



# WALTER RITZ

## Die Gravitation

Quelle :

WALTER RITZ (1909) : „Die Gravitation“.

(aus: „Scientia“ vom 1. April 1909)

Entnommen aus dem Buch :

„Theorien über Äther, Gravitation, Relativität und Elektrodynamik“

Herausgegeben und mit einem Nachwort versehen von Dr. Karl Dürr,  
Schritt-Verlag, Bern und Badisch-Rheinfelden 2. Aufl. (1965), S. 29-44.

Als Newton entdeckte, daß die Bewegungen der Himmelskörper mit einer außerordentlichen Genauigkeit vorausberechnet werden können unter der Annahme, daß sie sich nach seinem berühmten Gesetz gegenseitig anziehen, betrachteten weder er noch seine Zeitgenossen die Frage als erschöpft. Trotz ihrer großen Einfachheit hatte diese Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper durch die Einführung einer Kraft, die ohne Zwischenmedium in der Ferne, oder, was beinahe auf dasselbe hinaus kommt, momentan wirkt, für jene Männer etwas höchst unwahrscheinliches und abstoßendes.

Diese Abneigung gegen Fernwirkungen, die man noch heute findet, entbehrt nicht einer tieferen psychologischen Begründung: sie entspringt einem starken Empfinden für die Wesenseinheit der Physikalischen Kräfte, die, bei all ihrer großen Verschiedenheit, stets eine gewisse Zeit brauchen, um ihre Wirkung auszuüben, und, wenn diese Wirkung zwischen zwei Körpern, die durch irgend ein Medium getrennt sind, statthat, dieses Medium in wahrnehmbarer Weise verändern. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Als vor hundert Jahren die Gravitation allgemein als wirkliche Fernkraft aufgefaßt wurde, hat dieselbe Empfindung für die Einheit der Naturkräfte dazu geführt, alle Kräfte, auch die Molekularkräfte, als Fernwirkungen zu betrachten. daß hier das unmittelbarere

Das Licht schien zu Galileis Zeiten, eine Ausnahme zu bilden; doch hat dieser Forscher keinen Augenblick gezweifelt, daß dies nur scheinbar der Fall sei, und die Erfahrung hat ihm Recht gegeben. Der Wunsch, sich von dem Zwischenmedium und von der Ausbreitung ein genaueres Bild zu machen, hat, von Huygens zu Newton und Fresnel, zu den Gesetzen der Optik geführt. Für die elektrischen Kräfte hat die Erfahrung gleichfalls gegen eine Fernwirkung entschieden.

Die Gravitation allein bildet eine Ausnahme. Es ist schwer anzunehmen, daß hier mehr als ein trügerischer Schein vorliege, und zahlreiche Erklärungsversuche sind gemacht worden, die meist eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit und bestimmte kleine Veränderungen des Newton'schen Gesetzes bedingen, die der experimentellen Prüfung zugänglich sind. Wir werden sie im Folgenden besprechen; durch geeignete Gruppierung lassen sie sich auf wenige Typen zurückführen bei welchen wir uns insbesondere fragen werden, welchen Einfluß auf wirklich wahrnehmbare Vorgänge wir dabei zu erwarten haben.

Man kann natürlich nicht daran denken, die Frage nach der Ausbreitungsgeschwindigkeit durch direkte Versuche zu entscheiden, wie dies für das Licht und die elektrischen Kräfte geschehen ist. Aber die indirekten Folgerungen aus jeder Hypothese genügen im allgemeinen, wegen der außerordentlichen Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen, um ein Urteil zu erlangen. Die Störungen welche die neuen Glieder einführen dürfen im allgemeinen die Fehlergrenze der Beobachtungen nicht überschreiten. Doch bestehen Ausnahmen.

Die jahrhundertlang fortgesetzten astronomischen Beobachtungen haben einige Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung nachgewiesen, die sich durch das Newton'sche Gesetz bis jetzt nicht erklären lassen, und die ein neues Gesetz, welches dieses ersetzen soll, wird erklären müssen. Unter diesen Anomalien ist die bei weitem größte die des Planeten Merkur, dessen Ellipse langsam, unter der Einwirkung der übrigen Planeten, sich in ihrer Ebene dreht; doch ist die beobachtete Drehung um ungefähr 42 Bogensekunden pro Jahrhundert größer als die berechnete. Die Differenz ist zwar gering, aber doch unzweifelhaft und unerklärlich. Es ist möglich, daß die nächsten Planeten, Venus und Erde, eine ähnliche, wenn auch 5 bis 10 mal kleinere Anomalie aufweisen. Die Exzentrizität der Ellipsen dieser Planeten ist nämlich eine sehr geringe, etwa  $1/100$ ; es sind beinahe Kreise.

Nun ist es offenbar unmöglich, die Drehung einer Kreisbahn in sich selbst zu beobachten: es genügt, in geeigneter Weise die Umlaufzeit des Planeten zu

---

Empfinden Recht hatte gegen das künstlich anezogene, hat der Erfolg Faradays und Maxwells gelehrt.

verändern, um denselben beobachtbaren Effekt herbeizuführen. Im vorliegenden Falle könnte die sehr kleine Veränderung, die die Lagen von Venus und Erde durch diese Anomalie erfahren würden, wenn ihre Bahnen sehr exzentrisch wären, noch auf ein hundertstel etwa ihres Betrages herabgedrückt werden, wenn man die angenommenen Umlaufzeiten in ganz unbedeutender Weise veränderte. Für Mars, dessen Exzentrizität 0,09 ist, wäre dagegen vielleicht eine ähnliche, sehr leichte Anomalie zu erwarten, was auch die Beobachtung bestätigt.

Die übrigen beobachteten Abweichungen von der Theorie betreffen die Mondbewegung und die Bewegung des Encke'schen Kometen. Wir werden darauf nicht eingehen.

Die Erfahrung zeigt, daß es für die Gravitation nicht, wie für die elektrischen Kräfte, eine Schirmwirkung gibt, und nie hat irgend welcher Einfluß des Mediums konstatiert werden können. Würde ein Teil der Materie eines Planeten gegen die Anziehung der Sonne durch den andern teilweise geschützt, so wäre die gesamte Kraft nicht mehr der Gesamtmasse proportional, was sehr bedeutende Störungen zur Folge hätte; wie Laplace berechnet hat, muß man, um diese Störungen zur Fehlergrenze herabzudrücken, annehmen, daß die Gravitation beim Durchdringen des Erdballs höchstens um ein Millionstel ihres Betrages geschwächt werde.

Diese Tatsachen sind von großer Wichtigkeit für alle Theorien, besonders für diejenigen, welche, in einer oder der andern Weise, nicht eine „mechanische Erklärung“, im gewöhnlichen Sinne suchen, sondern eine Zurückführung der Schwerkraft auf elektrische Kräfte erstreben, so daß z. B. die Gravitationskonstante aus elektrischen oder magnetischen Messungen ableitbar wäre: eine Reduktion des Problems, die für die Einheit unserer physikalischen Vorstellungen von größter Bedeutung wäre.

Die bisher vorgeschlagenen mechanischen Erklärungen lassen sich in statische und dynamische einteilen.

In den ersteren soll die Materie den umgebenden Äther deformieren, und diese Deformation soll sich stetig ausbreiten und auf andere Teile der Materie so wirken, daß der Anschein einer Anziehung entsteht. Ist die wägbare Materie im Gleichgewicht, so gilt dies auch vom Äther, wenigstens nach einer genügend langen Zeit. Diese Annahme ist die nächstliegende und geht auf Newton zurück. Die Gravitationsenergie ist die potentielle Energie der Deformation des Äthers. Dies genügt aber, wie Maxwell bemerkt hat, um jede solche Theorie von vornherein abzuweisen.

Denn nach einem allgemeinen Prinzip der Statik muß die Energie nach der Deformation größer sein als im nicht deformierten Zustande, d. h. in Abwesen-

heit materieller Körper; sonst ist das Gleichgewicht des Mediums nicht stabil. Hier müßte aber das Gegenteil stattfinden: da die Gravitationskräfte anziehend wirken, wird die potentielle Energie eines Systems von Körpern kleiner, wenn ihre Massen, und somit die Deformation des Äthers, vergrößert werden. Für die elektrischen Kräfte ist das Vorzeichen umgekehrt; die Energie nimmt unter ähnlichen Umständen zu. Darauf hat Maxwell die Möglichkeit einer statischen Erklärung der elektrostatischen Kräfte gestützt; es ist ihm allerdings selbst hier nicht gelungen, eine solche zu finden. Man sieht also, daß ein „Äther“, welcher die Wirkungen der Schwerkraft vorzutäuschen vermöchte, selbst in Abwesenheit materieller Körper in instabilem Gleichgewicht sich befinden müßte: damit aber ist diese Erklärungsweise ausgeschlossen.

Wir werden also notwendig dazu geführt, verborgene Bewegungen einzuführen, um es mit einer Energie kinetischer Art zu tun zu haben, und zwar auch dann, wenn die wägbaren Massen die allein unseren Sinnen zugänglich sind, ruhen. Das Kriterium des Energieminimums ist dann nicht mehr anwendbar, und das Problem wird, im Prinzip wenigstens, lösbar.

Die älteste dieser kinetischen Theorien ist die von Lesage, die später Gegenstand vielfacher Arbeiten von Isenkrahe und andern gewesen ist. Sie setzt voraus, der Raum werde in allen Richtungen von kleinen Teilchen corpuscules ultramondains, mit großer Geschwindigkeit durchlaufen. Wenn ein einzelner Körper A den Stößen derselben ausgesetzt ist, so bleibt er in Ruhe, da sich die Stöße im Mittel aufheben; ist aber in einiger Entfernung ein zweiter Körper B vorhanden, so schützt er A vor den Korpuskeln, die von außen kommend in der Richtung BA sich bewegen; es überwiegen die übrigen Stoßrichtungen, und A wird gegen B gedrängt, ebenso B gegen A: es wird eine scheinbare Anziehung bewirkt.

Eine genauere Betrachtung <sup>2</sup> zeigt, daß die Korpuskeln mehr oder weniger unelastisch sein müssen, so daß ihr Stoß Wärme erzeugt; sonst wirft der Körper B gegen A ebensoviele Korpuskeln zurück als er in ihrem Laufe aufhält, und der Gesamteffekt auf A ist Null. Ferner, da für die Gravitation keine merkliche Schirmwirkung existiert, müssen die Atome der wägbaren Körper in Abständen voneinander stehen, die groß gegen ihre Dimensionen sind; endlich müssen sie aus Teilchen bestehen, die untereinander identisch, aber viel größer als die corpuscules ultramondains sind. Für ruhende Körper ergibt sich dann das Gravitationsgesetz. Für bewegte Körper muß, wie in einem Gas, eine Reibung entstehen. Ferner wird sich die Schwerkraft mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreiten die höchstens der der Korpuskeln gleich ist, und die Wirkung auf einen Körper wird nur von seiner relativen Geschwindigkeit gegen die Korpuskeln abhängen. Laplace hat schon eine

---

<sup>2</sup>Man vergl. H. POINCARÉ, Science et Méthode, p. 263, Paris, 1908., J. ZENNECK, Artikel Gravitation der Enzyklop. der math. Wissensch., t. V, p. 57, Leipzig, 1903.

ähnliche Annahme in Betracht gezogen; sie führt, wie gesagt, zu einer Art Reibung, welche die Bewegung der Planeten und des Mondes mehr und mehr verlangsamten müßte. Dies läßt sich mit großer Genauigkeit an den Mond- und Sonnenfinsternissen prüfen, über die wir ja sehr alte Dokumente besitzen. Aus dem Umstand, daß eine solche Wirkung nicht beobachtet ist, ergibt sich bei dieser Annahme eine untere Grenze für die Geschwindigkeit der Ausbreitung der Gravitation; sie muß mindestens hundert Millionen mal größer sein als die des Lichtes! Die Korpuskeln selbst haben eine noch viel unglaublichere Geschwindigkeit: indem er alle Störungen berücksichtigt, die sich aus der Annahme ergeben müßten findet Herr Poincaré eine untere Grenze von 24·1017 mal die Lichtgeschwindigkeit. Gleichzeitig würde die Reibung eine solche Menge Wärme erzeugen, daß sie für die Erde allein in einer gegebenen Zeit 1020 mal größer wäre als die gesamte in derselben Zeit von der Sonne ausgestrahlte Wärme!

Solche Ergebnisse schließen diese Theorie nebst allen für sie vorgeschlagenen Modifikationen definitiv aus. Insbesondere gilt dies auch von einer Hypothese, die schon auf Hooke, den Zeitgenossen Newtons, zurückgeht, und die neuerdings von H. A. Lorentz genauer untersucht worden ist. Sie ersetzt die Korpuskeln durch Wellen, die den Äther in allen Richtungen durchkreuzen sollen. Diese Wellen würden, teilweise wenigstens, von der Materie absorbiert, sonst käme keine Wirkung zustande.

Es wird also Wärme entwickelt. Andererseits soll keine merkliche Absorption der Gravitationskraft stattfinden. Wir würden es also mit Strahlen zu tun haben, die beim Durchgang durch die ganze Erde höchstens um ein millionstel ihres Betrags geschwächt werden. Dies ist höchst unwahrscheinlich, daher verwirft H. A. Lorentz diese Hypothese. Nach den Rechnungen von Herrn Poincaré würde auch hier die entwickelte Wärme ungeheuer groß sein, so daß die Temperatur der Erde sich um 1013 Grad pro Sekunde erhöhen würde.

In diesen Theorien war die Gravitation von irreversiblen Vorgängen abhängig. Dem ist nicht mehr so in den hydrodynamischen Erklärungsversuchen von Bjerknæs und Riemann.

Die ersteren seien nur kurz erwähnt. Wenn man in einer inkompressiblen, reibungslosen Flüssigkeit ein System von Kugeln annimmt, deren Radien periodisch sämtlich und gleichzeitig zu- und abnehmen, und wenn die Intensität der Pulsationen den Massen dieser mit den Atomen zu identifizierenden Kugeln proportional gesetzt wird, so erhält man das Newton'sche Gesetz für die scheinbaren Kräfte, die diese Kugeln durch die Einwirkung der Flüssigkeit aufeinander ausüben. Diese Gleichzeitigkeit der Pulsationen aber ist entschieden noch unverständlicher als das Newton'sche Gesetz und noch entfernter von allem, was wir in der Natur sonst beobachten. Herr T. H. Weber findet

allerdings, daß, wenn man den Versuch anstellt, dieser Synchronismus, falls er anfangs nicht vorhanden war, sich rasch von selbst herstellt. durch die gegenseitigen Einwirkungen der Kugeln.

Dies geschieht aber nur infolge der Reibung, die in jeder wirklichen Flüssigkeit eine große Rolle spielt, und deren Einführung wieder zu den oben besprochenen, bei irreversiblen Vorgängen sich anhäufenden Schwierigkeiten führen würde.

Man kann die Pulsationen der Kugeln durch ein alternierendes Ein- und Ausströmen des Äthers ersetzen; läßt man dann die Periode immer länger werden so wird man schließlich zu den Anschauungen von J. Bernoulli und B. Riemann geführt, die neuerdings von Herrn A. Brill genauer untersucht wurden. In dieser Theorie erscheint jedes Atom als eine fortwährende Quelle (oder Senke) des Äthers. Derselbe ist außerhalb der Atome inkompressibel; im Innern muß er fortwährend erschaffen oder zerstört werden ist also dem Gesetz der Erhaltung der Materie nicht mehr unterworfen. Um das Newton'sche Gesetz zu erhalten, genügt die Annahme, daß diese Atome bzw. Quellen klein gegen ihre Abstände sind. Die Geschwindigkeit der Flüssigkeit bei ihrem Austritt aus den Atomen spielt dann die Rolle einer sogenannten zyklischen Koordinate, für welche das zugehörige Moment nach den Gesetzen der Mechanik konstant bleibt; diesem Moment (nicht der Ausflußgeschwindigkeit) muß die Masse des Atoms proportional gesetzt werden. Unter diesen Umständen werden die Quellen sich scheinbar gegenseitig nach dem Newton'schen Gesetze anziehen, und, wegen der Inkompressibilität der Flüssigkeit, wird die Wirkung eine momentane sein; es werden also weder endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit, noch Perturbationen, noch Reibung stattfinden.

Eine mechanische Erklärung der Gravitation ist das natürlich nicht. Selbst in einer verallgemeinerten Mechanik wird die Unzerstörbarkeit aller Materie eines der Axiome sein, welches wir am schwersten aufgeben werden. Ferner besteht auch noch die Schwierigkeit, daß man einen solchen Äther, wie er hier verlangt wird, mit den Anforderungen der Optik nicht vereinbaren kann.

Wir haben damit alle die für die mechanische Erklärung der Schwerkraft eingeschlagenen Richtungen kennengelernt. Es ergibt sich, glaube ich, aus dieser Übersicht, daß das Problem in dem heutigen, zu engen Sinn nicht gelöst werden kann, aber andererseits auch, daß die Lösung vielleicht glücken wird, wenn jener Sinn in geeigneter Weise verallgemeinert wird. Was für eine mechanische Erklärung wesentlich ist, damit sie unserem unklaren Bedürfnis nach einer einheitlichen Naturanschauung genüge, ist nicht, daß die Gesetze der Mechanik, so wie wir sie heute kennen, unmittelbar anwendbar seien, sondern eher, daß die einzigen veränderlichen Größen Raum und Zeit seien

neben welchen nur Invarianten <sup>3</sup>, nämlich die Menge Materie in gewöhnlichem Sinne, oder die Energie <sup>4</sup>, oder elektrische Ladungen usw. vorkommen.

Eine Mechanik der Energie, welche diese als ein im Raum stetig verbreitetes bewegliches Fluidum betrachtet, wird vielleicht zur Lösung der Frage führen.

Statt eine mechanische Erklärung zu suchen, kann man die bescheidenere und vielleicht, vorderhand wenigstens, fruchtbarere Frage sich stellen, ob die Schwerkraft nicht auf elektrische Kräfte zurückführbar sei. Die Gravitation müßte sich dann mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, und das Newton'sche Gesetz wäre durch Glieder zu vervollständigen, die von den Geschwindigkeiten und den Akzelerationen materieller Körper, dividiert durch die Geschwindigkeit des Lichtes, abhängen. Geht hierbei die Lichtgeschwindigkeit in den Nenner mit der ersten Potenz ein, so sprechen wir von einem Glied erster Ordnung; bei der zweiten Potenz, von einem solchen zweiter Ordnung usw. Für das Sonnensystem bleiben die Glieder erster Ordnung meist kleiner als 3/10000; die Glieder zweiter Ordnung kleiner als 10<sup>-7</sup> u. s. w.

Wir müssen uns nun zunächst fragen, wie denn diese Annahme sich mit dem Resultat von Laplace, welches oben besprochen wurde, verträgt, wonach die Geschwindigkeit der Gravitation 108 mal die des Lichtes übertreffen müßte. Denn wir wissen durch die Gesetze der Aberration, daß die relative Richtung der Gravitationswelle nicht dieselbe ist im bewegten und im ruhenden Zustand, und daß der Unterschied von der ersten Ordnung ist.

Dies ist gerade die Laplace'sche Annahme, und es ist wahrscheinlich, daß die Aberration Laplace auf sie geführt hat. Allein eine genauere Untersuchung zeigt, daß dieses Resultat in der Optik dadurch bedingt ist, daß die Wellenlängen sehr klein in bezug auf die Entfernungen sind. Für die Planeten und ihre Satelliten sind dagegen die Perioden (Umlaufzeiten) derart, daß die entsprechenden Wellenlängen groß gegen die Dimensionen des Sonnensystems wären. Die Rechnung zeigt dann, daß die Änderungen in der Ausbreitungsrichtung der Kraft, d. h. die Aberration, durch Änderungen in deren Intensität und in der Entfernung vom Ursprung der Welle derart kompensiert werden, daß die Glieder erster Ordnung verschwinden. Das neue Gravitationsgesetz wird sich vom Newton'schen nur durch sehr kleine Glieder zweiter und höherer Ordnung unterscheiden. Überdies sind diese Glieder soweit sie überhaupt zu wahrnehmbaren Störungen Veranlassung geben

---

<sup>3</sup>Das Wort Substanz würde demselben Begriff der Unzerstörbarkeit entsprechen, es ist aber mit metaphysischen Vorstellungen verknüpft, durch die es für den Physiker unbrauchbar wird.

<sup>4</sup>Die Einheit aller Energie, wie sie z. B. in der Hertz'schen Mechanik angestrebt ist, dürfte eines der wichtigsten Postulate sein, denen die Physik zustreben muß. Die bisherigen dynamischen Erklärungsversuche reduzieren die Gravitationsenergie auf gewöhnliche kinetische Energie, und diese Auffassung dürfte wohl zu eng sein.

könnten, keine Reibungsglieder; die Laplace'sche Berechnung ist also nicht anwendbar, und man wird aus dem Folgenden ersehen, daß in der Tat nichts uns hindert, der Schwerkraft die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes zuzuschreiben; daß aber auch nichts uns dazu zwingt, da diese Hypothese, zur Zeit wenigstens, zu keiner Erklärung der Anomalie des Merkur führt.

Um die Gravitation auf elektrische Kräfte zurückzuführen haben Mossotti, Zöllner und neuerdings Lorentz die Hypothese vorgeschlagen, daß die Anziehung von Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens die Abstoßung gleich großer Ladungen mit gleichem Vorzeichen etwas überwiege. Da ein Atom Wasserstoff zum Beispiel, nach den heutigen Ansichten als eine Verbindung zweier gleich großer, entgegengesetzter elektrischer Ladungen aufzufassen ist, so würden, nach den gewöhnlichen elektrostatischen Gesetzen, zwei Atome, die in einer gegen ihre Dimensionen großer Entfernung voneinander sich befinden, keinerlei dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportionale Kraft aufeinander ausüben. Nach der neuen Hypothese dagegen ist die Kompensation der anziehenden und abstoßenden Wirkungen keine vollständige mehr: die ersteren überwiegen. Da Ladung und Masse eines Wasserstoffions ungefähr bekannt sind kann man berechnen, um wieviel Prozent die Anziehung zweier Ladungen, wenn sie entgegengesetztes Vorzeichen haben, ihre Abstoßung bei gleichem Vorzeichen übersteigt. Es ist dies eine außerordentlich kleine Größe; der Unterschied beträgt nur 10-34 Prozent. Die Gravitationskräfte sind also außerordentlich gering gegen die elektrischen Kräfte, die entstehen würden, wenn es gelänge die eng verbundenen positiven und negativen Ladungen irgend eines Körpers vollständig voneinander zu trennen. Dies gelingt uns (durch Reibung usw.) nur in einem verhältnismäßig äußerst geringen Maße.

Eine so kleine Dissymmetrie deren Existenz aber unzweifelhaft wäre, würde unserem physikalisch-ästhetischen Gefühl sehr wenig entsprechen. In Wirklichkeit genügt aber eine kleine Veränderung in den Bezeichnungen<sup>5</sup>, um zur Superposition zweier Kräfte, einer gewöhnlichen elektrostatischen, und einer Gravitationskraft, zurückgeführt zu werden. Es liegt also in dieser Mossotti'schen Annahme nur eine veränderte Bezeichnung vor; was sie Positives aussagt ist nur, daß auf die Gravitation die Gesetze der elektrischen Kräfte anzuwenden seien, indem man Ladungen durch Massen ersetzt. Ferner muß man den Körpern für die Gravitation wie für die Elektrizität eine gewisse Leitfähigkeit zuschreiben, so daß prinzipiell Schirmwirkungen gegen die Gravitation möglich sind. Durch geeignete Hilfsannahmen kann man allerdings, wie Herr Gans gezeigt hat, diese Wirkungen sehr herabsetzen; aber eine Absorption von nur einem Millionstel für die ganze Dicke der Erdkugel zu erreichen, wie es die Erfahrung verlangt, scheint unmöglich. Es liegt hierin ein wichtiger Einwand gegen diese Theorie.

---

<sup>5</sup>Siehe R. GANS, Jahresber. deutsch. Math.- Vereinigung, t. XIV, 1905, p. 578.



Welche Störungen würde unsere Hypothese nun für die Planetenbewegung ergeben? Hier sind die verschiedenen elektrodynamischen Theorien einzeln zu unterscheiden. Man hatte schon die früheren Formeln von Weber und Riemann auf die Gravitation angewendet. Als einzige merkliche Störung ergab sich eine langsame Drehung des Perihels, die für Merkur pro Jahrhundert nach dem Weber'schen Gesetz 7''<sup>6</sup>, nach dem Riemann'schen 14'' beträgt, für die andern Planeten aber unmerklich klein wird. Die Größenordnung und die Richtung der Drehung stimmen mit der Erfahrung überein; ein schon an sich bemerkenswertes Ergebnis. Aber die beobachtete Anomalie beträgt 42'', ist also bedeutend größer. Was die gegenseitigen Einwirkungen der Planeten aufeinander betrifft, so sind dieselben schon so wie so schwach, und eine Korrektur zweiter Ordnung, die etwa 10-5 Prozent betragen könnte, bleibt ganz ohne Einfluß auf die Beobachtung.

Herr H. A. Lorentz hat ebenfalls seine Gleichungen auf die Bewegung der Planeten angewandt. Bekanntlich führt Herr Lorentz die absoluten Geschwindigkeiten in bezug auf den Äther ein. Eine genauere Betrachtung zeigt nun, daß die einzigen Ursachen merklicher Störungen die folgenden sein können:

1. die Translationsbewegung der Sonne im Raum. Indem er die Bewegung des Sonnensystems in bezug auf die Fixsterne, wie sie sich aus der Astronomie ergibt, mit der Bewegung in bezug auf den Äther identifiziert, eine nicht unwahrscheinliche Annahme, findet Herr Lorentz Störungen, die selbst für Merkur unmerklich sind;

2. die Veränderlichkeit der Masse mit ihrer absoluten Geschwindigkeit. Nimmt man wie schon für die Elektronen so auch für die Materie an, es sei die Masse rein elektrodynamischen Ursprungs (die Annahme einer „wahren“ Masse würde die Störungen verkleinern), so findet man wieder eine Drehung des Perihels von Merkur, die wenige Bogensekunden pro Jahrhundert beträgt<sup>7</sup>, und es ist hierbei gleichgültig, ob man die Formeln von Abraham Bucherer-Langevin oder Lorentz für die elektromagnetische Masse zu Grunde legt.

Endlich hat neuerdings Herr Lorentz seine Theorie so abgeändert, daß die absolute Bewegung keine Rolle mehr spielt. Die Wirkung der Translation des Sonnensystems verschwindet also; da sie aber so wie so keine merkliche Perturbation ergab, werden unsere Schlüsse dadurch nicht berührt.

Zusammenfassend kann man hieraus schließen, daß es erlaubt ist, die elektrodynamischen Gesetze auf die Schwerkraft anzuwenden, daß sich daraus aber weder eine Ableitung der Gravitationskonstante aus elektrischen oder

---

<sup>6</sup>Tisserand gibt das Doppelte, 14''; er setzt nämlich die Weber'sche Konstante gleich dem reziproken Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, während sie nur halb so groß ist. Diese unrichtige Angabe ist überall wiederholt worden, wo diese Frage behandelt wurde.

<sup>7</sup>WILKENS, Physik. Zeitschr., t. VII, 1906, p. 846.

magnetischen Messungen noch eine Erklärung der noch unverständlichen Anomalie des Merkur ergeben.

Die elektromagnetischen Theorien sind nun aber allerdings noch zum Teil im Ausbau begriffen, und man kann die Frage aufwerfen, ob fernere Änderungen an denselben diese so sehr wichtige Reduktion der Gravitation auf elektrische Kräfte nicht in befriedigender Weise ermöglichen werden. Wir wollen zeigen, daß dies sehr wahrscheinlich der Fall sein dürfte.

Es ist hierzu nötig, genau zu wissen innerhalb welcher Grenzen man den Ausdruck der Kraft die zwei elektrische Ladungselemente aufeinander ausüben, verändern kann, ohne mit der Erfahrung in Konflikt zu kommen. Dies hat Verfasser <sup>8</sup> getan. Eine allgemeinste Lösung zu geben ist vielleicht unmöglich; man erhält aber genügend allgemeine Ansätze, wenn man gewisse Zusatzhypothesen heranzieht, insbesondere die Annahme der Relativität der Bewegung in ihrem klassischen Sinn (nicht in demjenigen welchen Lorentz und Einstein eingeführt haben) <sup>9</sup>, und ihre Anwendbarkeit auf die Lichtausbreitung <sup>10</sup>.

Die besprochene Kraft zwischen zwei Ladungselementen oder Elektronen hängt von den Lagen, Geschwindigkeiten und Akzelerationen derselben ab und von dem Gesetz der Ausbreitung. Man findet nun, daß schon die Glieder zweiter Ordnung durch die Erfahrung nicht vollständig bestimmt sind, sondern noch eine willkürliche Konstante enthalten. Die Glieder höherer Ordnung spielen nur in den Kaufmann'schen Versuchen über die Veränderlichkeit der Masse eine Rolle und bleiben größtenteils unbestimmt. Unter diesen Umständen eröffnen sich zwei Wege, um die Gravitation auf elektrische Kräfte zurückzuführen und gleichzeitig die Bewegung des Merkur und den numerischen Wert der Gravitationskonstante abzuleiten.

Nach den heute allgemein angenommenen Vorstellungen besteht das chemische Atom aus einer gewissen Anzahl negativer Elektronen und positiver Ladungen, die deren negative Ladung kompensieren. Die Erscheinungen des Magnetismus insbesondere erfordern ferner, daß man diesen Atomladungen rotierende oder Umlaufs-Bewegungen zuschreibe. Nehmen wir an, um eine bestimmtere Vorstellung zu Grunde zu legen, daß die Elektronen ruhen, während einige der positiven Ladungen in einer gleichförmigen, sehr rapiden, allen gemeinsamen Rotation begriffen sind. Wenn zwei solche Atome A und B aus großer Entfernung aufeinander wirken, ergibt sich Folgendes.

---

<sup>8</sup> W. RITZ, Œuvres, XVIII, p. 317.

<sup>9</sup>Nach dem Prinzip der Relativität bleibt die gleichförmige Translation eines Systems ohne Einfluß auf die sich darin abspielenden Vorgänge. Die Herren Lorentz u. Einstein nehmen darüber hinaus noch eine neue Definition der Zeit, der Geschwindigkeit usw. an.

<sup>10</sup>Man vergleiche hierüber den Aufsatz des Verfassers *Du rôle de l'Éther en Physique*, Œuvres, XX, p. 447.

Die elektrostatischen Kräfte verschwinden, oder, genauer gesagt, entsprechen sehr kleinen Dipolen und hängen von der Entfernung nach einem ganz andern Gesetz ab als das Newton'sche. Für ein System, bestehend aus einer großen Anzahl Atome, ist diese Kraft gleich Null. Aber diejenigen Kräfte, die von den Geschwindigkeiten und von den Akzelerationen abhängen, und wovon die ersteren umgekehrt proportional sind dem Quadrat der Entfernung, die letzteren der Entfernung selbst, müssen auch in Betracht gezogen werden. Zur ersteren Kategorie gehören zum Beispiel die von Ampère untersuchten Wirkungen die zwei konstante Ströme, und somit zwei bewegte Ladungen, aufeinander ausüben. Zur letzteren sind die elektrischen Kräfte, die von Hertz'schen Oszillatoren ausgehen, zu zählen; ebenso die im Licht wirkenden Kräfte, endlich der Lichtdruck.

Damit diese Kräfte zu einer Gravitationswirkung Veranlassung geben, dürfen dieselben zunächst nicht im Mittel verschwinden, wenn die Rotationsachsen der Ladungen alle möglichen Richtungen haben, was notwendig eintreten muß in einem Körper, der von einer großen Anzahl Atome gebildet wird. Weder in der ersten noch in der neuen Theorie von Lorentz existieren Glieder, die dieser Bedingung genügen. Wird dem aber notwendigerweise immer so sein? Eine genauere Betrachtung zeigt, daß dies Resultat in der ersten Theorie dadurch bedingt wird, daß die absoluten Geschwindigkeiten auftreten; in der neuen dadurch, daß die Prinzipien der Kinematik und der Begriff einer universellen Zeit aufgegeben werden. Dies sind aber zweifellos die unsichersten Punkte der heutigen Elektrodynamik.

Sobald man unter Beibehaltung der klassischen Kinematik, die relativen Bewegungen einführt, erscheinen Glieder, die einen von Null verschiedenen Mittelwert ergeben. Es gibt deren schon von der zweiten Ordnung; die resultierende Kraft ist proportional dem Mittelwert des Quadrats der Geschwindigkeiten der Ladungen <sup>11</sup>, und hängt von einer willkürlichen Konstanten ab.

Die thermische Molekularbewegung genügt allerdings schon (wenn man die hierüber allgemein angenommenen Ansichten beibehält), um eine bedeutende resultierende Kraft zwischen irgend zwei Körpern A, B hervorzubringen, die der Temperatur proportional ist; dies widerspricht der Erfahrung, und es wird daher nötig, die willkürliche Konstante so zu wählen, daß diese Kraft verschwindet. Aber weitere Glieder, von 4 ter oder 6 ter Ordnung, mit noch unbekanntem Koeffizienten würden diesem Einwand nicht ausgesetzt sein, falls die Bewegungen der Ladungen im Innern der Atome groß sind gegen die Wärmebewegung, was von vornherein wahrscheinlich ist. Man wird somit eine resultierende Kraft erhalten, die dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist, der Anzahl rotierender Ladungen, die die Körper

---

<sup>11</sup>Siehe Œuvres, XVIII, p. 424, 425.

A und B enthalten, direkt proportional, wobei der Koeffizient zunächst noch unbekannt ist.

Es genügt, anzunehmen, daß diese Anzahl in jedem Atom der Masse desselben proportional ist, und über den Koeffizienten in geeigneter Weise zu verfügen, um das Newton'sche Gesetz zu erhalten <sup>12</sup>. Selbstverständlich wird eine zukünftige Theorie diesen Koeffizienten a priori bestimmen müssen oder ihn aus elektrischen oder magnetischen Messungen ableiten: die so erhaltene Gravitationskonstante wird mit der direkt beobachteten identisch sein müssen. Da die betreffenden Glieder von so hoher Ordnung sind, ist es erklärlich, daß, wie wir oben auseinander gesetzt haben, die Gravitationswirkung zweier Atome aufeinander um so viel kleiner ist als die elektrostatischen Wirkungen ihrer Ladungen es einzeln wären.

Neben dem Glied 4 ter (oder 6 ter) Ordnung, aus welchem wir die Gravitation abgeleitet haben, wird auch noch das nächste Glied 6 ter (oder 8 ter) Ordnung zu berücksichtigen sein, welches ja in bezug auf die Gravitationskräfte zweiter Ordnung ist. Über seinen Koeffizienten wissen wir nichts. Es wird wieder eine Rotation des Perihels von der beobachteten Größenordnung bedingen, wie in allen schon behandelten Fällen, und es genügt, daß der Koeffizient größer sei wie in jenen Fällen, um die Anomalie des Merkur zu erhalten.

Bisher haben wir nur die elektrodynamischen Glieder berücksichtigt, die von den Geschwindigkeiten abhängen und dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional sind. Andere Glieder aber sind der Akzeleration eines der beiden Ladungselemente und einer gewissen Potenz von deren relativen Geschwindigkeit proportional; sie sind dritter oder höherer Ordnung und der Entfernung umgekehrt proportional. Aber in einem rotierenden Elektron wird die Akzeleration des einen Teiles durch die entgegengesetzte des andern kompensiert, und zwar um so mehr, als die Entfernung der beiden Elektronen größer gegen ihren Durchmesser  $a$  sein wird.

Eine genaue Rechnung, bei der nach Potenzen von  $a/r$  entwickelt wird, zeigt daß das Glied in  $1/r$  verschwindet, und daß im allgemeinen ein Glied in  $a/r^2$  bleibt, für welches der Mittelwert, über alle möglichen Lagen der Rotationsachsen genommen, von Null verschieden ist. Wir erhalten also eine dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportionale Kraft, deren Koeffizient der Größe  $a$ , d.h. den Dimensionen des Elektrons und einer Potenz der reziproken Lichtgeschwindigkeit proportional ist, die mindestens gleich drei ist, woraus sich wieder eine Erklärung der Gravitation und ihres relativ

---

<sup>12</sup>Wenn die rotierenden Ladungen unveränderlich an die Atome gebunden sind, werden für die Gravitation keine Schirmwirkungen möglich sein. Denn dieselben entstehen bei elektrischen Kräften durch die Verschiebungen der Elektronen innerhalb der Körper; für die magnetischen Kräfte durch die Orientation der Elementarmagnete unter dem Einfluß der von außen einwirkenden Kräfte. Keine dieser beiden Wirkungen käme hier zustande.

außerordentlich geringen Betrags ergibt.

Der Koeffizient dieses Gliedes, ebenso wie sämtlicher Glieder von höherer als der zweiten Ordnung (mit Ausnahme des Lichtdrucks, der uns hier nicht interessiert) ist vorderhand unbekannt, und so erhalten wir dasselbe Resultat wie oben: es wird eine Reduktion der Gravitation auf elektrische Kräfte, eine Ableitung der Gravitationskonstante aus elektromagnetischen Messungen und eine Erklärung der Merkuranomale durch die Anwendung der Gesetze der Elektrodynamik voraussichtlich möglich sein, wenn erst diese Gesetze mit genügender Genauigkeit bekannt sind.

In allen Fällen würde dann die Gravitationswirkung auf der dynamischen Konstitution der Atome beruhen.

Wenn also zwei Jahrhunderte eifriger Forschung uns noch keinen Anhalt über irgend einen etwaigen Zusammenhang der Gravitation mit andern Erscheinungen, und besonders mit den elektrischen Kräften, gegeben haben, und auch über eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit derselben uns nichts bekannt ist, so ist es doch wahrscheinlich, daß dies nur von unserer unvollkommenen Kenntnis der Gesetze der Elektrodynamik herrührt. In absehbarer Zeit dürfen wir also hoffen, wenn auch vielleicht nicht eine „mechanische Erklärung“, so doch eine Zurückführung der Gravitation auf elektrische Kräfte zu erzielen. Für die Einheit unserer Weltanschauung wird dies ein Schritt von der größten Tragweite sein.