

## DIE FRAGEN, WELCHE DIE TRANSLATORISCHE BEWEGUNG DES LICHTÄTHERS BETREFFEN <sup>1)</sup>

Meine Herren! Gestatten Sie mir, der ausführlichen und klaren Auseinandersetzung, die uns Herr WIEN in seinem Referate und soeben in seinem Vortrage gegeben hat, noch einige Betrachtungen hinzuzufügen. Zunächst möchte ich noch einmal, obgleich das fast überflüssig ist, die Wichtigkeit des Gegenstandes betonen. Sind schon die speciellen Probleme der Aberrationslehre an und für sich höchst interessant, so hat doch die Frage, die uns jetzt beschäftigt, noch eine viel grössere Tragweite. Aether, ponderable Materie, und wir wollen hinzufügen Elektrizität, sind die Bausteine, aus denen wir die materielle Welt zusammensetzen, und wenn wir einmal wüssten, ob die Materie bei ihrer Bewegung den Aether mit sich fortführe oder nicht, so wäre uns ein Weg gegeben, auf dem wir etwas weiter in das Wesen dieser Bausteine und ihrer gegenseitigen Beziehungen eindringen könnten; oder wir hätten wenigstens einen sicheren Ausgangspunkt für ein solches Bestreben gewonnen. Sollte es sich herausstellen, dass der Aether mitgeführt wird, so hätten wir eine Mechanik der Aetherbewegungen zu versuchen und nach den zwischen diesem Mittel und der Materie wirkenden Kräften zu fragen. Wenn wir im Gegentheil die Ueberzeugung gewinnen können, dass der Aether immer in Ruhe bleibt, so erhebt sich die Frage, wie sich das zutrage. Sind die Atome so winzig klein im Verhältniss zu ihren Entfernungen, dass der Aether frei durch die Zwischenräume hindurchgehen kann, oder sind sie als örtliche Modificationen des Aethers selbst aufzufassen, die sich durch das ruhende Mittel hindurch verschieben können?

Freilich sind derartige Speculationen ebenso gefährlich wie verlockend, und es gebietet die Vorsicht, sich derselben beim Ausbau

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten in der Versammlung Deutscher Naturforscher. Verhandlungen der Versammlung Deutscher Naturforscher 1898, Seite 56.

einer Theorie so viel wie möglich zu enthalten. Glücklicherweise hatte man sich bis jetzt in der Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen bei ruhendem Aether nur darüber näher auszusprechen, wie sich ein *g e l a d e n e s* Körpertheilchen, ein Ion, durch den Aether bewege; es genügte dabei, sich vorzustellen, dass im Innern eines solchen die Divergenz des Vectors, den wir die dielektrische Verschiebung nennen, einen bestimmten, von Null verschiedenen Werth hat, und dass dieser Werth, den wir auch als die Dichtigkeit der elektrischen Ladung bezeichnen, immer wieder an anderen Stellen gefunden wird, wenn das Ion sich bewegt. Dieses Bild, über dessen Unbeholfenheit vielleicht spätere Physiker lächeln werden, konnte uns bis jetzt genügen und führte zu einer Theorie, die wenigstens das Verdienst hat, dass sie auf manche Frage eine völlig bestimmte Antwort giebt.

Unwillkürlich bin ich nun schon in die Besprechung der Theorie des ruhenden Aethers hineingerathen. Zuerst von FRESNEL ausgesprochen, wurde diese Theorie unter Ihren Landsleuten von KETTELER und VELTMANN vertreten; Herr WIEN hat Sie daran erinnert, dass in neuerer Zeit auch Herr REIFF und Herr WIECHERT sich derselben angeschlossen haben. Was mich betrifft, so hat sich mir, je mehr ich mich mit der Frage beschäftigt habe, um so unwiderstehlicher die Ueberzeugung aufgedrängt, dass wir mit der FRESNEL'schen Theorie auf dem rechten Wege seien. Und dennoch muss ich gestehen, dass mich bisweilen die Furcht befällt, wir seien ganz auf den verkehrten Weg gerathen. Wie Sie wissen, ist das Ergebniss vieler Versuche, durch welche man einen Einfluss der Erdbewegung auf optische Erscheinungen zu entdecken hoffte, negativ gewesen. Wenn wir von den vereinzelt dastehenden und zweifelhaften Resultaten von KLINKERFUES absehen, so dürfen wir sagen, es habe kein einziges Experiment mit irdischen Lichtquellen den genannten Einfluss erkennen lassen. Diese so einfache Thatsache lässt sich nun zwar in den meisten Fällen aus der FRESNEL'schen Theorie ableiten, doch erscheint sie dabei wie eine, man möchte fast sagen, zufällige Folge ziemlich complicirter Betrachtungen. Wäre es nun nicht viel einfacher und natürlicher, den Aether der Erdbewegung folgen zu lassen, wodurch das negative Resultat der erwähnten Versuche selbstverständlich würde?

Leider wird uns, wie mir scheint, dieser so naheliegende Weg

unerbittlich verschlossen durch die Thatsache der Aberration. Da diese noch immer die hauptsächlichste Stütze für die Theorie des ruhenden Aethers bildet, so gestatten Sie mir wohl, etwas länger bei derselben zu verweilen.

Herr STOKES hat bekanntlich die Aberration erklären wollen mittelst der Annahme, dass der Aether eine Bewegung besitze, deren Geschwindigkeit auf allen Punkten der Erdoberfläche mit der Geschwindigkeit der Erde selbst übereinstimmt und natürlich in unendlicher Entfernung verschwindet. Pflanzte sich in diesem Falle eine Lichtwelle von einem Himmelskörper aus gegen die Erde hin fort, so wird sie in ähnlicher Weise vom Aether mitgeführt werden, wie eine Wasserwelle vom Strom, und sobald die Geschwindigkeit des Aethers in der Richtung der Wellennormale nicht in allen Punkten der Welle denselben Werth hat, wird die Welle, während sie fortschreitet, sich drehen. So erreicht sie im Allgemeinen die Erdoberfläche mit geänderter Richtung; da wir nun den Stern in der Richtung der Normale der uns treffenden Wellen erblicken, so ergiebt sich eine von der Erdbewegung abhängige scheinbare Ortsveränderung, also eine gewisse „Aberration“. Um nun diese Aberration mit der wirklich beobachteten in Uebereinstimmung zu bringen, legte Herr STOKES der Aetherbewegung eine specielle Eigenthümlichkeit bei; er setzte voraus, dass dieselbe irrotationell sei, mit anderen Worten, dass ein Geschwindigkeitspotential existire.

In dieser Annahme liegt nun eben die grosse Schwierigkeit für diese Auffassung. Wenn eine Kugel mit constanter Geschwindigkeit in einer unendlich ausgedehnten incompressiblen Flüssigkeit sich fortbewegt — und als incompressibel werde ich den Aether fortwährend betrachten — so ist allerdings, wie Jedermann weiss, eine Bewegung mit einem Geschwindigkeitspotential möglich, aber es ist vollkommen unmöglich, dass diese Bewegung an allen Punkten der Oberfläche des Körpers mit der Geschwindigkeit dieses letzteren selbst übereinstimme. Und zwar ist das unmöglich aus rein kinematischen Gründen, die mit der Natur der Flüssigkeit und mit den Kräften, welche die Bewegung beherrschen, nichts zu thun haben.

Alle Versuche, die STOKES'sche Theorie aus dieser Sachlage zu retten, sind nun fehlgeschlagen. Lassen Sie mich einige derselben erwähnen.

**E r s t e n s** hat Herr STOKES darauf hingewiesen, dass die Molecüle der Erdatmosphäre, indem sie den Aether gleichsam zwischen sich gefangen halten, demselben eine Bewegung aufzwingen könnten, bei der die mittlere Geschwindigkeit in einem beobachtbaren Raum vollkommen mit der Erdgeschwindigkeit übereinstimmt. Hiergegen ist einzuwenden, dass, wenn dem so wäre, diese mittlere Bewegung, von der offenbar die Drehung der Wellen abhängen müsste, unmöglich ein Geschwindigkeitspotential haben könnte.

**Z w e i t e n s** kann man fragen, ob in der STOKES'schen Theorie die Annahme eines Geschwindigkeitspotentials wohl unumgänglich nothwendig sei. Dies lässt sich nun aber wirklich mittelst geeigneter mathematischen Kunstgriffe, die ich hier übergehe, nachweisen <sup>1)</sup>.

**D r i t t e n s** könnte man es versuchen mit einer ganz anderen Bewegung des Aethers, als oben vorausgesetzt wurde, also nicht mit einer Strömung, wie eine sich verschiebende Kugel sie in einer Flüssigkeit hervorbringt. In einem Briefe von RÖMER an HUYGENS vom 30 December 1677, kurz nach der Entdeckung der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, fand ich eine Betrachtung über eine gewisse Aberration, die, wie RÖMER meinte, durch die Bewegung des Aethers hervorgebracht werden müsste. RÖMER denkt dabei an eine kreisförmige Bewegung des Aethers um die Sonne herum, und er wird sich wohl vorgestellt haben, dass dieser Wirbel die Planeten mit sich fortführe. Wir haben nun zwar diesen letzteren Standpunkt längst verlassen, aber wenn wir doch einmal Bewegungen des Aethers fingiren wollen, die an der Erdoberfläche vollkommen oder bis auf eine unerhebliche Differenz mit der Geschwindigkeit der Erde übereinstimmen, so können wir uns auch wohl einen Aetherwirbel denken, dessen Axe mit der Axe der Ekliptik zusammenfällt. Bei einem solchen Wirbel müssten nun wohl die Aethertheilchen in Kreisen, deren Ebenen senkrecht zu dieser Axe stehen, umlaufen. Sofort leuchtet es aber ein, dass, wenn man dies annimmt, die Erscheinungen der Aberration nicht erklärt werden können. Eine Welle nämlich, die ursprünglich der Ekliptik parallel ist, müsste ohne Richtungsveränderung fortschreiten.

**E n d l i c h** muss ich noch daran erinnern, dass Herr WIEN in

<sup>1)</sup> LORENTZ. Versl. K. Akad. Wet. Amsterdam. 1, 97, 1892.

seinem Referate die Meinung ausgesprochen hat, es könnte vielleicht die Schwierigkeit dadurch beseitigt werden, dass man den Aether der Gravitation unterwerfe. Es wäre wohl möglich, so meint Herr WIEN, dass die Erde vermöge dieser Kraft den Aether mit sich fortführe. Nach dem, was ich schon sagte, kann ich hiervon eine Lösung nicht erwarten. Die Schwierigkeit besteht nämlich gar nicht darin, von einer gewissen Bewegung des Aethers nach den Grundsätzen der Dynamik Rechenschaft zu geben, sondern darin, uns rein kinematisch eine Bewegung vorzustellen, welche den Forderungen des Aberrationsproblems genügt. Und das scheint mir unmöglich.

Nachdem uns so die Thatsachen dazu gezwungen haben, die STOKES'sche Theorie zu verwerfen, wollen wir uns der gerade entgegengesetzten Ansicht zuwenden und mit FRESNEL den Aether ganz in Ruhe lassen. Zwar giebt es noch eine allgemeinere, in gewissem Sinne vermittelnde Theorie <sup>1)</sup>, welche dem Aether eine beliebige irrotationelle Bewegung zuschreibt, aber auch diese Theorie involvirt eine Bewegung des Aethers relativ zur Erdoberfläche und hat also mit genau denselben Schwierigkeiten zu kämpfen, wie die FRESNEL'sche Theorie. Wir wollen uns daher an diese letztere halten. Freilich müssen wir uns jetzt damit zufrieden geben, dass die negativen Ergebnisse mancher Versuche mit irdischen Lichtquellen mittelst des bekannten Fortführungscoefficienten in einer Weise gedeutet werden, die Vielen als etwas künstlich erscheinen mag. Wenn wir aber erwägen, dass verschiedene, ich möchte fast sagen, alltägliche Erscheinungen uns die Durchlässigkeit der Körper für den Aether vor Augen führen, dass alle Versuche, dem Aether eine Bewegung mitzuthemen, misslungen sind, dass ein directes Experiment den FRESNEL'schen Werth des Fortführungscoefficienten bestätigt hat, und dass man endlich diesen Coefficienten mittelst ziemlich plausibler Annahmen aus der elektromagnetischen Lichttheorie ableiten kann, so sieht die Sache doch schon anders aus. Das Complicirte in den Erklärungen müssen wir freilich mit in den Kauf nehmen; wir können nur hoffen, dass es gelingen wird, die Theorie noch weiter zu vereinfachen. Dass eine Vereinfachung wirklich möglich ist, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

Die Hauptfrage ist und bleibt, wie sich die Theorie des ruhen-

<sup>1)</sup> LORENTZ. Arch. néerl. 21, 103, 1887.

den Aethers, nachdem sie mit der Aberration abgerechnet hat, zu den sonstigen Thatsachen sowohl auf elektrischem wie auch auf optischem Gebiete verhält. Was nun zunächst die elektromagnetischen Erscheinungen betrifft, so hat Herr WIEN seinen Einwand zurückgenommen, dass statische elektrische Ladungen, etwa bei dem bekannten Versuche Herrn RÖNTGEN's, vermöge der Erdbewegung auf eine Magnethadel wirken müssten. In der That, solche Ladungen werden in gewohnter Weise eine Ladung auf der Oberfläche des Magneten induciren, und diese vernichtet dann gerade, im Innern des Magneten, die von der äusseren Ladung hervorgerufene magnetische Kraft, wenigstens so lange man sich auf die Grössen erster Ordnung, d. h. die von der ersten Potenz der Erdgeschwindigkeit abhängenden, beschränkt.

Aber auch eine zweite Wirkung, die man auf den ersten Blick erwarten könnte, wird, wie auch Herr WIEN in seinem Vortrage erwähnte, in eigenthümlicher Weise compensirt. Da ein bewegter Stromleiter mit constantem Strom auf ruhende Körper inducirend wirkt, d. h. elektrische Kräfte in denselben hervorruft, so könnte man erwarten, dass ein solcher an der Erdbewegung theilnehmender Strom in dem umgebenden Aether, wenn dieser ruht, ein elektrisches Feld erzeugen werde. Würden nicht daraus Kräfte resultiren, die auf einen geladenen, ebenso wie der Stromleiter fest mit der Erde verbundenen Körper wirken, und würde nicht in einem geschlossenen Leiter, der in Beziehung auf den wirkenden Strom in Ruhe ist, eine fortwährende Induction stattfinden?

Betrachtet man die Sache genauer, so ergibt sich, dass der vom Strom durchflossene Leiter vermöge der Erdbewegung eine elektrische Ladung auf sich selbst inducirt, und dass durch diese Ladung die Kräfte, welche der Strom auf relativ zur Erde ruhende Ionen ausübt, gerade compensirt werden.

Ich habe das in meiner Arbeit über die Erscheinungen bei bewegten Körpern nachgewiesen, aber eigentlich hat schon lange vorher, im Jahre 1880, Herr BUDDE die Sache erledigt, als er den Einwand zurückwies, es müsse nach dem CLAUSIUS'schen Gesetze ein mit der Erde verbundener Stromleiter mit constantem Strom auf ebenfalls mit der Erde verbundene Elektrizität wirken.

Die Sache verhält sich nämlich so, dass nach meiner Theorie Ionen, die sich in stationärer oder langsam veränderlicher Bewe-

gung befinden, gerade nach dem CLAUDIUS'schen Gesetze auf einander wirken.

Ich bin weit davon entfernt, zu leugnen, dass in den Theorien, welche einen elektrischen Strom als eine Fortführung geladener Theilchen betrachten, noch viele Fragen offen bleiben, aber man hat bis jetzt gewiss keine elektrische Erscheinung gefunden, die mit der Theorie des ruhenden Aethers im Widerspruch stände.

Unter den optischen Erscheinungen begegnen wir zunächst dem berühmten MICHELSON'schen Versuch, bei dem eine Interferenz stattfand zwischen zwei Lichtstrahlen, die in zu einander senkrechten Richtungen über ziemlich grosse Entfernungen hin- und zurückliefen. Herr FITZGERALD und auch ich selbst haben das negative Ergebniss dieses Versuches durch die Annahme erklären wollen, dass die Dimensionen eines festen Körpers durch die Bewegung der Erde eine kleine Aenderung erleiden, so dass z. B. aus einer Kugel ein abgeplattetes Rotationsellipsoid entstände, wobei freilich die Abplattung nur ein 200-Milliontel zu betragen hätte.

Manchem wird diese Hypothese sehr gewagt vorkommen, aber ich sehe keinen anderen Ausweg, wenn man nicht ganz auf eine Erklärung der Aberration verzichten will.

Uebrigens lässt sich doch noch wohl etwas zu Gunsten der Hypothese anführen. Die Gestalt und die Dimensionen eines festen Körpers werden in letzter Instanz durch die Intensität der Molecularkräfte bedingt; wenn nun diese durch den Aether vermittelt werden, ähnlich wie die elektrischen und magnetischen Wirkungen, so ist eine Aenderung der Dimensionen, wie ich sie vorausgesetzt habe, sehr wohl verständlich. Man gelangt sogar gerade zu den erforderlichen Veränderungen, wenn man annimmt, es werden die Molecularkräfte in verschiedenen Richtungen in derselben Weise beeinflusst wie die elektrostatischen Wirkungen. Jedoch wünsche ich hierauf kein Gewicht zu legen; dazu sind die beiden Fälle wohl zu verschieden. Immerhin lässt sich wohl dies sagen, dass der MICHELSON'sche Versuch, wenn die von demselben gegebene Erklärung die richtige ist, ganz bestimmt darauf hinweist, dass auch die Molecularkräfte durch den Aether vermittelt werden.

Was ich in keiner Weise habe erklären können, das sind die Beobachtungen von FIZEAU über die Drehung der Polarisations-ebene durch Glassäulen. Wie Sie wissen, meinte FIZEAU eine Ab-

hängigkeit dieser Erscheinung von der Orientirung seiner Apparate in Bezug auf die Richtung der Erdbewegung nachgewiesen zu haben. Wenn nun ein solcher Einfluss wirklich bestände, so wäre damit erstens die Theorie von STOKES, welche eine vollständige Mitführung des Aethers durch die Erde annimmt, verurtheilt, aber auch die Theorie von FRESNEL in der Gestalt, die ich ihr gegeben, wäre zu verwerfen, denn sie verlangt bestimmt, dass bei den Versuchen von FIZEAU sich Alles so zutrage, als ob die Erde ruhe.

Die Versuche von FIZEAU sind nur sehr kurz beschrieben worden, so dass es nicht möglich ist, sich ein Urtheil über alle Einzelheiten derselben zu bilden. Ich habe darüber nachgedacht, ob nicht ein Fehler in der Weise entstanden sein könne, dass bei den beiden Richtungen, die FIZEAU dem Apparate gab, das Sonnenlicht unter verschiedenen Winkeln von den Heliostatenspiegeln zurückgeworfen wurde, so dass man schliesslich in den beiden Fällen nicht mit vollkommen gleichartigem Licht arbeitete; soweit ich unter gewissen Annahmen über die gegenseitige Lage der Spiegel diesen Fehler schätzen konnte, fand ich ihn aber viel kleiner als die von FIZEAU beobachteten Drehungsänderungen.

Auch habe ich versucht, statt aus den speciellen Gleichungen meiner Theorie, aus gewissen allgemeinen Sätzen über die Lichtbewegung, an deren Richtigkeit kaum zu zweifeln ist, etwas über die Vorgänge bei den Glassäulen abzuleiten. In dieser Weise konnte ich zeigen, dass die Componente der Erdgeschwindigkeit, senkrecht zu den Glasplatten, keinen Einfluss haben kann. Für die Componente, parallel zu den Platten, vermochte ich diesen Beweis nicht zu liefern; es bleibt also die Möglichkeit bestehen, dass diese Componente eine Wirkung hervorbringt, wie die, welche FIZEAU beobachtet zu haben glaubte, obgleich die Erklärung für diese Wirkung sich jedenfalls ziemlich weit von der von FIZEAU gegebenen entfernen würde.

Eine Wiederholung dieser Versuche mit den gegenwärtigen Mitteln scheint mir sehr erwünscht. Sollte sich dabei das Resultat von FIZEAU bestätigen, so bliebe meine Theorie, was die Fortpflanzung im Innern der Körper betrifft, davon unberührt; die Grenzbedingungen für die Oberfläche eines bewegten Körpers wären aber zu ändern.

Ein schwer wiegendes Bedenken würde für meine Theorie sich

einstellen, wenn sie nicht erklären könnte, weshalb sich bei den Versuchen von MASCART kein Einfluss der Erdbewegung auf die Drehung der Polarisationssebene im Quarz gezeigt hat. Wie Herr WIEN in seinem Referate hervorhebt, habe ich es in meiner Schrift nicht weiter bringen können, als dass ich zweierlei Einflüsse der Translation aus meinen Formeln ableitete, deren erster sich deuten lässt als eine Aenderung der bereits bestehenden Drehung, während der zweite eine Drehung ist, die noch neu in Folge der Translation hinzukommt. Die Möglichkeit einer Compensation ist also wohl vorhanden; indessen konnte ich die ziemlich einfache Relation zwischen den betreffenden Coefficienten, welche für die Compensation erforderlich ist, nicht ableiten.

Es ist indessen zu bemerken, dass ich auch gar keine vollständige Theorie der Erscheinung gegeben habe; ich that weiter nichts als diejenige Beziehung zwischen elektrischer Kraft und elektrischem Momente zu suchen, welche mit gewissen allgemeinen Principien der Symmetrie und der Isotropie in Uebereinstimmung ist. Es ist nun aber sehr gut denkbar, dass man, wenn man weiter in das Wesen der Erscheinungen eindringt, zu der oben erwähnten Relation zwischen den Coefficienten gelangen wird, und ich glaube sogar den Weg wohl zu sehen, auf dem man dieses Ziel wird erreichen können.

Ich wurde auf diesen Weg geführt, indem ich die Vereinfachung der ganzen Theorie suchte, von der oben schon die Rede war.

Wie Sie wissen, habe ich bereits früher die Betrachtungen erheblich abgekürzt, indem ich bei einem System, das sich mit einer gewissen Geschwindigkeit  $p$  durch den ruhenden Aether hindurch verschiebt, für jeden Punkt eine specielle Zeit, welche ich die *O r t s z e i t* nannte, einführte. Wenn nämlich  $t$  die gewöhnliche, für alle Punkte geltende Zeit ist, so definirte ich für jeden Punkt  $P$  die neue Zeit  $t'$  mittelst der Gleichung

$$t' = t - \frac{rp_r}{V^2},$$

wo  $r$  der von einem bestimmten Punkte  $O$  des Systems nach  $P$  gezogene Radiusvector ist,  $p_r$  die Componente der Translationsgeschwindigkeit nach der Richtung  $OP$  und  $V$  die Geschwindigkeit des Lichtes im Aether.

Bei einem System, in dem sich Lichtschwingungen fortpflanzen, haben wir es nun nach unseren gegenwärtigen Vorstellungen

mit in den Aether eingelagerten Ionen zu thun, die um ihre Gleichgewichtslagen hin- und herschwingen. Wir wollen jedes Ion als klein voraussetzen, dass man von der Verschiedenheit der Ortszeiten in seinen Punkten absehen und also für das ganze Ion eine einheitliche Ortszeit einführen kann.

Die Erklärung der Aberration des Lichtes, des Fortführungscoefficienten und aller Versuche mit irdischen Lichtquellen, die ein negatives Ergebniss geliefert haben, insofern es sich dabei nur um Grössen erster Ordnung handelt, ergiebt sich nun mit einem Schlage, sobald man folgenden Satz annimmt:

Wenn in einem System ohne Translation eine Lichtbewegung möglich ist, bei der die Verschiebungen der Ionen gewisse Functionen der Coordinaten und der Zeit  $t$  sind, so kann in dem sich verschiebenden System ein Zustand bestehen, bei dem die Verschiebungen eben dieselben Functionen der Coordinaten <sup>1)</sup> und der Ortszeit  $t'$  sind.

Welche Bedingungen müssen nun aber erfüllt sein, damit dieser Satz gelte? Offenbar müssen die Kräfte, welche die Bewegung der Ionen beherrschen, sich bei dem Uebergang vom einen zum anderen Fall in geeigneter Weise ändern. Die Kräfte aber sind zweierlei: wir haben es mit elektrischen Kräften zu thun, welche jedenfalls durch den Aether vermittelt werden, und mit „Molecularkräften“, unter welchem Ausdruck wir alle Wirkungen zusammenfassen wollen, welche in kleinen Entfernungen zwischen den kleinsten Theilchen der Körper stattfinden. Das Merkwürdige ist nun, und hierin besteht eigentlich das, was in der ganzen Theorie auf elektromagnetischer Grundlage beruht, dass die elektrischen Kräfte gerade der für die Gültigkeit unseres Satzes erforderlichen Bedingung genügen. Es bliebe also nur noch übrig, dass die Molecularkräfte diesem Beispiele folgten. Hier kommt nun die Grösse der Entfernung in Betracht, in der diese Kräfte thätig sind. Ist dieselbe so klein, dass man von der Differenz der Ortszeiten in zwei auf einander wirkenden Massenpunkten Abstand nehmen darf, so reducirt sich die Bedingung für die Molecularkräfte darauf, dass sie durch die Translation *n i c h t* modificirt werden. Es kann uns daher nicht wundern, dass sich, wenn man Letzteres annimmt, Vieles erklären lässt.

<sup>1)</sup> Es ist hierbei vorausgesetzt worden, dass das Coordinatensystem an der Translation theilnimmt.

Ich glaube nun aber, obgleich ich dessen nicht ganz gewiss bin, dass man zur Erklärung der Circularpolarisation Kräfte heranziehen muss, deren Wirkungsweise nicht so klein ist, wie es soeben gesagt wurde. Wenn dem so ist, so ist es zur Erklärung des negativen Ergebnisses von MASCART nöthig, anzunehmen, dass die Molecularkräfte durch die Translation in bestimmter Weise, und zwar in ähnlicher Weise wie die elektrischen Wirkungen, geändert werden. Wir hätten da einen neuen Fingerzeig in der Richtung einer Vermittelung der Molecularwirkungen durch den Aether.

Ich habe gemeint, Ihnen diese Vereinfachung der Theorie kurz skizziren zu dürfen, weil die Theorie jedenfalls in dieser neuen Form viel leichter gehandhabt werden kann und auch leichter discutirbar ist.

Bei diesen Betrachtungen wurden immer die Glieder zweiter Ordnung vernachlässigt, weshalb sie sich denn auch nicht auf das MICHELSON'sche Experiment beziehen. Auch habe ich bei denselben an einer Hypothese festgehalten, die ich schon früher eingeführt hatte, und die darin besteht, dass die Ionen nur einer Translation, aber keiner Rotation fähig sind. Ich habe nun noch näher untersucht, inwiefern diese Voraussetzung nothwendig ist. Wenn man sich die Ionen als freie Körperchen vorstellt, so muss man auch annehmen, dass sie in Rotation versetzt werden können, und man sieht leicht ein, dass dies in vielen Fällen auch thatsächlich geschehen muss. Nach meinen Gleichungen wirkt z. B. auf ein Ion ein Kräftepaar, sobald es, während es noch ruht, in einem variablen Magnetfelde sich befindet; ebenso, wenn es eine Translationsgeschwindigkeit in einem nicht homogenen Felde hat, während endlich jede Rotation auch in einem constanten und homogenen Magnetfelde ein Kräftepaar hervorruft.

Können nun — diese Frage liegt jetzt nahe — derartige Rotationen einen Einfluss haben auf die Kraft, welche ein Ion vermöge einer Translationsgeschwindigkeit in einem Magnetfelde erleidet? Die Antwort lautet verneinend, so lange die beiden Geschwindigkeiten, der Translation und der Rotation, constant sind und das Feld homogen und constant ist. Auch in anderen Fällen, die sich diesem mehr oder weniger nähern, wird man von dem Einflusse einer eventuellen Rotation absehen dürfen, so z. B., wenn man die gewöhnliche auf einen Leiter wirkende elektrodynamische Kraft aus den auf die einzelnen Ionen wirkenden Kräften

ableiten will. Auch die magnetische Deflexion der Kathodenstrahlen würde wahrscheinlich durch eine Rotation der fortfliegenden Theilchen nicht geändert werden.

Es giebt nun aber auch Fälle, wo eine Drehung der Ionen nicht ohne Einfluss sein würde, und hierher gehört namentlich die Lichtfortpflanzung in einem bewegten Körper. Das Eigenthümliche dabei ist, dass hier gerade ein besonderer Anlass zu Rotationen besteht. Aus den Grundgleichungen der Theorie folgt nämlich, dass ein Ion, das sich in einer gewissen Richtung mit der Geschwindigkeit  $p$  verschiebt und zu gleicher Zeit in einer dazu senkrechten Richtung oscillirt, ein Kräftepaar erleidet, das es um eine zu den beiden genannten Richtungen senkrechte Axe hin- und herdrehen sucht. Die hierdurch hervorgebrachten drehenden Schwingungen könnten unter Umständen recht beträchtlich werden.

Als ich nun unter Berücksichtigung dieser Rotationen die Berechnung des Fortführungscoefficienten wiederholte, fand ich nicht mehr den früheren FRESNEL'schen Werth. Ob die Abweichung von diesem letzteren sich wirklich bei den Beobachtungen bemerkbar machen würde, lässt sich schwerlich sagen. Sollte sie dazu gross genug sein, so wäre man genöthigt, anzunehmen, dass die Ionen in irgend einer Weise an einer Rotation verhindert werden. Es wäre auch ganz gut denkbar, dass frei sich bewegende Ionen, wie z. B. die, deren Bewegung einen elektrischen Strom in einem Metalldraht constituirt, sich wohl drehen könnten, nicht aber die, welche, mit anderer Materie zusammengefügt, die Atome und Molecüle bilden.

Von welcher Wichtigkeit diese Frage nach den Rotationen der Ionen — und also überhaupt die Frage nach dem Verhalten dieser Theilchen — ist, möge nun noch aus folgender Betrachtung hervorgehen.

Gesetzt, ein Ion von der Masse  $m$  verschiebe sich mit einer constanten Geschwindigkeit  $p$ , während es zu gleicher Zeit, ohne zu rotiren, Translationsschwingungen ausführt; es möge demzufolge in der Zeiteinheit die Energiemenge  $E$  ausstrahlen. Nach meinen Gleichungen muss dieses Theilchen eine Kraft erleiden, welche der Geschwindigkeit  $p$  entgegengesetzt gerichtet ist, also eine Art Widerstand. Diese Kraft würde nun einen ganz anderen Werth haben und unter Umständen sogar verschwinden können,

wenn die Translationsschwingungen von drehenden Schwingungen begleitet wären.

Bestehen diese letzteren nicht, so wird der Widerstand gegeben durch den Ausdruck

$$\frac{\rho E}{V^2},$$

infolge desselben wird die Geschwindigkeit in der Zeit

$$\frac{mV^2}{E}$$

auf  $1/e$  des ursprünglichen Werthes reducirt werden.

Wendet man dieses auf die Sonne an, so gelangt man zu einer Zeit, die nach Billionen von Jahren zählt. Die Astronomen werden wohl nichts hiergegen einwenden.

Unter den Versuchen, die Herr WIEN in seinem Referate angeführt hat, habe ich nun die Beobachtungen von KLINKERFUES über die Absorption des Bromdampfes noch nicht besprochen. Auf Grund von Betrachtungen, die allerdings gegenwärtig unhaltbar scheinen, erwartete dieser Astronom eine etwas verschiedene Lage der Linien, je nachdem das Licht den Dampf in der Richtung der Erdbewegung, oder in der entgegengesetzten durchläuft. Er meinte nun auch wirklich eine kleine Verschiebung beobachtet zu haben, die übrigens nur  $\frac{1}{6}$  der erwarteten war, was KLINKERFUES einer theilweisen Fortführung des Aethers durch die Erde zuschreibt.

Könnte man sich auf dieses Resultat verlassen, so hätte man jedenfalls die Theorie des vollständig mitgeführten Aethers zu verwerfen. Ob nun die Theorie des ruhenden Aethers, wie ich sie heute besprochen habe, mit einer derartigen Verschiebung der Absorptionslinien im Einklang steht, wage ich nicht bestimmt zu sagen. Ich halte es für kaum wahrscheinlich; es scheint mir vielmehr, dass auch die von KLINKERFUES studirte Erscheinung, wie alle übrigen mit irdischen Lichtquellen, von der Erdbewegung unberührt bleiben muss. Jedoch darf nicht verschwiegen werden, dass wir den Mechanismus der Absorption noch nicht ganz verstehen, was z. B. daraus hervorgeht, dass wir noch keine befriedigende Erklärung besitzen für die von HUMPHREYS beobachtete Verschiebung der Spectrallinien durch erhöhten Druck. Es bleibt, wie mir scheint, einige Möglichkeit bestehen, dass die Theorie zu

einer Verschiebung führt, wie KLINKERFUES sie constatirt zu haben glaubte.

Ich habe nun noch eines schon mehrmals geäußerten Einwandes gegen die Theorie des ruhenden Aethers zu gedenken, den auch Herr WIEN in seinem Referate anführt, und der darin besteht, dass diese Theorie gegen das Princip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung verstosse. Zunächst muss ich da bemerken, dass dieses Princip, wie mir scheint, gar nicht für alle Elementarwirkungen, auf welche wir die Erscheinungen zurückführen, zu gelten braucht. Ich will nicht leugnen, dass es eine gewisse Befriedigung gewährt, wenn sich schon in diesen Wirkungen ein Gesetz erkennen lässt, das in den sichtbaren Erscheinungen überall zu Tage tritt. Aber vielleicht werden wir diese Befriedigung aufgeben müssen, um eine andere, die uns werthvoller erscheint, zu gewinnen.

Wie steht es nun mit dem Aether? In der Theorie von FRESNEL heisst es, derselbe solle ruhen, aber es ist klar, dass wir dies nicht zu buchstäblich aufzufassen haben. In dem Aether müssen ja die Aenderungen vor sich gehen, die durch die beiden Vektoren, die dielektrische Verschiebung und die magnetische Kraft, bestimmt sind, und wenn wir uns von diesen Aenderungen ein Bild entwerfen wollen, so kann das wohl nur in einer Bewegung materieller Punkte bestehen. Nur der Aether als Ganzes oder ein gewisser Theil *A* des Aethers soll in Ruhe bleiben. Wenn wir uns zur Vereinfachung dieser letzteren Vorstellung bedienen, so haben wir anzunehmen, dass neben jenem Theil *A* noch andere Theile im Aether enthalten sind, die sich, sei es denn auch nur über kleine Entfernungen, relativ zu *A* bewegen können. Wir hätten dann also ein unbewegliches *A*, ein bewegliches *B* und daneben noch die bewegliche ponderable Materie *C*.

Bei *B* und *C* bestehen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Wir werden also hier auch von Kräften reden, und darunter wird es wohl solche geben, von denen es naheliegt, zu sagen, dass sie von *A* ausgeübt werden. Was aber diesen letzteren Theil *A* betrifft, so ist es in gewissem Sinne das Einfachste, dabei stehen zu bleiben, dass er sich nie bewegt, dass also eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung hier gar nicht vorkommt, und dass daher auch von auf *A* wirkenden Kräften nicht die Rede sein kann. Bei dieser Auffassung müssen wir von vorn herein auf die

Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung bei den Elementarwirkungen verzichten.

Aber man kann sich die Sache auch in anderer Weise zurechtlegen. Man kann sich denken, dass *A* sich eigentlich wohl bewegen kann und in Wirklichkeit sich auch wohl etwas bewegt, nur mit Geschwindigkeiten, zu klein um von uns bemerkt zu werden, ähnlich wie sich die Erde bewegt, wenn wir über die Oberfläche hinschreiten. Wenn *A* auf *B* oder *C* Kräfte ausübt, so kann man sich sehr gut vorstellen, dass *A* auch gleiche und entgegengesetzte Kräfte erleidet; um zu erklären, dass dieser Theil dennoch nicht von der Stelle rückt, hat man ihm nur eine sehr grosse Masse zuzuschreiben.

Zwischen diesen Auffassungen bleibt uns die Wahl frei. In praktischer Hinsicht gehen sie nicht weit auseinander, und bei beiden muss es noch erklärt werden, woher es denn rührt, dass bei den Bewegungen sichtbarer Körper *P* und *Q* die Wirkung der Gegenwirkung gleich ist. Auch bei der zweiten Auffassung braucht das ja nicht nothwendig der Fall zu sein, da z. B. einem Theil der auf *P* ausgeübten Wirkung als Gegenwirkung eine auf das unbewegliche *A* ausgeübte Kraft entsprechen könnte.

Die Theorie der Ionen im ruhenden Aether, wie sie Herr WIECHERT und ich ausgearbeitet haben, genügt nun wirklich der soeben gestellten Forderung, was z. B. die elektrodynamische Wirkung zweier Stromkreise und ähnliche Fälle betrifft. Als einen Mangel der Theorie betrachte ich es allerdings, dass die Gleichheit der Action und Reaction als etwas Nebensächliches und Zufälliges herauskommt. Wir dürfen wohl hoffen, dass diesen Mangel durch weitere Vereinfachung und Verdeutlichung der theoretischen Betrachtungen wird abgeholfen werden können.

Es wird Zeit, dass ich zu Ende komme. Ich schliesse mit der Bitte, dass man es gütigst entschuldigen möge, wenn ich vielleicht allzu viel von meiner Theorie gesprochen und in dieser gedrängten Uebersicht die Arbeiten Anderer nicht gebührend gewürdigt habe. Sollte ich in dieser Hinsicht gefehlt haben, so ist es, das dürfen Sie mir glauben, ohne Absicht geschehen.

---