeuteter Weise sehr schnell in eine rotirende Bewegung versetzt und die jedesmal statthabende Geschwindigkeit derselben an einem Zählapparate abgelesen werden kann. Etwa in *S* befinde sich die Lichtquelle, und *ab* sei ein verstellbarer Schirm mit einer feinen Öffnung in *O*, durch welche ein Lichtstrahl $S\alpha$ auf *M* geleitet, und bei ruhendem Mechanismus von da in der Richtung $\alpha\beta$ reflectirt, *N* im Puncte β trifft. — Hier abermals zurückgeworfen, gelangt er in der Richtung $\beta\gamma$ auf *P*, von wo aus er nach *m* reflectirt wird. — Einen andern Weg zu gehen, wird jedoch der Strahl gezwungen, wenn der Mechanismus in eine so schnelle

Bewegung versetzt wird, dass jeder Cylinder sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 1000 Umläufen in der Secunde dreht. In diesem Falle schlägt der Strahl Sa, in Folge der motorischen Reflexion, nachfolgenden Weg ein. Von a nämlich gelangt er nach β', von da nach γ', und endlich nach m'. — Befindet sich nun in AB eine weisse Wand, so wird ein Beobachter in V das Sonnenbild das eine Mal in m, das andere Mal aber in m' erblicken. — Sollte der Winkel $m\gamma'm'$ noch zu klein ausfallen, um die Lichtbilder in m und m' als getrennt zu erblicken, so könnte man die Zahl dieser Cylinder noch vermehren, oder den von mir oben beschriebenen Apparat zur Multiplication des Winkels $m\gamma'm'$ anwenden. — Die praktischen Bemerkungen hiezu mögen geübten Experimentatoren überlassen bleiben.

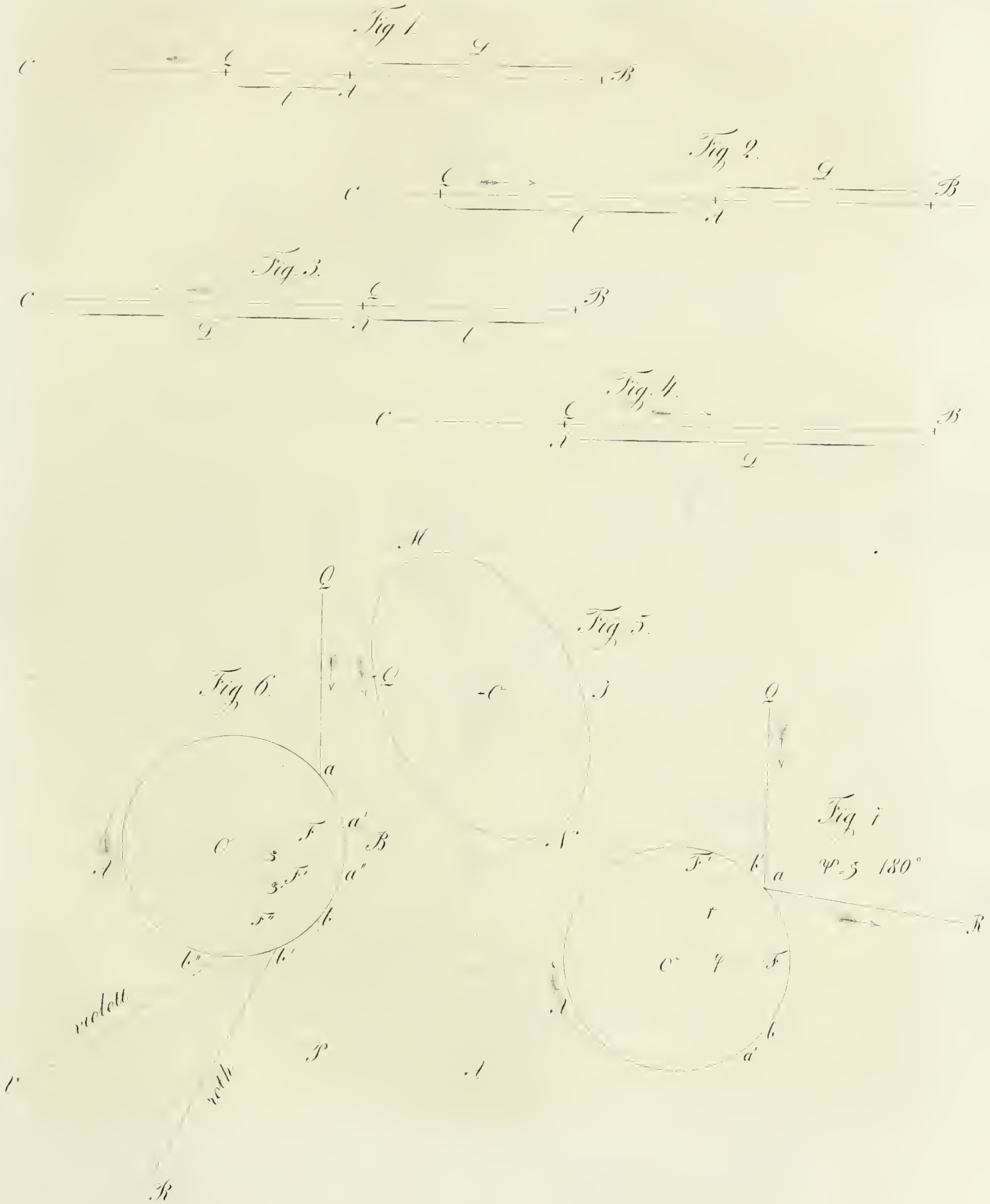
Zur Constatirung der motorischen Brechung wird man sich eines ähnlichen Apparates zu bedienen haben.

§. 11.

Das Aberrations-Phänomen ist, wie ich an einem a. O.*) dargethan zu haben glaube, ungeachtet des gleichzeitigen Bestehens mehrer vorgeblicher Erklärungen für dasselbe, gleichwohl noch immer zu den bisher unerklärten Erscheinungen zu zählen. — Gesetzt also, die motorische Brechung fände wirklich auf die Erscheinungen des Lichtes eine Anwendung (was ich jedoch keineswegs mir schon jetzt zu behaupten getraue), so hätte man sich den Vorgang bei derselben auf folgende Weise zu denken. — Die von einem Sterne S Fig. 23 ausgehenden und in das Auge des Beobachters gelangenden Strahlen erleiden bei ihrem selbst auch ganz senkrechten Eintritt in unsere Atmosphäre, wegen der Bewegung unserer Erde, eine motorische Brechung von beiläufig 20″, vermöge welcher dieselben statt in der Verlängerung von Sm fortzugehen, vielmehr in m von ihrer Richtung abgelenkt und nach mo zu gehen genöthigt werden. Diese Ablenkung der Strahlen von ihrer anfänglichen Richtung ist nun die Aberration, — und man brauchte nur bei den Äthermolekeln eine geeignete Geschwindigkeit ihrer Oscillationen vorauszusetzen, um allen numerischen bisherigen Daten ihren ungeschmälerten Fortbestand zu sichern. Aus andern Gründen scheint es mir jedoch wahrscheinlich, dass diese Geschwindigkeit jedenfalls um etwas Weniges kleiner sein müsse, wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes selbst, woraus sich sofort ganz ungezwungen der höchst merkwürdige und beachtenswerthe, bereits mehrmals erwähnte Umstand erklären würde, dass man die Abirrungs-Constante bei den Fixsternen etwas grösser findet, als sie zufolge der aus den Verfinsterungen der Jupiters-Monde erschlossenen Geschwindigkeit des Lichtes eigentlich sein sollte? — Indem ich nun gleichsam nur im Vorbeigehen die Frage über das Vorhandensein einer motorischen Brechung und Zurückwerfung in Anregung bringen zu müssen glaubte, muss ich mich ausdrücklich vor der Voraussetzung verwahren, als hätte ich hiedurch eine eben so feststehende Überzeugung auszusprechen beabsichtigt, als diess in Beziehung auf die rotatorische Brechung und Dispersion der Fall war.

*) Über die bisherigen Erklärungsversuche des Aberrations-Phänomens von Christian Doppler, Prag 1845, bei Borrosch & André.

Taf. I.



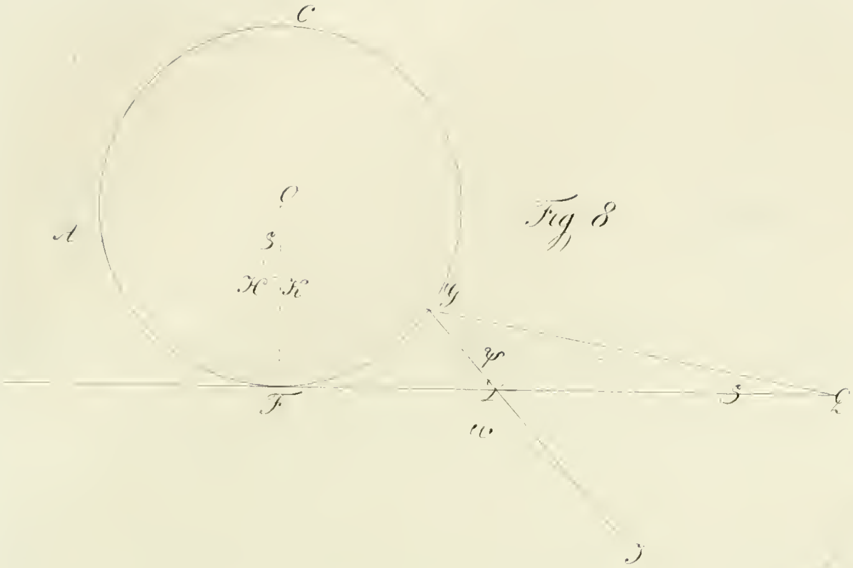


Fig 8.

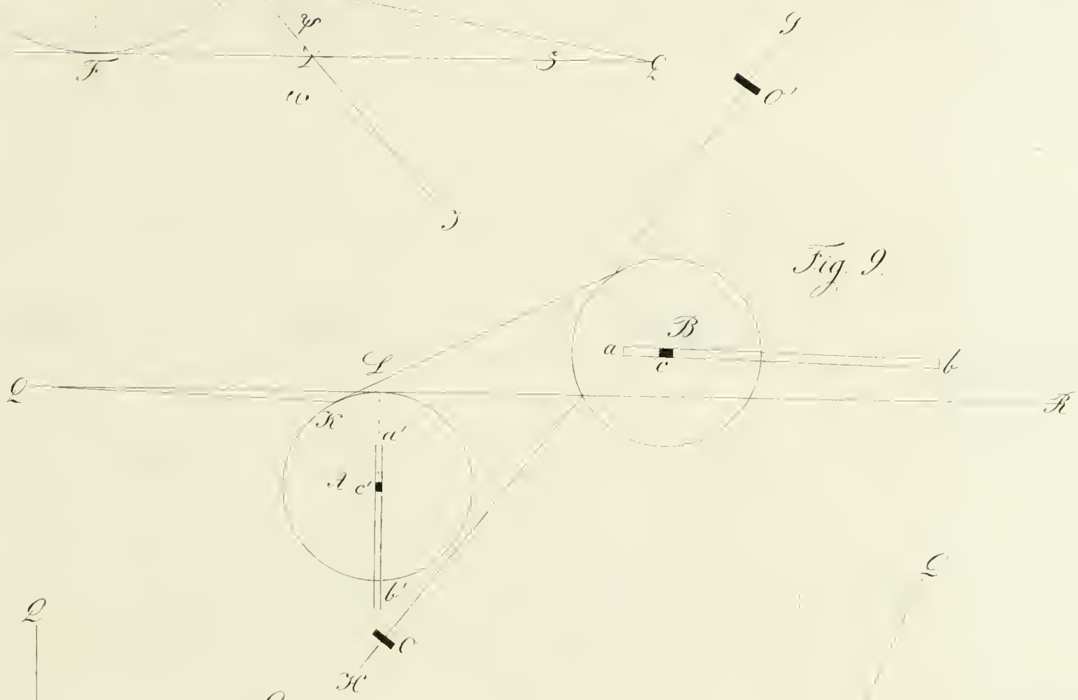


Fig. 9.

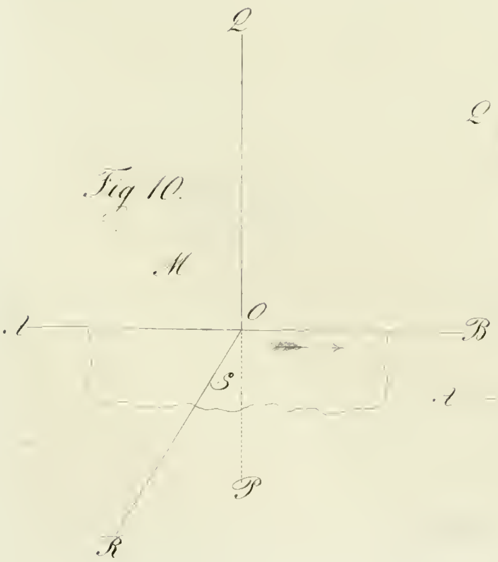


Fig 10.

Fig 11.

Fig 12.

Fig. 13.

Fig. 14.

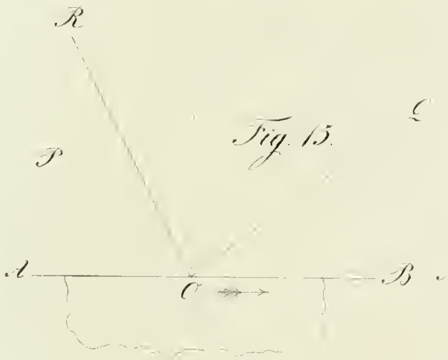


Fig. 15.

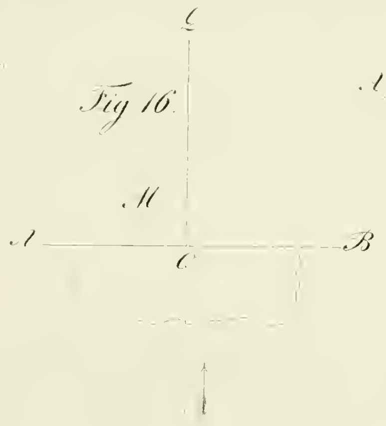


Fig. 16.

Fig. 17.

Fig. 18.

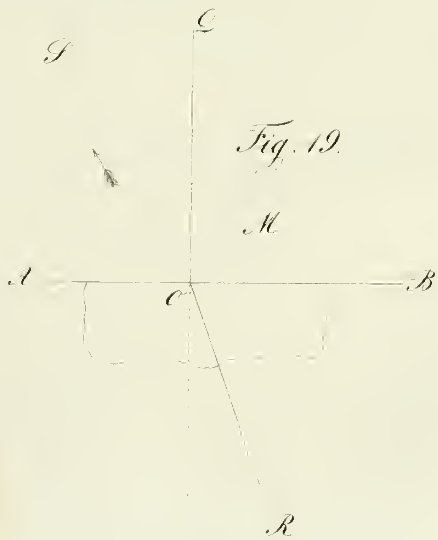


Fig. 19.

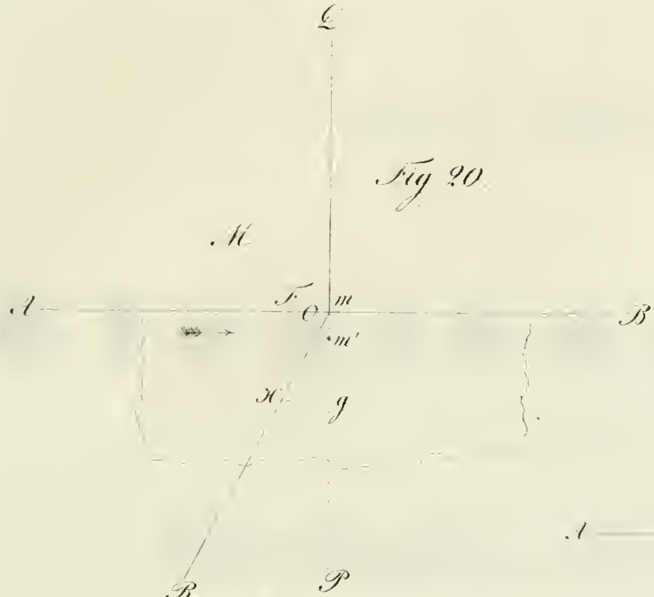


Fig. 20.

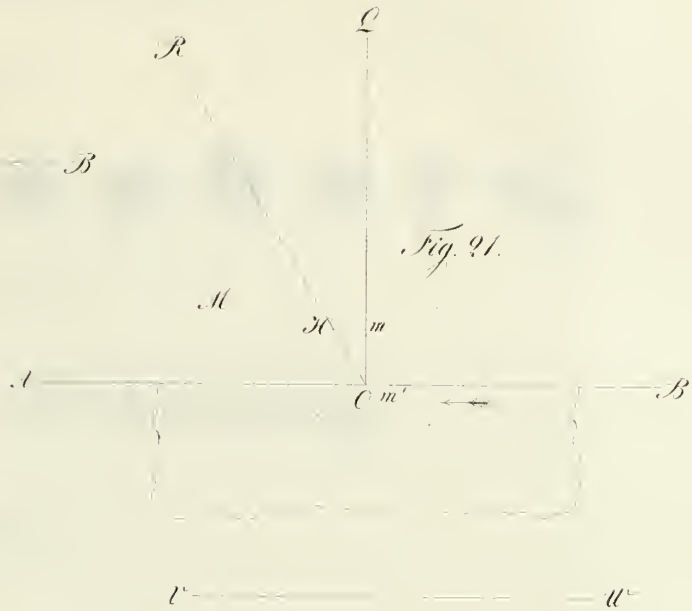


Fig. 21.

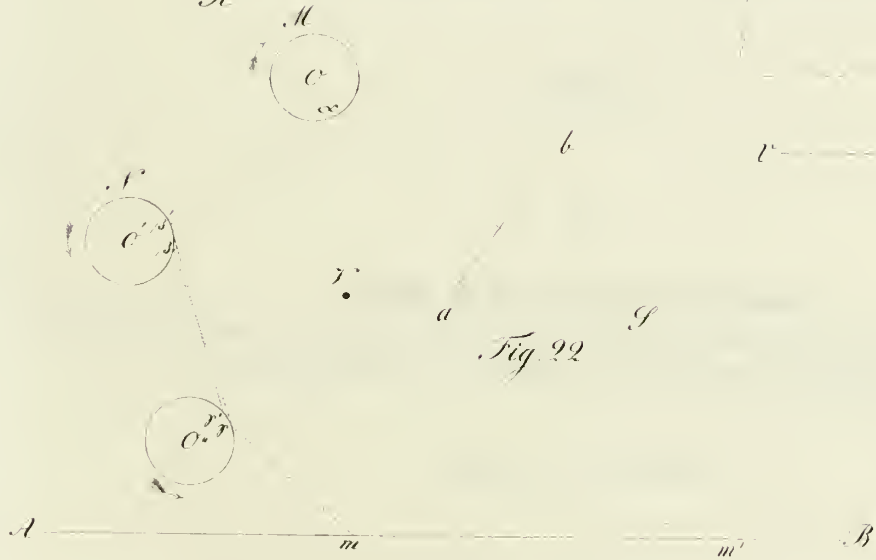


Fig. 22.

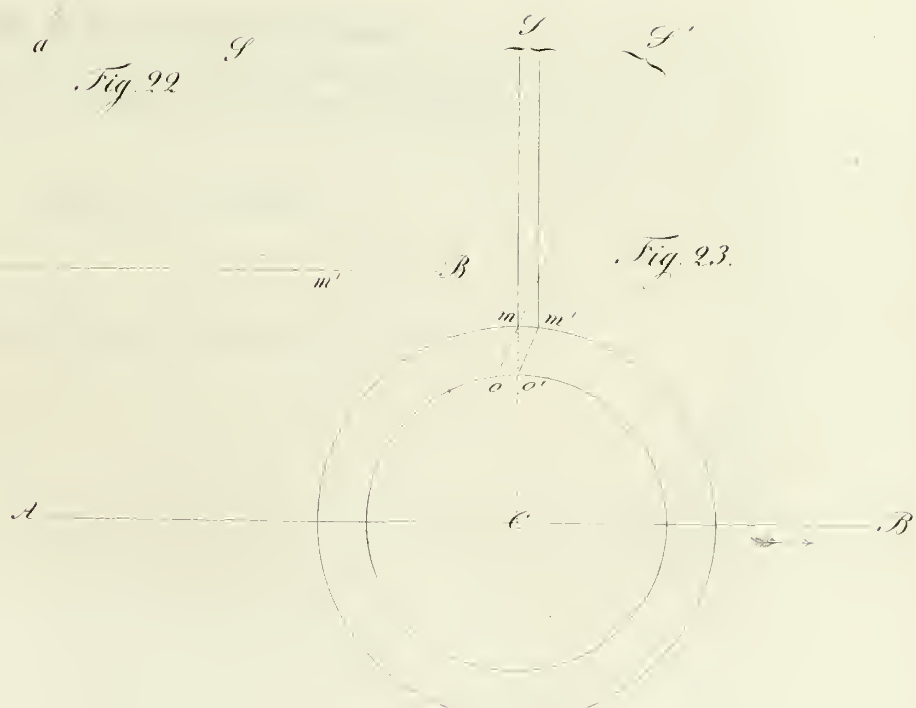


Fig. 23.