

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang

25. Juli 1924

Heft 30

Zum hundertjährigen Gedenktag von Lord Kelvins Geburt.

(26. Juni 1824.)

VON ALBERT EINSTEIN, Berlin.

W. THOMSON (Lord KELVIN) kennen und lieben alle Physiker als einen ihrer mächtigsten und produktivsten Denker des 19. Jahrhunderts, als den Begründer einer Theoretikerschule, aus welcher der genialste Theoretiker der neuen Zeit, CL. MAXWELL hervorgegangen ist. Etwa 60 Jahre lang hat W. THOMSON, begabt mit einer reichen Phantasie, einer seltenen Leichtigkeit in der Handhabung der mathematischen Form und einem durchdringenden Verstande zu der Entwicklung der Physik und verschiedener Zweige der Technik beigetragen und eine Fülle von Leistungen von bleibendem Werte zutage gefördert; nur wenigen ward solche Fruchtbarkeit zuteil.

Am entscheidendsten hat W. THOMSON die Entwicklung der Physik beeinflusst, indem er gleichzeitig mit CLAUSIUS die Thermodynamik begründete, wobei beide einander wechselseitig befruchteten. Als Dreiundzwanzigjähriger schuf er den Begriff der absoluten Temperatur, einen der fundamentalsten der Physik, ohne den wir uns diese Wissenschaft heute gar nicht mehr vorstellen können.

Die Fülle der Ergebnisse, welche wir W. THOMSON auf dem Gebiete der Wärmelehre, der Hydrodynamik, der Elektrizitätslehre, der Nautik, der physikalischen Erdkunde, der Meßtechnik verdanken, ist schier unübersehbar. Die Eleganz der Methode bietet dem Leser stets hohen Genuß. Der Gedanke an die organisatorischen und nicht zuletzt auch an die materiellen Erfolge lassen dies lange und reiche Leben als glänzend erscheinen. Und doch liegt in der Auswirkung dieses hohen Geistes etwas, was tragisch anmutet.

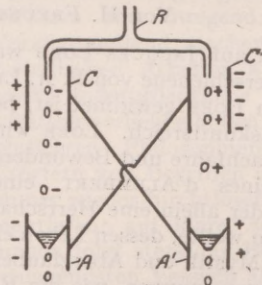
THOMSONS ganzes Schaffen ruhte auf dem Fundament der Newtonschen Mechanik. Es war ein tiefer Glaube in diesem nach Einheit des Erkennens strebenden Geiste, daß alles physikalische Geschehen seinem Wesen nach Bewegung sei, und daß NEWTONS Mechanik für das Erfassen jeglichen Geschehens letzten Endes den Schlüssel biete. Dieser Überzeugung getreu suchte er Jahrzehnte hindurch mit Aufwendung all seiner Gestaltungskraft zu einer mechanischen Theorie der Atomistik und der elektromagnetischen Erscheinungen zu gelangen. Gegen Ende seines Lebens aber zeigte ihm die Entdeckung der Röntgenstrahlen und der radioaktiven Erscheinungen, daß all seine Bemühungen in dieser Rich-

tung umsonst waren, ja, daß diese seine Grundüberzeugung eine irreführende gewesen ist. Eine Periode der Unsicherheit und des Fließens der Grundlage der Physik begann, deren Ende sich heute noch nicht absehen läßt. THOMSON, dem bis nahe an sein Lebensende die letzten Grundlagen des physikalischen Erkennens als gesichert erschienen waren, würde schaudern, wenn er unvorbereitet einen Blick in unsere jetzige Literatur werfen könnte.

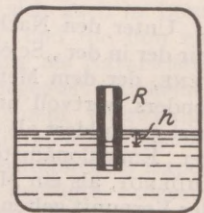
Statt einen Versuch zu machen, einen Überblick über THOMSONS Lebenswerk zu geben, will ich lieber an ein paar einfachen Beispielen, die mich besonders entzückt haben, die Prägnanz seines erfinderischen Geistes zeigen.

Wassertropfenapparat zur Erzeugung elektrostatischer Ladungen:

Aus der geerdeten Wasserzuführung R treten zwei Wasserstrahlen aus, die sich im Innern der isolierten metallischen Hohlzylinder C, C' in Tropfen auflösen, die in die mit Innentrichter versehenen isolierten Stützen A, A' fallen. C ist mit A', C' und A leitend verbunden. Ist C positiv geladen, werden die innerhalb C gebildeten Tropfen negativ geladen und geben ihre negative



Wassertropfenapparat zur Erzeugung elektrostatischer Ladungen.



Einfluß der Capillarkrümmung einer flüssigen Oberfläche auf die Dampfspannung.

Ladung an A ab, zugleich C' negativ aufladend. Infolge der negativen Ladung von C' werden die innerhalb C' sich bildenden Wassertropfen positiv geladen und entladen sich in A' , die positive Ladung von A' und C vermehrend. Die Ladung von C, A' und $C' A$ steigt so, solange die Isolation einen Funkenausgleich verhindert.

Einfluß der Capillarkrümmung einer flüssigen Oberfläche auf die Dampfspannung:

Das Capillarröhrchen (Innenradius R) sei in eine z. B. nicht benetzende Flüssigkeit eingetaucht. Im Innern des Röhrchens besteht bei Gleichgewicht eine Capillardepression vom Betrage

$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g} \left(\begin{array}{l} \sigma = \text{Capillaritätskonstante} \\ \rho = \text{Dichte der Flüssigkeit} \\ g = \text{Beschleunigung der Erdschwere} \end{array} \right)$$

Bezeichnet ρ_0 die (gegen ρ kleine) Dichte des Dampfes, so besteht an der Kuppe gegenüber der freien Flüssigkeit ein Überdruck vom Betrage

$$\Delta p = \rho_0 g h = \frac{2\sigma}{R} \frac{\rho_0}{\rho}$$

Dies Resultat gilt offenbar unabhängig davon, unter was für Bedingungen die Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche erzeugt ist.

Beweis der Helmholtzschen Wirbelsätze:

Sei L eine in einer reibungslosen Flüssigkeit mit den Geschwindigkeitskomponenten u_ν verlaufende geschlossene Kurve. Das Linienintegral

$$W = \int_L \Sigma u_\nu dx_\nu$$

($u_1, u_2, u_3 =$ Komponenten der Geschwindigkeit
 $x_1, x_2, x_3 =$ Koordinaten)

ist nach dem Stokesschen Satz gleich dem Oberflächenintegral des Wirbelvektors über eine beliebige, durch L begrenzte Fläche. Wir fragen nach der zeitlichen Abhängigkeit der Wirbelgröße W , unter der Bedingung, daß die Kurve an der Strömung der Flüssigkeit teilnimmt. Bezeichnet man die auf ein Flüssigkeitsteilchen bezogene zeitliche Ableitung mit $\frac{D}{Dt}$, das entsprechende

Differential mit D , so hat man für eine beliebige Größe Ψ

$$\frac{D\Psi}{Dt} = \frac{\partial\Psi}{\partial t} + \sum u_\nu \frac{\partial\Psi}{\partial x_\nu}$$

Die Eulerschen Gleichungen für die Flüssigkeitsbewegung lauten dann

$$\frac{Du_\nu}{Dt} = - \frac{\partial\pi}{\partial x_\nu} - \frac{\partial\varphi}{\partial x_\nu},$$

wenn man $\pi = \int \frac{dp}{\rho}$ setzt, was voraussetzt, daß die Flüssigkeitsdichte ρ eine Funktion des Druckes p allein ist, und daß die äußeren Kräfte von einem eindeutigen Potential φ ableitbar sind.

Man hat nun

$$Du_\nu = - dt \frac{\partial(\pi + \varphi)}{\partial x_\nu}$$

$$D dx_\nu = dt \sum \frac{\partial u_\nu}{\partial x_\alpha} dx_\alpha$$

Hieraus folgt

$$DW = \int \Sigma (Du_\nu dx_\nu + u_\nu D dx_\nu)$$

$$= dt \int \sum_\nu dx_\nu \frac{\partial}{\partial x_\nu} \left(-\pi - \varphi + \sum \frac{u_\alpha^2}{2} \right) = 0$$

In diesem Resultat $DW = 0$ sind die Helmholtzschen Wirbelsätze enthalten. — Wir wollen beim Anlaß der hundertjährigen Wiederkehr des Geburtstages von W. THOMSONS des Meisters dankbar gedenken und hoffen, daß es einst gelingen möge, auch die physikalischen Errungenschaften unserer Zeit so einfach und anschaulich-lebendig zu erfassen, wie wir es bei ihm finden.

Jacques Loeb und die Kolloidchemie.

Von H. FREUNDLICH, Berlin-Dahlem.

Unter den Nachrufen auf JACQUES LOEB war mir der in der „Science“ erschienene von P. A. LEVENE, der dem Menschen LOEB gewidmet ist, besonders wertvoll und auskunftreich. LOEB wird dort geschildert als ein Nachfahre und Bewunderer der Enzyklopädisten, eines d'ALEMBERT, eines DIDEROT, als ein Mann, der allein eine Herrschaft der Vernunft gelten lassen wollte, dessen Leben ein steter Kampf war gegen Mystik und Aberglauben. Deshalb reizte es ihn, Erscheinungen, wie die Regeneration oder die Parthenogenese, zu untersuchen, bei denen die Allgemeinheit vor allem deutlich das wunderbare Wirken einer Lebenskraft annehmen konnte; er wollte ihnen den Schleier des Geheimnisvollen rauben und sie im nüchternen Licht des Laboratoriums auf physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten zurückführen. So ist er immer der Rebell, mißtrauisch gegen das, was althergebracht ist, oder was einer Mode seine Erfolge verdankt, in jedem Augenblick bereit, Vorurteile solcher Art zu stürzen. Nun fiel die Zeit seiner wissenschaftlichen Entwicklung gerade in die achtziger

Jahre, in denen die neuere Lösungstheorie ihre glänzende Bahn begann, und sie war ganz dazu angetan, LOEB mit rückhaltloser Bewunderung zu erfüllen. Hier wurden ohne Scheu vor dem bisher Geglaubten neue Begriffe gebildet, und dabei ruhte der ganze Bau auf klaren, zahlenmäßigen Erfahrungen. Kein Wunder, daß es die Bilder von VAN'T HOFF, ARRHENIUS und OSTWALD waren, die sein Arbeitszimmer schmückten.

Täusche ich mich nicht, so waren es diese Neigungen und Eindrücke, die LOEB'S Stellung zur Kolloidchemie bestimmten. Er witterte in ihr einen Rückfall in etwas mystisch Qualitatives; es mißfiel ihm, daß anstatt der eindeutigen Begriffe der chemischen Verwandtschaft oder des osmotischen Druckes, Begriffe wie die Oberflächenkräfte oder der Quellungsdruck herangezogen wurden, die die physikalische Chemie der echten Lösungen vernachlässigen durfte. Seine kolloid-chemischen Arbeiten lassen sich so in die Sätze zusammenfassen: „Es ist nicht nötig, in den Eiweißlösungen das Wirken irgendwelcher anderer Kräfte anzunehmen, als sie

in den echten Lösungen wirken. Berücksichtigt man, daß Eiweiß ein amphoterer Elektrolyt ist, daß es mit Säuren und Alkalien unter Salzbildung reagieren kann, daß daher die Wasserstoffionen eine hervorstechende Rolle spielen, berücksichtigt man ferner, daß die Eiweißstoffe und ihre Ionen nicht durch Membranen diffundieren, so kann man nicht nur den osmotischen Druck von Eiweißlösungen, sondern auch unter anderen Eigenschaften ihre Zähigkeit, ja auch die Quellung von Eiweißgelen erklären.“ Wenn sich LOEB'S Betrachtungen und Versuche fast ausschließlich auf Eiweißstoffe beziehen, so läßt er doch die Überzeugung durchblicken, sie möchten viel allgemeiner, selbst für ausgesprochen hydrophobe Sole gelten.

Fragt man sich, wieweit er mit seiner Auffassung im Recht ist, so ist zunächst zuzugestehen, daß er Grundsätze vertritt, auf denen man bei der Erforschung der Eiweißlösungen unbedingt fußen muß. Es ist wohl sehr wahrscheinlich, wenn nicht sicher, daß sich das Eiweiß rein chemisch mit Säuren und Basen verbindet und daß dabei Eiweißionen entstehen. Die Wasserstoffionen sind deshalb fraglos bei ihnen von entscheidendem Einfluß, und man muß notwendig ihre Konzentration konstant halten, wenn man irgendwelche Eigenschaften vergleichen will. Ebenso verdient das DONNAN'sche Membrangleichgewicht, das LOEB zur Achse seiner Betrachtungen macht, die Beachtung, die er ihm schenkt. DONNAN hat ja gezeigt, daß, wenn man das osmotische Verhalten von Lösungen, die kolloide, durch Membranen nicht durchtretende Ionen enthalten, untersucht, die Verteilung der Ionen, der osmotische Druck und das Membranpotential eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten gehorchen, die sich aus dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre ableiten lassen. Da die in den Eiweißlösungen vorhandenen Eiweißionen ausgesprochen kolloide Ionen sind, so machen sich die durch das DONNAN'sche Gleichgewicht bedingten Verhältnisse immer wieder bemerkbar, namentlich läßt sich der osmotische Druck der Eiweißlösungen, den man etwa mit Kollodiummembranen als halbdurchlässigen Wänden mißt, weitgehend von diesem Standpunkt aus berechnen. Sehr wertvoll scheint mir die Gruppe von Versuchen, die LOEB über die sog. abnorme Osmose anstellte, die also nicht unmittelbar dazu dienten, das kolloidchemische Verhalten von Eiweißlösungen aufzuklären. Die abnormen Osmosen treten bekanntlich auf, wenn man bei der Messung des osmotischen Drucks Membranen, wie solche aus Kollodium, Pergamentpapier oder Schweinsblase benutzt, die nicht nur Wasser, sondern auch z. B. gelöste Salze durchlassen. Man hatte schon lange geglaubt, daß sich hier über eine gewöhnliche Osmose eine durch Membranpotentiale hervorgerufene Elektrosomose lagere, aber erst LOEB'S quantitative Versuche gaben dieser Auffassung die größte Wahrscheinlichkeit.

Bei einer Reihe von anderen Punkten möchte ich meinen, die hohe Kraft, zu verallgemeinern, die

LOEB auszeichnete, habe ihn dazu gebracht, Erscheinungen allzu stark zu vereinfachen oder allzu gewaltsam zu erklären. So wenn er vermuten läßt, die sog. HOFMEISTER'schen Ionenreihen, denen man so oft in der Kolloidchemie wie der Biologie begegnet und in denen sich der verschiedene Hydrationsgrad der Ionen äußert, seien im Grunde bedeutungslos und träten nicht mehr hervor, wenn man nur für Konstanz der Wasserstoffionenkonzentration Sorge. Man braucht bloß daran zu denken, daß diese Reihe schon erkennbar ist bei der Veränderung der Oberflächenspannung des Wassers durch die Anionen der Chlor-, Brom-, Jod- und Rhodanwasserstoffsäure, und diese Säuren unterscheiden sich in ihrer Stärke kaum. Auch LOEB'S Auffassung der Quellung scheint mir wenig glücklich. Allein die große, in der Quellungswärme sich äußernde Wärmetönung spricht dagegen, daß es sich um einen rein osmotischen Vorgang handle, nicht vielmehr um eine Veränderung, bei der es auf eine potentielle Energie ankommt, eben die Energie der Wasserbindung durch die Teilchen des quellenden Stoffes. Und dies gilt auch für die Quellung in Säurelösungen, auf die LOEB vielleicht geneigt war, seine Auffassung zu beschränken. Schließlich möchte man Bedenken erheben gegen einen Versuch, die bei Eiweißlösungen gewonnenen Erfahrungen zu weitgehend auf andere Sole, nun gar auf hydrophobe zu übertragen. Dazu sind sie doch zu verwickelte Gebilde, und man wird eher hoffen können, aus dem, was die Erforschung der weit einfacheren hydrophoben Sole ergibt, Schlüsse auf die Proteinlösungen zu ziehen.

Man bewertet aber die kolloidchemischen Untersuchungen LOEB'S nicht richtig, wenn man sie nur von dem Gesichtspunkt aus betrachtet, wieweit sie eine zutreffende Theorie für eine Gruppe von Naturerscheinungen geben. Sie waren und sind so wirksam und anregend, weil sich in ihnen die Vorzüge geltend machen, die sich auch in LOEB'S biologischen Arbeiten äußern, und die ihm eine solche außerordentliche Stellung als Naturwissenschaftler verliehen haben. Da begegnet man keinem blutleeren Philosophieren, keinem langwierigen Erörtern von Begriffen und Einteilungen, sondern immer wieder furchtlosem, unermüdlichem Experimentieren; auf klare, scharf geprägte Fragestellungen folgt stets das Bestreben, den einfachsten, schlagendsten Versuch als Antwort zu geben, mag er noch so gewagt und kühn erscheinen. Und dies alles als Leistung eines Mannes, der die Schwelle des Greisenalters überschritten hatte, also in den Jahren stand, in denen andere sich zur Ruhe setzen oder ein Steckenpferd reiten oder bestenfalls die Furchen weiter ziehen, die sie schon in ihrer Jugend gezogen haben. Wenn sich LOEB solange jung hielt, so lag dies wohl nicht zum mindesten an eben seiner Freude am Kampf gegen alles, was ihm als Vorurteil oder Unklarheit des Bekämpfens wert erschien.

Was ist Materie?

Von H. WEYL, Zürich.

(Schluß.)

Die Geschichte lehrt, daß die Unterordnung der Erscheinungen unter die Kategorie der Substanz nicht selbstverständlich ist, sondern das Erzeugnis einer bestimmten historischen Epoche. Eine Zeitlang ist sie in der Physik allbeherrschend, alle Vorgänge sollen auf die Bewegung verborgener „Fluida“ zurückgeführt, „mechanisch“ erklärt werden. Aber andere Zeiten, vorher und nachher, und andere Denker haben der substantiellen Materie nicht bedurft oder sie sogar positiv verworfen. Keine Rede davon, daß die Physik, wie es in seiner Polemik gegen die Relativitätstheorie z. B. LENARD behauptete, jeder anschaulichen Basis verlustig geht, wenn die elektrischen und optischen Vorgänge nicht mehr unter dem Bilde von Bewegungen eines substantiellen Äthers aufgefaßt werden. Auf die sinnliche Erfahrung kann man sich jedenfalls nicht berufen, um die Substanzvorstellung zu legitimieren. Unsere Sinne greifen überhaupt nicht in die Ferne, sich des substantiellen „Dinges“ bemächtigend, sondern für die psychophysische Wechselwirkung gilt so gut wie für die rein physische das *Prinzip der Kontinuität*, der unmittelbaren Nahewirkung: Meine Gesichtswahrnehmungen sind bestimmt durch die auf der Netzhaut auftreffenden Lichtstrahlen, also durch den Zustand des optischen oder elektromagnetischen Feldes in der unmittelbaren Nachbarschaft mit dem Sinnesleib jenes rätselhaften Realen, des Ich, dem eine gegenständliche Welt bildmäßig „erscheint“; und zwar ist hier vor allem der Energiestrom — seine Richtung für die Richtung, in der ich Gegenstände erblicke, seine periodische Veränderlichkeit für die Farbe — maßgebend. Fasse ich ein Stück Eis an, so nehme ich den an der Berührungsstelle zwischen jenem Körper und meinem Sinnesleib fließenden Energiestrom als Wärme, den Impulsstrom als Druck (Widerstand) wahr. So kann man sagen, daß die Energie-Impulsgrößen des Feldes dasjenige sind, wovon ich direkt durch meine Sinne Kunde erhalte. In der Auflösung des Substanzbegriffes ist die Philosophie der Physik voraufgegangen. Die Kritik setzt bei LOCKE kräftig ein, nimmt eine radikale Wendung bei BERKELEY und wird von HUME mit aller Gründlichkeit und Klarheit zu Ende geführt¹⁾. Statt die Qualitäten durch

einen substantiellen Träger zusammenzuhalten, gilt es allein ihre funktionalen Beziehungen zu erfassen. Von Neueren, welche diese Ablösung der Substanz- durch die Funktionsidee scharf betont und allseitig beleuchtet haben, sind MACH und im Anschluß an ihn PETZOLDT —, vom Neukantianismus herkommend, CASSIRER zu nennen¹⁾. Doch braucht man die Physik, glaube ich, wegen ihrer größeren Trägheit in dieser Frage nicht zu schelten; für die positiven Wissenschaften ist es ein gesunder Grundsatz, einen Begriff, eine Vorstellung erst abzustoßen, wenn die ihn verdrängende überlegene Anschauung schon da ist. Überhaupt scheint es mir, daß Philosophie als selbständige Wissenschaft immer in der Kritik und Präformation der Begriffe stehen bleibt, zu fruchtbarer positiver Erkenntnis aber erst sich wandelt in dem Augenblick, wo sie, ihrer Selbständigkeit sich entäußernd, zum philosophischen Denken innerhalb der Einzelwissenschaften wird und deren breit entwickelte Erfahrungs- und Gedankenmasse ihren Ideen Leib gibt. Die lenkende Kraft der metaphysischen Ideen und die große Bedeutung der philosophischen Arbeit wird dadurch nicht verkannt. Auch gibt es für sie noch eine wichtige Aufgabe *nach* diesem Ereignis: die Auseinandersetzung des in der objektiven Wissenschaft Erkannten mit dem Gesamtleben.

Daß die substantielle Materie nicht ein sich selbstverständlich aufdrängendes Element der Naturdeutung ist, wird ferner durch die Geschichte des antiken Denkens belegt; jene Idee ist den meisten griechischen Denkern ganz fremd. Bei ARISTOTELES ist der Begriff des Stoffes (*ἔλη, τὸ ὑποκείμενον*) in erster Linie ein relativer, das „Bestimmbare“ im Gegensatz zur bestimmenden Form (*εἶδος*); Stoff ist Möglichkeit des Geformtwerdens. In einem mehrgliedrigen Produktionsprozeß erscheint auf jeder Stufe der Stoff „geformter“, der Spielraum der Möglichkeiten weiterer Formung beschränkter. Damit schwindet zugleich der Stoff im Aristotelischen Sinne, die Komponente des nur potentiellen, nicht aktualisierten Seins, mehr und mehr zusammen. Man sieht, daß dieser Stoff offenbar nicht die Materie im Sinne des Abschnittes I ist. Zwar hat auch für ARISTOTELES jene Relationskette von Stoff und Form einen Anfang in der „ersten Materie“, die alle Möglichkeiten in sich birgt, aber zugleich ein Ende im reinen Geist, in welchem alle Potentialität aktualisiert ist. Das Wort „Werde, der du bist“ ist hier über alle Weltgeschöpfe ausgesprochen. Die Formen sind etwas im Innern des Stoffes von der Möglichkeit zur Wirklichkeit Hinüberdrängen-

¹⁾ Ich zitiere aus HUMES Traktat über die menschliche Natur, Teil IV, Abschn. 6: „Unser Hang, die Identität mit der Beziehung zu verwechseln, ist groß genug, um den Gedanken in uns entstehen zu lassen, es müsse neben der Beziehung noch etwas Unbekanntes und Geheimnisvolles da sein, das die zueinander in Beziehung stehenden Elemente verbinde.“ Ebenda Abschn. 3: „So sieht sich auch hier die Einbildungskraft veranlaßt, ein unbekanntes Etwas oder eine ‚ursprüngliche Substanz oder Materie‘ zu erdichten und hierin das die Einheit oder den Zusammenhang der Erscheinungen herstellende Prinzip zu sehen.“

¹⁾ J. PETZOLDT, Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus. (3. Aufl., Teubner 1921). — E. CASSIRER, Substanzbegriff und Funktionsbegriff. (Berlin 1910.)

des; der Übergang selbst geschieht in der „Bewegung“¹⁾. Diese ist also nicht die Demokriteische Bewegung einer mit sich selbst identisch bleibenden Substanz, sondern Veränderung, Wechsel der Beschaffenheit im allgemeinsten Sinne. Da in der Physik der teleologische Gesichtspunkt noch ganz zurücktritt, die qualitativen Zuständlichkeiten aber den Raum stetig und lückenlos erfüllen, ist die Physik des ARISTOTELES — die freilich ganz in einer Ontologie der Natur stecken bleibt — in ihrem entscheidendsten Zuge *Feldtheorie*. Von da aus ist seine *Leugnung des leeren Raumes* ganz konsequent. Die Annahme, daß das Feld ein Raumgebiet ausläßt, ist auch für uns absurd. Denn wird das raumzeitliche Kontinuum auf Koordinaten bezogen, so erscheinen die Zustandsgrößen des Feldes als Funktionen dieser Koordinaten; aber der Begriff der unabhängigen Variablen ist korrelativ zu dem der Funktion: so weit das Existenzfeld einer Funktion reicht, erstreckt sich auch das Gebiet der Veränderlichkeit ihrer Argumente. (Man beachte dabei wohl: das Bestehen der Gleichung $\mathcal{E} = 0$ in einem Raumgebiet bedeutet für das elektrische Feld \mathcal{E} nicht etwa, daß es in jenem Gebiet unterbrochen ist, sondern nur, daß es sich dort im „Ruhezustand“ befindet, der sich stetig in alle übrigen möglichen Zustände einpaßt). Und genau diese Auffassung hat ARISTOTELES vom Raum; er ist für ihn ein Moment an den Körpern: Scheidung zugleich und stetiger Zusammenhang, Unendlich-benachbart-sein der Teile des stetig abgestuften qualitativen Weltinhalts. (Es ist eine leicht verständliche, aber auch leicht abzustreifende Befangenheit, die wir analog bei DESCARTES antreffen, wenn sein Blick dabei in erster Linie an der Begrenzung zweier sich berührender Körper haften bleibt). Es ist weiter konsequent, daß er keine andere als unmittelbare Nahewirkung zugibt: „Dasjenige, welches die Verwandlung hervorbringen soll, muß das zu Verwandelnde berühren“; und darum kann er auch den Raum nur als das Medium dieses Sich-berührens gelten lassen. Im Gegensatz dazu faßt die atomistische Substanztheorie den Raum als Inbegriff möglicher geometrischer Fernbeziehungen, und sie muß eine im leeren Raum operierende „Ferngeometrie“ nach Art der Euklidischen voraussetzen, weil sie ja ein Werden im Aristotelischen Sinne leugnet, und das einzige, was wechselt, für sie die Lagebeziehungen der festen Substanzelemente sind. Verlegt man aber das Werden in den nach Ort und Zeit veränderlichen Feldzustand, so wird, wie die moderne Relativitätstheorie gezeigt hat, diese

¹⁾ Es überkreuzt sich freilich diese naturphilosophische Auffassung des Verhältnisses von Stoff und Form mit einer mehr logischen, nach welcher jedes konkrete Einzelding volle Wirklichkeit beanspruchen kann, die Form eines solchen Dinges nirgendwo noch eine Möglichkeit weiterer Ausfüllung offen läßt, und der Stoff über diesen Wesensbestand an „Form“ hinaus ihm lediglich (als principium individuationis) die individuelle Existenz verleiht.

Art von Geometrie entbehrlich: dem Weltkontinuum an sich kommt danach — im Einklang mit ARISTOTELES — nur der stetige Zusammenhang zu; alle geometrischen Beziehungen und Charaktere ergeben sich erst auf Grund des *von der Materie abhängigen* im Raume herrschenden metrischen Feldes (das nach EINSTEIN außerdem für die Gravitationserscheinungen verantwortlich ist). *In der Feldtheorie spielt* in gewissem Sinne *das Raumzeitkontinuum die Rolle der Substanz*, wenn wir den Gegensatz von Substanz und Form als den des „Dies“ und „So“ fassen; das nur durch einen individuellen Hinweis zu gebende, qualitativ nicht charakterisierte *Dies* ist für sie nicht ein verborgener Träger, dem die Beschaffenheiten inhärieren, sondern das „Hier-Jetzt“, die einzelne Raumzeitstelle. Die Weltbeschreibung besteht nach der Feldtheorie, um einen Terminus von HILBERT zu gebrauchen, aus den „Hier-So-Relationen“ — das „Hier“ vertreten durch die Raumzeitkoordinaten, das „So“ durch die Zustandsgrößen; sind diese als Funktionen jener bekannt, so ist der Weltverlauf vollständig festgelegt. Daß der an sich formlose unbegrenzte Raum, der aber fähig ist, alle Formen in sich aufzunehmen, die $\epsilon\lambda\eta$ der Körperwelt sei, war, wie ARISTOTELES ausdrücklich bezeugt, die Ansicht PLATONS; wenn sich ARISTOTELES dagegen verwahrt, mit dem Argument, daß der Stoff mit dem Ding verbunden bleiben müsse, der Raum aber in der Bewegung von ihm sich trenne, so fällt er offenbar in die naive Ding-Vorstellung zurück, welcher die verhältnismäßig beständige räumliche und qualitative Form die Identität des Stoffes bedeutet.

Endlich versteht man von hier aus die Ablehnung der Atome in der Aristotelischen Physik; denn „aus Unteilbaren kann keine stetige Größe entstehen“, wie es der Raum und das ihn erfüllende qualitative Feld ist. Aus demselben Argument heraus, daß ein Kontinuum nicht in Teile zerfallen kann, gelangte DEMOKRIT zu der entgegengesetzten Folgerung: Weil ich einen Stock zerbrechen, in zwei Teile zerlegen kann, war er von vornherein kein zusammenhängendes Ganzes; die Teilung läßt sich fortsetzen, bis ich zu den unteilbaren Atomen komme. Der Grundsatz, von welchem beide ausgehen, spricht unbedingt eine im Wesen des Kontinuums liegende Wahrheit aus; in der Scholastik ist er im Anschluß an ARISTOTELES eingehend erörtert worden. Die moderne, unter dem Einfluß von G. CANTOR stehende mengentheoretische Analysis erkennt ihn zwar — sie faßt das Kontinuum als einen Inbegriff von Punkten —, aber eine strenge intuitive Begründung der mathematischen Theorie des Kontinuums, wie sie neuerdings von BROUWER und dem Verf. entworfen wurde, hat sich genötigt gesehen, das Kontinuum wiederum als ein Medium zu konstruieren, innerhalb dessen sich wohl einzelne Punkte festlegen lassen, das sich aber nicht in eine Menge von Punkten auflösen läßt¹⁾. Der Wider-

¹⁾ Vgl. dazu WEYL, Über die neue Grundlagenkrise der Mathematik, Math. Zeitschr. 10, 39. 1921. —

streit zwischen DEMOKRIT und ARISTOTELES löst sich so: Nach der Substanztheorie wird der Stab beim Zerschneiden wirklich in zwei Substanzteile zerlegt; darum ist er, wie DEMOKRIT richtig schließt, aus unteilbaren Elementen diskontinuierlich aufgebaut. Nach der Feldtheorie wird aber die Verbindung zwischen den beiden Bruchstücken gar nicht unterbrochen; nach wie vor haben wir ein den ganzen Raum erfüllendes kontinuierliches Feld; das Gelände, aus welchem sich anfänglich nur ein Bergücken heraushob (die hohen Werte der Feldgrößen im Gebiete des materiellen Stocks!), hat sich stetig in ein Gelände mit zwei ausgesprochenen Gebirgszügen verwandelt. — Die historische Stammtafel der anti-atomistischen, ganz im Kontinuum hausenden Weltauffassung, der das Geschehen als ein den Raum stetig erfüllendes und stetig veränderliches Feld erscheint, wird die Namen HERAKLIT, ANAXAGORAS, die sog. Pythagoreer (ARCHYTAS und seine Gefährten), endlich PLATON enthalten müssen. Anfänglich verband sich mit ihr die Verzweiflung an der rationalen Erkennbarkeit der Welt, so noch bei Platons Lehrer KRATYLOS. Die Wendung bei PLATON in diesem Punkte — für ihn wird ja dann die „Geometrie“ zum Bindeglied zwischen Wirklichkeit und Idee — beruht auf der Entdeckung des Infinitesimalprinzips durch ANAXAGORAS und die Pythagoreer, das ausdrücklich als eine Widerlegung des Standpunktes von DEMOKRIT verstanden wurde. Sie eröffnete die Möglichkeit, das Kontinuum mathematisch zu erfassen. ARISTOTELES aber verbleibt mit seiner Physik vielmehr als mit anderen Teilen seiner Philosophie im Bannkreis der Akademie¹⁾.

Es ist bekannt, daß DESCARTES die gleiche Pythagoreische Lehre vertreten hat, *die räumliche Ausdehnung sei die eigentliche Substanz der Körper*. Er will trotzdem alle qualitative Veränderung — wie übrigens wohl auch die Pythagoreer und PLATON — auf *Bewegung* zurückführen. Bewegung, sagt er, ist „Überführung eines Teiles der Materie oder eines Körpers aus der Nachbarschaft derjeni-

ARISTOTELES bemerkt zum Zenonischen Paradoxon (Physik, Kap. VIII): „Wenn man die stetige Linie in zwei Hälften teilt, so nimmt man den einen Punkt für zwei; man macht ihn sowohl zum Anfang als zum Ende, indem man aber so teilt, ist nicht mehr stetig weder die Linie noch die Bewegung... In dem Stetigen sind zwar unbegrenzt viele Hälften, aber nicht der Wirklichkeit, sondern der Möglichkeit nach.“

¹⁾ Natürlich ist dabei der gewaltige Unterschied zwischen der Platonischen, der Aristotelischen und der Mieschen Auffassung des Weltgeschehens nicht zu verkennen. Das unterscheidende Prinzip liegt dort, wo sich nach jeder dieser Theorien der Heraklitische Fluß „zum Starren waffnet“: für ARISTOTELES in den immanenten zweckbestimmten Formen, für PLATON in den transzendenten Ideen, für MIE in dem bindenden funktionalen Feldgesetz. — Über PLATON vgl. das schöne Buch von E. FRANK, Plato und die sog. Pythagoreer (Halle 1923), über die Abhängigkeit der Aristotelischen Physik von der Akademie: W. JAEGER, Aristoteles (Berlin 1923).

gen Körper, welche ihn unmittelbar berühren und als ruhend betrachtet werden, in die Nachbarschaft anderer Körper. Unter einem Körper oder einem Teil der Materie aber verstehe ich das, was auf einmal übergeführt wird“. Es ist schwer, mit diesen Erklärungen einen Sinn zu verbinden, ohne ein substantielles Medium zugrunde zu legen, dessen einzelne Stellen man durch ihre Geschichte hindurch verfolgen, zu allen Zeiten wiedererkennen kann¹⁾. Es kommt hinzu, daß das mathematische Denken trotz der im Altertum genommenen Anläufe dem Kontinuum immer noch nicht gewachsen ist; so wird die Physik des DESCARTES dann doch zu einer Korpuskulartheorie; nur sind die Korpuskeln nicht wie bei DEMOKRIT unveränderlich, sondern stoßen sich gegenseitig die Ecken ab und werden zerrieben. Zwischen den kugelförmigen Korpuskeln müssen sich andere prismatische hindurchwinden, deren Querschnitt so gestaltet ist wie der Zwischenraum zwischen drei sich von außen berührenden Kreisen²⁾ (!). Korrigiert man den aus der mangelnden Beherrschung des Kontinuums hervorgehenden Fehler, so werden die Unstetigkeiten an den Trennungsflächen, welche die einzelnen sich aneinander hinschiebenden Korpuskeln trennen und die DESCARTES offenbar zur Erfassung der Bewegung für nötig hält, etwas ganz unwesentliches, und man bekommt eine *Fluidumstheorie*. Man könnte z. B. annehmen, daß das Weltfluidum sich so bewegt wie eine inkompressible reibungslose Flüssigkeit (Wasser); seine Bewegungsgesetze, welche bei DESCARTES ganz im Dunkel bleiben — er hält sich hier an die aus grobsinnlicher Erfahrung entnommenen Bilder vom Drücken, Drängen, Zerreiben, Festhaken der Teilchen — würden dann diejenigen sein, in welche sich die modernen hydrodynamischen Gleichungen verwandeln, wenn man aus ihnen den der dynamischen Vorstellungswelt angehörigen Flüssigkeitsdruck eliminiert. Wenn v die vektorielle Geschwindigkeit des strömenden Wassers als Funktion von Ort und Zeit bedeutet und neben dem Geschwindigkeitsfeld v dessen Wirbelfeld \mathfrak{B} eingeführt wird, so gewinnt man dadurch folgendes System von Gleichungen

$$(17) \quad \begin{aligned} \operatorname{div} v &= 0, \quad \operatorname{rot} v = \mathfrak{B}; \\ \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t} + \operatorname{rot}[v \mathfrak{B}] &= 0. \end{aligned}$$

Aus dem auf Grund dieser Differentialgleichungen ermittelten Geschwindigkeitsfeld sind dann durch eine weitere Integration die Weltlinien der einzelnen Flüssigkeitsteilchen zu bestimmen. Jetzt läßt sich aber auch noch das substantielle Medium eliminieren, wie es die philosophische Grundthese

¹⁾ Von einer anderen möglichen Interpretation möchte ich wenigstens hier absehen, da sie sachlich und historisch von keinem Belang ist.

²⁾ Im ganzen, scheint mir, ist die Physik kein Ruhmesblatt im Buch der Cartesischen Philosophie; sie ist weder durch Klarheit des Denkens noch durch einen höheren Grad intuitiven Naturverständnisses ausgezeichnet.

VON DESCARTES fordert¹⁾: Wir brauchen uns nur der Deutung des in (17) auftretenden Vektors v , der eine stetige Funktion von Ort und Zeit ist, als der Geschwindigkeit strömender Materie zu enthalten. Die Feldgesetze (17) sind in der Tat von ähnlichem Typus wie die Maxwell'schen Gleichungen (wobei \mathfrak{B} etwa die Rolle der Feldstärke, v die des Potentials spielt). Die letzte Integration, der Übergang vom Geschwindigkeitsfeld zu den Weltlinien der Flüssigkeitsteilchen, fällt damit natürlich fort. Der Zusammenhang mit der Erfahrung wird nicht durch jene Deutung von v als Geschwindigkeit eines strömenden substantiellen Mediums hergestellt, sondern durch die Gesetze, nach welchen sich aus den Feldgrößen v , \mathfrak{B} die auf die beobachtbaren Körper einwirkende ponderomotorische Kraft bestimmt. Auf Grund dieser Gesetze, nicht auf Grund einer substantiellen Mitführung kann der „hineingeworfene Strohhalm“ (vgl. S. 561) zur Messung von v verwendet werden. Oder besser noch, da ja auch der Strohhalm im Felde aufgelöst werden muß: es müssen, gemäß dem von MIE aufgestellten Muster einer reinen Feldtheorie, die Formeln hinzugefügt werden, welche die Energie-Impulsgrößen in Abhängigkeit von den Feldgrößen v und \mathfrak{B} definieren. So etwa würde heute die konsequente Durchführung des Cartesischen Grundgedankens aussehen.

Spätere Physiker haben tatsächlich die hydrodynamischen Gleichungen (17) zum Fundament für ihre Theorie des Äthers gemacht²⁾. Eine analoge Rolle spielt die Elastizität in der älteren mechanischen Lichttheorie. Sobald man aber einmal von der Vorstellung der sich bewegenden Substanz zu der des raumzeitlich ausgebreiteten Feldes übergegangen ist, haben solche noch in Anknüpfung an den Substanz-Gedanken entsprungene Ansätze keinerlei anschaulichen Vorzug mehr vor der von vornherein damit aufräumenden Maxwell'schen Feldtheorie. Es war ein ungeheurer Fortschritt, daß FARADAY und MAXWELL sich über die das Feld beschreibenden Zustandsgrößen und ihre Gesetze von neuem durch die Erfahrung belehren und nicht von apriorischen Konstruktionen leiten ließen; dies ihr Vertrauen zur Natur war durch den Bruch mit der „mechanischen“ Naturerklärung nicht zu teuer erkauft, es wurde belohnt durch die grandiose, allen mechanischen Bildern weit überlegene Harmonie, die den von ihnen entdeckten Gesetzen innewohnt.

IV. Die Materie als dynamisches Agens.

Die Erklärung der Kraftübertragung durch die Ausbreitung von Energie und Impuls im kontinuierlichen

¹⁾ Die Annahme einer qualitativ nicht charakterisierten Substanz führt, wie wir im Abschnitt I sahen, notwendig zum Atomismus; jede Fluidumtheorie also, die an der kontinuierlichen Raumerfüllung festhalten will, muß, zu Ende gedacht, Feldtheorie werden.

²⁾ W. THOMSON, On Vortex Atoms, Phil. Mag. (4), 34. 1867; V. BJERKNES, Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte (Leipzig 1900); A. KORN, Mechanische Theorie des elektromagnetischen Feldes, Physik. Zeitschr. 18, 19, 20. 1917/1919.

lichen Felde hat sich im engsten Anschluß an die Erfahrung herausgebildet, und diese Vorstellungsweise durchdringt heute die ganze Physik. Es scheint mir kaum wahrscheinlich, daß die Quantentheorie trotz ihres Sturmlaufs gegen die Wellentheorie des Lichtes dies Element aus der Naturbeschreibung wieder beseitigen wird. Denn will man heute eine feldlose Physik bauen, so müßte man sich insbesondere aller *geometrischen* Begriffe zur Beschreibung der Atome usw. enthalten, da die geometrischen Beziehungen ja auf dem metrischen Felde beruhen! Hingegen ist die *reine* Feldtheorie vorerst nur Hypothese und Programm; den tatsächlichen Betrieb der physikalischen Forschung beherrscht nach wie vor der Dualismus von Materie und Feld. Ihre Verbindung ist *dynamisch*: die Materie erregt das Feld, das Feld wirkt auf die Materie. Achtet man weniger auf das vermittelnde Medium des Feldes, so erscheinen *Stoff und Kraft* als die aufeinander angewiesenen Konstituenten der Welt. „Die Wissenschaft betrachtet“, so spricht HELMHOLTZ diesen Standpunkt aus, „die Gegenstände der Außenwelt nach zweierlei Abstraktionen: einmal ihrem bloßen Dasein nach, abgesehen von ihren Wirkungen auf andere Gegenstände oder unsere Sinnesorgane; als solche bezeichnet sie dieselben als Materie. Das Dasein der Materie ist uns also ein ruhiges, wirkungsloses; wir unterscheiden an ihr die räumliche Verteilung und die Quantität (Masse), welche als ewig unveränderlich gesetzt wird. Qualitative Unterschiede dürfen wir der Materie an sich nicht zuschreiben.“ Auf der anderen Seite legen wir der Materie das Vermögen zur Wirkung bei, nur durch ihre Wirkungen kennen wir sie ja; „eine reine Materie wäre für die übrige Natur gleichgültig, weil sie nie eine Veränderung in dieser oder in unseren Sinnesorganen bedingen könnte; eine reine Kraft wäre etwas, was da sein sollte und doch wieder nicht da ist, weil wir das Dasein Materie nennen“. F. A. LANGE in seiner bekannten „Geschichte des Materialismus“ faßt das Verhältnis in mehr kritischer Wendung gegen die Materie so: „Der unbegriffene oder unbegreifliche Rest unserer Analyse ist stets der Stoff.“

Die *dynamische Vorstellungsweise*, auf die wir schon im Anfang des vorigen Abschnittes kurz eingegangen, ist in der Physik vor allem von NEWTON begründet worden. Den historisch überkommenen Substanzbegriff hat er nicht umgestoßen, und so finden wir bei ihm jenen Dualismus aufs schärfste ausgeprägt. Er hat eine Substanz, die ihrem Wesen nach ausgedehnt, starr, undurchdringlich, beweglich, träge ist; hingegen ist die Schwere keine essentielle Eigenschaft der Materie, sondern eine durch sie hindurchgreifende Kraft immaterieller Art¹⁾. Den Zeitgenossen NEWTONS, soweit sie auf eine geometrische Substanzphysik eingestellt waren, erschien dies als ein schlimmer Rückschritt. In der Tat hatten sich solche Ideen von einem bewegenden Prinzip in der Materie, dem „Archäus“, seit

¹⁾ Principia, Ende des 3. Buches.

PARACELSUS namentlich in den Naturanschauungen der Chemiker und Ärzte fortgepflanzt, oft sich in dunkelm Mystizismus verlierend. Für KEPLER, den lichten Mystiker, war wie für PLATON das, was die Planeten in ihrer Bahn bewegt, anfänglich eine Gestirnsseele; nur so schien ihm — wie PLATON — der dieser Bewegung innewohnende *νοῦς*, die gesetzmäßige Harmonie verständlich¹⁾. Später aber, als er immer deutlicher erkannte, daß die Sonne allein sie an goldenem Zügel durchs Weltall führt, faßte er die Vorstellung des von der Sonne ausstrahlenden Kraftfeldes und beschreibt es als „etwas Körperartiges von der Natur des Lichtes“. Er kam noch zu einem falschen Ausbreitungsgesetz, weil er annahm, daß die Ausbreitung nicht im Raume, sondern nur in der Ebene der Ekliptik geschehe, in der alle Planeten umlaufen. NEWTON gab dann das genaue Gesetz, und es gelang ihm, daraus in Verbindung mit dem mechanischen Grundgesetz der Bewegung und mit Hilfe der von ihm zu diesem Zweck entwickelten Fluktuationsrechnung die beobachtete Bewegung der Himmelskörper auf das vollkommenste zu erklären. Mit großer methodischer Klarheit umriß er das Gebiet der exakten Naturwissenschaft als die Erkenntnis der funktionellen Gesetze, welche zwischen den an den Erscheinungen meßbaren Größen bestehen, innerhalb der Naturforschung die Frage nach dem „Wesen“ — die für ihn im übrigen keineswegs bedeutungslos war — mit seinem *Hypotheses non fingo* abschneidend.

Der klassische Philosoph der dynamischen

¹⁾ Für PLATON sind die Gestirne „beseelte Körper“, weil sie sich im leeren Weltraum von selbst harmonisch bewegen (die Astronomie der Unteritaliker um ARCHYTAS!), ohne, wie noch DEMOKRIT gemeint hatte, von anderen Körpern, z. B. dem Luftdruck, angetrieben zu werden. „Darum“, heißt es am Schluß der Gesetze, „ist es heute gerade umgekehrt wie zu den Zeiten, wo die Forscher (ANAXAGORAS und DEMOKRIT) sich die Weltkörper noch tot (*ἀψυχὰ*) dachten. Bewunderung schlich sich vor den Gestirnen wohl schon damals ein, und man ahnte wohl schon damals, was heute als Tatsache gilt, wenn man die Genauigkeit ihrer Bewegungen sah; denn wie könnten tote Körper, wenn kein Verstand (*νοῦς*) in ihnen ist, so wunderbare mathematische Genauigkeit dabei zeigen . . . , und es gab schon damals einige, die den Mut hatten, es offen auszusprechen, daß *Verstand* es sei, was alle kosmischen Erscheinungen im Raum beherrsche.“ — ARISTOTELES ersetzt die Selbstbewegung durch den göttlichen „unbewegten ersten Bewegter“. — Bei KEPLER vergleiche man den Schlußhymnus in seinem *Prodromos*, wo es heißt:

Ast ego, quo *credam spatioso Numen in orbe,*

Suspiciam attonitus vasti molimina coeli;

für die Lehre von der Schwerkraft namentlich Abschnitt XXXIII der *Astronomia nova*, für den Übergang von der Gestirnsseele zur mechanischen Auffassung Abschnitt XXXIX und LVII ebendort. Aber auch hier fällt es ihm noch schwer, die in den Gesetzen sich ausdrückende funktionelle Verknüpfung und den Gehorsam der Planeten gegen sie anders zu verstehen als durch eine Planetenseele, welche das Bild der Sonne in seiner wechselnden Größe in sich aufnimmt.

Weltvorstellung aber ist LEIBNIZ, der in unübertrefflicher Schärfe die Metaphysik des Kraftbegriffes ausgesprochen hat. Für ihn liegt das Reale an der Bewegung nicht in der reinen Lageveränderung, sondern in der bewegendem Kraft. „La substance est un être capable d'action — une force primitive“ — überräumlich, immateriell. Der entscheidende Gedanke der *Aktion*, des Grundseins von etwas, des Aus-sich-Erzeugens tritt hier ganz in den Mittelpunkt. Das letzte Element ist der dynamische Punkt, aus welchem die Kraft als eine jenseitige Macht hervorbricht, eine unzerlegbare ausdehnungslose Einheit: *die Monade*. Die einzige Größenbestimmung, welche man zunächst an einen Körper heranbringen kann, ist: die Anzahl der Wirkungspunkte, aus denen er besteht; nur mit Rücksicht auf ihre Verteilung im *Raume* wird der Körper als ein *ausgedehntes Agens* bezeichnet. Nichts von Solidität und von Substanz als einem meßbaren Quantum! Die Kraft bleibt für ihn etwas Spirituelles, „eine gewisse Intelligenz, welche mit metaphysischen Gründen rechnet“ (vgl. die eben zitierten Äußerungen PLATONS). Doch bleibt es bei der *aktiven Einzelwirkung*, die Möglichkeit für das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Individuen ist noch nicht gewonnen; die prästabilierte Harmonie täuscht, gleich einem in phantastischen Farben erstrahlenden Dunstschleier, des furchtbaren Abgrundes Überbrückung vor, der zwischen Monade und Monade klapft. (Hier füllt für uns heute das *Feld* die Lücke.)

Wir erwähnten oben den Briefwechsel zwischen HUYGHENS und LEIBNIZ. Während HUYGHENS alle dynamischen Vorstellungen aus der Erklärung des Stoßes der Atome verbannt wissen will und sich allein auf die Solidität der Substanz und die Prinzipie der Erhaltung von Energie und Impuls stützt, ist für LEIBNIZ dieser Huyghenssche Stoß schon darum unmöglich, weil dabei ein momentaner Sprung der Geschwindigkeit stattfindet; denn auch beim Stoß muß nach seiner Überzeugung die Geschwindigkeit *kontinuierlich* zu Null herabsinken, ehe sie in die entgegengesetzte umschlagen kann. Endlich hat der menschliche Geist Fuß gefaßt im Kontinuum und den uns heute so selbstverständlich gewordenen Sinn für die Kontinuität erworben¹⁾! Im Stoß betätigt sich nach LEIBNIZ die *Elastizität* als eine nach bestimmtem Gesetz wirkende Aktion der materiellen Elementarbestandteile. Neben die repulsive tritt zur Erklärung des Zusammenhalts der Körper die anziehende Kraft. Im gleichen Sinne verwirft NEWTON die hakenförmigen Atome als eine Erklärung, die nichts erklärt, und fährt fort: „Ich möchte aus dem Zusammenhang der Körper lieber schließen, daß die Teilchen derselben sich sämtlich gegenseitig mit einer Kraft anziehen,

¹⁾ Wie schwierig es noch den Zeitgenossen GALILEIS war, die Vorstellung einer kontinuierlich anwachsenden Geschwindigkeit zu fassen, geht aus der ausführlichen Diskussion darüber im „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“ hervor. (Übersetzung von E. STRAUSS, Teubner 1891, S. 21—30.)

welche in der unmittelbaren Berührung selbst sehr groß ist, in kleiner Entfernung die chemischen Wirkungen zur Folge hat, bei weiteren Distanzen jedoch keine merklichen Wirkungen ausübt.“ Das Atom wird zum „Kraftzentrum“. Als solches ist es selbstverständlich kugelförmig (während nach der Substanztheorie kein entscheidender Grund für die Kugelgestalt der Atome bestand); diese Aussage bedeutet hier nichts anderes, als daß die Intensität des Kraftfeldes wegen der Isotropie des Raumes nur eine Funktion der Entfernung sein kann. So hat insbesondere MAXWELL die kinetische Gastheorie durchgeführt, indem er den Huyghensschen Stoß (Kraft, welche für alle Entfernungen r oberhalb einer gewissen Größe a , dem Atomradius, gleich Null ist, für Werte $r \leq a$ aber sogleich unendlich groß wird) ersetzt durch eine repulsive Kraft, welche umgekehrt proportional der fünften Potenz der Entfernung abnimmt. CAUCHY und AMPÈRE bekennen sich klar zu der Auffassung, daß die Zentren Punkte im strengsten Sinne, ohne Ausdehnung sind¹⁾. In den „metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ apriorisiert KANT (unter Ablehnung der Atomtheorie) die zu seiner Zeit herrschenden Anschauungen der Newtonschen Physik, indem er die Materie aus dem Gleichgewicht zwischen anziehender und repulsiver Kraft verstehen will, wie er mit seiner „ersten Analogie der Erfahrung“ in der „Kritik der reinen Vernunft“ den historisch überkommenen Substanzbegriff apriorisiert hatte²⁾. BERZELIUS faßt zuerst den Gedanken, daß die chemische Affinität *elektrischer* Natur sei. Heute ist es schon in beträchtlichem Ausmaße gelungen, aus den zwischen den Atomen, genauer: zwischen den Elektronen und Atomkernen wirkenden elektrischen Kräften den Aufbau der Körper, ihr elastisches, thermisches, elektrisches, magnetisches, optisches und chemisches Verhalten zu erklären; namentlich in den beiden extremen Zuständen der Materie, dem gasförmigen und dem kristallinen.

Wir haben im Abschnitt III. nur von den Gesetzen der Wirkungsausbreitung im Felde gesprochen, da die reine Feldtheorie nur mit solchen Naturgesetzen rechnet; daneben spielen aber heute tatsächlich noch andersartige Gesetze eine Rolle, welche angeben, *wie das Feld von der Materie erregt wird*. Die ganze moderne Physik der Materie, die Quantentheorie, handelt von dieser Frage; und man gewinnt immer mehr den Eindruck, daß es ganz aussichtslos ist, die da sich enthüllenden,

¹⁾ Auch diese Ansicht ist schon im Altertum vorgebildet durch die Pythagoreer, die so offenbar das Feldkontinuum des ANAXAGORAS mit dem Atomismus DEMOKRITS versöhnen wollten. Sie findet sich außerdem, aus analogen Motiven entsprungen, in KANTS Jugendwerk „Physische Monadologie“ und bei BOSCOVICH.

²⁾ Nichts illustriert vielleicht besser seine Zeitgebundenheit als sein Versuch, mit metaphysischen Gründen die anziehende Kraft als eine unmittelbar in die Ferne, die abstoßende als eine nur in der Berührung wirkende zu erweisen.

weitgehend von der ganzen Zahl beherrschten Tatsachen von der reinen Feldtheorie aus zu verstehen. Es kommt ein anderer prinzipieller Punkt hinzu. Nach den in der Feldtheorie gültigen Gesetzen vom Typus der Maxwell'schen Gleichung kann der Zustand des Feldes inklusive der Materie in einem Augenblick willkürlich vorgegeben werden; dadurch ist dann aber der ganze Ablauf, Vergangenheit und Zukunft, eindeutig determiniert, indem die Feldgesetze je zwei unmittelbar in der Zeit aufeinander folgende Feldzustände verknüpfen. In dieser Form gilt hier das Kausalitätsprinzip¹⁾. Die Erfahrung spricht aber mit großer Deutlichkeit für eine andere Kausalität, nämlich dafür, daß die Materie das Feld bestimmt und dieses nur durch die Materie hindurch beeinflusst werden kann; unser willentliches Handeln muß primär stets an der Materie angreifen, auf keinem anderen Wege können wir ein elektromagnetisches Feld erzeugen oder verändern. Aus diesem Grunde scheint mir auch heute noch eine dynamische Theorie der Materie am aussichtsreichsten: *die Materie ein felderregendes Agens, das Feld ein extensives Medium, das die Wirkungen von Körper zu Körper überträgt*. Zu dieser Funktion ist es befähigt durch die in den Feldgesetzen sich ausdrückenden Bindungen des inneren differentiellen Zusammenhangs der möglichen Feldzustände; von der Materie aber hängt es ab, welche dieser Möglichkeiten hier und jetzt zur Wirklichkeit werden.

Die einzige statische kugelsymmetrische Lösung der Maxwell'schen Gleichung $\text{div } \mathfrak{E} = 0$ ist, wie wir schon oben erwähnten, das radiale Feld von der

Stärke $E = \frac{\varepsilon}{4\pi r^2}$; es schießt durch jede um das

Zentrum geschlagene Kugel den gleichen Fluß ε hindurch. Nur ein solches Feld kann also im statischen Zustand von einem im Zentrum liegenden „dynamischen Punkte“ k ausgehen; wir nennen ε dessen „felderregende oder aktive Ladung“. Die Kraft, welche in seinem Felde ein zweiter dynamischer Punkt k' erfährt, der sich in der Entfernung r von ihm befindet, ist $= e' E$, wo e' nur vom Zustand dieses zweiten Korpuskels abhängt; wir bezeichnen e' als dessen „passive Ladung“. Durch Kombination dieser beiden Gesetze ergibt sich die

Coulombsche Wechselkraft von k auf k' zu $\frac{\varepsilon e'}{4\pi r^2}$.

Nach dem Gesetz von der Erhaltung des Impulses muß, wenn wir es auf das abgeschlossene System der beiden Körper k, k' anwenden, die Kraft, mit welcher k' auf k wirkt, der Kraft von k auf k' entgegengesetzt gleich sein; das liefert, wenn e die passive Ladung von k, e' die felderregende Ladung von k' bedeutet, die Gleichung

$$\varepsilon e' = \varepsilon' e \quad \text{oder} \quad \frac{e'}{\varepsilon'} = \frac{e}{\varepsilon}.$$

¹⁾ Ganz kürzlich hat EINSTEIN den Gedanken ausgesprochen, durch überbestimmte Gleichungen im Rahmen der Feldtheorie den Quantentatsachen zu Leibe zu rücken. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1923, S. 359.

Für alle Körper hat also das Verhältnis $\frac{e}{\varepsilon}$ den gleichen Wert; indem wir es = 1 setzen und damit das Gesetz von der *Gleichheit der passiven mit der aktiven Ladung* gewinnen, normieren wir lediglich die Wahl der Maßeinheit für die Ladung. Drücken wir die Kraft, welche ein Körper k auf einen andern k' ausübt, aus durch den Impulsstrom, welcher pro Zeiteinheit durch eine geschlossene, k von k' trennende Fläche im Felde hindurchtritt, so wird das hier verwendete Gesetz der Gleichheit von actio und reactio zur Selbstverständlichkeit, da der Fluß, welcher durch jene Fläche in der einen Richtung (von innen nach außen) hindurchtritt, mathematisch gleich ist dem mit dem negativen Vorzeichen versehenen, in der anderen Richtung (von außen nach innen) hindurchgehenden Fluß. Die Kraftübertragung durch den im Felde fließenden Impulsstrom macht es also restlos verständlich, wie es kommt, daß die *aktive Ladung* ε — definiert als der Fluß, den das elektrische Feld \mathcal{E} durch eine das Korpuskel k umschließende Hülle im Felde hindurchschickt — zugleich als *passive Ladung* fungiert und als solche die Intensität bestimmt, mit welcher das Teilchen von irgendeinem gegebenen elektrischen Felde attackiert wird. Genau die gleiche Überlegung kann man in der Newtonschen Gravitationstheorie anstellen hinsichtlich der felderregenden oder *aktiven Masse* μ , welche das ein Korpuskel umgebende Gravitationsfeld bestimmt, und der passiven oder *schweren Masse* m , zu welcher die Intensität proportional ist, mit der ein gegebenes Gravitationsfeld auf dieses Korpuskel wirkt. In der Tat sind ja die Gesetze der Newtonschen Gravitationstheorie völlig analog zu denen der Elektrostatik; nur hat man in diesem Falle die Maßeinheit für die Masse nicht so normiert, daß die „Gravitationskonstante“ $\frac{\mu}{m}$, welche für alle Körper den gleichen Wert hat, = 1 ist, sondern sie ist im CGS-System = $6,7 \cdot 10^{-8}$. Aus der Planetenbewegung kann man direkt nur die aktive Masse der Sonne und der Planeten entnehmen; es war ein an der Erfahrung nicht zu kontrollierender, nur durch das Prinzip der Gleichheit von actio und reactio berechtigter hypothetischer Ansatz, wenn NEWTON daraus ihre schwere Masse ableitete. Umgekehrt messen wir an unseren irdischen Körpern mit der Wage die schwere Masse; erst durch die Konstatierung, daß auch von ihnen ein schwaches Gravitationsfeld ausgeht, und durch dessen Messung konnte der Wert der Gravitationskonstanten (immer noch wenig genau genug) festgelegt werden. Durch EINSTEINS Relativitätstheorie wurde ferner die bis dahin empirisch konstatierte, aber ganz rätselhafte *Gleichheit von träger und schwerer Masse* als Wesensgleichheit erkannt. Das Resultat der Newtonschen Gravitationstheorie, die Proportionalität zwischen schwerer und felderregender Masse, geht in ihr nicht verloren, ebensowenig die Darstellung der Masse als ein Fluß, den das Gravitationsfeld durch eine das

Korpuskel umschließende gedachte Hülle im Felde hindurchsendet¹⁾. Als Ursache der Trägheit erscheint also jetzt nicht mehr, wie es die spezielle Relativitätstheorie nahegelegt hatte, die im Teilchen konzentrierte Energie, sondern der *Fluß des umgebenden Gravitationsfeldes*. Die Sachlage ist somit die folgende: Die statische kugelsymmetrische Lösung der Feldgleichungen des gravi-elektromagnetischen Feldes enthält zwei Konstanten, ε und μ , „Ladung“ und „Masse“; sie bezeichnen unveränderliche Eigenschaften des felderzeugenden Teilchens, z. B. des Elektrons. Durch das Teilchen ist das Feld in seiner unmittelbaren Umgebung vollständig bestimmt. Die Gültigkeit der mechanischen Gleichungen, in denen μ als träge und schwere Masse, ε als passive Ladung auftritt, ergibt sich daraus, daß sich dieses Eigenfeld des Elektrons in den außerhalb des Teilchens herrschenden, durch die Feldgesetze vom Typus der Maxwell'schen Gleichungen geregelten Feldverlauf einpassen muß. Man hat hier den Unterschied zwischen „Natur“ und „Orientierung“ des Eigenfeldes zu machen. Es haben z. B. alle Quadrate in der Geometrie die gleiche Natur; denn es gibt keine geometrische (nur von dem Quadrat handelnde und es nicht zu anderen geometrischen Gebilden in Beziehung setzende) Eigenschaft, welche einem Quadrat zukäme, einem andern aber nicht; verschiedene Quadrate unterscheiden sich vielmehr lediglich durch ihre Orientierung. In analogem Sinne ist die Natur seines Eigenfeldes durch das Teilchen vollständig bestimmt, hierin bewährt die „Monade“ ihre reine, von nichts Fremdem abhängige Aktivität. Allein hinsichtlich der Orientierung, die gar nicht absolut, sondern nur relativ zum einbettenden Gesamtfeld faßbar ist, erleidet es auch eine Rückwirkung vom Felde. Das Feld zu erregen, ist die wesentliche Funktion der Materie, die Rückwirkung ist sekundär; die mechanischen Gleichungen sind eine Folge der Gesetze für die Erregung und Ausbreitung des Feldes.

Im Gegensatz zu der Meinung von CAUCHY und AMPÈRE hat man dem Elektron einen endlichen Radius zugeschrieben, weil sonst die Energie des elektrostatischen Feldes und damit seine träge Masse unendlich groß wird. Aber die eben erwähnte Formel für das ein dynamisches Zentrum kugelsymmetrisch umgebende Feld enthält die Masse μ , und diese hat offenbar gar nichts damit zu tun, bis zu wie kleinen Werten der Entfernung r herab wir jene Feldformel anwenden. Die Aufklärung liegt in der Darstellung von μ mittels des Flusses, den das Gravitationsfeld durch eine das Teilchen in hinreichend großer Entfernung umgebende Kugel Ω hindurchschickt; läßt man den Radius von Ω zu 0 abnehmen, so strebt jener Fluß nicht gegen 0, sondern gegen $-\infty$. Das Zentrum ist eine Singularität im Felde. Nun ist es gewiß physikalisch unmöglich, daß der Verlauf der Zustandsgrößen irgendwo im Innern des extensiven vier-

¹⁾ Vgl. WEYL, Raum, Zeit, Materie (5. Aufl., Springer 1923), S. 275 und § 38.

dimensionalen Mediums der Welt wirkliche Singularitäten aufweist; und darum war das Bestreben der Mieschen Theorie berechtigt, durch Modifikation der Feldgleichungen den schmalen tiefen Schlund, der sich im Gebiete eines Elektrons im Felde öffnet und von welchem wir aus der Erfahrung höchstens die Randböschung kennen, durch ein regulär verlaufendes, qualitativ dem äußeren gleichartiges Feld, etwa nach Art der Formel (16), auszufüllen. In der allgemeinen Relativitätstheorie aber, die mit der Gültigkeit der Euklidischen Geometrie aufgeräumt hat, brauchen wir dem Raum auch nicht mehr die Zusammenhangsverhältnisse des Euklidischen Raumes zuzuschreiben; er kann vielfach zusammenhängend



Mehrfach zusammenhängendes Gebiet.

sein wie das nebenstehend gezeichnete und schraffierte zweidimensionale Gebiet G und außer dem einen unendlich fernen Saume noch andere innere, den materiellen Elementarteilchen entsprechende Säume besitzen. (Im vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum treten an Stelle der begrenzten „Löcher“ Kanäle oder Schläuche, welche sich in eindimensional unendlicher Erstreckung durch die Welt hindurchziehen; hier liegt die physikalische

Grundlage für die im anschauenden Bewußtsein sich vollziehende Spaltung des Weltkontinuums in Raum und Zeit.) Die Säume selber sind dabei vom Felde aus etwas Unerreichbares, gehören nicht mehr zum Feldgebiet, *im Innern dieser Säume ist kein Raum mehr.* Das weiße Papierblatt, auf welchem das Gebiet G steht, ist nur wie ein Wandschirm, auf welchen die Wirklichkeit G zum Zwecke ihrer bequemeren Beschreibung projiziert ist. Für ein „ganz im Endlichen gelegenes“, d. h. nicht an die Säume heranreichendes Stück S des Raumes gilt dann wohl der Satz, daß der durch die Oberfläche von S hindurchtretende Gravitationsfluß, durch welchen wir die eingeschlossene Masse definierten, gleich der in S enthaltenen Feldenergie ist, welche sich offenbar durch ein über S zu erstreckendes Raumintegral ausdrückt; nicht aber gilt dies für ein ins Unendliche reichendes, d. h. Materie enthaltendes Gebiet. So ermöglicht die allgemeine Relativitätstheorie in überraschender Weise, die Leibnizsche Agenstheorie der Materie durchzuführen. *Danach ist das Materieteilchen selber nicht einmal ein Punkt im Feldraume, sondern überhaupt nichts Räumliches* (Extensives), aber es steckt in einer räumlichen Umgebung drin, von welcher seine Feldwirkungen ihren Ausgang neh-

men. Es ist darin analog dem Ich, dessen Wirkungen, trotzdem es selber unräumlicher Art ist, durch seinen Leib hindurch jeweils an einer bestimmten Stelle des Weltkontinuums entspringen. Was dieses felderregende Agens aber seinem inneren Wesen nach auch sein mag — vielleicht Leben und Wille —, in der Physik betrachten wir es nur nach den von ihm ausgelösten Feldwirkungen und können es auch nur vermöge dieser Feldwirkungen zahlenmäßig charakterisieren (Ladung, Masse). So hat es die Physik im Grunde doch allein mit dem Felde zu tun, jenem extensiven strukturbegabten Medium, das alle die verschiedenen inextensiven materiellen Individuen zu dem Wirkungsganzen einer *Außenwelt* zusammenbindet. Auch der „geistigste“ Verkehr von Seele zu Seele, der gebunden bleibt an den leiblichen Ausdruck, kann nicht anders als durch Fortpflanzung von Wirkungen in diesem Medium zustande kommen. Hier haben wir also, was LEIBNIZ noch fehlte, das Medium der Kommunikation für die Monaden. Indem jede, rein nach eigenem Gesetz, ihre Aktion in dieses Medium wie in ein gemeinsames Becken einfließen läßt, kommt durch dessen an die Feldgesetze gebundenen strukturellen Zusammenhang die Wechselwirkung zustande. Und es kann vielleicht die These, aus der heraus die Naturwissenschaft den Spiritismus und ähnliches ablehnt, nicht schärfer formuliert werden als dahin: Alle Verbindung zwischen Individuen und alle gegenseitige Beeinflussung kann nur mittels der nach den physikalischen Feldgesetzen im extensiven Medium der Außenwelt sich vollziehenden Ausbreitung von Feldwirkungen zustande kommen. Von der Gesetzmäßigkeit der Auslösungsvorgänge wissen wir heute noch herzlich wenig; die Quantentheorie ist da wohl das erste anbrechende Licht.

Was ist Materie? — Nach der Vernichtung der Substanzvorstellung schwankt heute die Wage zwischen der dynamischen und der Feldtheorie der Materie. Eine Antwort in wenigen Worten läßt sich nicht geben und wird sich niemals geben lassen; das bedeutet aber kein ignorabimus. Wir werden um so besser wissen, was die Materie ist, je vollständiger wir die Gesetze des materiellen Geschehens erkannt haben werden, und auf etwas anderes kann diese Frage überhaupt nicht zielen. Alle Begriffe und Aussagen einer theoretischen Wissenschaft, wie es die Physik ist, stützen sich gegenseitig. Statt vor eine kurze endgültige Formel, die man schwarz auf weiß nach Hause tragen kann, stellt uns diese Frage wie alle Fragen grundsätzlicher Art vor eine unendliche Aufgabe.

Der erste internationale Kongreß für angewandte Mechanik.

Von A. NÁDAI, Göttingen.

Obwohl die Betätigungsformen des Lebens aus einer Stufenleiter der Ungleichheiten abgeleitet zu werden pflegen, die als unabänderlich gelten, und obwohl sich in ihnen die verschiedenen Folgen

geschichtlichen Werdens spiegeln, wird man der Beobachtung wohl auch einige Berechtigung nicht absprechen können, daß auf sie oft nicht das Bestehen, das Erstarren oder das Vergehen einer

staatlichen, gesellschaftlichen oder kulturellen Ordnung bestimmend wirken, als vielmehr die Entstehung von Gedanken und von neuen Kenntnissen über die nützlichen Dinge — sei es welchen Zuständen immer diese entsprungen sind. Die Mehrheit verdankt sie gewöhnlich der Arbeit von Wenigen, die ihre Blicke, unbekümmert um die die Allgemeinheit in Atem haltenden Ideen, auf die Vorgänge in der Natur lenkten oder sich vorgenommen hatten, diese letzteren zur Verbesserung der Lebensmöglichkeiten zum Nutzen der Allgemeinheit heranzuziehen.

Wenn man die Entstehung neuer Fortschritte auf einem technischen Gebiete verfolgt, wird man häufig bemerken können, daß sie durch einen Aufschwung eines Zweiges der Naturwissenschaften vorbereitet wurden. Umgekehrt haben starke, ein bestimmtes praktisches Ziel im Auge behaltende Bestrebungen, wie sie der Ingenieurberuf und die Erfindertätigkeit des Technikers in sich schließen, schon oft die neue Forschung angeregt. Die Quellen, aus denen diese beiden Geistesgebiete schöpfen, und die Mittel, deren sie sich bedienen, sind sehr verwandt: Beschreibung der Vorgänge in der Natur, Einschränkung des natürlichen Geschehens — entweder zur Schaffung neuer, denknöwendiger Folgerungen der Erscheinungen, die das Gemeinsame in ihnen zum Ausdruck zu bringen vermögen — oder zur Vervollkommnung irgend eines, dem täglichen Leben dienenden Zweckes.

Die Fortschritte, welche die Technik der Mechanik durch die Möglichkeit einer genaueren Beschreibung der Bewegungen und der Gleichgewichtszustände der Körper verdankt, sind nur ein Beispiel des nützlichen Übergreifens der angesammelten Erfahrungstatsachen eines Wissensgebietes zur Befruchtung eines andern.

Wenn die günstigste Form der starren Luftschiffe und der Tragflügelprofile der Flugzeuge durch Modellversuche in Windkanälen ermittelt werden kann, so erlauben es die Modellregeln der Mechanik, aus den Versuchen im kleinen Maßstab auf die Verhältnisse bei der Strömung der Luft um diese Körper zu schließen. Eine weit ausgebaute Theorie dieser Strömungen gestattet die für das Flugzeug maßgebende Auftriebskraft zu berechnen. Die Kräfte, die das Geschiebe in den natürlichen Flußläufen und in den künstlichen Kanälen der großen Wasserkraftanlagen bewegen, dürften sich wohl demnächst in ähnlicher Weise vorhersagen lassen. Die Benutzung des Kreisels für technische Zwecke, z. B. als Richtungsweiser an Stelle des Magnetkompasses beruht auf einer Anwendung der Gesetze der Bewegung des starren Körpers und im besonderen eines viel angewendeten Verfahrens der Mechanik: der Methode der kleinen Schwingungen von LAGRANGE, mit deren Hilfe die für die Stabilität der Bewegung eigentümlichen Größen aus den vereinfachten Differentialgleichungen berechnet werden können.

Daß die Fortschritte im Brücken- und im Hoch-

bau der Vervollkommnung der Methoden der Statik und nicht zu guter Letzt der Herstellungsverfahren des Eisens, sowie der besseren Kenntnis und Ausnutzung der Festigkeitseigenschaften der minderwertigeren Baustoffe zu verdanken sind, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt dürfte sein, daß in einigen neueren Werken des Brückenbaues, beispielsweise in den im Vergleiche zu ihren Spannweiten äußerst schlanken neueren Bogenbrücken aus Eisenbeton, mit denen die Täler im Zuge von Bahnen besonders im Hochgebirge überspannt werden (Langwieser Viadukt in der Schweiz), die den Techniker erfreuende großartige Kühnheit ihrer Abmessungen sich mit einer vollendeten Schönheit der Form verbindet. Dem Techniker bewußt, dem kunstsinnigen Betrachter vielleicht noch nicht bewußt, haben hier die Forderungen der Statik Ausdrucksformen angenommen, in denen ein Hauch jener Harmonien zu spüren ist, die in den Kunstwerken menschlichen Schaffens sich wiederfinden. Dank der großen Anpassungsfähigkeit der Formen der Eisenbetonbauweise an die sonst in technischen Werken nur schwer zu vereinigenden Forderungen statischer und wirtschaftlicher Art und künstlerischen Schaffens darf erwartet werden, daß sich diese Beispiele bald vermehren werden. Ein Beispiel anderer Art verdient vielleicht in diesem Zusammenhang eine Erwähnung. Bevor die in den hohen Stockwerkbauten der Vereinigten Staaten von Amerika jetzt viel angewendeten sog. trägerlosen Eisenbetondecken in ihren Einzelheiten durchgebildet waren, haben die amerikanischen Ingenieure eine Reihe von sehr kostspieligen Belastungsversuchen an ausgeführten Decken im großen Maßstab angestellt, um ihre Eisenbewehrung zu erproben. Wenn der Ingenieur es vorzieht, die Decken des Eisenbetonbaues ohne die Balkenunterzüge glatt über die Stützen hinweg zu führen und sie in regelmäßigen Gittern von Punkten durch die Säulen abzustützen, berühren sich seine gestaltenden Grundsätze mit dem Streben des Mathematikers nach Ausschaltung alles Entbehrlichen und nach möglicher Vereinfachung der Form. Die Mathematik vermag ihm dann eine Helferin zu werden. Ein Teil der auf die umständlichen Belastungsversuche verwendeten Mühe und Mittel hätte wohl erspart werden können, wenn die Ingenieure die von den Mathematikern seit langer Zeit ausgebildete Theorie der biegsamen Platten früher herangezogen hätten, als es tatsächlich geschehen ist.

Obwohl wichtige Teile der Technik auf der Kenntnis der Gleichgewichtszustände und Bewegungen der starren Körper und der stetig verbreiteten Massen beruhen und die Gebiete der angewandten Mathematik und Mechanik als unentbehrliche Bestandteile der Ingenieurbildung längst erkannt sind, scheint sich erst neuerdings die Erkenntnis eine Bahn gebrochen zu haben, daß die zahlreichen Bande, welche den Techniker mit der Mechanik und mit ihren Grenzgebieten innerhalb der Physik verbinden, noch einer weiteren

Befestigung bedürfen und daß durch ein engeres Zusammenwirken der zur Lösung ihrer neueren Aufgaben am besten vorbereiteten Fachgenossen dem Fortschritte gedient wird.

Es ist das Verdienst von Prof. v. KÁRMÁN, nach dem Kriege zuerst einen wichtigen Schritt in der Richtung einer Fühlungnahme der Fachgenossen der verschiedenen Nationen herbeigeführt zu haben, indem er im Herbst 1922 gemeinsam mit dem italienischen Mathematiker LEVI-CIVITA eine „hydro- und aerodynamische Konferenz“ nach Innsbruck zusammenrief, die einen sehr angeregten Verlauf genommen hat¹⁾. Der Erfolg dieser von etwa 30 Teilnehmern besuchten Konferenz hat sich nun dahin ausgewirkt, daß einige holländische Professoren den sehr verdienstvollen Entschluß faßten, den von Herrn v. KÁRMÁN ausgegangenen Anregungen folgend, einen Kongreß einzuberufen, nachdem sie sich der Unterstützung ihres Vorhabens durch hervorragende Gelehrte versichert hatten. Der Anregung sind zahlreiche Vertreter der angewandten Mechanik und eine stattliche Zahl von Physikern, Mathematikern und von Ingenieuren, die an ihrem Ausbau beteiligt sind, gerne gefolgt, die sich kürzlich aus verschiedenen Ländern am Sitze der holländischen technischen Hochschule in Delft zum ersten internationalen Kongreß für die angewandte Mechanik zusammengefunden haben.

Im Vordergrund der Delfter Tagung standen als Verhandlungsstoff zwei Hauptgebiete der angewandten Mechanik: die Dynamik der inkompressiblen Flüssigkeiten und die auf die Bruchvorgänge und die Bildsamkeit der festen Körper bezughabenden Fragen der Festigkeitslehre.

Man ist in der Hydro- und Aerodynamik bemüht, die für die endgültige Ausbildung einer Strömungsform ausschlaggebenden Vorgänge zu erfassen, die sich in den an der Oberfläche der umspülten Körper oder der benetzten Wandungen zurückgehaltenen Flüssigkeitsteilen, in den „Grenzschichten“, abspielen. In ihnen macht sich die Reibung der übereinander hinweggleitenden Flüssigkeitsschichten so stark bemerkbar, daß in diesen Schichten das mechanische Bild der vollkommenen Flüssigkeit zur Beschreibung der Bewegung nicht mehr ausreicht. Eine Reihe von bedeutsamen Untersuchungen und schönen Vorführungen bezog sich auf die Vorgänge in diesen Grenzschichten, ferner auf die Klärung der Bedingungen, unter denen die dünnen Flüssigkeitsschichten, in denen die Zähigkeit sich bemerkbar macht, sich in Wirbel auflösen. Der durch diesen Zerfall eingeleiteten wirbeligen Flüssigkeitsbewegung und ihren Gesetzmäßigkeiten in ihrem ausgebildeten Zustand, der sogenannten Turbulenz, waren scharfsinnige Untersuchungen gewidmet.

In der Festigkeitslehre macht sich, soweit die Metalle in Betracht gezogen werden, das Eindringen der Metallographie mit allen ihren Hilfs-

¹⁾ Man vergleiche ihren kürzlich erschienenen Verhandlungsbericht. Verlag von Julius Springer, Berlin.

verfahren stärker bemerkbar. Die empirische Registrierung einer Anzahl von mehr oder weniger willkürlich herausgegriffenen Erfahrungstatsachen und Größen bildete hier, in Ermangelung besserer Einsichtsquellen in der ersten Zeit ihrer Entwicklung die ersten Grundlagen, aus denen sich im Laufe der Jahre gewisse Verfahren zur Prüfung der Festigkeitseigenschaften der Konstruktionsmaterialien entwickelten. So entstanden im Laufe der letzten Jahrzehnte die Verfahren des Materialprüfungswesens und die technologischen Proben, die man in der Absicht eingeführt hatte, um die aus dem täglichen Leben entlehnten Begriffe der Festigkeit, der Härte, der Zähigkeit usw. auch zur Kennzeichnung der Eigenschaften der Konstruktionsmaterialien des Ingenieurs heranzuziehen. Obwohl der Wunsch einer allgemeinen Begründung der Festigkeitslehre auf Elementargesetzen auf diesem Wege sich kaum dürfte verwirklichen lassen und die Aussichten für eine solche vorerst in weiterer Ferne winken, wurden durch diese Verfahren viele nützliche Kenntnisse gesammelt. Eine befriedigendere Klärung aller mit den Bruchvorgängen und mit den bildsamen Formänderungen der festen Körper zusammenhängenden Fragen scheint sich durch die zur Erklärung gewisser Bruchphänomene kürzlich geäußerten Ansichten und durch die vermehrte Anwendung der Hilfsmittel der Physik und dort, wo die Grundgesetze bereits sich feststellen ließen, auch der mathematischen Methoden vorzubereiten.

Den Fragen der Hydrodynamik und der Festigkeit waren zwei allgemeine Sitzungen des Kongresses gewidmet. C. B. BIEZENO (Delft) berichtete über graphische Konstruktionen, die sich auf in endlich vielen Punkten oder in stetiger Weise federnd unterstützte durchlaufende Träger bezogen, ferner über ein Rechenverfahren, mit dem er die Spannungsverteilung in rechteckigen Platten bestimmte. Dasselbe ist dem Ritzschen Verfahren nachgebildet, dessen bekannte Extremalforderung des Minimums der Energie es durch eine andere Integralbedingung ersetzt. Der um die Durchbildung eines optischen Meßverfahrens zur Bestimmung der Spannungsverteilung in beanspruchten Körpern sehr verdiente Ingenieur E. G. COKER (London) konnte in einer Reihe gelungener farbiger Aufnahmen schöne Anwendungsbeispiele seines „photoelastischen“ Meßverfahrens vorzeigen. Es beruht auf der alten Beobachtung der Optik, daß durchsichtige Körper in gespanntem Zustand das Licht in doppelter Weise brechen und wurde von Coker in einer Weise ausgebildet, daß man es zur Bestimmung von ebenen Spannungsverteilungen mit Erfolg im Maschinenbau verwendet. Der Apparat gibt die Isoklinen der Hauptspannungsrichtungen (die Kurven, entlang denen das Hauptspannungskreuz eine unveränderliche Richtung hat) wieder. Beobachtet werden: die Summe und die Differenz der Hauptspannungen und die Lage ihres Kreuzes. — Über den gegenwärtigen Stand der Mechanik der Gleichgewichtszu-

stände plastischer Körper gab das bedeutsame Referat von L. PRANDTL (Göttingen) eine eingehende Darstellung. Der mathematischen Behandlung der Spannungsverteilungen in den plastischen Körpern sind zur Zeit hauptsächlich diejenigen Körper zugänglich, die unter einer gleichbleibenden Schubspannung fließen, obwohl es gelungen ist, Ansätze auch für allgemeinere Fließgesetze aufzustellen und an vereinzelt Beispielen auch explicite auszuarbeiten. Das an der Fließgrenze beanspruchte weiche Eisen ist einer der wichtigsten Repräsentanten eines solchen Körpers. Für diesen „speziellen“ plastischen Körper ist es in den letzten Jahren gelungen, eine Anzahl strenger Lösungen, so für das ebene Problem (PRANDTL, HENCKY, CARATHEODORY und ERH. SCHMIDT) und für das Torsionsproblem (der Referent und E. TREFFTZ) anzugeben. — A. A. GRIFFITH (Farnborough) wies auf die Unstimmigkeit hin, die zwischen dem aus den intermolekularen Kräften gefolgerten Wert der Zugfestigkeit spröder Körper und ihren beobachteten Werten besteht. Die physikalische Festigkeit ist sehr viel größer, als die beobachteten Bruchspannungen im Zugversuch spröder Körper. Für seine, seit einigen Jahren vertretene Ansicht der Schwächung dieser Körper durch zahlreiche, unsichtbare Risse sprachen die verblüffenden Experimente, mit denen es ihm gelang, den Nachweis zu erbringen, daß nahe bis zur Schmelztemperatur erhitzte und nachher rasch abgekühlte Glas- oder Quarzfäden oder Stäbchen, solange sie sich in dem instabilen und rißlosen Zustand befinden, tatsächlich eine wohl noch an keinem Stoffe beobachtete enorme Zugfestigkeit (bis zu 60 000 kg/qcm) besaßen, während die gleichen Fäden nach ihrer leichtesten Berührung, sobald eine Kristallisation in ihnen begann, oder die unsichtbaren Risse sich bildeten, wieder ihre gewöhnlichen, niedrigen Festigkeitswerte zurückerhielten. Die grundlegenden Feststellungen GRIFITHS wurden durch einige Versuche, über die der russische Physiker JOFFE in einer Diskussionsbemerkung einige Angaben machte, gestützt, der kürzlich festgestellt hatte, daß ein so morscher Stoff, wie Steinsalz, wenn er in einem durchfeuchteten Zustand auf Zug belastet wird, die Festigkeit von Stahl erlangen kann. — Mit seinen verwunderlich verzerrten Aluminiumgroßkristallen lenkte J. CZOCHRALSKI (Frankfurt a. M.) die Aufmerksamkeit auf ein bemerkenswertes Ergebnis der Metallforschung, auf die Möglichkeit der Erzeugung von großen Metallkristallen, deren Formänderungen viel zur Klärung der Elementarvorgänge der bildsamen Formänderungen der Metalle beigetragen haben, um deren Erforschung sich besonders CZOCHRALSKI sehr verdient gemacht hat. Zur Erzeugung großer Metallkristalle stehen heute drei Verfahren zur Verfügung: 1. die Ausscheidung aus einer vorsichtig abgekühlten Schmelze; 2. ihre Züchtung zuerst in fadenförmiger Form und ihre Vergrößerung durch Anlagerung; und 3. ihre Erzeugung durch den

Rekristallisationsvorgang, bei dem es gelingt, einzelne Individuen auf Kosten der Substanz ihrer Nachbarn wachsen zu lassen.

G. J. TAYLOR (Cambridge) führte eine Gruppe mechanisch weitgehend geklärter Phänomene in Flüssigkeiten vor, die sich in gleichförmiger Drehung befanden. Er zeigte in einem Versuche, daß in einer zähen, zwischen zwei konzentrischen, mit verschiedener Winkelgeschwindigkeit sich drehenden Zylindern eingeschlossenen Flüssigkeit regelmäßige Wirbelringe entstehen können. Die Flüssigkeit strömt entweder in schlichter Weise in konzentrischen Zylinderflächen, oder ihre Teilchen beschreiben außer dieser Bewegung spiralförmige Bahnen um kreisförmige Wirbelmittellinien, sie teilt sich dann innerhalb des engen ringförmigen Spaltes genau in der theoretisch ermittelten Weise in Wirbelringe. — In einem lichtvollen Vortrag berichtete TH. v. KÁRMÁN (Aachen) über die Stabilitätsfragen der schichten Flüssigkeitsströmungen und die Theorie der wirbeligen Bewegung der Flüssigkeiten. Er beleuchtete die verschiedenen Seiten des Turbulenzproblems: die Zurückführung der Reynoldsschen Zahl auf gaskinetische Größen, das Verfahren der kleinen Schwingungen, die Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung in der Nähe einer Wand durch die Anwendung der Modellregeln, den Zerfall der schichten Strömung in regelmäßige Wirbelreihen (Entstehung der Turbulenz) und gab die Grundlinien seiner neuen Abschätzungen der Wirbelgrößen mit Hilfe statistischer Verfahren bekannt. — J. M. BURGERS (Delft) berichtete über seine gemeinsam mit VAN DER HEGGE ZIJNEN angestellten sorgfältigen Versuche über die Strömung innerhalb einer Grenzschicht. Diese wurde in einem Windkanal durch eine an ihrer angeströmten Kante zugeschärfte Glasplatte erzeugt. Mit Hilfe empfindlicher Hitzdrahtanemometer konnte die genaue Verteilung der Geschwindigkeit entlang der Glasplatte aufgenommen, ein schlichter und ein wirbeliger Teil innerhalb der an ihr sich ausbildenden Grenzschicht nachgewiesen und das Wandern der Umschlagstelle festgestellt werden, wenn die Schwankungen in der anströmenden Luft sich änderten. Im wirbeligen Teil der Grenzschicht fand sich eine Geschwindigkeitsverteilung senkrecht zur Wandung, die mit dem von PRANDTL und VON KÁRMÁN vorausgesagten „ein Siebentel-Gesetz“ in guter Übereinstimmung stand. — T. LEVI-CIVITA (Rom) sprach über die strenge Ermittlung der Wellen großer Amplitude einer schweren Flüssigkeit, E. HOGNER (Stockholm) über die Theorie der Bugwellen des Schiffes.

Von den zahlreichen Vorträgen, die in den drei (gleichzeitig tagenden) Abteilungssitzungen abgehalten wurden¹⁾, können hier nur einige Erwähnung finden (schon aus dem Grunde, weil der Referent nur einen Teil von ihnen anhören konnte). R. v. MISES (Berlin) wies auf ein neues, von ihm in

¹⁾ Die Vorträge werden in einem von der Kongreßleitung vorbereiteten Bande erscheinen.

seinen Einzelheiten weit durchgearbeitetes Hilfsmittel hin, mit dem sich gewisse Bewegungen oder Gleichgewichtszustände in der Mechanik in der einfachsten Weise beschreiben lassen. Die 6 Bestimmungsstücke der Bewegung eines starren Körpers werden in einem einzigen, vektoriellen Gebilde vereinigt, das er mit Benutzung einer schon von STUDY eingeführten Bezeichnungsweise „Motor“ nennt und zur Grundlage vektorieller Operationen wählt. TH. WYSS (Danzig) legte seine durch viele mühevollen Beobachtungen gewonnenen Ergebnisse von Spannungsermittlungen in beanspruchten hakenförmigen Körpern vor. E. SCHWERIN (Berlin) entwickelte die Lösung einer schwierigen Aufgabe der Elastizitätslehre: des Knickproblems eines verdrehten dünnwandigen Zylinders. Mit einer ähnlichen Aufgabe hatte sich SOUTHWELL (Teddington) beschäftigt, nämlich mit der Bestimmung der kritischen Spannung, unter der ein langer, eingespannter Plattenstreifen, der auf reinen Schub beansprucht wird, instabil wird und ausknickt. Er konnte die wellige Fläche des Streifens in Kupferblechmodellen erzeugen und wies auf eine Analogie hin, die diese Aufgabe der Elastizitätslehre (die eine Bedeutung für die Berechnung der Knicksicherheit der Stegbleche von vollwandigen Trägern besitzt) in der Hydrodynamik hat. R. GRAMMEL (Stuttgart) sprach über die Knickung von Schraubenfedern und wies auf die gemeinsamen Merkmale und die Unterschiede hin, die diese Aufgaben besitzen, wenn man sie mit den Knickungsfällen des geraden Stabes vergleicht. W. HORT (Charlottenburg) entwickelte ein Verfahren zur Berechnung der Eigentöne nichtparallelepipedischer Stäbe, das auf dem Rayleighschen Prinzip der Korrektur der Töne eines wenig geänderten Systems beruht. K. TERZAGHI (Konstantinopel) zeigte, daß eine Aufgabe des Gründungsbaues: die Bestimmung des zeitlichen Verlaufes eines Setzungs Vorganges einer Tonschicht auf die Differentialgleichung der geradlinigen Fortpflanzung der Wärme durch Leitung führt. H. REISSNER (Charlottenburg) kleidete das Erddruckproblem im ebenen Falle in die Form von partiellen Differentialgleichungen und entwickelte aus ihnen eine wichtige Lösung für die Spannungsverteilung eines Erdkörpers unter einer auf ihm lastenden Mauer. H. HENCKY (Delft) führte die Theorie plastischer Deformationen auf ein Variationsproblem zurück und unterschied zwei Stadien der Plastizität im Hinblick auf die Wirkung der Selbstspannungen. Über eine eigenartige Erweiterung des Ritzschen Verfahrens zur Aufstellung der Lösungen der Randwertaufgaben der partiellen Differentialgleichungen berichtete R. COURANT (Göttingen). Da es oft schwierig oder unbequem ist, sich eine Klasse geeigneter, nämlich die Randbedingungen des Problems befriedigender, willkürlicher Funktionen zu verschaffen, bedeutet es nunmehr eine wesentliche Erleichterung, daß man auf die Erfüllung der Randbedingungen überhaupt verzichten darf, wenn man nur in der Extremalforderung ge-

eignete Randintegrale als Zusatzglieder hinzunimmt. Es gelingt auf diese Weise eine Randwertaufgabe mittels einer, nur der Vollständigkeitsbedingung genügenden Reihe sonst völlig willkürlicher Funktionen zu approximieren, wenn man nur die Beiwerte aus einer in der erwähnten Weise vervollständigten Variationsbedingung berechnet. V. BJERKNES (Bergen) führte die Versuche zur Theorie seines Vaters C. A. BJERKNES über die Anziehung oder Abstoßung von pulsierenden Kugeln oder Zylindern vor, die in einer Flüssigkeit schwingen, und wies auf die Analogie dieser Erscheinungen in der Elektrizitätslehre hin. Die hinter einem Wehr und dem „Wassersprung“ entstehenden, verwickelten, wirbelartigen Gebilde, in denen sich die rasch abfließenden Wassermassen mit langsamer bewegten mischen, die sog. Wasserwalzen der praktischen Hydrauliker beschäftigten TH. REHBOCK (Karlsruhe), der sie zur Vernichtung der Energie der überschießenden, über die Wehre abzuleitenden Wassermengen von Flüssen verwendet hat. G. KEMPF (Hamburg) berichtete über neue, für die Bestimmung der Reibungswiderstände der Schiffe wichtige Schleppversuche mit langen, röhrenförmigen Körpern in Wasser. H. FÖTTINGER (Danzig) führte einen mechanischen Apparat vor, der es gestattet, die Geschwindigkeit innerhalb einer Flüssigkeitsströmung zu bestimmen, die von Wirbeln oder Quellen herrührt, die entlang einer Linie verteilt sind. Über die durch die plastische Verformung in metallenen Gegenständen entstehenden Eigen- oder Nachspannungen teilte G. MASING (Berlin) bemerkenswerte neue Erfahrungstatsachen mit, die er an gepreßten und gebogenen Stücken aus Messingblech festgestellt hatte. B. P. HAIGH (Greenwich) unterschied zwei verschiedene Arten der Vorgänge, welche in einem Metall dem Ermüdungsbruch vorangehen. Die erste Art der Hysteresis wird in den Anfängen der Dauerbruchversuche beobachtet, solange keine strukturellen Änderungen nachweisbar sind; die zweite Art in den späteren Zyklen hängt mit Änderungen des Gefüges zusammen und in ihnen sind die Ursachen der allmählich sich entwickelnden Ermüdungsbrüche (die man neuerdings durch feine thermoelektrische Temperaturmessungen nachweist) zu suchen.

Um das Inslebenrufen und um die umfangreichen Vorbereitungen des Kongresses haben sich die Professoren der Technischen Hochschule in Delft und unter ihnen besonders die Herren C. B. BIEZENO (Vorsitzender), J. M. BURGERS (Schriftführer), J. A. SCHOUTEN und E. B. WOLFF sehr verdient gemacht, deren aufopferungsvoller Arbeit es vor allem zu verdanken war, daß dieser erste internationale Kongreß der angewandten Mechanik zustande kommen konnte. Es dürfte sie mit Genugtuung erfüllen, daß diese Tagung allen ihren Teilnehmern eine Fülle wertvoller Anschauungen und neuer Anregungen gebracht hat und darüber hinaus eindringlich zur Zusammenarbeit auf wissenschaftlichem Gebiete ermahnte und hier vielleicht einen verheißungsvollen weiteren Schritt

zum Wiederaufleben eines Meinungs austausches unter den Forschern verschiedener Länder bilden dürfte. Die Folgen gewisser Leitsätze eines in der Vergangenheit absinkenden Jahrzehnts waren noch zu spüren, einige Nationen glaubten auch weiterhin darauf verzichten zu können, ihre Teilnehmer zu einer Aussprache über Fachfragen zu entsenden, an der Deutsche teilnehmen. Nachdem Vertreter der Mechanik aus der weitaus größten Zahl der verschiedenen Länder sich an dieser Tagung beteiligt hatten (es waren aus den fernem, überseeischen Ländern solche anwesend), erscheint es sehr wahrscheinlich, daß bei der nächsten, bereits ins Auge gefaßten Zusammenkunft den Motiven, die die anderen zur Teilnahme bewegt hatten, bei allen Gehör geschenkt werden dürfte. Ein den Teilnehmern überreichtes Abzeichen in Delfter Porzellan erinnerte an ein altes Experiment der Mechanik, an die im Gleichgewicht befindlichen Stränge einer über zwei schiefe Ebenen gelegten, schweren Kette, dessen Bild das Werk des Holländers STEVIN (1605) auf dem Titelblatt

mit den Worten: „Wonder en is gheen Wonder“ dereinst schmückte. Eine Deutung der auf dem Abzeichen von der Stevinschen Kette eingeschlossenen Anfangsbuchstaben J. M. C., die am Schlusse des Kongresses unter den Teilnehmern sich verbreitete, möge dem Leser auch nicht vorenthalten werden, sie wußte sie auf Englisch mit den Worten: „I must collaborate“ und im Hinblick auf einen, nach dem Fernbleiben sich möglicherweise fühlbar machenden Schaden für eine der fehlenden Teilnehmernationen mit „il me coûtera“ zu erklären. Die gastfreundliche Aufnahme, deren sich die Teilnehmer erfreuen durften, die Aufenthalte im nahen Haag und Scheveningen, die Fahrt durch die um jene Zeit in der Blüte stehenden Tulpen- und Hyazinthenfelder, das freundliche holländische Städtchen Delft und die Besichtigung der hervorragenden Forschungsinstitute der Glühlampenfabrik von Philips in Eindhoven werden in allen Teilnehmern weitere angenehme Eindrücke und Erinnerungen hinterlassen haben.

Der Ursprung des Nordlichtspektrums.

Durch die Tageszeitungen wurde bereits vor einiger Zeit die Mitteilung verbreitet, daß es dem norwegischen Physiker, Professor VEGARD gelungen ist, nachzuweisen, daß das Spektrum des Nordlichtes identisch sei mit der Lichterscheinung, die man erhält, wenn man festen Stickstoff mit Kathodenstrahlen bombardiert. Über diese kurze Nachricht hinaus, die berechtigtes Aufsehen erregte, erfahren wir nun Genaueres durch die erste ausführlichere Publikation von Herrn VEGARD, die zwar auch noch als eine vorläufige anzusehen ist, aus der sich aber doch schon eine Anschauung gewinnen läßt, über die Bedeutung und Tragweite der Vegardschen Entdeckung. Um ein kurzes Urteil gleich vorwegzunehmen: Es handelt sich hier allem Anschein nach um die Lösung eines Problems, mit dem sich viele Geo- und Astrophysiker erfolglos beschäftigt haben und das bisher zu den merkwürdigsten Rätseln der kosmischen Erscheinungen gehörte. Über den Weg, der zu diesem Ziele führte, zu berichten, soll nicht die Aufgabe dieses Referates sein, da Herr VEGARD demnächst selbst darüber in dieser Zeitschrift berichten wird. Wir möchten nur den Inhalt der oben bereits erwähnten Arbeit hier kurz wiedergeben. Da die von Herrn VEGARD zur Klärung des Nordlichträtsels ersonnenen Versuche im Kältelaboratorium von Professor KAMERLINGK ONNES in Leyden ausgeführt wurden und auch nur dort ausgeführt werden konnten, weil die zur Erregung der benötigten tiefen Temperaturen erforderlichen Hilfsmittel sonst nirgends vorhanden sind, ist diese Arbeit in den Veröffentlichungen der Amsterdamer Akademie der Wissenschaften¹⁾ erschienen. Aus ihrem Inhalt entnehmen wir folgendes:

Durch langjährige systematische Untersuchung des Nordlichtspektrums war VEGARD zu der Anschauung gekommen, daß die oberen Schichten der Atmosphäre oberhalb 90 km aus submikroskopisch kleinen, staubförmigen Teilchen aus gefrorenem Stickstoff bestehen. Durch den Photoeffekt der Sonnenstrahlung sind diese

Teilchen, wie VEGARD annimmt, mehr oder weniger elektrisch geladen und werden durch die dabei auftretenden elektrischen Kräfte gegen die Schwere in der genannten Höhe im Gleichgewicht gehalten. Die Auffassung über die Entstehung des Nordlichtes ist nun bekanntlich diese, daß von der Sonne kommende Kathodenstrahlen in die Atmosphäre eindringen und diese zum Leuchten anregen. Wenn also tatsächlich die oberen Schichten der Atmosphäre aus festem Stickstoff bestehen, so muß sich die beim Nordlicht beobachtete Lichterscheinung in Laboratoriumsexperimenten dadurch nachahmen lassen, daß man festen Stickstoff mit Kathodenstrahlen bombardiert. Dieses Experiment hat nun VEGARD in Leyden ausgeführt. Wir wollen die im Prinzip sehr einfache, in der technischen Ausführung aber sehr schwierig herzustellende Apparatur, die er dazu benutzt hat, an Hand der Fig. 1 kurz beschreiben: Der eigentliche Versuchsapparat, ein kompliziertes Vakuumgefäß, besteht aus 2 Teilen I und II. Der untere Teil II dient zur Erzeugung der Kathodenstrahlen. Er besteht im wesentlichen aus einer Wehneltkathode 10, die durch einen durch die Zuleitungen 13 zugeführten Strom auf Glühtemperatur geheizt wird. Als Anode dient ein Kupferblock 9, der eine feine Durchbohrung hat. Durch eine zwischen Kathode und Anode angelegte Spannung, die variiert werden kann, werden die von der Kathode ausgehenden Elektronen beschleunigt und treten durch die Durchbohrung der Anode in den darüber befindlichen Raum und treffen hier bei 6 auf eine Kupferplatte, die ähnlich wie die Antikathode eines Röntgenrohres unter 45° geneigt ist. Diese Kupferplatte bildet das untere Ende des Teiles I der Apparatur, der nun dazu dient, die zur Erzeugung des festen Stickstoffs erforderlichen tiefen Temperaturen herzustellen. Zu diesem Zwecke wird in das Kupfergefäß 2, auf dessen komplizierte Inneneinrichtung wir nicht eingehen wollen, flüssiger Wasserstoff eingeleitet, der sich im unteren Teile ansammelt und den Kupferstab 3, dessen Ende 6 von den Kathodenstrahlen getroffen wird, abkühlt. In dem Raum über der Anode sind noch verschiedene Anordnungen getroffen, die dazu dienen, das Ende 6 des Kupferstabes möglichst

¹⁾ L. VEGARD, Light emitted from solid Nitrogen when bombarded with Cathode Rays, and its bearing on the Auroral Spectrum, Proc. Roy. Acad. Amsterdam, 27, 113. 1924.

sorgfältig gegen jede Wärmezufuhr zu schützen. Auch auf diese Einzelheiten wollen wir nicht eingehen. Vor Beginn des eigentlichen Versuches wird nun ein Stickstoffstrom durch das Vakuumgefäß hindurchgeleitet. An der kalten Stelle, deren Temperatur etwa 20° absolut ist, schlägt sich dann fester Stickstoff in Form von kleinen Krystallen nieder. Die Dicke dieser Schicht wird auf 0,5–1 mm geschätzt. Der Stickstoffstrom wird dann durch die Capillaren 16 oder 17 gedrosselt, so daß der Druck in II einen für die Entladung günstigen Wert hat. Der Raum über der Anode wird möglichst vollständig ausgepumpt. Dann wird die Wehneltkathode geheizt und die beschleunigende Spannung angelegt. Nach Überwindung zahlreicher Schwierigkeiten wurde der erste Versuch am 16. Januar d. J. ausgeführt. Er ergab das überraschende Resultat, daß der von den Kathodenstrahlen getroffene feste Stickstoff tatsächlich in grünlicher, dem Nordlicht

lichtspektrums mit den Kanten von Stickstoffbanden, und zwar den sog. negativen Stickstoffbanden zusammenfallen. Es sind dies vor allem die Linien $\lambda = 4708, 4278$ und 3914 . Dabei blieb aber merkwürdig, daß diese Banden im Nordlicht bis auf die an der Kante liegenden Linien zusammengeschrumpft sind und eine Intensitätsverteilung zeigen, die sich in Laboratoriumsversuchen bisher nicht reproduzieren ließ. Trotzdem konnte kaum Zweifel bestehen, daß die eben genannte Identifizierung die richtige ist. Völlig ungeklärt blieb aber der Ursprung der beiden Linien N_1 und N_2 . Hier schaffen nun VEGARDS Versuche Klarheit. Das erste Spektrogramm, das bei 200 Volt beschleunigender Spannung aufgenommen wurde, zeigt in der Gegend von 5577 eine allerdings sehr diffuse Linie, außerdem Linien bei 4708, 4278 und 3914. Bei 350 Volt kommt auch die Linie N_2 heraus, während die Intensität von N_1 zurückgeht. Wird aber die Spannung auf 500 oder gar 750 Volt

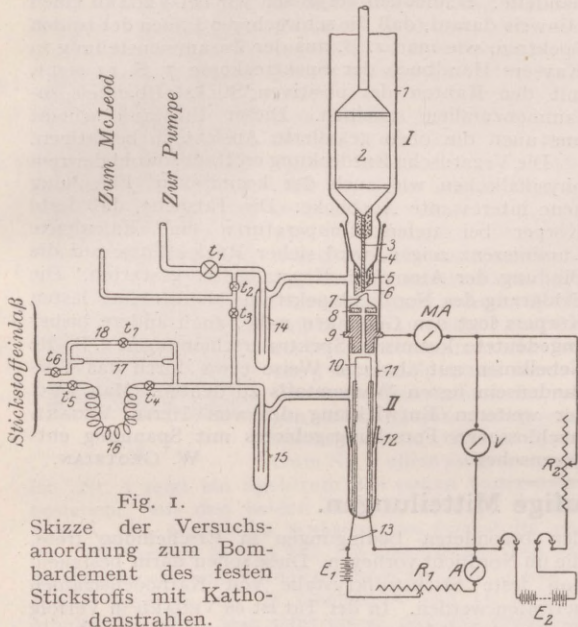


Fig. 1.

Skizze der Versuchsanordnung zum Bombardement des festen Stickstoffs mit Kathodenstrahlen.

ähnlicher Farbe leuchtete. Die Untersuchung dieses Lichtes mit einem Quarzspektrographen ergab ein Spektrum, das weitgehende Ähnlichkeit mit dem Nordlichtspektrum zeigte.

Um dies darzutun, müssen wir eine kurze Bemerkung über das Nordlichtspektrum einschalten. Die spektrale Untersuchung des Nordlichtes, die wegen der Lichtschwäche der Erscheinung auf große Schwierigkeiten stößt, ergibt ein Spektrum, das aus einer Reihe von mehr oder weniger scharfen Linien besteht, die auf den Spektralbereich vom Grünen bis ins Ultraviolette verteilt sind. Besonders intensiv und für die Farbe des Nordlichts bestimmend ist eine Linie im Gelbgrünen, deren Wellenlänge von БАВСОК¹⁾ sehr genau zu 5577,350 bestimmt wurde. Diese Linie wollen wir mit N_1 bezeichnen zur Unterscheidung von einer zweiten im Blaugrünen liegenden Linie N_2 , die nur bei sehr starken Nordlichterscheinungen beobachtet wurde und deren nicht sehr genau bekannte Wellenlänge 5230 ÅE. ist. Durch frühere Untersuchungen von VEGARD und anderen Forschern war nun nachgewiesen, daß abgesehen von N_1 und N_2 die übrigen starken Linien des Nord-

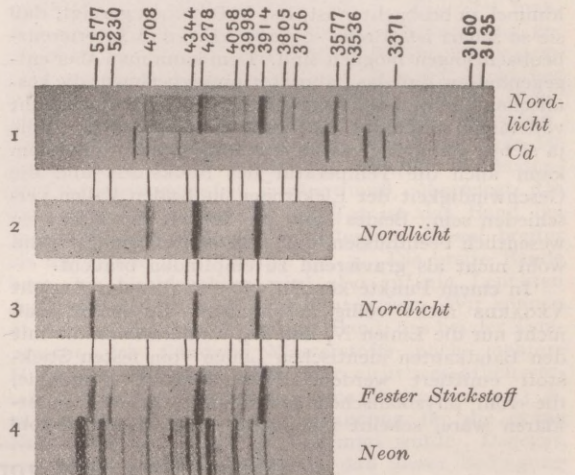


Fig. 2. Spektren des Nordlichtes und des festen Stickstoffs mit demselben Spektrographen aufgenommen. Nummer 1 und 2 sind mit gewöhnlichen, 3 und 4 mit grünempfindlichen Platten aufgenommen.

erhöht, so leuchtet die Schicht des festen Stickstoffs so intensiv, daß mit 5 Minuten Expositionszeit Aufnahmen gemacht werden konnten, die nun N_1 sehr intensiv und nicht so unscharf zeigen wie auf dem ersten Spektrogramme, außerdem N_2 wesentlich schwächer und dann wieder die mit den Stickstoffbanden identischen Linien bei $\lambda = 4708, 4278$ und 3914 . Wir geben in Fig. 2 eine Reproduktion der Spektren von Nordlicht und festem Stickstoff, mit demselben Spektrographen aufgenommen. Die Spektrogramme 1, 2 und 3 sind Nordlichtspektren, 1 und 2 mit gewöhnlichen, 3 mit grün empfindlichen Platten aufgenommen, 4 ist das Spektrum des festen Stickstoffs. Cd und Neon sind Vergleichsspektren. Die Übereinstimmung der Spektren, die in die Augen springt, ist in der Tat frappant, sie wird noch besser, wenn man auch die schwächeren Linien, die auf der Reproduktion kaum zu sehen sind, zum Vergleich mit heranzieht. VEGARD hat seine Spektren genau vermessen und auch Photometerkurven aufgenommen. Daraus ersieht man besonders deutlich, daß nicht nur die Wellenlängen innerhalb der allerdings nicht sehr großen Meßgenauigkeit, sondern vor allem auch die Intensitätsverteilung in den beiden Spektren

¹⁾ Naturwissenschaften II, 944. 1923.

weitgehende Übereinstimmung zeigen. Wenn es hier- nach auch schon als sehr wahrscheinlich gelten kann, daß das Nordlichtspektrum festem Stickstoff seinen Ursprung verdankt, so wird dies auch noch durch eine weitere Beobachtung wesentlich gestützt. VEGARD beobachtete nämlich, daß die mit Elektronen bestrahlte Schicht von festem Stickstoff weiter leuchtet, nachdem die Elektronenstrahlung abgeschaltet war. Noch 5 Minuten lang war ein grünliches Leuchten beobachtbar. Wir haben es hier also mit einer ausgesprochenen Phosphoreszenz des festen Stickstoffs zu tun. Ganz analoge Beobachtungen sind auch beim Nordlicht gemacht worden: Bei starken Nordlichterscheinungen leuchtet der Himmel noch 5–10 Minuten nach Verschwinden des eigentlichen Lichtes in grünlicher Farbe nach.

Als Einwand gegen die Richtigkeit der Vegardschen Beweisführung könnte man geltend machen, daß die Linien des festen Stickstoffs sicher nicht so scharf sind wie die entsprechenden Nordlichtlinien. Speziell von der gelbgrünen Nordlichtlinie, die stets am Nachthimmel zu beobachten ist, hat ja BABCOCK gezeigt, daß sie so scharf ist (Breite $< 0,035 \text{ \AA.}$), daß Interferenzbeobachtungen möglich sind. Dem kann man aber entgegenhalten, daß das Laboratoriumsexperiment die kosmischen Verhältnisse zwar weitgehend, aber doch nicht vollständig nachahmt. Im Experiment sind die Krystalle ja sicher viel größer als in der Atmosphäre, außerdem kann auch die Temperatur des Stickstoffs und die Geschwindigkeit der Elektronen in beiden Fällen verschieden sein. Beides kann die Schärfe der Linien so wesentlich beeinflussen, daß man den obigen Einwand wohl nicht als gravierend zu empfinden braucht.

In einem Punkte können wir uns aber der Ansicht VEGARDS nicht völlig anschließen. Er meint, daß nicht nur die Linien N_1 und N_2 , sondern auch die mit den Bandkanten identischen Linien vom festen Stickstoff emittiert werden. Diese letztere Annahme, die vom physikalischen Standpunkte schwer zu erklären wäre, scheint uns nicht nötig. Denn sowohl

in der Atmosphäre wie im Experiment ist doch sicher auch gasförmiger Stickstoff vorhanden, der diese Linien in Emission geben kann, sei es, daß es sich um die Moleküle handelt, die infolge des bei diesen Temperaturen allerdings sehr niedrigen Dampfdruckes vorhanden sind, sei es um solche, die durch den Aufprall der Kathodenstrahlen selbst aus dem Krystallverbände herausgerissen werden. Daß dabei nur die Bandkanten (richtiger wohl Nulllinien, oder diesen eng benachbarte Linien der Banden) auftreten, erklärt sich zwanglos aus der tiefen Temperatur, bei der die Schwingungen und Rotationen der Moleküle weitgehend „eingefroren“ sind. Eine Entscheidung hierüber ließe sich durch die Untersuchung des Spektrums des Nachleuchtens herbeiführen, das nur die beiden Linien N_1 und N_2 und nicht die mit den Stickstoffbanden zusammenfallenden Linien enthalten dürfte, wenn es sich bei der Emission der letzteren Linien um Moleküle handelte. Schließlich vermissen wir bei VEGARD einen Hinweis darauf, daß die schwächeren Linien der beiden Spektren, wie man z. B. aus der Zusammenstellung in Kaysers Handbuch der Spektroskopie 7, S. 13 sieht, mit den Kanten der positiven Stickstoffbanden zusammenzufallen scheinen. Dieser Umstand scheint uns auch die oben geäußerte Ansicht zu bestätigen.

Die Vegardsche Entdeckung eröffnet sowohl der rein physikalischen wie auch der kosmischen Forschung neue interessante Ausblicke. Die Tatsache, daß feste Körper bei tiefen Temperaturen eine linienhafte Lumineszenz zeigen, wird sicher Rückschlüsse auf die Bindung der Atome im Krystallgitter gestatten. Die Erklärung des Nordlichtspektrums als das eines festen Körpers legt den Gedanken nahe, auch andere bisher ungedeutete kosmische Spektralerscheinungen z. B. die Nebellinien auf ähnliche Weise etwa durch das Vorhandensein festen Wasserstoffs zu deuten. Man wird der weiteren Entwicklung des von HERRN VEGARD erschlossenen Forschungsgebietes mit Spannung entgegensehen.

W. GROTRIAN.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Über die Entstehung des Nordlichtspektrums¹⁾.

In einer Reihe von Arbeiten, die in der letzten Zeit in verschiedenen Zeitschriften (z. B. Zeitschr. f. Physik 16, 367. 1923) erschienen sind, hat VEGARD das Problem des Nordlichts wesentlich gefördert. Insbesondere ist es ihm gelungen, zu beweisen, daß die meisten im Nordlicht auftretenden Linien Kanten des Bandenspektrums des Stickstoffs sind. Dieses Resultat ergab sich einmal durch genauere Ausmessungen der von VEGARD erhaltenen Nordlichtspektrogramme, zweitens jedoch durch Vergleichsaufnahmen, bei denen Stickstoff niedriger Temperatur mit Kathodenstrahlen bestrahlt wurde. In den Laboratoriumsaufnahmen mit gekühltem, gasförmigem Stickstoff erhielt VEGARD jedoch die besonders hervortretende gelbgrüne Nordlichtlinie $\lambda = 5577 \text{ \AA.}$ sowie die schwächer in den Nordlichtspektren auftretende Linie $\lambda \cong 5230 \text{ \AA.}$ nicht. Andererseits mußte zum mindesten die gelbgrüne Linie entweder dem Stickstoff oder einem anderen Element mit gleichem bzw. etwas größerem Molekulargewicht angehören, wie aus dem relativen Intensitätsverhältnis dieser Linie zu den Stickstofflinien in verschiedener Höhenlage des Nordlichts hervorgeht. VEGARD entschied sich für die Hypothese, für die er mancherlei Gründe anführte, daß die gelbgrüne und blaugrüne Linie ebenfalls dem Stickstoff angehöre, aber nur unter

den besonderen Bedingungen in Erscheinung trete, die im Nordlicht vorliegen. Diese sollen darin bestehen, daß feste Stickstoffkrystalle von Kathodenstrahlen getroffen werden. In der Tat ist es VEGARD in Verfolg dieser Arbeitshypothese neuerdings (Proc. Royal. Akad. Amsterdam 27, I. 1924; Nature 113, 716. 1924) gelungen, beim Auftreffen von Kathodenstrahlen auf Stickstoffeis Spektren zu erhalten, die denen des Nordlichts verblüffend gleichen, und er hielt damit seine Anschauung für bewiesen. Dieses Resultat möchte ich nicht für endgültig ansehen, wie weiter unten ausgeführt wird. Herr J. FRANCK und ich haben seit längerer Zeit im Gegensatz zu der Vegardschen Auffassung in unserem Institut die Anschauung experimentell zu stützen gesucht, daß die gelbgrüne und blaugrüne Linie des Nordlichts dem Sauerstoff zuzuschreiben sei, und zwar sollen sie unserem Ermessen nach Nulllinien der stärksten Banden der Sauerstoffmoleküle darstellen. Die diesbezüglichen Experimente¹⁾ sind noch nicht vollkommen durchgeführt, so daß hierüber

¹⁾ Die Versuche bestehen darin, daß die fraglichen Bandenspektren des Sauerstoffs lichtstark angeregt, mit einem großen Konkavgitter photographiert und ausgemessen wurden. Dann sollte durch Untersuchung der Gesetzmäßigkeit der Bande die Nulllinie ermittelt werden. Da es sich um komplizierte Banden handelt, ist dieser letzte Teil der Arbeit noch nicht erfolgreich durchgeführt.

¹⁾ Vorgetragen am 22. VI. 1924 in der Sitzg. d. dtsh. Physikal. Ges., Gauverein Niedersachsen, zu Hamburg.

in dieser Zuschrift noch nichts Abschließendes gesagt werden kann. Wohl aber möchte ich, und das ist der Zweck der Zuschrift, darauf hinweisen, daß VEGARDS Resultate mir nicht für seine Anschauung, sondern eher für die Sauerstoffhypothese sprechen, obgleich sie auch in dieser Beziehung noch nicht beweisend sind. Es ist mir nämlich gelungen, unter geeigneten Anregungsbedingungen in reinem Sauerstoff sogar bei Zimmertemperatur Spektrogramme zu erhalten, die bei Benutzung ähnlicher Dispersion, wie sie VEGARD verwandte, in den fraglichen Spektralgebieten das gleiche Aussehen zeigen wie VEGARDS Platte, die er bei Bestrahlung von Stickstoff erhielt. Bei Verwendung eines Gasmisches von Stickstoff und Sauerstoff kommen dann die von VEGARD beobachteten Kanten der Stickstoffbanden hinzu, und es entsteht ein Spektralbild, das völlig identisch ist mit dem Vegardschen (Fig. 1.)

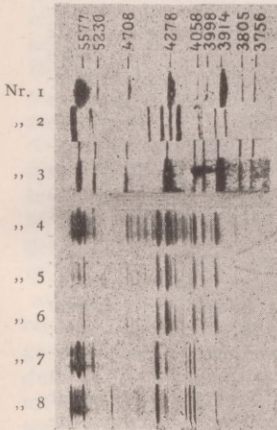


Fig. 1.

Eine Gegenüberstellung der Spektren mag das beweisen. Die 3 oberen Spektren sind der Vegardschen Mitteilung in der Nature entnommen. Das erste wurde bei Bestrahlung von festem Stickstoff mit Kathodenstrahlen von 200 Volt Geschwindigkeit erhalten, das zweite stellt ein Neon-Vergleichsspektrum dar, das dritte wurde mit 500 Volt-Strahlen erhalten. Außer den Kanten der Stickstoffbanden fallen die beiden Banden bei 5577 Å. und 5230 Å. auf, die VEGARD dem Leuchten des festen Stickstoffs zuschreibt. Die 5 unteren Spektren wurden von mir aufgenommen. Sie zeigen als Bezugssystem ein Quecksilberspektrum, das in Spek-

trum Nr. 8 allein aufgenommen ist. Nr. 7 zeigt ein Spektrum des reinen Sauerstoffs, bestehend aus den beiden Banden bei 5577 Å. und 5230 Å., Nr. 6 zeigt das Spektrum des Stickstoffs, auf das, wie VEGARD gezeigt hat, ein wesentlicher Teil des Nordlichtspektrums zurückzuführen ist. Nr. 4 und 5 zeigen Spektren, die in Gemischen von O_2 und N_2 erhalten wurden. Man sieht sofort, daß das Spektrum Nr. 3, wie es VEGARD erhielt, mit dem von mir bei Zimmertemperatur in gasförmigen Stickstoff und Sauerstoff erhaltenen Spektrum übereinstimmt. Diese Identität konnte durch Ausmessung der Platte völlig sichergestellt werden, da VEGARD in seiner ausführlichen Arbeit die Breite bzw. die Lage der Grenzen seiner Bande bei 5577 Å. angegeben hat. Wie schon gesagt, wurden diese Spektren in einem Gasmisch bei Anregung mit Kathodenstrahlen von etwa 25 Volt erhalten. Es wurde eine Anordnung benutzt, wie sie kürzlich G. HERTZ (Zeitschr. f. Physik 22, 18, 1924) zum optischen Nachweis von Anregungsspannungen angewandt hat. Ein engmaschiges Netz war mit einer Platte in etwa 1 cm Abstand verbunden. Vor dem Netz in einem Abstand von ca. 0,5 mm befand sich eine Oxydkathode. Die von dieser austretenden Elektronen wurden in Richtung auf das Netz durch ein Potential von 25 Volt beschleunigt, um in dem potentialfreien Raum zwischen Netz und Platte mit den N_2 - und O_2 -Molekülen zusammenzustößen und diese anzuregen.

Bei der außerordentlichen Ähnlichkeit der unter scheinbar ganz verschiedenen Bedingungen erhaltenen Spektren liegt der Verdacht nahe, daß der von VEGARD benutzte Stickstoff durch Sauerstoff verunreinigt war.

Da bei der Herstellung der Stickstoffeisschicht außerdem so verfahren wurde, daß das Gas in starkem Strom an einer mit flüssigem Wasserstoff gekühlten Antikathode vorbeiströmte, so muß sich unbedingt der leichter kondensierbare Sauerstoff in der Stickstoffeisschicht angereichert haben. Da wir nun aus den Spektren sehen, daß bei den von VEGARD angewandten Anregungsbedingungen das Spektrum des gasförmigen verdampften Stickstoffs auftritt, so ist also, wie aus meinen Versuchen klar hervorgeht, auch das Spektrum des verdampften O_2 zu erwarten. Damit ist die Ähnlichkeit der Spektren Nr. 3 und 4 erklärt. Noch zu deuten ist die Beobachtung VEGARDS, daß die feste Stickstoffschicht nach der Bestrahlung mit Kathodenstrahlen minutenlang nachleuchtet. Ganz abgesehen davon, daß ein solches Nachleuchten fast immer auf Verunreinigungen zurückzuführen ist, also hier wohl auf Sauerstoffbeimengung, scheint diese Beobachtung mit der von mir vertretenen Deutung völlig im Einklang. Bei niedrigen Kathodenstrahlgeschwindigkeiten erhält VEGARD das Spektrum Nr. 1. Beachtet man, daß unter diesen Bedingungen die Verdampfung geringer ist, was aus der Intensität der Bande 5230 hervorgeht, die trotz doppelter Belichtungsdauer schwächer auftritt, so erscheint es verständlich, daß die Phosphoreszenz der festen Substanz nunmehr überwiegt. Bei starker Verdampfung dagegen, wie sie im Falle der Aufnahme 3 durch Auftreffen schneller Kathodenstrahlen hervorgerufen werden muß, überwiegt das Spektrum des Gases. In der Tat ist das Band bei 5577 Å. in Aufnahme Nr. 1 mindestens viermal breiter als die Bande in Aufnahme Nr. 3. Die breite Bande bzw. das Nachleuchten wird also auf ein Leuchten der festen Substanz zurückzuführen sein. Wir können aber nicht erwarten, daß dieses Band, das bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs noch mehrere Hundert Å. breit ist, sich unter nicht wesentlich verschiedenen Bedingungen auf eine Breite von 0,03 Å. zusammenzieht, wie sie von BABCOCK für die grüne Nordlichtlinie $\lambda = 5577$ Å. bestimmt wurde. Dagegen erscheint es durchaus denkbar, daß dieser Bedingung die Nulllinien der Sauerstoffbanden entsprechen. Meine Aufnahmen können aber noch nicht die Hypothese sicherstellen, daß die grüne Nordlichtlinie von gasförmigem Sauerstoff ausgesandt wird. Mir scheint jedoch bewiesen zu sein, daß die grüne Nordlichtlinie nicht durch ein Leuchten von in der Atmosphäre schwebenden Stickstoffkristallen entsteht.

Göttingen, Zweites Physikalisches Institut der Universität, den 25. Juni 1924.

G. CARIO.

Über Spektren elektrisch zerstäubter Drähte¹⁾.

Im allgemeinen dient die Untersuchung der Absorptionsspektren zur Festlegung des Normalzustandes der Atome. Handelt es sich um ein Metall, so wird es in ein evakuiertes Quarzgefäß eingeschlossen und dieses erhitzt. Bestrahlt wird mit Licht einer kontinuierlichen Lichtquelle und das Auftreten von Absorptionslinien mit steigender Temperatur beobachtet. Diese Methode, die viel von KING²⁾ und von GROTRIAN³⁾ benutzt wird, ist bei Metallen, die zum merklichen Teil mehratomig verdampfen, nur begrenzt anwendbar, da Molekulabsorptionen sich störend bemerkbar machen.

¹⁾ Vorgetragen am 22. Juni 1924 in Hamburg in der Sitzung des Gauvereins Niedersachsen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

²⁾ Z. B. A. S. KING, Astroph. Journ. 56, 318. 1922.

³⁾ Z. B. W. GROTRIAN, Zeitschr. f. Phys. 18, 169. 1923.

Es wurde daher versucht, nach der Andersonschen Methode, die diesen Nachteil nicht hat, Absorptionsspektren zu erhalten. J. A. ANDERSON¹⁾ hat 1920 das Spektrum elektrisch explodierter Drähte photographiert und dabei folgende Beobachtung gemacht: Erfolgt die Explosion z. B. eines feinen Eisendrahtes in Luft, so ist das aufgenommene Spektrum ein Absorptionsspektrum auf kontinuierlichem Grunde. Geht man hingegen zu kleineren Drucken über, so verwandelt es sich allmählich in ein Emissionsspektrum, und der kontinuierliche Grund verschwindet. Man kann sich diese Erscheinung in der Weise vorstellen, daß im Augenblick der Explosion eine Lichtquelle hoher Temperatur entsteht, die von kälterem Metall dampf umgeben ist. Dieser absorbiert, so daß ein Teil des Spektrums in Umkehr erscheint. Bei hohem Druck ist diese Dampf- wolke ziemlich dicht, nimmt aber mit kleiner werdendem Druck an Dichte ab. Dementsprechend verschwinden auch allmählich die Absorptionslinien, so daß ein reines Emissionsspektrum entsteht. Der kontinuierliche Grund, der bei Explosionen in freier Luft sich bis weit ins Ultraviolett erstreckt, nimmt in gleichem Maße ab. Die Umwandlung der Absorptions- in Emissionslinien erfolgt nicht so, daß alle Absorptions- linien gemeinsam allmählich schwächer werden und schließlich dafür Emissionslinien auftreten, sondern derart, daß sie nacheinander verschwinden. Es scheint daher nicht ausgeschlossen, aus diesem Verhalten etwas über die Serienbeziehungen des Elementes zu erfahren. Will man das Phänomen der Selbstumkehr in dieser Weise zur Klassifizierung von Linien benutzen, so ist zu beachten, daß nicht nur Linien, die vom Grundzustand des Atoms ausgehen, in Absorption erscheinen, sondern auch solche von höher angeregten Zuständen. Daß man nach dieser Methode mit einiger Sicherheit entscheiden kann, welche Linien vom Grundzustand ausgehen, wurde aus Experimenten geschlossen, die mit Aluminiumdrähten gewonnen wurden. Al wurde deshalb gewählt, weil sein Spektrum genau bekannt ist.

Die Versuchsanordnung ähnelt im wesentlichen derjenigen von ANDERSON. Eine Kondensator- batterie von $\frac{1}{4}$ MF wurde auf 20 000 Volt Gleich- spannung geladen und mit Hilfe eines Vakuumein- schalters durch einen Draht von 0,05–0,15 mm Dicke entladen. Die Entladung wurde bei höheren Drucken durch zwei 4 mm voneinander entfernte Holz- wände zusammengehalten. Der dazwischen aus- gespannte Draht wurde längsseitig anvisiert. Die Versuche wurden derart ausgeführt, daß der explo- dierende Draht ins Längssicht auf beiden Seiten auf den Spalt je eines Spektralapparates abgebildet wurde. Der eine gestattete bis 2200 Å zu photographieren, der andere bis 1850 Å. Für eine Aufnahme waren in der Regel 4–6 Explosionen erforderlich.

Die Versuchsbedingungen können prinzipiell auf drei Weisen variiert werden: Erstens kann bei kon- stant gehaltener Drahtdicke und konstantem Außen- druck die Energie für die Explosion des Drahtes variiert werden (durch Variation der Spannung oder der Kapazität), zweitens kann bei konstanter Energie und konstantem Außendruck die Drahtdicke verändert werden, drittens kann man bei konstanter Energie und konstanter Drahtdicke bei verschiedenen Drucken arbeiten. Ich habe alle angebegebenen Veränderungen vorgenommen und die Verhältnisse an Al-Drähten studiert. Dabei hat sich gezeigt, daß noch bei etwa

¹⁾ J. A. ANDERSON, Journ. 51, 37. 1920.

10 cm Druck beide Nebenserien in Emission vorhanden sind. Dann beginnt mit zunehmendem Druck die erste Nebenserie in Absorption zu erscheinen, und bei 30 cm sind bereits beide Nebenserien in Absorption zu be- obachten. Die Änderung der Energie geschah durch Variation der Spannung, und ergab ebenfalls, daß bei kleineren Spannungen die beobachteten Linien in Emission, bei höheren hingegen in Absorption vor- handen waren. Entsprechendes ergab die Variation der Drahtdicke.

Ich habe dann versucht, Absorptionslinien des Wismuth zu erhalten. Bi ist von GROTRIAN¹⁾ und kürzlich von RUARK, FOOTE, MOHLER und CHENAULT²⁾ nach der gleichen Methode untersucht worden. GRO- TRIAN gibt nur die Absorptionslinie 3067,73 Å an, die amerikanischen Forscher noch weitere Linien bei 2276,57 Å, 2230,62 Å, 2228,24 Å und 1954 Å in Ab- sorption an. Bei beiden erschwerten nach dem Ultra- violett hin einsetzende Molekülabsorptionen die Messungen sehr. Die nach der Explosionsmethode erhaltenen Aufnahmen ergaben nun eine ganze Reihe von Absorptionslinien, die sich ihrem spektro- skopischen Aussehen nach in Gruppen zerlegen ließen. Besonders deutlich sind die Linien, die vom tiefsten Term (Grundterm) ausgehen. KOPFER- MANN³⁾, der die von KAYSER und RUNGE⁴⁾ im Bi gefundenen konstanten Schwingungsdifferenzen ergänzt und in einem Schema dargestellt hat, nennt diesen Term I. Seine 4 Terme I, II, III, IV kombinieren je mit einer ganzen Anzahl von Termen 1, 2... 15. Die oben angegebenen Linien gehen alle von I aus. Ferner habe ich folgende von I ausgehenden Linien in Absorption erhalten: 2110,26; 2061,73; 2021; 1959,5; 1903 Å. Eine Reihe weiterer Absorptions- linien zwischen 1903 und 2200 Å konnten noch nicht in das Kopfermannsche Schema eingeordnet werden. Ferner wurde an mehreren Linien die von KOPFERMANN bemerkte Tatsache bestätigt, daß sich nach diesem Schema Linien an zwei verschiedenen Stellen einordnen lassen. Dann erwähnt KOPFER- MANN, daß die Kombinationslinien von Term I nach dem höheren Term IV nur schwach in Emission, aber nie in Absorption beobachtet worden sind. Nach den Messungen von WALTERS⁵⁾ kombiniert Term I in der gleichen Weise mit den höheren Termen II und III. Das alles legt den Gedanken nahe, das Bi-Schema in anderer Weise anzuordnen. Es besteht die Möglich- keit, an Stelle der vier Terme I, II, III, IV einen einzigen Term anzunehmen und dafür die Termreihe 1, 2... 15 in 4 Termreihen aufzuspalten, die gegeneinander um die Differenzen I–II, II–III, III–IV verschoben sind. Dann hätte man eine Analogie zum Neon, bei dem auch 2 Termfolgen, die um eine fast konstante Differenz gegeneinander verschoben sind, mit einem Grundterm kombinieren. Beim Bi würde es sich allerdings um eine strenge Konstanz der Differenz handeln. Diese Überlegungen sind noch nicht abge- schlossen, die endgültigen Ergebnisse werden später mitgeteilt werden.

Göttingen, Zweites Physikalisches Institut der Universität, den 30. Juni 1924. H. SPONER.

¹⁾ W. GROTRIAN, l. c.

²⁾ RUARK, FOOTE, MOHLER und CHENAULT, Nature 112, 831. 1923.

³⁾ H. KOPFERMANN, Zeitschr. f. Phys. 21, 316. 1924.

⁴⁾ KAYSER und RUNGE, Wied. Ann. 52, 93. 1894.

⁵⁾ WALTERS, Sc. Pap. Bur. Staud. 1921, Nr. 411.