

In Folge seiner eingehenden Beschäftigung mit den verschiedenen Zweigen der Elektrizitätslehre wurde er vielfach als höchste wissenschaftliche Autorität bei der Entscheidung technischer Fragen herangezogen; so musste er noch in diesem Jahre unter anderem ein ausführliches Gutachten über die Anlage von Blitzableitern am Kaiserhause zu Goslar abgeben, das sich durch Klarheit und Einfachheit auszeichnet.

Helmholtz war schon früher in seinen kritischen Arbeiten über die Theorie der Elektrodynamik immer mehr zur Anerkennung der Faraday-Maxwell'schen Hypothese gedrängt worden, aber er hatte bereits wiederholt hervorgehoben, dass ein vollkommenes Verständniss der Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen und eine endgültige Entscheidung über die Richtigkeit der verschiedenen Hypothesen nur durch eine genaue Untersuchung der Vorgänge bei sehr schnell vorübergehenden ungeschlossenen Strömen gewonnen werden könne. Nun suchte zwar Weber gewisse Schwierigkeiten und Widersprüche seiner elektrodynamischen Hypothese dadurch zu vermindern, dass er der Elektrizität einen gewissen Grad von Beharrungsvermögen beilegte, wie es den schweren Körpern zukommt; Helmholtz erkannte aber sehr bald, dass wahres Beharrungsvermögen der Masse der bewegten Elektrizität proportional sein müsste, ohne von der Lage des Leiters abzuhängen, und dass sich dieses durch eine Verlangsamung der oscillirenden Bewegungen der Elektrizität zu erkennen geben müsste, wie sie nach jähen Unterbrechungen elektrischer Ströme in gut leitenden Drähten sich zeigen. Da sich nun auf diese Weise die Bestimmung einer oberen Grenze für den Werth dieses Beharrungsvermögens erwarten liess, so stellte Helmholtz, als er am Ende des Sommersemesters das Thema zu einer physikalischen Preisarbeit für die Studirenden vorzuschlagen hatte, die Aufgabe, über die Grösse von Extraströmen Versuche auszuführen — „in der sicheren, nachher auch be-

stätigten Voraussetzung“, dass Heinrich Hertz, welcher seit dem Herbst 1878 auf den Rath von Bezold in dem von Helmholtz geleiteten physikalischen Laboratorium der Universität arbeitete und den er schon, als er noch die elementaren Uebungsarbeiten durchführte, als einen Schüler von ganz ungewöhnlicher Begabung erkannt hatte, sich dafür interessiren und das Problem mit Erfolg angreifen werde.

Es sollte aus der Grösse der Extrastrome eine obere Grenze für die bewegte Masse festgestellt werden; als besonders geeignet wurden Extrastrome aus doppeldrähtigen Spiralen vorgeschlagen, deren Zweige in entgegengesetzter Richtung durchflossen werden. Die präzise von Hertz gegebene Antwort zeigte, dass höchstens  $\frac{1}{20}$  bis  $\frac{1}{30}$  des Extrastromes aus einer doppeldrähtigen Spirale der Trägheitswirkung der Elektrizität zuzuschreiben sei; Untersuchungen über den Einfluss der Centrifugalkraft einer schnell rotirenden Platte auf die Bewegung eines sie durchfliessenden elektrischen Stromes führten den genialen jungen Forscher zu einer noch viel tiefer liegenden oberen Grenze des Beharrungsvermögens der Elektrizität.

Durch diese Untersuchungen von Hertz, deren Resultat Helmholtz klar vorausgesehen, wurde die Faraday-Maxwell'sche Hypothese über das Wesen der Elektrizität wesentlich gestützt, und Helmholtz immer mehr in der Ueberzeugung von der Richtigkeit der Faraday'schen Anschauungen bestärkt. Die Erscheinungen des Diamagnetismus liessen sich am ungezwungensten erklären, wenn man annahm, dass diamagnetische Körper solche sind, die weniger magnetisirbar sind, als das sie umgebende, raumfüllende Medium, dass also auch der von allen wägbaren Massen freie Raum oder der in ihm noch enthaltene Lichtäther magnetisirbar ist. Nach der Maxwell'schen Auffassung war es nun aber für die Faraday'sche Theorie der diëlektrischen Polarisation und die Beseitigung der Fernwirkung wesentlich entscheidend, ob das Entstehen und Vergehen

diëlektrischer Polarisatation in einem Isolator dieselben elektrodynamischen Wirkungen in der Umgebung hervorbringt wie ein galvanischer Strom in einem Leiter. Den Nachweis hierfür zu erbringen, machte Helmholtz zum Gegenstande einer der grossen Preisfragen der Akademie, welche Hertz zu seinen wunderbaren Entdeckungen führte. Durch diese wurden die thatsächlichen Beweise geliefert für die Richtigkeit der von Faraday und Maxwell als höchst wahrscheinlich hingestellten Hypothese, dass die Lichtschwingungen elektrische Schwingungen in dem den Raum füllenden Aether sind, und dieser selbst die Eigenschaft eines Isolators und magnetisirbaren Mediums besitzt.

„Es kann nicht mehr zweifelhaft sein“, sagt Helmholtz später in dem klassischen Vorwort zu den „Principien der Mechanik“ von Hertz, „dass die Lichtschwingungen elektrische Schwingungen in dem den Weltraum füllenden Aether sind, dass dieser selbst die Eigenschaften eines Isolators und eines magnetischen Mediums hat. Die elektrischen Oscillationen im Aether bilden eine Zwischenstufe zwischen den verhältnissmässig langsamen Bewegungen, welche etwa durch elastisch tönende Schwingungen magnetischer Stimmgabeln dargestellt werden, und den ungeheuer schnellen Schwingungen des Lichtes andererseits, aber es lässt sich nachweisen, dass ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, ihre Natur als Transversalschwingungen, die damit zusammenhängende Möglichkeit der Polarisationserscheinungen, der Brechung und Reflexion vollständig denselben Verhältnissen entsprechen, wie bei dem Lichte und bei den Wärmestrahlen. Nur fehlt den elektrischen Wellen die Fähigkeit, das Auge zu afficiren, wie diese auch den dunkeln Wärmestrahlen fehlt, deren Schwingungszahl dazu nicht gross genug ist. Es ist gewiss eine grosse Errungenschaft, die vollständigen Beweise dafür geliefert zu haben, dass das Licht, eine so einflussreiche und so geheimnissvolle Naturkraft, einer zweiten ebenso geheimnissvollen und vielleicht noch beziehungsreicheren Kraft,

der Elektrizität, auf das Engste verwandt ist. Für die theoretische Wissenschaft ist es vielleicht noch wichtiger, verstehen zu können, wie anscheinende Fernkräfte durch Uebertragung der Wirkung von einer Schicht des zwischenliegenden Mediums zur nächsten fortgeleitet werden. Freilich bleibt noch das Räthsel der Gravitation stehen, die wir noch nicht folgerichtig anders denn als eine reine Fernkraft zu erklären wissen.“

Aber zur Begründung und Ausführung seiner grossartigen Untersuchungen, welche heute die Grundlage der modernen Elektrizitätslehre bilden, brauchte Hertz fast das ganze vorletzte Decennium des vorigen Jahrhunderts.

Nachdem Helmholtz in den Osterferien Ludwig in Leipzig besucht und nach Thüringen in das Schwarzathal gewandert war, ging er am Ende seines Rectoratsjahres, von der aufreibenden amtlichen und wissenschaftlichen Arbeit sehr ermüdet, auf drei Wochen nach Pontresina, wo er auch früher stets durch grössere Touren Erholung für Körper und Geist gefunden.

„Als Helmholtz älter wurde“, schreibt mir Blaserna, „und an seinen Athmungsorganen zu leiden anfang, gab er die Besteigungen nicht auf. Er betrachtete sie als eine Kur, wenn sie nur richtig angebracht wurde. So erklärte er mir eines Tages, dass er auf den herrlichen Piz Languard steigen wollte. Ich bot mich an, ihn zu begleiten; aber lange Zeit wollte er meinen Vorschlag nicht annehmen, weil er meinte, dass ich zu schnell gehen würde. Aber als ich ihm versprach, dass ich hinter ihm gehen und auch keine Veranlassung zum Sprechen geben würde, nahm er meine Begleitung an. Bekanntermaassen ist es eine Besteigung auf gutem Fusswege, die ein rüstiger Steiger in drei, ein bedächtiger in vier Stunden bewerkstelligt: wir brauchten volle sechs Stunden dazu; aber Helmholtz kam in gutem Zustande oben an, zog seine Karte hervor, studirte alle einzelnen Berge wieder, und nachdem wir dort eine

Stunde gerastet hatten, betraten wir den Rückweg und kamen ganz rüstig und gut wieder nach Pontresina zurück.

In den letzten Jahren seines Aufenthaltes in Pontresina gab er die Berge auf; aber er machte Vormittag und Nachmittag regelmässig zwei kleine Besteigungen täglich, auf die Muottas da Pontresina oder da Celerina, oder auf den Schafberg. Staunenswerth war die eiserne Consequenz, mit der er seine zwei Touren täglich ausführte. Das sind leider auch seine letzten gewesen. Einige Jahre später verlor Pontresina durch Helmholtz's Tod, ich möchte wohl sagen, seinen grossen wissenschaftlichen Charakter.“

Nachdem er, von Pontresina zurückgekehrt, sich mit seiner Frau noch einige Zeit in Interlaken aufgehalten, schreibt er von Thun aus am 15. September 1879 seinem Freunde Knapp in New York: „Mir ist es im letzten Jahre verhältnissmässig besser gegangen als bisher in Berlin; ich habe schliesslich gelernt, wie viel ich mir an Arbeit und Vergnügen zumuthen darf, und bin hartnäckig und rücksichtslos gegen die Menschen geworden, die meine Zeit in Anspruch zu nehmen suchen, wenn ich müde bin.“

Die im Anfange dieses Jahres von Helmholtz ausgeführten Untersuchungen über die capillar-elektrischen Phänomene hatten ihm die Frage nahe gelegt, in wie weit ähnliche Vorgänge bei den Bewegungen einer elektrolytischen Flüssigkeit längs polarisirter Platinplatten stattfinden, da längst bekannt war, dass bei solchen Bewegungen starke Veränderungen der Stromstärke vorkommen. Die Resultate der zu diesem Zwecke ausgeführten Versuche legte er in einer Arbeit „Ueber die Bewegungsströme am polarisirten Platina“ am 11. März 1880 der Berliner Akademie vor. Die Versuche wurden an Elektroden von Platindraht an gestellt, welche in angesäuertes Wasser tauchten; die einem solchen Drahte entgegengestellte zweite Elektrode bestand entweder aus Zinkamalgam, oder es wurde statt einer einfachen zweiten Elektrode ein Paar Platinplatten ge-

braucht, zwischen denen dauernd ein schwacher, Wasser zersetzender Strom unterhalten wurde, und welche sich bei der Anordnung der Versuche wie eine einzige unpolarisierbare Elektrode verhielten. Zugleich wurde durch eine Nebenschliessung der Kette ermöglicht, jeden beliebigen Werth der elektromotorischen Kraft zwischen den Platinplatten und dem Elektrodendraht wirken zu lassen. Die Stromesschwankungen, welche eintreten, wenn man den Platindraht erst durch Sauerstoffentwicklung von occludirtem Wasserstoff befreit und dann nach einander verschiedene Werthe der elektromotorischen Kraft auf ihn einwirken lässt, werden von Helmholtz zum Theil auf Convectionsströme, zum Theil auf Freiwerden von occludirtem Wasserstoff zurückgeführt.

Helmholtz untersucht aber auch den Einfluss der Strömung des Wassers längs polarisirter Platinflächen und befestigt zu dem Zwecke die Elektroden an einem elektromagnetisch bewegten Neef'schen Hammer, dessen Bewegungen sie mitmachen. Er unterscheidet zunächst den primären Strom, der vorhanden ist, ehe die Elektroden erschüttert werden, von dem durch die Bewegungen der Elektroden hinzukommenden Erschütterungsstrom. Indem er den Erschütterungsstrom kathodisch oder anodisch nennt, je nachdem der erschütterte Draht Kathode oder Anode des Erschütterungsstromes ist, findet er, dass beim Bestehen eines starken kathodischen primären Stromes die Erschütterungsströme immer von derselben Richtung sind und den bestehenden Strom verstärken, dass dagegen bei bestehenden anodischen oder schwach kathodischen Strömen die Erschütterungsströme meist anodisch sind. Wasserstoffbeladung der oberflächlichen Schichten des Platina begünstigt in der Regel das Auftreten anodischer Erschütterungsströme, die man auch gewöhnlich erhält, wenn man den primären Strom aufhören macht.

Die beobachteten Erscheinungen erklärt nun Helm-

holtz auf Grund seiner oben besprochenen Anschauungen über Elektrolyse, welche sich an die schon in seiner „Erhaltung der Kraft“ aufgestellte Hypothese über die Natur der galvanischen Kraft anschliessen, und die er seit 1871 in seinen Vorlesungen über Physik in den wesentlichsten Grundzügen vorgetragen. Nach diesen geht in Elektrolyten eine Bewegung der Elektrizität nur gleichzeitig mit derjenigen der Ionen des Elektrolyten vor sich, an welchen sie haftet, und der Bewegung der letzteren stehen keine anderweitigen chemischen Kräfte entgegen als nur ihre elektrischen Anziehungs- und Abstossungskräfte. Mit positiver Elektrizitätsmenge beladene Wasserstoffatome, welche sich an einer Seite der Flüssigkeit gesammelt haben, der ein negativ geladener elektrischer Leiter genähert ist, sind also nicht als „freier Wasserstoff“ aufzufassen, sondern als noch chemisch gebundener. Damit eine Anzahl positiver Ionen elektrisch neutral und chemisch ungebunden ausscheide, muss die Hälfte davon ihre Aequivalente positiver Elektrizität abgeben und dafür die entsprechenden negativer Elektrizität aufnehmen, und dieser Vorgang constituirt die definitive Trennung der vorher bestandenen chemischen Verbindung. Ist die elektrolytische Flüssigkeit in Berührung mit zwei Elektroden von ungleichem elektrischem Potential, so tritt zunächst Ansammlung von Atomen des positiven Ion an der negativen Platte, des negativen an der positiven ein, bis im Innern der Flüssigkeit die Potentialfunction einen constanten Werth erreicht hat. Wenn sich positiv beladene Atome längs der äusseren Seite der Elektrodenfläche sammeln, werden an der inneren Seite die entsprechenden Quanta negativer Elektrizität herangezogen, und es wird sich eine elektrische Doppelschicht ausbilden müssen. Das Moment derselben nimmt so lange zu, bis die an den beiden Elektroden gebildeten Doppelschichten ausreichen, den zwischen ihnen durch die elektromotorische Kraft der Kette gesetzten Sprung des

Potentialwerthes hervorzubringen. Um den Gleichgewichtszustand der Kette herbeizuführen, müssen erhebliche Quantitäten positiver und negativer Elektrizität der Kathode und Anode zufließen, und Helmholtz entwickelt die Bedingungen für das elektrische Gleichgewicht und für den Eintritt der Elektrolyse. Nachdem die Resultate der Versuche über Wasserstoffocclusion und Erschütterungsströme durch die Theorie ihre Erklärung gefunden, entwickelt er für die bei anodischem, schwach kathodischem oder ganz fehlendem primärem Strom auftretenden Erschütterungsströme eine ähnliche Auffassung, wie er sie für die capillar-elektrischen Erscheinungen von Glas und Wasser dargelegt.

x In den Osterferien des Jahres 1880 machte er eine mehrwöchentliche Reise nach Spanien, die er bis nach Tanger in Afrika ausdehnte. Ausführliche Briefe an seine Frau geben uns eine lebendige Schilderung der Eindrücke, welche Natur und Kunst dort auf ihn machten; es mögen einzelne kurze Bruchstücke derselben hier eine Stelle finden:

„Barcelona, Palmsonntag den 21. März. In Nimes machten wir die Fahrt an den Pont du Gard, eine gewaltige Flussüberbrückung für eine römische Wasserleitung aus der Zeit des Augustus, in einem einsamen Waldthal, von einer Höhe, die der der grössten Dome gleichkommt. Rousseau soll davon gesagt haben, es sei das einzige Ding, was er in seinem Leben gesehen, das seine Erwartungen übertroffen habe. Die Fahrt fordert mindestens fünf Stunden, und so warfen wir auch die Frage auf, ob es lohne, einen Tag an ein Bruchstück eines römischen Aqueducts zu setzen, da wir doch schon viele gesehen hatten. Es ging uns aber wie Rousseau, freilich war es auch nicht das erste Mal, dass es uns so gegangen. . . . .

Hier haben wir zwei sehr angenehme Tage verlebt, ein Passionsspiel gesehen im Theater, was sehr merkwürdig war, eine grosse Procession u. s. w. . . . . Das Theater ist ein riesiges Gebäude für 4000 Zuhörer, äusserst zweckmässig

und behaglich eingerichtet, so dass sich unsere nordische Residenz daneben nur schamvoll verstecken kann. Die Darstellung ein altes Passionsspiel in catalonischem Dialecte, den wir natürlich gar nicht verstanden, da es uns mit dem normalen Spanisch ziemlich ebenso geht. Es war sehr geschickt mit Aufwand aller modernen Decorationsmittel in Scene gesetzt und furchtbar realistisch auch in allen Einzelheiten ausgeführt, so dass die ganze Handlung einen Grad von Anschaulichkeit erlangte, den das Lesen doch nimmer giebt. . . . . Die Palmsonntag-Procession war eingeleitet durch eine Schaar costümirter römischer Krieger mit Musikcorps und ihrem Hauptmann . . . es war grösstes Menschengewoge, lange Reihen von katholischen Vereinen, Schüler und junge Männer in seltsamen Costümen von schwarzer Glanzleinwand, im Schnitt wie Frauenkleider mit Schleppen, mit weissen gefälteten Krausen, zogen der Christusfigur vorauf, die auf einem Brette stehend herumgetragen wurde, den gebeugten Christus am Oelberg darstellend . . . L. legte Gewicht darauf, seinen Freund, den Professor der Chemie Don Ramon Manjarez in seinem Laboratorium aufzusuchen und uns von ihm und einigen anderen Professoren die neugebaute Universität zeigen zu lassen. Ich hatte die Befriedigung, meine akustischen Apparate ziemlich vollständig beisammen zu finden . . .“

„Madrid, Charfreitag den 26. März: Der Escoreal, das riesige Grabdenkmal der spanischen Könige, liegt ziemlich weit ab von Madrid in einem steinigen, öden Gebirge, und es giebt von dem fanatischen Philipp II. doch ein gewisses Bild von ernster Grösse und künstlerischem Geschmack, worin er allen seinen kindischen Nachfolgern überlegen war. Man sieht, dass es ihm fürchterlich ernst war mit dem, was er wollte, und was für ihn selbst bestimmt war, ist höchst einfach, sogar dürftig. Dagegen ist die Kirche äusserst grossartig, einfach und geschmackvoll von neapolitanischen Baumeistern errichtet, etwa das, was die Peters-

kirche in Rom hatte werden sollen, wenn nicht der Roccoco-Geschmack sie verdorben haben würde. Was die Nachfolger hinzugethan, ist kindische Spielerei, nur recht hübsche Gobelins nach Entwürfen von Teniers sind auszunehmen, für welche sie freilich die schönsten Gemälde von Raphael und Tizian in die Rumpelkammer geschickt haben, aus der sie dann in das Museum gerettet wurden. Im Ganzen ist es doch ein historisches Monument, was von dem Sinne seiner Zeit noch lebendig spricht, wenn dieser Geist uns auch feindlich war. . . . Die Bildersammlung ist imponirend; diese Sammlung von Leuten, welche Velasquez abconterfeit hat, ist so ungeheuer lebendig und eindrucksvoll, dass sie wie Mitlebende erscheinen. . . . Gestern früh ging ich ab nach Toledo, der alten Residenz; ein eng zusammengedrängtes Bergnest, auf drei Seiten vom Tajo in einer tiefen Schlucht umflossen, eine natürliche Festung mit allerlei westgothischen und maurischen Resten; diese unbedeutend, darin aber ein gothischer Dom von einer Reinheit, Feinheit und Reichthum der Formen, einer Zierlichkeit der Stein- und Holzarbeit, an der noch die Schule der Alhambra nachzuwirken scheint, dass er Alles in Schatten stellt, was ich bisher von gothischen Kirchen gesehen habe. Dabei ist er verhältnissmässig wenig durch spätere Zusätze aus der Jesuitenzeit verdorben worden. Er ist viel entschiedener und consequenter gothisch als der Mailänder Dom und macht doch einen fast noch reineren Eindruck vollendeter Formenschönheit und Erhabenheit als jener. Leider ist die Aussenseite fast unsichtbar. . . .“

„Cordova, Dienstag den 30. März: . . . Hier ist nun wieder die grosse Moschee, jetzige Kathedrale, ein Wunderwerk der Architectur, ganz fremdartig und märchenhaft, ein immenses flaches Zeltdach von über 1000 Säulen, die durch phantastische Doppelbögen verbunden sind, getragen, ursprünglich gegen den Orangenhain des Vorhofs überall offen, im Hintergrunde die Capelle zur Aufbewahrung des

Koran, mit der wunderbarsten Marmorarbeit und Mosaiken, alles in Teppichmustern geschmückt. Nicht weit davon eine ebenso geschmückte Capelle, der Gebetplatz der Kalifen. Leider haben sie es als Kirche gegen den Hof mit Mauern geschlossen und in der Mitte ein hohes Chor im Barockstil hineingebaut, so dass man nur noch in der Phantasie nachconstruiren kann, wie luftig und hell und kühl und leicht es gewesen sein muss, ehe es Kirche wurde. Man kann sich der Fragen nicht erwehren, wie eine so fein ausgebildete Cultur so verschwinden konnte. Die Mauren haben nichts davon nach Afrika zurückgenommen, und was die Spanier von ihnen lernen konnten, ist in den nächsten 100 Jahren ebenso verschwunden mit Ausnahme der grossen Bewässerungsanlagen, die das Land fruchtbar machen, so weit sie eben reichen. . . . Am folgenden Tage machten wir eine Spazierfahrt auf die Abhänge der Sierra Morena nördlich von der Stadt, wobei wir einen guten Einblick in die Fruchtbarkeit des Landes erhielten. Von den Bergen kommen allerlei kleine Wasseradern, die sorgfältig vertheilt sind. Die Orangenbäume sind Waldbäumen im Wuchs vollkommen ähnlich. In Italien habe ich sie nie so gesehen, und dabei waren sie mit Früchten bedeckt, wie ich nie einen Apfelbaum damit bedeckt sah, und zwischen den Früchten waren schon wieder Knospen und Blüthen in vollen Sträussen; Heckenrosen, Schwertlilien, Spiräen, Veilchen, Alles in voller Blüthe, wie es in Deutschland etwa an sehr sonnigen Junitagen aussieht. Dazwischen stehen vereinzelt Dattelpalmen, die sehr elegant in den Himmel hineinragen. . . .“

„Granada, Freitag den 2. April: . . . Nun aber haben wir wirklich die Alhambra gesehen, welche in Wirklichkeit ganz so zauberhaft ist, wie die Beschreibungen und Bilder sie zu malen streben. Marmor in das zierlichste Spitzenwerk aufgelöst, mit einer Ueberfülle der wunderbarsten Muster . . . Nachmittag war Stiergefecht, das erste in einer

neugebauten Arena, riesiges Volksfest. Was die Menschen betrifft, so ist es in höchstem Grade interessant. Die Arena ist ganz nach dem Muster der Antiken (freilich oben aus Holz) gebaut; das Publicum verhält sich genau noch so, wie es die römischen Schriftsteller beschreiben. Ein rasender Schwindel ergreift die Menschenmassen; ununterbrochenes Schreien, bald Bravo, bald Pfeifen. Man muss schon eine Stunde vorher hingehen, weil man später nicht mehr zum Platze kommt. Während dieser Zeit diente eine lahme Wasserspritze, die den Platz bespritzen sollte, und die Apfelsinenverkäufer, die von unten aus der Arena ihre Früchte den Käufern bis in die höchsten Sitzreihen zuschleuderten und ebenso ihre Bezahlung empfangen, zur Unterhaltung des Publicums. Jeder gute Wurf erhielt sein Bravo, jeder schlechte sein Pfeifen. Die eleganten Damen befanden sich leider grösstentheils über uns; die wir sehen konnten, waren in sehr eleganten nationalen Costümen, die sehr gut aussahen, aber kühn in den Farben; eine im Costüm der Stierfechter. Diese letzteren sind schöne Kerls, schlank, beweglich, geschickt und verwegen, dass es eine Freude ist, sie in ihren höchst prächtigen und eleganten Costümen sich bewegen zu sehen. Namentlich die Banderilleros, welche ohne Mantel und Waffe den Stier auf sich zulaufen lassen, in dem Momente, wo er sie zu treffen droht, seitwärts geglitten sind und ihm die mit einem Widerhaken versehenen Federbusche und Zierrathen am Nacken befestigen, sind von einer unbegreiflichen Geschicklichkeit. Unmittelbar nachher freilich wird der Stier durch einen vorgeschleuderten Mantel abgelenkt, um den Angriff nicht zu wiederholen. Was dem Stier geschieht, kann man sich auch noch gefallen lassen; er fällt im Kampfe statt in der Schlachtbank. Freilich ist das Thier, wenn ihm der Matador zum letzten Todesstoss allein entgegentritt, auf das Aeusserste abgehetzt und verwirrt, und bei den sechs Stieren, die geopfert wurden, gelang nur bei zweien dieser

Stoss beim ersten Male. Wahrhaft empörend ist aber die Art, wie die Pferde behandelt werden, übrigens nicht bloss in der Arena, sondern auch überall sonst, wie die zum Tode getroffenen Pferde, die mit verbundenen Augen dem Stier von den Picadores vorgeritten werden, so lange sie den Picador noch tragen können, immer wieder mit Stockprügeln in den Kampf getrieben werden, wie das Publicum nach immer neuen Pferden schreit: caballo, caballo, wenn nur noch ein oder zwei am Leben sind, das ist die eigenthümlich grässliche Seite des Schauspieles. Wenn es nur eine Exhibition menschlichen Muthes wäre, würde man manches Wilde daran verzeihen. Aber schliesslich macht man den Stier doch erst müde dadurch, dass man ihn immer wiederholte Angriffe auf die wehrlosen Pferde machen lässt, die er mehr hasst als die Menschen; und erst wenn er ganz abgehetzt ist, treten die Menschen als Kämpfer ihm gegenüber. . . .“

„Malaga, Dienstag den 6. April. Malaga ist nicht sehr charakteristisch. Eine schöne Renaissance-Kathedrale, deren Thurm wir bestiegen, um die Stadt zu übersehen, ist recht gross und elegant. In der nächsten Umgebung der Stadt ist der Seewind der Vegetation nachtheilig; wo aber die Berge Schutz gewähren, da sind riesige Orangenwälder, Zuckerrohrpflanzungen u. s. w. . . . Uebrigens schätzen wir hier Wattenbach's Buch sehr; es ist brauchbarer als Murray, Gautier und Amici. Er hat entschiedenes Talent zum Baedeker und thut mit seiner Prosa Spanien kaum Unrecht. . . .“

„Tanger, Dienstag den 13. April. In Gibraltar haben wir einen sehr interessanten Tag zugebracht; einer der englischen Officiere, die wir in Ronda getroffen, Colonel Lamprière, hatte uns Eintritt in die Gallerien verschafft, wo die grossen Kanonen rings um die Nordseite des Felsens stehen, und wir wanderten von 10 bis 4 Uhr durch die Batterietunnels. . . . Ueber all das Sonderbare, was einem

hier in Tanger, wo man plötzlich mitten in die muhamedanische Welt eintritt, vor die Augen und Ohren tritt, kann man nicht genug erstaunen. Die Mannigfaltigkeit der Trachten und Nacktheiten ist gar nicht zu beschreiben. . . . Der Turban, den nur die Moslims tragen, wird sehr sauber gehalten und sieht sehr gut aus; ebenso die weissen oder weiss und schwarz gestreiften Burnus mit den furchtbar charakteristisch aussehenden Augen und scharfen Gesichtern der älteren Männer darunter. Die Frauen, soweit sie auf der Strasse erscheinen, eingehüllt in nicht sehr reinliche, grosse rauhe Badelaken, die sie sich nicht allzu streng um das Gesicht zusammenziehen. . . .“

Helmholtz reiste sodann über Sevilla, Bordeaux, Paris nach Berlin zurück, um unmittelbar darauf seine Vorlesungen zu beginnen.

Um diese Zeit beschäftigte er sich bereits mit den schwierigen thermodynamischen Untersuchungen, die im engsten Zusammenhange mit seinen späteren Forschungen über die Principien der Mechanik stehen, aber erst nach zwei Jahren zur Veröffentlichung gelangten. Er musste aber jetzt ernstlich darauf bedacht sein, bei seinen ungeheuren geistigen Anstrengungen seiner Gesundheit ein wenig Rechnung zu tragen. Schon in Sevilla hatte ein leichter Ohnmachtsanfall seine Reisebegleiter in Besorgniss versetzt, und jetzt wieder nach den Anstrengungen des Sommersemesters traf ihn wenige Tage vor Beginn der Ferien durch Ausgleiten ein Unfall, der, wohl auch durch eine plötzliche Ohnmacht veranlasst, leicht schwere Folgen hätte haben können.

Aber schon am 8. August konnte er Ludwig mittheilen, er sei so weit hergestellt, dass er mit seiner Frau nach einigen Tagen in kleinen Etappen die Reise nach München beginnen und zunächst nach Leipzig kommen wolle, um dort ein wenig zu ruhen. In der That führte er die geplante Reise aus, ging dann zur Erholung auf einige Wochen in die Schweiz

und nahm, nach Berlin zurückgekehrt, von Neuem seine thermodynamischen Untersuchungen auf, nachdem inzwischen Hertz als sein Assistent im physikalischen Institut angestellt worden, in dem er bis zum Jahre 1883 verblieb. Zu gleicher Zeit führte er aber auch einige Untersuchungen aus, welche mit seinen früheren elektrodynamischen und elektrochemischen Arbeiten in engster Verbindung standen.

Dass in der Nähe eines Magneten eine gewisse Vertheilung des Magnetismus in den Molekülen weichen Eisens vor sich geht, wodurch dieses selbst Abstossungen und Anziehungen kleiner magnetischer Körper zeigt, war, wie man wusste, eine nicht nur dem Eisen zukommende Erscheinung. Faraday hatte nachgewiesen, dass derartige Wirkungen in fast allen Körpern sichtbar sind, und dass ähnliche Erscheinungen, welche auf eine Vertheilung entgegengesetzter Elektricitäten in den Molekülen elektrischer Isolatoren hindeuten, durch die elektrischen Kräfte hervorgerufen werden. Mathematisch waren diese Erscheinungen für die Bewegungen starrer Magnete und magnetisirbaren Eisens von Poisson behandelt; W. Thomson hatte diese Theorie auf die Bewegung starrer Körper in magnetisirbaren Flüssigkeiten ausgedehnt und zu Faraday's diamagnetischen Versuchen in Beziehung gesetzt. Sobald sich die Moleküle magnetisch oder elektrisch polarisirter Medien gegen einander verschieben können, kommen neben den ursprünglich angenommenen Fernkräften nothwendig noch molekulare Wirkungen in Betracht. Faraday hatte vorausgesetzt, dass in den magnetisch oder diëlektrisch polarisirten Medien ein Zustand von Spannung bestehe in Richtung der Kraftlinien, in Folge dessen sich diese zu verkürzen streben, während quer gegen die genannten Linien ein Druck wirke, der die Substanz in dieser Richtung auseinandertreibe. Nachdem W. Thomson schon 1843 den Beweis geführt, dass Kräfte dieser Art dieselbe Wirkung hervorbringen

können, wie die directen Fernwirkungen nach der Theorie von Coulomb, hatte Cl. Maxwell diese Annahme von Faraday zur Grundlage seiner ganzen Theorie der Electricität und des Magnetismus gemacht. Nun war bereits durch Versuche das sehr auffällige Bestreben elektrischer Isolatoren festgestellt worden, sich quer gegen die Richtung der elektrischen Kraftlinien zu dehnen, und Helmholtz sucht nun in der der Berliner Akademie am 17. Februar 1881 vorgelegten Arbeit „Ueber die auf das Innere magnetisch oder diëlektrisch polarisirter Körper wirkenden Kräfte“ eine vollständige Theorie für die Erscheinung zu liefern, dass Isolatoren unter dem Einfluss diëlektrischer Kräfte ihre Gestalt zu verändern suchen.

Er zeigt, dass die Spannungen, welche eine Dehnung senkrecht zu den elektrischen Kraftlinien hervorzubringen bestrebt sind, ohne besondere Annahme über die innere Constitution diëlektrischer Medien eine nothwendige Consequenz des Principis der Erhaltung der Kraft und derjenigen Gesetze sind, welche nach Poisson's Theorie den temporären Magnetismus regeln, und welche auf die diëlektrische Polarisation 'unmittelbar übertragen waren. Indem er die in den Poisson'schen Gleichungen vorkommende Constante sich einerseits ändern lässt in Folge der Aenderung der Dichtigkeit des Mediums, andererseits vermöge der Verschiebung an sich, erhält er eine andere Vertheilung des Potentials und daraus eine berechenbare Aenderung der Energie. Da aber diese als Aequivalent die Arbeit hat, welche die ponderomotorischen Kräfte bei Hervorrufung der Verschiebungen der Punkte mehr leisten mussten, als wenn keine diëlektrische Spannung vorhanden wäre, so konnte er diese Kräfte berechnen, wenn die Energieänderung festgestellt ist. Die Erörterung, wie weit sich die berechneten Kräfte in Molekularkräfte auflösen lassen, zeigt, dass man dieselben ersetzen kann durch einen Druck, welcher im Innern des Diëlektricum auf ein Flächenelement wirkt,

dessen Normale mit der Richtung der Kraftlinie einen bestimmten Winkel bildet, und eine in der Richtung der Kraftlinien wirkende Spannung. Helmholtz zieht endlich aus den Ausdrücken für die Kräfte wiederum den Schluss, dass die beiden Anschauungen, nämlich diejenige, welche fernwirkende Kräfte annimmt, und die Faraday-Maxwell'sche, nach welcher überhaupt nur Polarisirung der Medien existirt, auch hiernach noch neben einander bestehen können.

In einer kurzen Aufzeichnung, betitelt „Zur Theorie der Anziehungen innerhalb magnetisirbarer oder diëlektrischer Medien“, sagt er bezüglich der hiermit zusammenhängenden Probleme:

„Wenn mehrere feste mit Elektrizität beladene Körper innerhalb einer diëlektrisch polarisirbaren Flüssigkeit liegen, so kommen bei der Bestimmung ihrer gegenseitigen Anziehungen nicht bloss diejenigen Kräfte in Betracht, welche die in ihnen selbst enthaltenen elektrischen Quanta auf einander ausüben, sondern auch diejenigen, welche von den elektrisch polarisirten Theilen des zwischenliegenden Mediums ausgehen. Ausserdem aber werden die Theile dieses Mediums selbst, da sie elektrisch geladen sind, elektrischen Bewegungskräften ausgesetzt sein, wodurch auch das Medium von seiner Stelle gedrängt werden und in Folge davon einen Druck auf die in ihm liegenden festen Körper ausüben kann. Nun kann diese Aufgabe in ziemlich einfacher Weise gelöst werden und ist bisher von mehreren Autoren so behandelt worden, indem man annimmt, dass auch in diesem Falle das Gesetz von der Erhaltung der Energie gültig sei, wie unter der älteren Annahme, dass eine beliebige Anzahl elektrisirbarer Körper im leeren, nicht elektrisch polarisirbaren Raume auf einander wirken. Dazu muss man ferner einen Werth der potentiellen Energie annehmen, der den Erscheinungen der diëlektrischen Ladung, wie man sie an ruhenden Körpern (Condensatoren zum Beispiel mit verschiedener isolirender Zwischenschicht) beobachtet, ent-

spricht. Es erscheint nicht zweifelhaft, dass dieses Verfahren thatsächlich richtige Resultate gegeben hat in den Gleichungen, wie sie von W. Thomson, Cl. Maxwell und mir selbst hingestellt und gebraucht worden sind, aber dasselbe führt nicht zu voller Einsicht in das Zusammenwirken der elementaren Kräfte, weil man bis auf diese nicht zurückgeht.

Eine solche Einsicht wird aber namentlich dann ein Bedürfniss, wenn man auf die Mitwirkung der diëlektrischen Medien bei den bisher noch weniger durchsichtigen elektrodynamischen Erscheinungen eingehen will. Herr Cl. Maxwell hat diese Verhältnisse unter Annahme eines unendlich grossen Werthes der diëlektrischen Constante behandelt, aber in sehr gedrängter Kürze und so, dass die von ihm darauf gebaute Theorie in keine vermittelnde Verbindung mit der älteren gesetzt werden kann. Es scheint mir dies der Hauptgrund zu sein, warum seine äusserst sinnreichen mathematischen Ausführungen der Faraday'schen Gedanken bisher so wenig Verständniss unter den Physikern gefunden haben. Was hier über die Theorie diëlektrischer Medien gesagt ist, gilt in gleicher Weise von den paramagnetischen und diamagnetischen. Ich werde fortfahren, von diëlektrischen zu sprechen, da die Elektrizität hier die mathematisch allgemeinere Form der Aufgabe giebt, insofern ihr Gesamtquantum in einem gegebenen endlichen Raum nicht immer Null zu sein braucht, wie es für das Gesamtquantum des Magnetismus der Fall ist.

Die Hypothese, von der wir dabei ausgehen wollen, ist nun die, dass in den Molekeln eines diëlektrischen Mediums unter dem Einfluss äusserer elektrischer Kräfte elektrische Vertheilungen eintreten, wobei wir uns nicht weiter darüber zu entscheiden brauchen, ob es sich hier nur um Elektrisirung übrigens unveränderter ponderabler Molekel handelt, oder ob diese ponderablen Molekeln selbst durch die elektrischen Kräfte in ihrer Form und Richtung verändert

werden. Nur halten wir die Hypothese fest, dass die zwischen den ponderabeln Molekeln gegenseitig, und zwischen diesen und den Elektricitäten wirkenden Kräfte conservativ seien, das heisst dem Gesetze von der Constanz der Energie unterworfen sind.

Unter diesen Umständen wird also ein Zustand elektrischer Vertheilung entstehen, in welchem auch in den Molekularinterstitien hier positive, hier negative Elektricität lagert, und deren Potentialfunction deshalb ebenfalls in so kleinen Intervallen zwischen hohen und niedrigen, positiven und negativen Werthen wechselt.“

Zu gleicher Zeit veröffentlichte Helmholtz in Wiedemann's Annalen eine kurze Notiz „Eine elektrodynamische Waage“, die er zu dem Zwecke construirte, um bei der Messung galvanischer Ströme in absolutem Maass die Störungen zu vermeiden, welche die Veränderungen der Richtung und Intensität des Erdmagnetismus durch ihre elektromagnetische Wirkung verursachen. An den Enden des Balkens einer kleinen chemischen Waage hängt er zwei Spiralen von Kupferdraht auf, deren Höhe ihrem inneren Durchmesser gleich, und deren Axe vertical ist; zwei ebenso hohe Spiralen von grösserem Radius werden in einer festen Stellung etwas oberhalb der beweglichen von einem horizontalen Metallstabe gehalten, der in seiner Mitte an der die Waage tragenden Säule befestigt ist. Die Verbindungen der Drähte sind derart angeordnet, dass die eine der beweglichen Spiralen von der festen angezogen, die andere abgestossen wird, die angezogene Spirale hebt sich, die abgestossene sinkt beim Durchleiten des Stromes durch den Schliessungskreis, wobei jede der beweglichen Spiralen mit den anderen den Strom leitenden Drähten durch zwei Streifen von Rauschgold verbunden werden. Der Gesamtwirkung der beiden Rollen wird durch passende Belastung das Gleichgewicht gehalten, und es ist somit die Kraft, welche der elektrodynamischen Kraft entgegenwirkt und sie misst, allein die der Schwere

und keinen Schwankungen unterworfen, wie der Erdmagnetismus.

In den Osterferien 1881 reist er mit seiner Frau nach London, um der ehrenvollen Aufforderung der chemischen Gesellschaft folgend an der Stelle zu den Gelehrten Englands zu reden, „von welcher aus der grosse Naturforscher Faraday, dessen Gedächtniss gefeiert werden sollte, so oft seine bewundernden Zuhörer durch Enthüllung ungeahnter Geheimnisse der Natur überrascht hat“.

Seine Rede „Die neuere Entwicklung von Faraday's Ideen über Elektrizität“, welche er, nachdem Roscoe dieselbe durchgelesen und einiges im Ausdrucke gebessert hatte, in englischer Sprache hielt, gehört zu den formal und inhaltlich schönsten und tiefsten Vorträgen, die er gehalten.

„Seine Faraday-Vorlesung“, schrieb seine Frau, „verlief sehr glänzend und gut. Der Inhalt war mir zwar sehr unverständlich, da er meist von Atomen handelte und dem Einfluss der Elektrizität auf die chemischen Eigenschaften; aber der Enthusiasmus bei seinem Eintritt und die Cheers, sowie er eine eigene Berechnung oder Ansicht äusserte, waren sehr hübsch.“

Nachdem er zunächst einen geschichtlichen Ueberblick über die Entwicklung der Elektrodynamik gegeben, um denselben in einer begeisterten Darlegung der Faraday-Maxwell'schen Theorie gipfeln zu lassen, liefert er zum ersten Male eine zusammenhängende Auseinandersetzung der Beziehungen zwischen den elektrischen und chemischen Kräften, wie wir sie oben in seinen Einzelarbeiten haben entstehen sehen. Um ein Verständniss der Beziehungen zwischen elektrischer Kraft und chemischer Affinität zu erzielen, leitet er aus den Erscheinungen der elektrolytischen Zersetzungen eine Vorstellung her, wie wir uns die ponderablen Atome mit Elektrizität verbunden zu denken haben. Aus der Annahme, dass die Ionen mit Elektrizität geladen sind, schliesst er, dass mit einer wandernden Atomgruppe immer die gleiche

Menge Elektrizität wandert, und dass auch die Elektrizität sich nur in bestimmten elementaren Theilen vorfindet, die sich wie die Atome der Elektrizität verhalten. Einen wesentlichen Bruchtheil der chemischen Affinität bilden die Anziehungen, welche die entgegengesetzten Elektrizitäten in den Verbindungen auf einander ausüben; wenn sich eine in einem Atom vorhandene Einheit positiver Elektrizität gegen die Einheit negativer Elektrizität in einem anderen Atom bindet, so sind diese Elektrizitäten nach aussen unwirksam, und es werden die Atome mit einer gesättigten Affinität an einander haften.

Nach Hertz' Ansicht kommt man so zu einer folgerichtigen Vorstellung über das Wesen der Valenzen, und er will schon daraus allein die Wichtigkeit und Bedeutung der Anschauungen erkennen, welche Helmholtz von den chemischen Vorgängen ausgebildet hat. Freilich dankt dieser an seinem 70. Geburtstage Hoffmann, der seine Forschungen zum Verständniss chemischer Vorgänge als den Beginn einer neuen Aera in der Chemie preist, durch welche ganze Gebiete in ein neues Licht getreten und unserem Verständniss wesentlich näher gerückt sind, mit den so überaus bescheidenen Worten:

„Ich danke Ihnen sehr, wenn Sie einiges Interesse und einige Anerkennung für meine chemischen Dilettantereien empfinden und mir zu erkennen geben.“

Es mögen hier zwei kurze Aufzeichnungen von Helmholtz eine Stelle finden, welche wahrscheinlich die Einleitung zu einer ausführlicheren Bearbeitung seiner chemischen Forschungen bilden sollten und eine Ergänzung zu den Anschauungen liefern, welche er in seinen bisherigen chemischen Einzeluntersuchungen und zusammenhängender in seiner Faraday-Rede entwickelt hatte.

Die ersteré derselben, „Nachträgliche Betrachtungen zur Faraday-Lecture“ betitelt, lautet:

„Die dualistische Theorie der Elektrizität, welche ich

zunächst bei dem vorliegenden Versuch, eine mit den neueren Erfahrungen vereinbare elektrochemische Theorie aufzustellen, festgehalten habe, setzt unverkennbar eine überflüssig grosse Zahl von Hypothesen und hypothetischen Apparaten in Bewegung nur zu dem Zweck, eine vollkommene Analogie für die Wirkungen positiver und negativer elektrischer Wirkungen zu bewahren. Bei dem Versuch, auf diese Theorie Hypothesen über die Constitution bestimmter chemischer Verbindungen zu bauen, giebt sich die überflüssige Zahl dieser Hypothesen zu erkennen durch die Möglichkeit, verschiedene Constitutionsformeln herzustellen, denen keine gleiche Mannigfaltigkeit thatsächlich vorhandener Verbindungen entspricht. Es schien mir deshalb schon lange wünschenswerth, den Versuch zu machen, wie weit man mit der unitarischen Hypothese gelangen kann; ein solcher Versuch ist auch schon von Richarz gemacht worden.

Als Grundlagen braucht man dann folgende Annahmen:

1. Es giebt abgegrenzte und unter einander gleiche Quanta einer Art von Elektrizität, elektrische Atome, von denen je zwei in hinreichender Ferne nach Coulomb's Gesetz abstossend auf einander wirken. Bezeichnen wir die Kraft, mit der jedes Paar derselben gegenseitig auf einander wirkt, mit  $\frac{e^2}{r^2}$ .
2. Von jeder Valenzstelle jedes Atoms eines chemischen Elementes geht eine ähnliche Kraft aus, welche jede andere Valenzstelle abstösst, und zwar in hinreichender Entfernung mit der Kraft  $\frac{e^2}{4 r^2}$ .
3. Elektrische Atome dagegen und Valenzstellen ziehen sich an, jedes Paar in hinreichender Entfernung mit der Kraft  $-\frac{1}{2} \frac{e^2}{r^2}$ .

Wenn ein elektrisches Atom zweien Valenzstellen

anliegt, verschwindet in hinreichender Entfernung die Fernwirkung dieses Aggregats, sowohl auf andere elektrische Atome, wie auf andere Valenzstellen.

4. In sehr geringen Entfernungen dagegen nehmen die anziehenden Kräfte zwischen elektrischen Atomen und Valenzstellen bei wachsender Näherung schneller zu, als  $\frac{e^2}{r^2}$ , und für die Valenzstellen verschiedener Elemente in verschiedenem Maasse.

In grösseren Entfernungen also leistet ein elektrisches Atom, welches sich zwei bei einander liegenden Valenzstellen nähert, eine Arbeit, die für jedes solches Paar der elektrischen Potentialfunction entspricht,  $\frac{e^2}{r}$ . Sobald sie in molekulare Entfernungen kommen, ist dagegen die geleistete Arbeit grösser.

5. Auch zwischen genäherten ponderablen Atomen werden bei grosser Annäherung sehr stark zunehmende abstossende Kräfte anzunehmen sein.

Nach diesen Voraussetzungen wird ein Körper, der in sich gleichmässig vertheilt zweimal so viel Valenzstellen als elektrische Atome enthält, nach aussen hin sich elektrisch neutral verhalten, dagegen eine Art elektrischer Kräfte zeigen (wir wollen sie positiv nennen), wenn eine überschüssige Zahl elektrischer Atome, die andere Art von Kräften (negative), wenn die Zahl der Valenzstellen überwiegt. Im letzteren Fall wird er eine anziehende Fernkraft auf Atome, im ersteren auf Valenzen ausüben.

Der Ueberschuss der Arbeit der in molekularer Entfernung wirkenden Kräfte zwischen Valenzen und elektrischen Atomen über den Werth  $\frac{e^2}{r}$  würde sowohl mit der galvanischen Constanten der verschiedenen Substanzen in der Volta'schen Spannungsreihe zusammenfallen, wie mit dem

Haupttheile der chemischen Verwandtschaftskraft. Diejenigen Valenzen, welche die grössere Anziehung gegen die Elektrizität in molekularer Entfernung haben, werden im Stande sein, andere Valenzen von geringerer Anziehung zu verdrängen, wie dies ruhig und allmählich bei den elektrolytischen Processen geschieht, stürmischer und unter äquivalenter Wärmeentwicklung am Orte der Umsetzung selbst in denjenigen chemischen Processen, die nicht durch elektrische Gegenkräfte gehemmt werden.

Die elektrische Bindung zweier Valenzen kann ebenso gut solche von gleichartigen, wie von ungleichartigen Atomen betreffen. Dies ergibt im ersteren Falle Molekeln aus zwei Atomen bestehend, wie sie in den elementaren Gasen vorkommen, im letzteren Falle gesättigte chemische Verbindungen.

Bei der Elektrolyse wird jedem Eintritt eines neuen elektrischen Aequivalentes aus der Anode an den Elektrolyten und jedem Austritt eines solchen an die Kathode das Freiwerden zweier Valenzen an der letzteren, Bindung eben solcher an der Anode entsprechen, welche aber durch Auswechslung der Ionen längs der Stromlinien in der Flüssigkeit in bekannter Weise wieder in Bindung übergehen können.“

Die zweite Aufzeichnung, betitelt „Zur elektrodynamischen Theorie optischer Erscheinungen“, bezieht sich in den wenigen vorliegenden Zeilen im Wesentlichen zunächst auch nur auf die von ihm vertretenen und oben entwickelten chemischen Anschauungen:

„Maxwell's Gleichungen der Elektrodynamik ziehen Wechselwirkungen zwischen träger wägbarer Masse und dem raumfüllenden elektromagnetischen Aether nicht in den Kreis ihrer Betrachtungen, wenigstens nicht anders, als in so weit die Constanten des Mediums durch die Einlagerung verschiedener ponderabler Stoffe verändert werden können. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass die etwa eintretende Bewegung des Mediums eine gemeinsame aller seiner Be-

standtheile sei. Diese Voraussetzung führt dann zu einer Theorie des Lichtes, welche keine Erklärung der Dispersion, und auch nicht der durch Magnetismus hervorgebrachten Rotation der Polarisationssebene giebt.

Die Thatsachen lassen uns dagegen deutlich erkennen, dass eine sehr grosse Reihe von Erscheinungen nur zu Stande kommen, wenn ponderable Materie mit betheilig ist. Dahin gehört die galvanische Leitung, die damit zusammenhängende Absorption des Lichtes, die Verschiedenheiten der dielektrischen und magnetischen Constanten und des Lichtbrechungsvermögens, einschliesslich der Doppelbrechung, ferner das weite Gebiet der elektrochemischen und galvanischen Wirkungen.

Einen grossen Theil dieser letzteren habe ich, geführt durch Faraday's elektrolytisches Gesetz, unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt zusammenzufassen gesucht, der sich fähig erwiesen hat, auch in der Lehre von der galvanischen Polarisation und der Thermochemie mancherlei dunkle Punkte aufzuhellen. Die von mir damals aufgestellte Hypothese, dass jede Valenz des Ion einer elektrolytisch zerlegbaren chemischen Verbindung mit einem Aequivalent entweder positiver oder negativer Elektrizität verbunden sei, so lange der betreffende Elektrolyt noch nicht zerlegt sei, dass ferner die Valenzen verschiedener Elemente, eventuell auch die verschiedenen Valenzen desselben Atoms verschiedene Anziehungskräfte gegen die Aequivalente der beiden Elektrizitäten ausüben, und dass diese Anziehungen und die der ungleichnamigen Elektrizitäten unter einander den wesentlichsten Theil der chemischen Verwandtschaftskräfte ausmachten: diese Annahmen habe ich bisher allerdings in der Form der alten dualistischen Theorie der Elektrizität ausgesprochen und sie bisher noch nicht in Beziehung zu Maxwell's neuerer Darstellungsweise gebracht. Aber ein wesentliches Hinderniss, dies zu thun, besteht durchaus nicht. Es ist durchaus kein Hinderniss, die

Valenzstellen eines Atoms als Orte aufzufassen, welche Spannungscentra des Aethers sind. Ob man sich einen substantiellen Träger dieser Aetherspannungen noch hinzudenken will, den man bisher als ein Quantum Elektrizität bezeichnet hat, oder nicht, und im letzteren Falle das bleibende Quantum nur als eine Integrationsconstante der Bewegungsgleichungen auffassen will, ist an sich gleichgültig. Nur muss man allerdings die Möglichkeit festhalten, dass bei chemischen Zersetzungen ein solches Spannungscentrum auf ein anderes Atom hinübergleite, und dass verschiedene chemische Elemente verschiedene Anziehung zu dem positiven und negativen Ende der Kraftlinien haben, so dass verhältnissmässig grosse Arbeitsbeträge durch eine solche Auswechselung des positiven mit dem negativen Ende des Kraftlinienbündels geleistet werden kann.

Uebrigens wird es in dieser elektrochemischen Theorie überhaupt fraglich, ob es irgend welche freie Elektrizität giebt, die nicht an Valenzen mitgeführter Ionen haftet. Denn im reinen Aether eines von aller ponderablen Substanz leeren Vacuums giebt es auch keine freie Elektrizität, selbst wenn Lichtschwingungen hindurchziehen.

Wenn wir diese elektrochemische Annahme festhalten und in durchsichtigen Medien Atome mit positiven und negativen Ladungen uns eingelagert denken, so werden diese bei periodisch wechselnden elektrischen Kräften des sie umgebenden Raumes nothwendig in oscillatorische Bewegung versetzt werden müssen, bei denen ihre Trägheit sich geltend machen muss, so dass sie nicht nothwendig augenblicklich den auf sie wirkenden elektrischen Kräften folgen werden. Dadurch sind die wesentlichen Bedingungen für eine Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen von der Schwingungsdauer, d. i. der Dispersion gegeben.“

Nachdem Helmholtz seine Rede in London gehalten, reiste er nach Cambridge, wo er zum Doctor of Laws ge-

macht wurde, hielt sich noch einige Zeit in Glasgow bei seinem Freunde W. Thomson auf und reiste dann direct nach Berlin zurück, um seine thermodynamische Arbeit zur Veröffentlichung vorzubereiten.

Die Faraday-Rede hatte ein ganz ungewöhnliches Aufsehen in der englischen Gelehrten-Welt erregt, und Sir William Thomson sah sich dadurch veranlasst, an Helmholtz die Bitte zu richten, noch im Herbst desselben Jahres einige öffentliche Vorlesungen in England zu halten. Helmholtz antwortete ihm am 15. Juli dankend, aber ablehnend:

„Ich sage Ihnen meinen besten Dank für Ihre so freundliche Absicht, mich wieder nach Glasgow zu ziehen. Aber ich finde, dass ich den angebotenen Auftrag nicht übernehmen kann. Erstens kenne ich das Publicum, vor dem ich zu sprechen haben würde, zu wenig und habe überhaupt wenig Glück mit meinen Versuchen, populäre Vorlesungen vor einem grossen, aus verschiedenen Ständen gemischten Publicum zu halten; zweitens nimmt für mich das Ausarbeiten einer Vorlesung in englischer Sprache zu viel Zeit in Anspruch, und ich habe alle Ursache, mit meiner Zeit geizig zu werden, da ich in diesem Jahre 60 alt werde und noch viele Arbeiten vor mir habe, die ich gern vollenden möchte.“

Nachdem er nach den Mühen des Sommersemesters wie gewöhnlich den August in Pontresina zugebracht, wo er „den verhängnissvollen Tag, an dem er die fünfziger Jahre verliess“, durch eine mühevollen zwölfstündige Partie über die Diavolezza feierte, ging er am 15. September zum elektrischen Congress nach Paris, der an seine Arbeitskraft wieder äusserst grosse Anforderungen stellte, ihm aber auch viel Anregung und Interesse bot.

„Ich fuhr mit du Bois in die Eröffnungssitzung“, schreibt er seiner Frau. „Der Minister der Posten ist Präsident, drei andere Minister sind die für Frankreich gestellten Vicepräsidenten. Die auswärtigen waren zu wählen.“

Gewählt wurden Sir W. Thomson, Professor Govi von Turin und Dein Gatte. Wir nahmen unseren Platz neben Excellenz Cochery unter grosser Acclamation ein. Die Sitzung selbst war nur formell; in der Versammlung sind eine Menge interessanter Leute . . . . Im Congress haben wir Sitzungen über Sitzungen von Sectionen, Commissionen, Subcommissionen, Privatcomités gehabt, um die Frage wegen der elektrischen Maasseinheiten zwischen England und Deutschland zu erledigen. Es scheint jetzt glücklich gelungen zu sein. Ich habe jeden Tag drei oder vier französische Reden gehalten, welche Du glücklicher Weise nicht gehört hast. Sir W. Thomson und ein englischer Jurist Moulton sind die Haupt-Debaters auf englischer Seite. Uebrigens erfreue ich mich der Gunst meines Publicums und fahre also fort, mein schlechtes Französisch der Welt ins Gesicht zu schleudern . . . .“

Von Paris aus musste Helmholtz noch nach Florenz reisen, da er von den italienischen Physiologen zu den Berathungen über die Ertheilung eines Preises als die erste Autorität des Auslandes eingeladen war:

„Wir haben einen grossen Sitzungssaal für uns mit Mobilien der Murat's, rechts wohnt Tommasi, links ich. Um 2 Uhr werden wir mit zwei anderen Physiologen unsere erste Sitzung haben. Ueber das Resultat wird wohl nicht viel Zweifel bestehen, nur müssen wir die Sache in schriftliche Form bringen . . . .“

Auf der Rückreise besuchte er noch die elektrische Ausstellung in Wien und traf dort mit W. Thomson zusammen. Ich versammelte damals diesen beiden Meistern der Naturforschung zu Ehren die hervorragendsten Naturforscher Wiens, wie Brücke, Stefan, Oppolzer und viele andere an einem Nachmittage in meinem Hause, und alle waren entzückt von der vornehmen Liebenswürdigkeit von Helmholtz; er sprach mir seine grosse Freude darüber aus, dass er endlich Gelegenheit hatte, mit Stefan, den er

sehr hoch schätzte, eine wissenschaftliche Unterhaltung führen zu können.

Schon nach wenigen Tagen kehrte er nach Berlin zurück und musste zunächst in schriftlichen Gutachten und durch Vorträge in wissenschaftlichen Vereinen über die in Paris gefassten Beschlüsse Bericht erstatten. Noch vor Ende des Jahres macht er im elektrotechnischen Verein in einem Vortrage „Ueber die elektrischen Maasseinheiten nach den Berathungen des elektrischen Congresses versammelt zu Paris 1881“ und im folgenden Jahre in der physikalischen Gesellschaft in dem „Bericht über die Thätigkeit der internationalen elektrischen Commission“ nähere Mittheilungen über die Resultate der Pariser Berathungen, welche in der Arbeit „Ueber absolute Maasssysteme für elektrische und magnetische Grössen“ im Jahre 1882 in Wiedemann's Annalen zusammengefasst sind.

Jede Feststellung einer neuen absoluten Maasseinheit muss auf die messende Beobachtung natürlicher Vorgänge basirt und schliesslich auf einen rein mechanische Vorgänge enthaltenden Versuch zurückgeführt werden. Das Maass der magnetischen Quanta, welches bisher ausschliesslich angewandt wurde, ist auf die von Gauss aufgestellte Definition gegründet, wonach die abstossende Kraft zwischen zwei magnetischen Quantis  $m_1$  und  $m_2$ , die in der Entfernung  $r$  von einander sich befinden, nicht bloss proportional, sondern gleich dem Werthe  $\frac{m_1 m_2}{r^2}$  gesetzt wird; da die Kraft und die Länge  $r$  nach bekannten Methoden zu messen sind, ist dadurch der Werth des Productes  $m_1 m_2$  in absoluten Maassen bestimmt, und wenn also aus anderen Thatsachen noch das Verhältniss  $\frac{m_1}{m_2}$  bestimmt werden kann, sind  $m_1$  und  $m_2$  einzeln gegeben. Setzt man die absolute Dichtigkeit des Wassers gleich 1, während die Einheit der Masse nach Gravitationsmaass bestimmt ist, so ist dadurch nach Gauss ein von der wahr-

scheinlich veränderlichen Rotation der Erde unabhängiges Zeitmaass gegeben. Genau dasselbe Princip wendet Gauss auf die elektrischen Quanta und die gravitirenden Massen an. Helmholtz empfiehlt nun gegenüber Vorschlägen von Clausius und Maxwell, sich an das Gauss'sche magnetische und elektrostatische Maass zu halten, welches der Elektrizität und dem Magnetismus die Einheiten  $[e] = [m] = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$  verleiht, worin durch die eckigen Klammern die Dimensionen des von denselben eingefassten Ausdruckes, mit  $M$  eine Masse, mit  $L$  eine Länge, mit  $T$  eine Zeit bezeichnet werden, und von diesen ausgehend alle übrigen bestimmt. Er schlägt vor, diesem Systeme auch den Namen des elektrostatischen zu lassen.

In dieser Zeit hatte Helmholtz seine fundamentalen thermodynamischen Untersuchungen zum grossen Theil zum Abschluss gebracht und war nur noch mit der äusserst schwierigen Darstellung derselben beschäftigt. Gleichzeitig gab er die Anregung zu einigen experimentellen Untersuchungen, welche ihm für die Begründung seiner chemischen Anschauungen ein wesentliches theoretisches Interesse boten.

Er legte am 3. November 1881 der Akademie eine Arbeit vor, betitelt: „Ueber galvanische Polarisation des Quecksilbers und darauf bezügliche neue Versuche des Herrn Arthur König“, die König auf Veranlassung von Helmholtz im Universitätslaboratorium angestellt hatte. Es handelte sich um Messungen über die Capillarspannung der galvanisch polarisirten Quecksilberflächen, bei welchen der störende Einfluss der veränderlichen Adhäsion der beiden Flüssigkeiten an den Glaswänden in Wegfall kam. Die optischen Schwierigkeiten bei der Messung der Niveaudifferenz zwischen der Kuppe und dem grössten Umfange eines ruhenden Quecksilbertropfens wurden ebenfalls vermieden, und zwar wurde die Messung der Oberflächenspannung des Quecksilbers durch Beobachtung der

Krümmung an dem Scheitel eines Quecksilbertropfens ausgeführt, welche durch das Ophthalmometer mit grosser Schärfe bestimmt werden konnte. Der Tropfen ragte aus der oberen, 9 mm weiten kreisförmigen Oeffnung eines Glasgefässes hervor und war umgeben von der in einem weiteren Gefäss enthaltenen elektrolytischen Flüssigkeit. Durch eine geeignete Vorrichtung konnte die Kuppe des Tropfens mehr oder weniger aus der Mündung des engeren Gefässes hervorge drängt und so eingestellt werden, dass die Krümmung am Scheitel ihr Maximum erreichte. Die Versuchsreihen zeigten übereinstimmend die Erscheinung, dass in einem mittleren, bei den verschiedenen Flüssigkeiten verschiedenen Polarisationszustande die Oberflächenspannung ein Maximum erreicht. Helmholtz macht nun die Voraussetzung, dass die Kräfte, unter deren Einfluss sich an der polarisirten Fläche der Gleichgewichtszustand zwischen den an der Kuppe wirkenden molekularen und elektrischen Kräften bildet, conservative sind, und findet unter dieser Annahme, dass im Zustande der maximalen Oberflächenspannung zwischen dem Quecksilber und der Flüssigkeit kein Potentialunterschied besteht, und die Fläche frei von jeder elektrischen Doppelschicht sein muss. Schliesslich zeigt er noch, indem er das Quecksilber als Elektrode benutzt, dass Faraday's elektrolytisches Gesetz, nach welchem da, wo keine Elektrolyse möglich ist, auch keine Elektrizität vom Metall zum Elektrolyten oder umgekehrt übergehen kann, nur in scheinbarem Widerspruch steht zu den Versuchen über galvanische Ströme, welche durch gleichzeitiges Eintauchen zweier gleichartiger Elektroden in die gleiche Flüssigkeit erregt werden.

Das Jahr 1882 brachte Helmholtz und seiner Familie hohe Anerkennung und huldvolle Auszeichnung; er wurde von Kaiser Wilhelm I. in den erblichen Adelstand erhoben. Zugleich hatte das Erscheinen des ersten Bandes seiner „Wissenschaftlichen Abhandlungen“, dem schon im nächsten Jahre der zweite Band folgte, der wissenschaft-

lichen Welt den staunenswerthen Umfang seiner gewaltigen wissenschaftlichen Leistungen vor Augen geführt.

„Ich finde es besonders erfreulich“, schreibt ihm L. Kronecker, „wie Ihre eigene wissenschaftliche Individualität darin zur Erscheinung gebracht wird. Zeigt die „Inhaltsübersicht“ schon dem Leser die ganz exceptionelle Ausdehnung Ihres Wissens- und Forschungsgebietes, so zeigt dann im Innern jede einzelne Abhandlung dem, der sie gründlich studirt, Ihre Tiefe und Gründlichkeit.“

Und ein Jahr später:

„Dass man, wenn man Helmholtz'sche Denkkraft hat, so tiefe und durchschlagende Gedanken, und wenn man dazu das beispiellose Helmholtz'sche Denkmaterial besitzt, auch so mannigfaltige und umfassende Gedanken haben kann, wie die in Ihren Abhandlungen niedergelegten, ist nicht zu verwundern. Aber dass sich in Ihnen mit der Denk- und Wissensgewalt jene seltene Menschenfreundlichkeit und Arbeitskraft verbindet, welcher die Welt die Idee und die Vollendung, die Herausgabe Ihrer gesammelten Abhandlungen verdankt, das ist es, was meine höchste Bewunderung erregt.“

Es war ein Jahr schwerster wissenschaftlicher Arbeit, in welchem er seine tiefen thermodynamischen Untersuchungen zum Abschluss brachte, welche ihm sogleich wieder den Ausgangspunkt boten für seine staunenswerthe Theorie der Statik monocyclischer Systeme und welche zugleich in den fundamentalen Forschungen über das Princip der kleinsten Wirkung culminirten, die ihn bis an sein Lebensende beschäftigten.

Am 18. September 1882 schreibt er an Thomson:

„Nach zehn Monaten Arbeit habe ich sehr verlangt nach ungestörter Ruhe, für welche ich Pontresina einen der besten Plätze von der Welt gefunden habe. Am 16. October muss ich nach Paris gehen als Mitglied der internationalen Commission des elektrischen Congresses. Mein Faraday-Vor-

trag hat mich zu elektrischen Forschungen geführt; ich hoffe, dass Sie meine erste Notiz über diesen Gegenstand bekommen haben „Ueber thermodynamischen Werth der chemischen Actionen“. Eine zweite ist schon gedruckt worden, ein Vergleich der chemischen Energie von Lösungen u. s. w.“

Da der Verlust von mechanischer Energie durch Reibung Wärme entstehen lässt, und der Gewinn von mechanischer Energie einen Verlust von Wärme bedingt, da ferner die Menge der verlorenen und gewonnenen Energie proportional ist der Menge der gewonnenen und verlorenen Wärme, so durfte man die Wärme als eine Form der Energie betrachten und gelangte zu der Annahme, dass jedes Partikel eines warmen Körpers sich fortwährend mit beständig variirender Bewegungsrichtung so schnell bewegt, dass dasselbe eine geringe oder gar keine Veränderung seines Ortes im Körper erfährt. Ist dies aber der Fall, so muss ein Theil der Energie eines warmen Körpers die Form der kinetischen Energie haben, und es wird somit die Energie, da jede Art derselben in Wärme umgewandelt werden kann, in der Form von Wärme gemessen werden können. Doch kann man aus dem Princip von der Erhaltung der Kraft nicht entnehmen, ob Arbeit unbegrenzt in Energie der Wärme und letztere unbegrenzt in Arbeit verwandelt werden kann, und wie es sich damit bei all den anderen Naturkräften verhält. Auf diese in praktischer und theoretischer Beziehung so wichtige Bestimmung richtete nun Helmholtz zunächst seine Aufmerksamkeit, indem er untersuchte, ein wie grosser Theil der Wärme, die in einem galvanischen Elemente bei chemischen Processen entwickelt wird, sich als Stromesarbeit wiederfindet, und die Energieformen in verschiedene Rangstufen ordnete, je nachdem sie mehr oder weniger vollkommen in mechanische Arbeit verwandelbar sind.

In seinen fundamentalen Arbeiten „Die Thermodynamik chemischer Vorgänge“, welche er am 2. Februar und 27. Juli 1882 der Berliner Akademie vorlegte, entwickelt

er mathematisch formulirte Beziehungen zwischen den Gesetzen der Wärme, der Elektrizität und der chemischen Erscheinungen, aus denen sich eine Identität der chemischen Valenzen und elektrischen Potentiale der Atome als wahrscheinlich ergibt, so dass die elektrochemischen Prozesse als eine nach den Coordinaten des Raumes geordnete, die Wärme als eine ungeordnete Molekular- und Atombewegung erscheint.

Die Frage nach dem Zusammenhange zwischen der elektromotorischen Kraft von Ketten mit unpolarisirbaren Elektroden und den chemischen Veränderungen, die in jenen vor sich gehen, hatte Helmholtz auf die allgemeinere Frage geführt, welcher Theil der in einem Körper vorhandenen Energie in andere Arbeitsformen umgesetzt werden kann, und ihn zu seinen Arbeiten über die Thermodynamik chemischer Vorgänge geleitet, welche wieder nur die Vorarbeiten zu seinen grossen Untersuchungen über die monocyklischen Systeme bilden. Die Dynamik hatte durch die Einführung der potentiellen Energie, welche von Helmholtz früher als Quantität der Spannkräfte bezeichnet wurde, eine wesentliche Vereinfachung und Verallgemeinerung ihrer analytischen Entwicklungen erreicht. Bei den Anwendungen dieses Begriffes wurden jedoch Aenderungen der Temperatur in der Regel nicht berücksichtigt, weil entweder die Kräfte, deren Arbeitswerth man berechnete, wie z. B. die Gravitationskraft, überhaupt nicht von der Temperatur abhängen, oder weil die Temperatur während der untersuchten Vorgänge als constant oder als Function bestimmter mechanischer Aenderungen angesehen werden konnte, wie z. B. bei der Schallbewegung als Function der Dichtigkeit des Gases. Wenn nun auch die im Werthe der potentiellen Energie vorkommenden physikalischen Constanten, wie die Dichtigkeit u. a., mit der Temperatur variiren, und somit auch diese Energie eine Function der Temperatur ist, so blieb doch die im Werthe jeder potentiellen Energie vor-

kommende Integrationsconstante vollkommen willkürlich für jede neue Temperatur zu bestimmen — man konnte die Uebergänge von der einen zur anderen Temperatur nicht machen.

Die bisherigen Untersuchungen über die Arbeitswerthe chemischer Vorgänge bezogen sich fast ausschliesslich auf die bei Herstellung und Lösung der Verbindungen auftretenden oder verschwindenden Wärmemengen, während doch mit den meisten Veränderungen auch Aenderungen des Aggregatzustandes und der Dichtigkeit der Körper verbunden sind. Diese erzeugen aber oder verbrauchen Arbeit in zweierlei Formen, in der Form von Wärme und in der Form von unbeschränkt verwandelbarer Arbeit. Ein Wärmevorrath ist nicht unbeschränkt in andere Arbeitsäquivalente verwandelbar, sondern das kann immer nur theilweise erreicht werden und nur dadurch, dass wir gleichzeitig den nicht verwandelten Rest der Wärme in einen Körper niederer Temperatur übergehen lassen. Da nun bei den meisten chemischen Vorgängen schon die Veränderungen des Schmelzens, Verdampfens u. a. auch Wärme aus der Umgebung herbeiziehen, so wird man auch bei diesen fragen müssen, in welchem Verhältniss mechanische und thermische Energie erhalten werden können. Wenn man weiter bedenkt, dass auch die chemischen Kräfte allein nicht bloss Wärme, sondern auch andere Formen der Energie hervorbringen können, ohne dass irgend eine der Grösse der Leistung entsprechende Aenderung der Temperatur in den zusammenwirkenden Körpern einzutreten braucht, wie z. B. bei den Arbeitsleistungen der galvanischen Batterien, so muss auch bei den chemischen Vorgängen eine Scheidung vorgenommen werden zwischen dem Theile ihrer Verwandtschaftskräfte, welcher freier Verwandlung in andere Arbeitsformen fähig ist, und dem Theile, welcher nur als Wärme erzeugbar ist. Diese beiden Theile der Energie bezeichnet nun Helmholtz als freie und gebundene Energie.

Er zeigt, dass die Prozesse, welche aus dem Ruhezustande und bei constant gehaltener gleichmässiger Temperatur des Systems von selbst eintreten und ohne Hülfe einer äusseren Arbeitskraft fortgehen, nur in solcher Richtung verlaufen können, dass die freie Energie abnimmt. Hierher gehören die bei constant erhaltener Temperatur von selbst eintretenden und fortschreitenden chemischen Prozesse, und es würden somit bei unbeschränkter Gültigkeit des Clausius'schen Gesetzes die Werthe der freien Energie, nicht die der durch Wärmeentwicklung sich kundgebenden gesammten Energie darüber entscheiden, in welchem Sinne die chemische Verwandtschaft thätig sein kann.

Helmholtz greift nun die Untersuchung ganz allgemein an für ein beliebig zusammengesetztes System von Massen, welche alle dieselbe Temperatur haben und alle auch immer die gleichen Temperaturänderungen erleiden, und nimmt an, dass der Zustand des Systems durch die Temperatur und eine Anzahl unabhängiger Parameter vollständig bestimmt ist. Durch eine Reihe scharfsinniger mathematischer Ueberlegungen gelangt er mit Hülfe der beiden Clausius'schen Gleichungen zu dem Resultat, dass die thermodynamischen Gleichungen zu ihrer Darstellung nur die Differentialquotienten des als Function der Temperatur vollständig bestimmten sogenannten Ergals erfordern. Dieses Ergal, welches für alle in constant bleibender Temperatur vorgehenden Veränderungen, wie er zeigt, mit dem Werth der potentiellen Energie für die unbeschränkt verwandelbaren Arbeitswerthe zusammenfällt, bezeichnet er als die freie Energie des Körpersystems, während die Differenz der gesammten inneren Energie und des Ergals die gebundene Energie genannt wird. Der Quotient aus der gebundenen Energie und der Temperatur ist die von Clausius eingeführte Entropie.

Um ferner das, was die theoretische Mechanik bisher als lebendige Kraft oder actuelle Energie bezeichnet hat,

von den Arbeitsäquivalenten der Wärme zu unterscheiden, die doch auch grösstentheils als lebendige Kraft unsichtbarer Molekularbewegungen aufzufassen sind, schlägt Helmholtz vor, erstere als lebendige Kraft geordneter Bewegung zu bezeichnen. Allgemein definirt er als geordnete Bewegung eine solche, bei welcher die Geschwindigkeitscomponenten der bewegten Massen als continuirliche differenzirbare Functionen der Raumcoordinaten angesehen werden können. Eine ungeordnete Bewegung ist dagegen eine solche, bei welcher die Bewegung jedes einzelnen Theilchens keinerlei Art von Aehnlichkeit mit der seiner Nachbarn zu haben braucht. Höchst wahrscheinlich ist die Wärmebewegung von letzterer Art, und er bezeichnet in diesem Sinne die Grösse der Entropie als das Maass der Unordnung.

„Für unsere dem Molekularbau gegenüber verhältnissmässig groben Hilfsmittel ist nur die geordnete Bewegung wieder in andere Arbeitsformen frei verwandelbar; ob eine solche Verwandlung den feinen Structures der lebenden organischen Gewebe gegenüber auch unmöglich sei, scheint mir immer noch eine offene Frage zu sein, deren Wichtigkeit für die Oekonomie in der Natur in die Augen springt.“

Durch einfache mathematische Ueberlegungen gelangt Helmholtz zu dem Resultat, dass bei allen Veränderungen, bei welchen die Temperatur constant bleibt, Arbeit nur auf Kosten der freien Energie geleistet wird, während die gebundene Energie sich auf Kosten ein- und austretender Wärme ändert. Bei allen adiabatischen Veränderungen wird Arbeit erzeugt auf Kosten der freien wie der gebundenen Energie, die Entropie bleibt hierbei constant. In allen anderen Fällen wird äussere Arbeit auf Kosten der freien Energie geliefert, alle Wärmeabgabe auf Kosten der gebundenen, während bei jeder Temperatursteigerung im System freie Energie in gebundene übergeht.

Mit diesen allgemeinen Folgerungen stimmen nun die

Beobachtungen an galvanischen Elementen überein. Es zeigt sich, dass die gebundene Energie auf Kosten der zugeführten Wärme, und bei Temperatursteigerungen auf Kosten der freien Energie wächst, es wird also stets freie Energie in gebundene übergeführt und nicht umgekehrt. Die freie Arbeit beim isothermen Uebergange ist daher auch bei nicht umkehrbaren Processen nicht durch die entwickelte Wärme ausgedrückt, wenn die Anfang- und Endtemperatur gleich sind, da diese Wärme von der freien und gebundenen Energie herrührt, während die freie Arbeit nur von der ersteren abhängt. Dass die ohne Berücksichtigung von Temperaturänderungen verschwindend kleine Aenderung der freien Energie nicht positiv oder Null ist, wird als Bedingung für das Beharren in dem augenblicklichen Zustande anzusehen sein; wird aber durch Temperatursteigerung ein Punkt erreicht, wo dieselbe negativ wird, dann tritt Dissociation ein. Es müssen daher alle chemischen Verbindungen unterhalb der Dissociationstemperatur Wärme abgeben, wenn sie auf umkehrbarem Wege gebildet werden.

Den neuen Begriff der freien Energie verwerthet nun Helmholtz, um den Zusammenhang der elektromotorischen Kraft einer Kette mit der Dampfspannung zu berechnen.

In der am 3. Mai 1883 der Akademie vorgelegten Arbeit „Zur Thermodynamik chemischer Vorgänge. Folgerungen, die galvanische Polarisation betreffend“, wendet er die früher entwickelten thermodynamischen Theoreme auf die Theorie der galvanischen Polarisation an und legt derselben deshalb eine grosse Wichtigkeit bei,

„weil sich zeigt, dass der Ueberschuss freier Energie des Knallgases über die des Wassers in hohem Grade von dem Druck abhängt, während die Wärmeentwicklung bei der Verbindung davon fast unabhängig ist. So lange man die elektromotorische Kraft der Polarisation nach letzterer berechnen zu müssen glaubte (was ich selbst in meinen früheren Arbeiten gethan habe), musste sie als eine fast

unveränderliche Grösse erscheinen, und das machte gewisse Vorgänge bei der Polarisation eines Voltameters fast unerklärlich. Wenn man aber die elektromotorische Kraft nach der freien Energie berechnet, so erscheint sie im höchsten Grade veränderlich nach der Gassättigung der letzten den Elektroden anliegenden Flüssigkeitsschichten, und dadurch wird die Erklärung eines grossen Theiles der Polarisationserscheinungen wesentlich verändert, und das meiste, was bisher räthselhaft war, erscheint verständlich.“

Helmholtz hatte in seiner früheren Arbeit aus dem Jahre 1873 gezeigt, dass in der Flüssigkeit aufgelöste Gase, besonders Sauerstoff, auf die Stärke der Ströme, deren unbegrenzte Dauer bei schwächeren elektromotorischen Kräften unerklärt geblieben, vom grössten Einfluss sind, und hatte dort das Zustandekommen der davon abhängigen Convectionsströme erklärt; Versuche, um die letzten Spuren gelöster Gase vollständiger zu entfernen, waren ohne Erfolg geblieben. Auch die Gegenkraft der Polarisation stieg noch immer mit der Steigerung der Kraft der galvanischen Batterie, wenn längst schon lebhaft Gasentwicklung vorhanden war. Diese Schwierigkeiten glaubt nun Helmholtz durch seine thermodynamische Theorie gelöst zu haben, indem aus dieser ersichtlich, dass der dem elektrischen Strome entgegenwirkende Widerstand der chemischen Kräfte durch die Auflösung der an den Elektroden ausgeschiedenen Gase in der Flüssigkeit fortdauernd wächst. Schliesslich wendet er noch seine Theorie auf die Bildung der Gasblasen nach Sättigung der den Elektroden benachbarten Schichten mit Gas an und berechnet die der Diffusion des Gases durch die Flüssigkeit entsprechende Arbeit.

Er legt den thermodynamischen Untersuchungen überhaupt eine überaus grosse Wichtigkeit für die wissenschaftliche Entwicklung der Chemie bei und spricht sich in einem Briefe aus dem Jahre 1891 in interessanter Weise darüber aus:

„Nernst hat sich mit vollem Eifer in die neuesten Wendungen der physikalischen Chemie geworfen, die von dem Holländer van't Hoff ausgingen und von Professor Ostwald in Leipzig in dessen Journal mit grossem Eifer vertheidigt werden. Diese Theorien haben sich schon vielfältig als höchst fruchtbar erwiesen und zu einer Menge thatsächlich richtiger Folgerungen geführt, obgleich in ihnen einige willkürliche Annahmen stecken, die mir nicht erwiesen erscheinen. Die Chemiker brauchen aber diese Annahmen (über Dissociation eines Theiles der zusammengesetzten Molekeln von aufgelösten Salzen), um sich eine anschauliche Vorstellung von den Vorgängen zu bilden, und man muss sie in ihrer Weise gewähren lassen, da sich das ganze ungeheuer umfassende System der organischen Chemie in der unrationellsten Weise entwickelt hat, immer angeheftet an sinnliche Bilder, die in der vorgetragenen Weise unmöglich richtig sein konnten. Es steckt in dieser ganzen Richtung ein gesunder Kern, die Anwendung der Thermodynamik auf die Chemie, der auch bei Planck viel reiner hervortritt. Aber die thermodynamischen Sätze in ihrer abstracten Form sind nur durch streng geschulte Mathematiker zu fassen und also schwer zugänglich für diejenigen Leute, welche die Versuche über die Lösungen und deren Dampfspannungen, Frostpunkte, Lösungswärmen u. s. w. ausführen sollen.“

In einer Aufzeichnung, die wahrscheinlich als Einleitung zu seiner dritten Abhandlung über Thermodynamik aus dem Jahre 1883 bestimmt war, setzt er in klarer und leicht fasslicher Weise die Gründe aus einander, die ihn zur Einführung der Begriffe der freien und gebundenen Energie geführt haben, und lässt zugleich erkennen, in welcher Weise er die Fortführung dieser Untersuchungen geplant hatte, wenn er nicht durch Verallgemeinerung aller dieser Betrachtungen auf viel umfassendere Probleme geführt worden wäre.

„Die bisherigen thermochemischen Untersuchungen be-

zogen sich fast ausschliesslich auf die Wärmemengen, welche durch chemische Processe hervorgebracht werden, wenn den chemischen Verwandtschaftskräften ungehindertes Spiel gelassen wird, so dass die Vereinigung der verwandten Stoffe in mehr oder weniger stürmischer Weise vor sich geht. Dabei wird als Arbeitsäquivalent der chemischen Kräfte meist nur Wärme erzeugt, oder wenigstens nur unbedeutende Beträge anderer Arbeitsformen, unter denen die Ueberwindung des Druckes der Atmosphäre verhältnissmässig am häufigsten eine Rolle spielt. Bei den thermochemischen Untersuchungen strebt man dann in der Regel danach, festzustellen, wie viel Wärme die Endproducte des chemischen Processes abgegeben, oder auch aufgenommen haben, wenn sie wieder auf die Temperatur ihrer anfänglichen Zustände zurückgekommen sind, in denen sie vor der Eingehung des chemischen Processes sich befanden. Eventuell sind hierzu die Wärmeäquivalente der noch ausserdem geleisteten oder erlittenen (d. h. negativ geleisteten) Arbeit zu addiren.

Man gewinnt durch dieses Verfahren das Wärmeäquivalent des ganzen Energievorraths, den die betreffenden Stoffe in ihrem Anfangszustande mehr gehabt haben, als in ihrem Endzustande. Das ist die durch unzählige mühsame und höchst dankenswerthe neuere Untersuchungen wohlgesicherte Grundlage der Thermochemie, entsprechend dem allgemeinen Princip von der Constanz der Energie.

Meistentheils wird diese Arbeit der chemischen Kräfte nur in Form von Wärme gewonnen, unter Umständen aber können wir auch direct andere Arbeitsleistungen, mechanische oder elektrische, durch sie erhalten. Die Wärme spielt nach dem von Clausius strenger gefassten Carnot'schen Gesetze eine eigenthümliche Rolle unter den übrigen Arbeitsäquivalenten. Während die übrigen frei und ohne wesentlichen Rest in einander übergeführt werden können, ist die Verwandelbarkeit der Wärme beschränkt, so lange wir in den uns erreichbaren Temperaturgrenzen zu bleiben ge-

zwungen sind. Wir können immer nur einen Bruchtheil der vorhandenen Wärme in andere Arbeitsformen verwandeln, während der Rest dieser Wärme aus höherer in niedere Temperatur übergeführt wird. Wenn wir mit  $\vartheta_0$  die niedrigste absolute Temperatur (d. h. Temperatur von  $-273^\circ\text{C}$ . als Nullpunkt ab gerechnet) bezeichnen, in welche wir unseren Wärmevorrath abfliessen lassen können, und  $\vartheta_1$  die Anfangstemperatur ist, so müssen wir den Bruchtheil  $\vartheta_0/\vartheta_1$  unverwandelt abfliessen lassen, um den Rest  $(\vartheta_1 - \vartheta_0)/\vartheta_1$  in Arbeit verwandeln zu können. Je höher also die Temperatur  $\vartheta_1$  ist, desto mehr von dem gegebenen Wärmevorrath können wir in mechanische Arbeit verwandeln.

Um diesen Gegensatz kurz zu bezeichnen, der bei der Frage nach der Leistungsfähigkeit der chemischen Kräfte von erheblicher Wichtigkeit ist, habe ich mir erlaubt, die frei und ohne nothwendigen Rest in einander verwandelbaren Arbeitsäquivalente der verschiedensten Naturkräfte unter dem Namen der freien Energie zusammenzufassen, die Wärmevorräthe dagegen als gebundene Energie zu bezeichnen. Zu den ersteren gehören z. B. die Energie eines gehobenen Gewichts, einer gespannten elastischen Feder, die lebendige Kraft einer als Ganzes bewegten Masse, eine Ansammlung von ruhender Elektrizität in einem Conductor u. s. w. Dass dieselben „ohne nothwendigen Rest“ in einander verwandelbar sein sollen, soll nur sagen, dass man bei vorsichtiger Führung des Processes den Rest, welcher z. B. durch Reibung, elastische Nachwirkung, Leitungswiderstand u. s. w. verloren geht und in Wärme verwandelt wird, beliebig klein machen kann. Verwandlung ohne Rest ist für unsere irdischen Verhältnisse immer nur als eine ideale Grenze zu betrachten, der wir uns mehr oder weniger nähern können. Dennoch ist ein grosser Unterschied zwischen diesen Verlusten der frei verwandelbaren Energie und denen, die wir bei der Wärme finden, wo ein bedeutender und durch keine uns bekannten Vorsichts-

maassregeln zu verkleinernder Bruchtheil nothwendig Wärme bleiben muss.

Wir wissen nun schon, dass chemische Kräfte nicht bloss Wärme entwickeln, sondern auch mechanische Arbeit leisten können, entweder unmittelbar oder dadurch, dass sie elektrische Ströme in Gang setzen. Es tritt also die Frage auf, welcher Theil ihrer Arbeit entspricht freier Energie? welcher andere kann dagegen ausschliesslich in der Form von Wärme erscheinen? Es ist bekannt, dass ausserordentlich viele chemische Aenderungen des Aggregatzustandes vorkommen; dabei wird also Wärme frei oder gebunden. Von dieser letzteren wissen wir aber schon, dass sie den Beschränkungen des Carnot'schen Gesetzes anheimfällt. Auch ist längst bei den thermochemischen Untersuchungen berücksichtigt und nachgewiesen worden, dass diese Bindung und Entbindung von Wärme bei Aenderung der Aggregatzustände ihre Rolle spielt; ja dass wir von selbst eintretende und von selbst weitergehende chemische Prozesse haben können, wie bei der Mischung von Schnee und Kochsalz, bei welcher Kälte erzeugt, und also Wärme von aussen hinzugeleitet werden muss, um die frühere Temperatur herzustellen. Hier hat also das entstandene Salzwasser mehr innere Energie, als das trockene Salz und der Schnee vorher gehabt haben.

Weiter ist aber klar, dass die plötzlichen Aenderungen der Aggregatzustände nur die auffallendsten Fälle solcher Bindung und Entbindung von latenter Wärme vorstellen. Man hat genau dasselbe Recht, wenn ein Gas sich ausdehnt, die eintretende Abkühlung als eine Bindung von Wärme zu bezeichnen; zwar wird bei langsamer Dehnung diese in letzterem Falle gleich wieder ganz oder fast ganz in mechanische Arbeit verwandelt, aber auch in der latenten Wärme des Wasserdampfes ist die durch Ueberwindung des auf den Dämpfen lastenden Druckes geleistete Arbeit mit einbegriffen. Bei plötzlicher Ausdehnung eines Gases ohne Widerstand,

wie in Joule's Versuch, tritt freilich keine Abkühlung ein, aber nur weil die anfangs bei der stürmischen Bewegung des Gases in der lebendigen Kraft dieser Bewegung geleistete Arbeit durch Reibung wieder in Wärme zurückverwandelt wird. Wenn aber Bindung von Wärme bei so leichten Zustandsänderungen, wie die Volumenänderung eines Gases ist, vorkommt, so werden wir entsprechende Bindungen und Entbindungen von Wärme bei all den zahllosen Aenderungen der Aggregation und Dichtigkeit erwarten müssen, die bei fast allen chemischen Processen eintreten. Und ebenso wenig wie bei der latenten Wärme des Dampfes erscheint es zweifelhaft, dass alle die hier besprochenen Wärmemengen zu der unter dem Carnot'schen Gesetz gebundenen Energie zu rechnen sein werden, also als Wärme zu betrachten sind, die schon in den anfänglichen Zuständen der Stoffe als Wärme fertig vorhanden war, in den Endzuständen bei derselben Temperatur keinen Platz mehr findet und entweicht. Aber ebenso gut kann der entgegengesetzte Vorgang eintreten. Die Endzustände können eine grössere Menge latenter Wärme bei derselben Temperatur fordern, und die Anfangstemperatur wird nur auf Kosten der Wärme der umgebenden Körper hergestellt werden. Im ersteren Falle wird die Wärmetönung (rein chemisch entwickelte Wärme) vermehrt erscheinen, im zweiten vermindert.

Wenn es sich nun darum handelt, zu finden, welches die grösste Menge freier Energie ist, die durch chemische Vorgänge gewonnen werden kann, so sind hier ganz dieselben allgemeinen Betrachtungen maassgebend, welche schon Carnot dafür angestellt hat. Man muss dafür sorgen, dass die ganze Veränderung in reversibler Weise vor sich gehe, d. h. die wirkenden Kräfte müssen von anderen Kräften, die der Beobachter unter Controlle hat, so im Gleichgewicht gehalten werden, dass der ganze Process langsam, ruhig, ohne Entwicklung stürmischer Bewegungen, deren lebendige

Kraft durch Reibung und Stoss in Wärme verwandelt werden könnte, vor sich gehen. Ueberhaupt müssen Reibung, unelastischer Stoss und Uebergang von Wärme zwischen Körpern verschiedener Natur vermieden werden. Die Umkehrbarkeit des Vorganges ist dann eben dadurch bedingt, dass bei vollkommenem Gleichgewicht der inneren und äusseren Kräfte der Beobachter es in seiner Gewalt hat, durch geringe Verstärkung der letzteren den Vorgang rückwärts gehen zu lassen . . .

Aber nicht bloss bei der praktischen Aufgabe, Triebkräfte für andere Zwecke mittelst der chemischen Kräfte zu gewinnen, sondern auch im Gebiete der chemischen Erscheinungen selbst spielt diese Trennung zwischen freier und gebundener Energie eine wesentliche Rolle. Ein chemischer Process kann nämlich nicht von selbst eintreten und nicht ohne Unterstützung durch äussere Triebkräfte weiter gehen, wenn nicht durch denselben die Gesamtsumme der freien Energie der mitwirkenden Körper vermindert wird . . .“

Am 5. April 1883 legte Helmholtz der Berliner Akademie eine kurze Note vor „Bestimmung magnetischer Momente mit der Waage“, deren Inhalt er in etwas anderer Form in der folgenden Aufzeichnung klarer skizzirt hat:

„An den Bügeln, welche die Schalen einer sehr empfindlichen chemischen Waage tragen, werden zwei Magnetstäbe aufgehängt, der eine vertical, der andere am anderen Bügel horizontal, so dass seine Axe der Mitte des verticalen Magneten zugewendet ist. Wenn der Nordpol des ersteren nach oben, der des horizontalen Magneten gegen den verticalen gekehrt ist, so strebt der horizontale Magnet den verticalen nach aufwärts, und der verticale den horizontalen nach abwärts zu schieben. Man muss also auf die Schale des horizontalen Magneten etwas weniger Gewicht auflegen, als wenn die Stäbe nicht magnetisch wären, um die Waage einspielen zu machen. Kehrt man einen der Magneten um, so bekommen die magnetischen Kräfte die

umgekehrte Richtung, und man muss auf Seite des horizontalen Magneten Gewichte hinzulegen, um das Gleichgewicht der Waage wieder herzustellen. Kehrt man gleichzeitig beide Magnete um, so bleibt dagegen die frühere Art der Wirkung bestehen, und wenn Unterschiede der Stellung eintreten, so sind diese von permanentem Magnetismus in den Eisentheilen der Waage abhängig. Letztere können aus dem Wägungsergebnis eliminirt werden, wenn man die Mittel aus je zwei Stellungen nimmt, in denen beide Magnete entgegengesetzte Richtung gehabt haben. Dagegen kann man die Wirkung temporärer Magnetisirung weichen Eisens der Waage nicht eliminiren, wenn man nicht eine eisenfreie Waage benutzt, deren Herstellung ich vorbereitet habe. Der Gewichtsunterschied bei Umdrehung des einen Magneten würde bei geringer Länge der Magnete  $G = \frac{12 m_1 m_2}{r^4}$  sein,

wo die beiden  $m$  die Momente der Magnete sind,  $r$  die Entfernung ihrer Mittelpunkte, beziehlich der beiden Schneiden der Waage von einander. Hat man drei Magnetstäbchen, die man an der Waage mit einander vertauschen kann, so kann man das Moment jedes einzelnen nach absolutem Werthe bestimmen. Auch mit einer eisenhaltigen Waage kann man die richtige Controlle ausführen, ob ein gegebenes Paar von Magnetstäben oder noch besser eine Dreizahl derselben ihr Moment bewahrt, beziehlich in welchem Verhältniss sie es geändert haben. Namentlich für alle Messungen von Stromintensitäten scheint es mir zweckmässiger, diese in ihrer elektromagnetischen Wirkung mit den sich nur langsam ändernden magnetischen Kräften gut gehärteter Magnetstäbe zu vergleichen als mit dem ewig schwankenden Erdmagnetismus. Wie die Correctionsglieder zu bestimmen sind, wenn die Länge der Magnete nicht sehr klein im Vergleich mit dem Abstände der Schneiden der Waage ist, wird einer späteren Veröffentlichung vorbehalten.“

Noch in demselben Jahre veranlasste das preussische

Cultusministerium auf Helmholtz' Veranlassung seinen Assistenten Heinrich Hertz, sich mit Aussicht auf baldige Beförderung in Kiel zu habilitiren, und nun übernahm dieser von Helmholtz, welcher ganz anderen Gebieten seine productive Thätigkeit zugewandt, die Aufgabe, auf Grund der Faraday-Maxwell'schen Hypothese in die schwierigen und noch immer unerledigt gebliebenen Fragen der Elektrizitätslehre tiefer einzudringen. Schon in Berlin hatte Hertz in dem Helmholtz'schen Institut die Arbeit begonnen, die er noch in diesem Jahre in Kiel beendete, und welche unter dem Titel „Versuche über die Glimmentladung“ sich mit der bei den Erscheinungen der Kathodenstrahlen und des geschichteten positiven Lichtes in evacuirten Gefässen auftretenden Entladungsform beschäftigt. Hertz findet, dass die Kathodenstrahlen eine Magnetnadel nicht ablenken, also nicht die elektrodynamische Wirkung von Strömen haben, und betrachtet hiernach die Kathodenstrahlen nur als eine Begleiterscheinung des Stromes, nicht selbst als Ströme.

„Ich habe mit dem grössten Interesse Ihre Arbeit über die Glimmentladung gelesen“, schreibt ihm Helmholtz am 29. Juli 1883, „und kann nicht umhin, Ihnen mein Bravo schriftlich zuzusenden. Die Sache scheint mir von der grössten Tragweite zu sein. Ich trage mich seit einiger Zeit mit dem Gedanken, ob nicht die Kathodenstrahlen die Ausbreitungsform eines plötzlichen Stosses auf den Maxwell'schen elektromagnetischen Aether sind, wobei die Elektrodenfläche die erste Wellenfläche bildete. Denn so weit ich sehe, müsste eine solche Welle sich genau so ausbreiten, wie jene Strahlen es thun. Dann würde auch Ablenkung der Wellen durch Magnetisirung des Mediums möglich sein, Longitudinalwellen wären leichter vorzustellen und könnten existiren, wenn die Constante  $k$  meiner elektrischen Arbeiten nicht Null wäre. Aber auch Transversalwellen könnten zu Stande kommen. Wie es scheint, hegen Sie

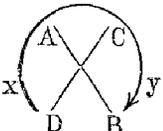
ähnliche Gedanken; aber, wie es auch sei, genieren Sie sich nicht in der Verwendung der eben ausgesprochenen, denn ich habe für jetzt keine Zeit, sie auszuarbeiten und sie drängen sich beim Lesen Ihrer Arbeit so von selbst auf, dass Sie sie nothwendig bald finden würden, wenn Sie sie noch nicht gefunden haben.

Nun ist aber ein Einwand mir aufgestossen gegen Ihre Versuche, der sich vielleicht noch vollständiger beseitigen lässt, als bisher geschehen und der jedenfalls erörtert werden müsste. Nämlich wenn die Kathodenstrahlen der früheren Ansicht gemäss elektrische Ströme sind, so müssten sie nothwendig auch einen zurückführenden unsichtbaren Theil, etwa in der Nähe der Gefässwand haben. Das ist ein Punkt, den ich oft mit Dr. Goldstein discutirt habe. Dann würden sie in dem cylindrischen Gefässe ebensowenig wie die eigentlichen geschlossenen Ströme nach aussen magnetisch wirken können, weil sie Ringmagnete bilden. In dem viereckigen Gefässe bleibt dann immer noch die Möglichkeit, sich die unsichtbaren rückführenden Ströme so vorzustellen, dass die beobachtete Wirkung herauskommt. Ich sehe wohl, dass eine solche Deutung wenig wahrscheinlich ist, da die Kathodenstrahlen ein concentrirtes Bündel bilden, und ich glaube selbst nicht an die Wahrscheinlichkeit; aber ich fürchte, es ist ein Bedenken, was vielen Lesern sehr nahe liegt.“

Die umgehende, auf die Ansichten und Einwände von Helmholtz eingehende, höchst interessante Antwort von Hertz lautete:

„Ich sage Ihnen meinen innigsten Dank für die gütigen Zeilen, welche Sie mir gesendet haben, Ihre Worte sind zugleich der stärkste und der angenehmste Sporn zur Thätigkeit, welcher mir werden kann. Darf ich zur Sache einige Bemerkungen machen? Ich möchte Ihnen nicht damit lästig fallen, aber ich schreibe sie für den Fall, dass Sie dieselben lesen wollen. Ich habe mir in der That

ähnliche Gedanken gemacht wie die von Ihnen ausgesprochenen, am liebsten habe ich geradezu gedacht, dass die Kathodenstrahlen durch die Longitudinalwellen gebildet werden, welche den Transversalschwingungen des Lichtes entsprechen. Denn es scheint mir, als müssten in einem Medium, in welchem die Polarisationssebene transversaler Wellen sich dreht, die Longitudinalwellen sich krummlinig ausbreiten und als sei der Sinn der Drehung für das Licht und die Kathodenstrahlen derselbe. Denn wenn der Pfeil  $xy$  die Richtung des positiven Stromes bezeichnet, welcher ein magnetisches Feld erzeugt, so wird für alle bisher untersuchten Gase die Polarisationssebene im Sinne dieses Pfeiles

gedreht , es erzeugt also allemal eine Kraft, die

nach  $AB$  wirkt, eine Verschiebung, die dazu geneigt ist, wie  $CD$ . Es werden also auch longitudinale Impulse in einer nach rechts abgelenkten Curve sich ausbreiten. Nach rechts aber würde auch ein elastischer Draht gedrückt werden, in welchem ein zur Kathode hin gerichteter positiver Strom flösse, und es wäre daher eine Verwechslung beider Phänomene möglich. Es fragt sich allerdings, ob diese einfachen Ueberlegungen bei einer genaueren Anwendung der Theorie Stand halten werden, ich habe eine solche nicht versucht, weil ich, wahrscheinlich irrtümlich, die Theorie für nicht genug ausgebildet hielt.

Als eine Uebereinstimmung beider Erscheinungen kann vielleicht auch das folgende gefasst werden: Je mehr man evacuirt, desto weniger wirkt der Magnet auf die Strahlen, desto steifer werden dieselben, wie Herr Dr. Goldstein es ausdrückt. Dies deutet vielleicht an (obgleich auch eine andere Auffassung möglich ist), dass der Magnet auf die Kathodenstrahlen wie auf das Licht nur indirect, mittelst der ponderablen Materie, einwirkt. Es wäre dann allerdings der Einfluss der magnetischen Materie auf die

Kathodenstrahlen unendlich viel stärker als auf das Licht, aber da der gleiche Unterschied in Bezug auf die Absorption unzweifelhaft stattfindet, so kann er weniger verwundern.

Im Allgemeinen erregen die Kathodenstrahlen in den festen Körpern dieselbe Fluorescenz wie das Licht. Ich glaube aber nicht, dass man nöthig hat, deshalb anzunehmen, dass sie sich zunächst in optische Strahlen umsetzen. Eher kann man diese Thatsache durch das umgekehrte Verhältniss erklären. Denn indem die Transversalwellen des Lichtes im Innern der Körper zerschellen, werden sie auch zur Entstehung von Longitudinalwellen Anlass geben, und es ist dann nach unserer Anschauung ganz natürlich, dass diese sogleich wieder vernichtet werden unter Erzeugung desselben Leuchtens, welches die langen Kathodenstrahlen des luftleeren Raumes erzeugen.

Ich habe auch versucht, Beugungserscheinungen herzustellen, indem ich dünne Kathodenstrahlen durch Gitter hindurchgehen liess, aber diese Versuche blieben ganz erfolglos. Indessen waren sie auch nicht der Art, dass sie irgend etwas gegen die Ansicht beweisen könnten.

Dies, hochverehrter Herr Geheimrath, sind ungefähr die Gedanken, welche ich mir über den Gegenstand gemacht habe. Die Erscheinungen zum Nutzen der Elektrodynamik, etwa zur Bestimmung von  $k$  verwenden zu können, habe ich bisher keine Hoffnung gehabt, da die einzige scharf messbare Erscheinung, nämlich die Wirkung des Magneten, ganz wesentlich von der ponderablen Materie bedingt zu sein scheint. Ich werde über diesen Punkt und über den Einwand, auf welchen Sie mich aufmerksam machen, nachdenken. Den letzteren, glaube ich, kann man vollständig widerlegen, wenn es gelingt, einen schärferen Nachweis zu liefern, dass Kathodenstrahlen ohne alle elektrostatischen Differenzen möglich sind.

Ich habe nur noch, hochverehrter Herr Geheimrath, Ihnen meinen aufrichtigen und wärmsten Dank zu wieder-

holen und verbleibe in tiefster Ehrfurcht Ihr ergebenster H. Hertz.“

Am 20. Juni 1883 schrieb Helmholtz seiner Frau, die in der Mitte des Mai zur Beerdigung ihres Onkels Julius von Mohl nach Paris gereist war:

„Gestern war Geheimrath Herzog da und brachte mir eine Einladung zu einer Reise in 67 Tagen an den Stillen Ocean und zurück, vom 15. August bis 22. October zur Eröffnung des Northern Pacific Railway als Gast der Compagnie; 30 hervorragende Männer Deutschlands sollen eingeladen werden, wahrscheinlich gehen Graf Lerchenfeld, Minister Krüger, Georg Bunsen, Gneist, Reichstagspräsident von Levetzow mit. Herzog verspricht fürstlichen Luxus der Reise und des Empfangs. Will man sich Amerika noch in diesem Leben besehen, so wäre dies vielleicht die günstigste Gelegenheit, die man sich denken kann. Ich habe deshalb noch nicht nein gesagt, obgleich mancherlei Hindernisse sind, und es eigentlich nicht nöthig ist, dass man Amerika sieht, wenigstens nicht für das, was ich in der Welt zu thun habe.“

Seine Frau war nicht damit einverstanden, dass er sich den unvermeidlichen Anstrengungen dieser Reise aussetze; er lehnte daraufhin die Einladung ab.

„Reiselust habe ich überhaupt eigentlich noch nicht“, schreibt er ihr noch am 1. August, während sie wegen der andauernden Fieberzustände ihres Sohnes Robert in einem englischen Seebade weilte. „Ich habe gerade interessante Experimente vor, die gut zu gehen anfangen, habe meine neue magnetische Waage in guter Ausführung erhalten. Aber ich merke die Vorläufer von beginnendem Abgearbeitetsein, welche zeigen, dass es nicht mehr lange so weitergehen würde; und das Pontresinaklima erlaubt kein Hinausschieben.“

Nachdem er sich im Laufe des Sommers noch mit experimentellen elektrochemischen Studien beschäftigt, über

die er W. Thomson mit dem Bemerken Rechenschaft giebt, dass die Verhandlungen der internationalen elektrischen Commission ihn zu einer Verbesserung der elektrodynamischen Strommessungen geführt haben, „aber nur für Laboratorien, um die Genauigkeit von mindestens  $\frac{1}{1000}$  zu erreichen, die er für seine elektrischen Studien brauche“, weiss er in Pontresina sich wieder durch grössere Ausflüge von seinen wiederholten Migräneanfällen zu heilen. Von dort kehrt er direct nach Berlin zurück, um an einigen Berathungen im Ministerium Theil zu nehmen:

„Ich komme ganz gern auf kurze Zeit nach Berlin, besonders auch, da ich auf wichtige Theoreme gestossen bin, über die ich Litteratur nachsehen möchte . . ., ich habe mich mit physikalischen Ueberlegungen ganz gut unterhalten; sie haben, wie mir's scheint, sogar ein nicht unwichtiges Ergebniss gehabt, was, soviel ich weiss, bisher kein Anderer anzugreifen wusste, Wärme betreffend.“

In der Mitte des October reiste er sodann direct von Berlin nach Rom zum geodätischen Congress, während dessen Dauer er im Istituto fisico della Università bei Blaserna wohnte. Derselbe entwirft mir von seinem Aufenthalte daselbst in einem Briefe die nachfolgende interessante Schilderung:

„Im October 1883 fand in Rom eine Conferenz der internationalen Gesellschaft für die Messung der verschiedenen Erdgrade statt. Helmholtz gehörte zur Gesellschaft, kam in Folge dessen nach Rom und nahm wie gewöhnlich einen sehr grossen Antheil an den Arbeiten der Conferenz. Er erwies mir die Ehre und das grosse Vergnügen, in meinem Hause abzustiegen. Wie bei solchen Conferenzen geschieht, hatte ich auch eine Einladung erhalten, an den Verhandlungen Theil zu nehmen; aber ich war damals durch viele andere Arbeiten in Anspruch genommen, und konnte nur selten, und daher nicht systematisch, den Sitzungen der Conferenz beiwohnen. Wir lebten daher, Helmholtz

und ich, als garçons, beinahe unabhängig von einander. Manchmal sahen wir uns nur beim Diner. Aber ich sorgte dafür, dass an der Mahlzeit täglich einige Freunde theilnahmen, gerade die, die er am liebsten zu sehen wünschte.

Damals war unsere grosse Schauspielerin, die Duse, nach Rom gekommen, und es war dies das erste Jahr, in dem sie so rechte Anerkennung fand. Sie spielte im Teatro Valle, und wirklich ganz entzückend. Sie war damals in ihrer ganzen Entwicklung, so vollkommen aus sich heraus, und hatte nicht den übertriebenen und etwas manierirten Ton, den sie später durch das viele Spielen vor einem sich stets erneuernden und stets fremden Publicum, das überdies ihre Sprache nur unvollkommen verstand, nothwendig annehmen musste. Wir gingen alle Abende ins Theater, und es war interessant zu sehen, welch regen Antheil Helmholtz an den feinsten und kleinsten Details ihres ungemein reichen Spieles nahm. Er überraschte mich auch mit seinen ausgedehnten und gründlichen Kenntnissen des modernen französischen Theaters. Eines Abends erwarteten wir Fedora und da wir etwas zu früh gekommen waren, erzählte er mir den Inhalt des Sardou'schen Stückes mit einer geradezu überraschenden Genauigkeit.

Wie gesagt, nahm Helmholtz einen innigen Antheil an dem Spiele der Duse, und war für alles sehr empfänglich. Zum Schlusse suchte jeder von uns heimlich eine Thräne zu entfernen, ohne es zeigen zu wollen. Nur Helmholtz war auch hierin aufrichtig. Er zog sein grosses weisses Taschentuch hervor und wischte sich unerschrocken beide Augen aus!

Helmholtz hatte ein reges Interesse für alle unsere Kunstschatze und Alterthümer. Wenn er einen Nachmittag frei hatte, gingen wir zusammen zum Cäsaren-Palast, und er hörte mit Interesse den Ausführungen zu, die ihm mein leider verstorbener Freund Prof. Tommasi-Crudele gab. Er war überhaupt die reichste Natur, die mir je vorgekommen ist. Prof. Engelmann sagte in seiner Gedächtniss-

rede, dass wie um Homer sich sieben Städte stritten, ebenso streiten sich sieben Wissenschaften um Helmholtz. Aber man muss noch mehrere Künste hinzufügen. In meinem langen Zusammenleben mit ihm kann ich mich nicht erinnern, dass auch nur ein einziges Argument, wie immer beschaffen, ihm fremd oder inhaltlos vorgekommen wäre; er interessirte sich für alles.“

Helmholtz entwirft seiner Frau eingehende Schilderungen von all' den Eindrücken, die er in Rom empfangen, und freut sich auch mit seinem Sohne Robert, der mit grossem Eifer chemischen, physikalischen und mathematischen Studien oblag, in eine wissenschaftliche Correspondenz treten zu können. Er schreibt demselben am 20. October aus Rom:

„Was Deine Experimentirfragen betrifft, so halte ich es für gut, wenn Du untersuchst, ob elektrisirte Luft eine Doppelschicht an der Oberfläche eines Conductors giebt. Nimm einen Kohlrausch-Condensator mit rein geputzten Platten, untersuche die Spannung zwischen beiden. Lade dann die eine vorübergehend mit einer Elektrisirmaschine, während sie durch eine kleine Flamme, die keinen Wasserniederschlag giebt, entladen wird, und bringe sie dann wieder in den Condensator, siehe ob die Spannungsdifferenz unverändert geblieben ist. Mache es dann ebenso mit der entgegengesetzten E. Bei den Versuchen, die Du beschreibst, müsste eine ausserordentlich genaue Controlle eintreten, ob die aufgehängte Platte symmetrisch zu den elektrischen Kugeln steht.“

Mit dem Winter 1883/84 beginnt für Helmholtz eine Zeit gewaltigen mathematischen Schaffens und Ringens nach der Erkenntniss eines einheitlichen, die Natur beherrschenden Principis, welches alle Gedanken des grossen Naturforschers während des letzten Jahrzehnts seines Lebens bis in seine letzten Stunden hinein beherrschte.

Er war durch seine thermodynamischen Arbeiten zu

den allgemeinen Untersuchungen über monocyclische Systeme und der tieferen Bedeutung des Principis der kleinsten Wirkung geführt worden; aber die Schwierigkeiten der Ausführung seiner Ideen häuften sich sehr bald, und seine Zeit war durch die verschiedensten Amtspflichten aufs Aeusserste in Anspruch genommen. Seine experimentellen und mathematischen Vorlesungen, die Leitung des physikalischen Instituts, die Vorlesungen an der militärärztlichen Akademie waren es nicht allein, welche ihn immer wieder in der Vertiefung seiner Gedanken hinderten. Technische Gutachten der verschiedensten Art waren nicht abzuweisen, alle erwarteten von ihm als höchster Autorität ein abschliessendes Urtheil; wir finden an den verschiedensten Stellen Gutachten über die Anlage von Blitzableitern zum Schutze der mit Erde summantelten Kriegspulvermagazine, über die Resultate der Ballonfahrten und andere Dinge der mannigfachsten Art; ausserdem waren es musikalische Interessen, künstlerische Interessen überhaupt, denen er sich nicht entziehen konnte und wollte — aber trotzdem entwickelten sich in ihm die tiefen und fruchtbringenden Gedanken, welche wir nachher anzudeuten versuchen werden, in rascher Folge.

Schon am 7. Januar 1884 schreibt er an W. Thomson:

„Ich selbst bin noch immer mit dem Thema der monocyclischen Bewegungen beschäftigt und habe jetzt weitgehende Verallgemeinerungen gefunden, die sich an eine verallgemeinerte Form von Hamilton's Princip der Mechanik anschliessen. Warten Sie mit dem Studium der monocyclischen Systeme bis zu der späteren Abhandlung; Sie haben es dann bequemer.“

Noch vor den Osterferien legte er einen Theil der Resultate seiner Untersuchungen der Berliner Akademie vor, musste aber aus Rücksicht auf seine Gesundheit die Arbeit unterbrechen und reiste unmittelbar nach Schluss der Vorlesungen mit seiner Tochter Ellen nach England.

Nachdem er in London Tyndall, Herbert Spencer, Sir John Lubbock, Huxley und den Director von Kew Gardens Hooker gesehen hatte, verlebte er sehr anregende Tage bei Sir Henry Roscoe in Manchester, „mit dem er viel zu besprechen hatte über seine letzten Arbeiten über die Beziehungen der Chemie zur Wärme“. In Glasgow öffnete sich ihm die alte liebgewordene Heimath bei Sir William Thomson, den er mit Regulatoren und Messapparaten für elektrische Beleuchtung und für die elektrische Bahn vollauf beschäftigt fand.

„In Summa“, schreibt er seiner Frau, „habe ich doch den Eindruck, dass Sir William seinen eminenten Scharfsinn besser verwenden könnte als für die industriellen Aufgaben; seine Instrumente erscheinen mir zu subtil, um sie wenig unterrichteten Arbeitern und Beamten in die Hand geben zu können, und die von Siemens und Hefner v. Alteneck erscheinen mir viel zweckentsprechender. Daneben wälzt er noch immer weitgehende theoretische Gedanken in seinem Kopfe herum, aber kommt nicht mehr zu ruhiger Ausarbeitung; ich freilich auch kaum.“ Aber unmittelbar darauf fügte er hinzu: „Ich habe ihm neulich Unrecht gethan, als ich ihn ganz versunken in industrielle Unternehmungen glaubte; er war voll von Speculationen über die Urbeschaffenheit der Körper, denen zum Theil schwer zu folgen war, und Du weisst, wie ihn keine Mahlzeit und keine andere Beschäftigung abhält damit vorzugehen.“

Seine Frau erwiderte ihm:

„Ich freue mich zu sehr, Dich beim geliebten Sir William zu wissen, wie werdet Ihr schwelgen in den Urbegriffen der Dinge. Wenn man nicht schliesslich bei Anfang und Ende alles Lebens vor dem grossen Fragezeichen stünde und sich mit diesem zufrieden geben müsste! darum bist Du so glücklich, weil die Dinge jenseits unserer Grenze Dich nicht quälen und es für Dich des Ewigen noch genug giebt ausserhalb unseres kleinen Menschendaseins.“