

A. K. T. Assis, "Arguments in favour of action at a distance," In: Instantaneous Action at a Distance in Modern Physics – "Pro" and "Contra", Edited by A. E. Chubykalo, V. Pope and R. Smirnov-Rueda (Nova Science Publishers, Commack, 1999), Seiten 45 bis 56. Available at: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

Übersetzung aus dem Englischen (2014):

Dr. Manfred Pohl, Deutschland

E-Mail: [unipohl@aol.com](mailto:unipohl@aol.com)

Netz: [www.unipohl.de](http://www.unipohl.de)

## Argumente zugunsten der Fernwirkung

A. K. T. Assis<sup>1</sup>

Instituto de Física 'Gleb Wataghin'

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

13089-859 Campinas, São Paulo, Brasil

Es werden verschiedene Argumente für die unverzögerte Fernwirkung vorgestellt. Die Gesetze der Fernwirkung von Newton, Coulomb, Ampère und Weber werden analysiert. Historische Beweise dafür werden hervorgehoben, daß Webers Elektrodynamik vor der Entwicklung der Maxwellschen Gleichungen zur Ausbreitung elektromagnetischer Signale mit endlicher Geschwindigkeit führte. Die Anwendung des Machschen Prinzips mit Webers Gesetz in Bezug auf die Schwerkraft wird diskutiert.

### 1. Einleitung

In diesem Beitrag gebe ich einige Argumente zugunsten der Fernwirkung. Aber lassen Sie mich zuerst einige persönliche Rückerinnerungen zu diesem Thema darlegen.

Am Gymnasium (1977-1979) habe ich das Newtonsche Gravitationsgesetz gelernt (1687) und habe in ihm keine Probleme gesehen. Durch das Lesen der Wissenschaftsgeschichtsbücher entdeckte ich, daß Newtons Zeitgenossen Huygens und Leibniz seine Vorstellungen nicht akzeptieren konnten, weil Newtons Vorstellungen stillschweigend davon ausgingen, daß die Sonne direkt auf die Erde, die Erde auf den Mond usw. wirkt. Ich erinnere mich, daß ich ihre [Huygens' und Leibniz'] negative Haltung nicht verstehen konnte, weil mir klar war, daß die Sonne die Erde anzieht und die Erde den Mond und den Apfel anzieht. Zu dieser Zeit dachte ich nicht in anderen Mechanismen, die ihre Anziehungskraft erklären konnten.

Als ich mein Grundstudium in der Physik absolvierte (1980-1983), wurde mir klar, wie problematisch Newtons Gravitationsgesetz wegen seines fernwirkenden Charakters ist. Zum Beispiel, wie könnte die Sonne aus der Ferne wissen, wieviel Masse es auf der Erde gibt, um mit der richtigen Kraft auf sie zu wirken? Wie wird diese Kraft von der Sonne zur Erde übertragen? Kann ein Körper endlicher Dimension auf Körper an anderen Orten wirken, zu denen der erste Körper keine Berührung hat? Dann habe ich Huygens' und Leibniz' Kritik verstanden. Ich begann auch über andere Mechanismen für die Wechselwirkung zwischen den Körpern zu spekulieren, wie den Austausch von Teilchen (Photonen oder Gravitonen) mit einer endlichen Geschwindigkeit, die Emission von Gravitations- und elektromagnetischen Feldern mit Lichtgeschwindigkeit oder Störeinflüsse in einem kontinuierlichen Medium wie einem Äther. Ich habe dann meine Meinung geändert und geschlußfolgert, daß es keine Fernwirkung gäbe.

1986 und 1987 begann ich einige Niederschriften, die ich Allgemeine Prinzipien der Physik nannte. Das sind Prinzipien, wie ich glaubte, die in der gesamten Physik gültig sein müßten, einschließlich der Mechanik, der Thermodynamik, der Optik oder des Elektromagnetismus.

Der erste Grundsatz war, daß die Gesetze der Physik nur von den Abständen zwischen den interagierenden Körpern und ihren Zeitableitungen [time derivative] abhängen. Das heißt, daß die jeweiligen Mengen weder von der Position, noch von der Geschwindigkeit, noch von der Beschleunigung des Beobachters abhängen. Alle Grundgesetze der Physik müßten die Form haben

$$f(\vec{r}_i - \vec{r}_j, \vec{v}_i - \vec{v}_j, \vec{a}_i - \vec{a}_j, d^3\vec{r}_i/dt^3 - d^3\vec{r}_j/dt^3, \dots, m_i - m_j \text{ oder } m_i/m_j, q_i - q_j \text{ oder } q_j/q_j, \dots).$$

---

<sup>1</sup> E-Mail: [assis@ifi.unicamp.br](mailto:assis@ifi.unicamp.br), Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

Hierin sind  $\vec{r}_i$  und  $\vec{r}_j$  die Positionsvektoren der Teilchen  $i$  und  $j$  mit den Massen  $m_i$  und  $m_j$ , und den Ladungen  $q_i$  und  $q_j$ ,  $\vec{v}_i - \vec{v}_j = d(\vec{r}_i - \vec{r}_j)/dt$  usw. Ich bin auf dieses Prinzip gekommen, als ich entdeckte, daß in der Lorentz-Kraft  $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$  die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  als die Geschwindigkeit der Ladung relativ zum Beobachter dargestellt wird und nicht relativ zu den Magneten oder den stromführenden Leitern, mit denen sie interagiert. Ich mochte diese Interpretation nicht, weil sie gegen meine physikalische Intuition gerichtet war und schlug deshalb dieses Prinzip vor. Für mich sollte dieses  $\vec{v}$  die Geschwindigkeit zwischen der Ladung und dem Magneten oder der stromführenden Leiter sein, mit der sie interagiert.

Der zweite Grundsatz war, daß die Kinematik genau zur Dynamik äquivalent sein sollte. Das war meine Interpretation des Machschen Prinzips und seiner Analyse des Newtonschen Eimer-Experiments. Ich erinnere mich nicht, wann ich zum ersten Mal Machs Buch „*Die Mechanik in ihrer Entwicklung*“ [1] gelesen habe, aber ich erinnere mich, daß wir mit ein paar Freunden von 1986 ab seine Ideen diskutierten. Wenn der Eimer und das Wasser relativ zur Erde in Ruhe sind, ist die Oberfläche des Wassers flach. Wenn sich beide gemeinsam relativ zur Erde und dem fernen Universum drehen, ist die Oberfläche konkav. Newton führte diese Konkavität auf die Rotation des Wassers in Bezug auf einen absoluten Raum zurück, der von allen materiellen Körpern wie der Erde oder fernen Sterne frei ist [Newton thought this concavity was due to the rotation of the water relative to absolute space disconnected from any material body like the Earth or distant stars]. Mach war gegen diese Interpretation und glaubte, der Effekt entstünde aufgrund der Drehung des Wassers relativ zu den fernen Sternen. Was würde passieren, wenn Eimer und Wasser relativ zur Erde in Ruhe gehalten würden, während das ferne Universum relativ zur Erde in die entgegengesetzte Richtung um die Achse des Eimers gedreht würde mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit wie in Newtons ursprünglichen Experiment? Nach der klassischen Mechanik müßte das Wasser flach bleiben, während nach Machs Prinzip das Wasser in Richtung der Seiten des Eimers ansteigen müßte wie in Newtons ursprünglichem Experiment. Machs relationale Ideen schienen immer intuitiver für mich, als Newtons absolute, die auf einem leeren Raum basierten. Aus diesem Grunde habe ich für mich das zweite Prinzip wie oben aufgestellt.

Das dritte Prinzip (im Juni 1988 geschrieben) war, daß es keine Fernwirkung gibt. Ich glaubte dann, daß alle Interaktionen zwischen zwei beliebigen Körpern mit einer endlichen Geschwindigkeit ablaufen müssen. Dies könnte durch einen Störeinfluß [perturbation] in einem endlosen Medium, oder durch die Emission und Absorption von Teilchen oder Feldern hervorgerufen werden, die sich mit einer endlichen Geschwindigkeit im Vakuum bewegen. Mein bevorzugter Mechanismus für ihre Interaktion war der Austausch von Partikeln wie etwa Gravitonen.

Im Verlaufe von zwei Wochen im Februar 1985 las ich das erste Mal Whittaker's Buch *Die Geschichte der Theorien des Äthers und der Elektrizität*, [2]. Aber zu dieser Zeit hatte ich Webers Fernwirkungsgesetz noch nicht beachtet. Es war in England im Jahr 1988, als ich das Webersche Gesetz in Whittakers Buch wiederentdeckt hatte und begann, mit ihm zu arbeiten. Der Grund war, daß dieses Gesetz Aktion und Reaktion entspricht, die Kraft wurde entlang einer Geraden gerichtet, die die

elektrischen Ladungen verbindet, und Webers Gesetz nur von  $r = |\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ ,  $dr/dt$  und  $d^2r/dt^2$  abhängig war. Das war es, was ich ein *relationales Kraftgesetz* nannte. Dies war das auffälligste Merkmal, das es vom Lorentz-Kraftgesetz unterschied.

Es war auch im Jahr 1988, als ich begann, das Weber-Gesetz auf die Gravitation anzuwenden und es quantitativ mit dem Machschen Prinzip zu verbinden. Dies habe ich in meiner ersten 1989 veröffentlichten Arbeit beschrieben [3]. Trotz dieses Erfolges schrieb ich in der Arbeit: "Die größte Einschränkung dieses Modells ist, daß es auf eine Fernwirkungstheorie basiert. Als Ergebnis ist es keine endgültige Theorie, sondern ist nur gültig in Systemen mit kleinen Geschwindigkeiten [der Teilchen], in denen die Zeitverzögerung kein ernstzunehmender Faktor ist."

Heute ändere ich noch einmal meine Meinung und kehre wieder zu meinem früheren Standpunkt am Gymnasium zurück. Ich bin zwar noch nicht ganz von der Fernwirkungstheorie überzeugt, sehe aber mehr und mehr, daß sie positive Aspekte mit sich bringt. Da die meisten Physiker dieses Jahrhunderts gegen die Fernwirkungstheorie sind, habe ich beschlossen, diese Arbeit zu schreiben, die vernünftige Argumente zu ihren Gunsten zeigt, um diese einseitige Position zu relativieren. Dies kann anderen Lesern helfen, eine kritischere Sicht und einen offenes Denken zu diesem wichtigen Thema zu entwickeln.

## 2. Argumente zu Gunsten der Fernwirkung

Hier gebe ich einige Zitate zugunsten der Fernwirkung.

Ernst Mach präsentierte einige interessante Bemerkungen in seinem Buch *Die Geschichte Und Die Wurzel Des Satzes Von Der Erhaltung Der Arbeit*, die im Jahr 1872 erstveröffentlicht wurde. Auf Seite 56 der Englisch-Übersetzung findet man die Worte [4]:

*Man wird Fakten als Grundtatsachen ansehen, die sich auf die Gewohnheit und die Geschichte stützen. Auf der niedrigsten Stufe der Erkenntnis gibt es keine ausreichendere Erklärung, als Druck und Stoß [pressure and impact].*

*Die Newtonsche Gravitationstheorie, stört fast alle Naturforscher, weil ihr Erscheinungsbild auf einer ungewöhnlichen Unverständlichkeit gegründet ist. Man versuchte, die Gravitation auf Druck und Stoß zu reduzieren. Heutzutage stört Gravitation niemanden mehr: Sie ist zu einer allgemeinen Unverständlichkeit geworden. Es ist bekannt, daß die Fernwirkung bei sehr bedeutenden Denkkern Schwierigkeiten verursacht hat. "Ein Körper kann nur wirken, wo er ist". Deshalb gibt es nur Druck und Stoß und keine Fernwirkung. Aber wo ist ein Körper? Ist er nur dort, wo wir ihn berühren können? Kehren wir die Sache um: Ein Körper ist dort, wo er wirkt. Ein wenig Platz wird zum Anfassen genommen, ein größer für das Hören und ein noch größerer für das Sehen. Wie kommen wir dazu, daß uns der Tastsinn allein diktiert, wo ein Körper ist? Außerdem kann die Kontakt-Wirkung als Spezialfall der Fernwirkung betrachtet werden.*

Burniston Brown machte einige interessante Bemerkungen in der Einleitung zu seinem Buch über Fernwirkung, [5], (Seite 1):

*Als der Autor versucht hat, ein Buch über wissenschaftliche Methode zu schreiben, war er fast sofort mit einem ernsten Problem konfrontiert. Das lag daran, daß eine wissenschaftliche Methode zu erklären war, es mußte eine klare Definition von Fakten und Theorien gegeben werden. Die Theorien werden erfunden/entwickelt [invented], um eine kausale Erklärung des Sachverhalts zu geben. Zu meiner Überraschung sah ich, obwohl das Wort „Tatsache“ jeden Tag von allen benutzt wird, daß niemand wußte, wie seine Bedeutung zu definieren sei - Wissenschaftler, Juristen, Philosophen - keiner konnte es. Bertrand Russell sagte, daß eine Tatsache etwas sei "was eine Aussage wahr macht" – aber die Frage ist, was ist dieses "Etwas"? (unbeachtet, was mit 'wahr' gemeint ist).*

*Nach achtzehn Monaten der Überlegung entschied ich mich für:*

*Eine Tatsache ist eine Behauptung, die überprüft werden kann.*

*Es war viele Jahre später, als ich erkannte, daß Fernwirkung nicht nur eine Theorie der Ausbreitung einer Kraft ist, wie etwa eine ballistische Ausbreitung oder Wellenausbreitung in einem Äther. Ich beschloß, diesen Punkt in einem Vortrag in Oxford mit der Darstellung der Wirkung eines Magneten auf einem anderen, hängenden Magneten, zu zeigen. Ich habe dann darauf hingewiesen, daß die beobachtbare Aktion bei einem beobachtbaren Abstand auftrat, so daß, wenn ein Mitglied des Publikums sagte, es sei keine Fernwirkung, er es war, der die Hypothese aufstellte. Niemand versuchte das zu leugnen. Warum sollten wir nicht zugeben, daß manchmal etwas, was zu geschehen scheint, auch geschieht?*

*Die Weigerung, die Fernwirkung zu akzeptieren, hat zu all den Schwierigkeiten und verschrobenen Erklärungen wie Ätherwirbel, Wellenübertragung, Raumzeit-Krümmung [twisted space-time], und vieles andere geführt – zusammen mit erfolglosen experimentellen Bemühungen, den Äther zu finden.*

*Die Zeit ist jetzt sicherlich kommen, um den Gordischen Knoten zu lösen durch die Abschaffung aller dieser Äther, Verzicht auf die Zuordnung physikalischer Eigenschaften zu Nichts (wie  $\epsilon_0$  und  $\mu_0$ ), und die Ablehnung rein mathematischer Konstrukte wie die Raum-Zeit.*

Für viele andere Zitate und wichtige Diskussionen verweise ich den Leser auf das extrem bedeutsame Buch von Graneau und Graneau, *Newton Versus Einstein - wie Materie mit Materie zusammenwirkt*, [6]. Dieses hervorragende Buch beschreibt die beiden Hauptmechanismen, die aus der Geschichte der Wissenschaft hervorgegangen sind, um die Wechselwirkung zwischen Materie zu erklären: Fernwirkung und Kontaktwirkung.

### **3. Fundamental Fernwirkungskraftgesetze**

Hier stelle ich die Grundgesetze der Fernwirkung dar, die in der Physik vorgeschlagen wurden. Für alle Ausdrücke wird das Internationale Einheitensystem MKSA verwendet. Für Literaturhinweise und Zitate aus den Originalwerken siehe [7].

Die älteste und wichtigste Fernwirkungskraft ist Newtons Gravitationsgesetz (1687). In der modernen vektoriellen Schreibweise kann die Kraft, die durch die schwere Masse  $m_{g1}$  auf die schwere Masse  $m_{g2}$  ausgeübt wird, geschrieben werden als

$$\vec{F} = -G m_{g1} m_{g2} \frac{\hat{r}}{r^2}. \quad (1)$$

Hierin ist  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$  die Gravitationskonstante,  $r$  ist der Abstand zwischen den Massen und  $\hat{r}$  ist der Einheitsvektor entlang der Verbindungslinie.

Hundert Jahre später gelangt Coulomb zu der Kraft zwischen den elektrischen Ladungen  $q_1$  und  $q_2$  als

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0} \frac{\hat{r}}{r^2}, \quad (2)$$

worin  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$  Dielektrizitätskonstante des Vakuums genannt wird. Die Coulomb-Kraft ist dem Newtonschen Gravitationsgesetz sehr ähnlich.

Zur selben Zeit gelangte Coulomb zur Kraft zwischen zwei Punktmagnetpolen  $q_1^{mp}$  und  $q_2^{mp}$ , gegeben mit

$$\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} q_1^{mp} q_2^{mp} \frac{\hat{r}}{r^2}, \quad (3)$$

worin  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ kgmC}^{-2}$  Permeabilitätskonstante des Vakuums genannt wird.

Zwischen 1820 und 1826 gelangte Ampère zur Kraft zwischen zwei Gleichstromelementen  $I_1 d\vec{\ell}_1$  und  $I_2 d\vec{\ell}_2$  als

$$d^2 \vec{F} = -\frac{\mu_0}{4\pi} I_1 I_2 \frac{\hat{r}}{r^2} \left[ 2(d\vec{\ell}_1 \cdot d\vec{\ell}_2) - 3(\hat{r} \cdot d\vec{\ell}_1)(\hat{r} \cdot d\vec{\ell}_2) \right]. \quad (4)$$

Durch Integration dieses Ausdrucks über zwei geschlossene Kreise  $C_1$  und  $C_2$  gelangte er zu

$$\vec{F} = -\frac{\mu_0}{4\pi} I_1 I_2 \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{\hat{r}}{r^2} (d\vec{\ell}_1 \cdot d\vec{\ell}_2). \quad (5)$$

Um die Gesetze von Coulomb, Ampère und Faraday (1831) zu vereinen, schlug Weber 1846 folgende Kraft zwischen zwei Ladungen vor:

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0} \frac{\hat{r}}{r^2} \left( 1 - \frac{\dot{r}^2}{2c^2} + \frac{r \ddot{r}}{c^2} \right), \quad (6)$$

worin  $\dot{r} = dr/dt$ ,  $\ddot{r} = d^2 r/dt^2$  und  $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ .

Alle diese Ausdrücke haben die folgenden grundlegenden Fernwirkungseigenschaften: Wenn sich eines der Teilchen auf der Sonne und das andere auf der Erde befindet, so sagen diese Gesetze aus, daß bei einer Bewegung eines der Teilchen, die den Abstand zu dem anderen Teilchen verringert, sich die Kraft auf das andere augenblicklich ändert.

#### 4. Argumente zu Gunsten der Fernwirkung

Alle diese Kraftgesetze erfüllen das Prinzip von Aktion und Reaktion. Das heißt, die Erhaltung des Linearimpulses für jedes System wechselwirkender Teilchen unterliegt diesen Gesetzen. Diese Kräfte verlaufen auch entlang der geraden Verbindungslinie zwischen den Teilchen, was bedeutet, daß auch der Drehimpuls erhalten bleibt. Sie können auch von potentiellen Energien abgeleitet werden, was der Erhaltung der Energie entspricht. Diese drei Aspekte sind von einem konzeptionellen Gesichtspunkt aus sehr wichtig, und sie vereinfachen auch enorm die Berechnungen.

In der Regel versuchen Menschen, die gegen die Fernwirkung sind, die Wechselwirkung zwischen Ladungen durch Druck und Kollisionen zu erklären. Das heißt, jede Ladung sollte Korpuskeln oder Felder emittieren, die sich im Raum mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreiten und die zweite Ladung beeinflussen, wenn sie sie erreichen. Gegenwärtig nehmen wir den gegenteiligen Mechanismus an. Das heißt, durch Coulombsche oder Newtonsche Fernkräfte ist es möglich, die Rutherford-Streuung zu erklären (die als analog zu einer Kollision von zwei Billardkugeln angenommen werden kann) ohne daß die Körper überhaupt in Kontakt miteinander kommen.

Eines der reizvollsten Argumente für die Fernwirkung ist, wie mächtig sie sein kann. Hier zeige ich, wie viele Dinge abgeleitet werden können, indem man nur mit Webers Kraft zwischen Punktladungen beginnt, (6). Für ausführliche Diskussionen und Literatur siehe [7] und [8]. Wenn keine Bewegung zwischen den Ladungen abläuft, erhält man wieder das Coulomb-Gesetz, von dem aus auch das Gauß-Gesetz abgeleitet werden kann. Wenn die dielektrischen Eigenschaften von Materialien aus Experimenten stammen, kann die gesamte Elektrostatik aus dem Weber-Gesetz abgeleitet werden. Wenn die Ladungen in Bewegung sind, wie in der Interaktion zwischen stromführenden Leitern, gewinnt man aus dem Weber-Gesetz die Ampère-Kraft zwischen Gleichstromelementen, die die Kraft zwischen den stromführenden Leitern richtig vorhersagt. Das ergibt auch das magnetische Durchflutungsgesetz und das Gaußsche Gesetz für Magnetfelder [das Gesetz der Nicht-Existenz von neipoligen Magneten]. Wenn veränderliche Ströme oder bewegte stromführende Leiter vorliegen, beschreibt die Webersche Kraft auch das Faradaysche Induktionsgesetz. Im Folgenden werde ich zeigen, wie Weber und Kirchhoff die Ausbreitung elektromagnetischer Signale mit Lichtgeschwindigkeit abgeleitet haben, bevor Maxwell seine Gleichungen schrieb. Es ist erstaunlich, daß alle diese weitreichenden Ergebnisse von einem so einfachen Gesetz wie der Weber-Kraft zwischen Punktladungen abgeleitet werden können.

Wenn das Webersche Gravitationsgesetz und das Prinzip des dynamischen Gleichgewichts kombiniert werden, wird das Machsche Prinzip quantitativ implementiert, siehe: [3, 9, 10 und 11]. Das heißt, die Trägheit eines jeden Körpers entsteht aufgrund seiner Gravitationswechselwirkung mit dem fernen Universum. Trägheit bedeutet hier die träge Masse  $m_i$  des Körpers, und anderer Dinge, die mit  $m_i$  in Beziehung sind, wie die kinetische Energie  $T = m_i v^2 / 2$ , der Linear- und der Drehimpuls, und die Trägheitskräfte ( $m_i \vec{a}$ , Zentrifugal- und Corioliskräfte). Das heißt, die Trägheit eines Körpers ist seine Resistenz gegenüber einwirkenden Beschleunigungen, relativ zum fernen materiellen Universum. Und wiederum wird dies alles mit Webers Fernwirkungsgesetz, ohne Zeitverzögerung, erklärt. Die Präzession des Perihels der Planeten wird auch korrekt vom Webergesetz abgeleitet. Ich halte die quantitative Implementierung des Machschen Prinzips für das bedeutendste Ergebnis, das je mit dem auf die Gravitation angewendeten Webergesetz gewonnen wurde.

## 5. Die Ausbreitung elektromagnetischer Signale

Es wird gewöhnlich festgestellt, daß die Ausbreitung elektromagnetischer Signale wie in Antennen beweisen, daß die Fernwirkung falsch ist. Hier werde ich dieses Thema diskutieren.

Das erste, das erwähnt werden sollte, ist, daß die Elektromagnetische Größe  $c = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  (das Verhältnis der elektromagnetischen zur elektrostatischen Maßeinheit) in der Physik erstmals in der Weberkraft von 1846, [12], eingeführt wurde. In der Tat führte er die Konstante  $a$ , die er 1856 als  $c = 4/a$  schrieb, wobei Webers  $c$  das Verhältnis des elektrodynamischen zum elektrostatischen Maass ist. Aber Webers  $c = 4/a$  ist heute nicht  $c = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ , sondern  $\sqrt{2}$  mal diese Größe. Die ersten Wissenschaftler, die  $c$  gemessen hatten, waren Weber und Kohlrausch im Jahre 1856. Sie fanden  $\sqrt{2}c = 4,39 \times 10^8 \text{ m/s}$ , so daß  $c = 3,1 \times 10^8 \text{ m/s}$  war. Dies war eine der ersten quantitativen Verbindungen zwischen Elektromagnetismus und Optik.

Aber was ich hier betonen möchte, ist die Arbeit von Kirchhoff. Er erhielt mit Webers Fernwirkungstheorie die Telegraphengleichung aus dem Jahre 1857. Er hat drei Hauptarbeiten im direkten Zusammenhang damit verfaßt, eine 1850 und zwei 1857, die alle ins Englische übersetzt wurden [13, 14 und 15]. Die Veröffentlichung Webers gleichzeitiger und sorgfältigerer Arbeit wurde verzögert, sie wurde erst im Jahre 1864 veröffentlicht. Beide wirkten unabhängig voneinander und sagten die Existenz periodischer Schwingungsformen der Elektrizität voraus, die sich mit Lichtgeschwindigkeit in einem leitenden Medium mit vernachlässigbarem Widerstand ausbreitet.

In seiner ersten Arbeit von 1857, betrachtete Kirchhoff einen Leiter mit kreisförmigem Querschnitt, der

in seiner allgemeinen Form offen oder geschlossen sein konnte. Er schrieb das Ohmsche Gesetz unter Berücksichtigung freier Elektrizität entlang der Oberfläche des Drahtes und auch der Induktion durch das Verändern der Stromstärke in allen Teilen des Drahtes in der Form:

$$\vec{J} = -g \left( \nabla \phi + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right), \quad (7)$$

worin  $\vec{J}$  die Stromdichte,  $g$  die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Drahtes,  $\phi$  das elektrische Potential und  $\vec{A}$  das magnetische Vektorpotential ist. Er berechnete  $\phi$  durch Integration des Effektes von alle freien Oberflächenladungen:

$$\phi(x, y, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iint \frac{\sigma(x', y', z', t) da'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}, \quad (8)$$

worin  $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$  der Punkt ist, in dem das Potential berechnet wurde,  $t$  ist die Zeit und  $\sigma$  ist die freie Oberflächenladungsdichte. Nach der Integration über die gesamte Oberfläche des Drahtes der Länge  $\ell$  und des Radius  $\alpha$ , erhielt er:

$$\phi(s, t) = \frac{\alpha\sigma(s, t)}{\epsilon_0} \ln \frac{\ell}{\alpha}, \quad (9)$$

worin  $s$  die veränderliche Entfernung entlang des Drahtes von einem festen Ausgangspunkt ist.

Das Vektorpotential  $\vec{A}$  erhielt er aus Webers Gesetz mit

$$\vec{A}(x, y, z, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint [\vec{J}(x', y', z', t) \cdot (\vec{r} - \vec{r}')] (\vec{r} - \vec{r}') \frac{dx' dy' dz'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}. \quad (10)$$

Hier wird die Integration über das Drahtvolumen ausgeführt.

Nach der Integration ergibt dieser Ausdruck:

$$\vec{A}(s, t) = \frac{\mu_0}{2\pi} I(s, t) \ln \frac{\ell}{\alpha} \hat{\alpha}, \quad (11)$$

worin  $I(s, t)$  der veränderliche Strom ist.

Unter Beachtung, daß  $I = J\pi\alpha^2$  und  $R = \ell/(\pi g\alpha^2)$  der Drahtwiderstand ist, wird die longitudinale Komponente des Ohmschen Gesetzes geschrieben als

$$\frac{\partial \sigma}{\partial s} + \frac{1}{2\pi\alpha} \frac{1}{c^2} \frac{\partial I}{\partial t} = -\frac{\epsilon_0 R}{\alpha \ell \ln(\ell/\alpha)} I. \quad (12)$$

Um die zwei Unbekannten  $\sigma$  und  $I$  in Beziehung zu setzen, benutze Kirchhoff die Gleichung für die Ladungserhaltung, die er schrieb als

$$\frac{\partial I}{\partial s} = -2\pi\alpha \frac{\partial \sigma}{\partial t}. \quad (13)$$

Durch Verwendung dieser beiden Gleichungen, (12) und (13), erhält man die Telegrafengleichung, nämlich:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial s^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{2\pi\epsilon_0 R}{\ell \ln(\ell/\alpha)} \frac{\partial \xi}{\partial t}, \quad (14)$$

worin  $\xi$  die Größen  $I$ ,  $\sigma$ ,  $\phi$  oder die longitudinale Komponente von  $\vec{A}$  repräsentiert.

Wenn der Widerstand vernachlässigbar ist, beschreibt diese Gleichung die Ausbreitung der Signale entlang des Drahtes mit Lichtgeschwindigkeit.

Obwohl in dieser Ableitung die Wechselwirkung zwischen zwei Ladungen durch Webers Fernwirkungsgesetz gegeben ist, breitet sie sich das kollektive Verhalten der Störgröße [the collective behavior of the disturbance] mit Lichtgeschwindigkeit entlang des Drahtes aus. Dies ist etwa ähnlich zur Ausbreitung von Schallwellen, die von Newton abgeleitet wurde, oder die Ausbreitung von Signalen entlang einer gespannten Saite, die d'Alembert erhielt. In all diesen Fällen wurde die klassische Newtonsche Mechanik verwendet, ohne Zeitverzögerung, ohne Verschiebungsstrom und ohne Feldausbreitung mit einer endlichen Geschwindigkeit. Obwohl die Wechselwirkung von zwei beliebigen Teilchen in allen Fällen vom Typ Fernwirkung war, verlief das Zusammenwirken des Signals oder der Störgröße mit einer endlichen Geschwindigkeit.

In diesen Fällen besteht ein Mehrkörpersystem (Moleküle in der Luft, Moleküle in der Saite, oder Ladungen in einem Draht), in dem die Teilchen eine Trägheit besaßen. Ist es möglich, die Ausbreitung elektromagnetischer Signale im Vakuum abzuleiten, wie in einer Funkverbindung, mit Hilfe der Fernwirkungstheorie? Ich glaube, die Antwort auf diese Frage ist positiv. In der Praxis gibt es niemals nur ein Zweikörpersystem. In jeder Antenne gibt es viele geladene Teilchen. Selbst wenn das materielle Medium zwischen zwei Antennen entfernt wird, gibt es immer ein Gas mit Photonen im Raum zwischen ihnen. Die Fernwirkung zwischen den Ladungen in beiden Antennen untereinander, und die Fernwirkung zwischen den Ladungen mit dem Gas von Photonen im Zwischenraum, kann zu einer Zusammenwirkung führen, die man elektromagnetische Strahlung nennt, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Darüber hinaus muß durch das Machsche Prinzip das ferne Universum immer berücksichtigt werden. Immerhin sind die Trägheitseigenschaften einer Ladung aufgrund seiner Gravitationswirkung mit der fernen Materie im Kosmos gegeben [After all, the inertial properties of any charge is due to its gravitational interaction with the distant matter in the cosmos]. Gegenwärtig arbeite ich an diesem Thema der Antennen mit Webers Elektrodynamik. Ich erweitere die Kirchhoffsche Analyse und betrachte den Fall von Wellenleitern [waveguides], Koaxialkabeln, Dipol-Antennen und andere Situationen, die mit offenen mechanischen elektromagnetischen Stromkreisen zu tun haben.

Es muß betont werden, daß die Arbeiten von Weber und Kirchhoff in den Jahren 1856-57 veröffentlicht wurden, bevor Maxwell seine Gleichungen in den Jahren 1861-1864 schrieb. Als Maxwell den Verschiebungsstrom  $(1/c^2)\partial\vec{E}/\partial t$  einführte, verwendete er die Weber-Konstante  $c$ . Ihm war auch Webers und Kohlrauschs Messungen bekannt, daß  $c$  den gleichen Wert wie die Lichtgeschwindigkeit hatte. Er kannte auch Webers und Kirchhoffs Ableitung der Telegraphiegleichung, die die Ausbreitung von elektromagnetischen Signalen mit Lichtgeschwindigkeit ergibt.

## 6. Probleme mit der Kontaktwirkung

Zusätzlich zur Darstellung der positiven Aspekte der Fernwirkung, diskutiere ich hier einige Probleme der Kontaktwirkung. Mit diesem Ausdruck meine ich alle Arten von Mechanismen, die vorgeschlagen wurden, um die Wechselwirkung zwischen Körpern ohne unverzögerte Fernwirkung zu erklären. Dabei geht es um den Austausch von Teilchen (virtuelle Photonen und Gravitonen), um die Ausbreitung kontinuierlicher elektromagnetischer und Gravitationsfelder, um die Störung eines Äthers, durch verzögerte Fernwirkung usw.

Im klassischen Elektromagnetismus gibt es normalerweise die Liénard-Wiechert-Potentiale, die auf der Zeitverzögerung basieren. Auf Probleme mit diesem Ansatz wurde von Chubykalo und Smirnov-Rueda [16, 17 und 18] und von Whitney [19 und 20] hingewiesen.

Es wird in der Regel angenommen, daß die Schwerkraft sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. In einem sehr interessanten Artikel, in dem dieses Thema diskutiert wird, hat van Flandern gezeigt, daß diese Geschwindigkeit noch nie direkt beobachtet wurde und daß viele Argumente und Messungen zeigen, daß, wenn sie endlich wäre, um viele Größenordnungen größer als  $c$  sein müßte, [21]. Insbesondere gibt es keine Aberration für Gravitation. In diesem Zusammenhang möchte ich auch auf Popes und Osbornes Diskussion der Fernwirkung bezogen auf die Gravitation und die Trägheit hinweisen, [22].

Eine häufige Ansicht vieler Menschen ist es (wenn auch nicht meine), von Mechanismen zu sprechen, nach denen Wechselwirkungen zwischen Körpern als Austausch von Teilchen oder Feldern gesehen werden, von Verbindungen zwischen den Körpern (wie durch eine Äther) usw. zu sprechen. Ich selbst kann mir Vorstellungen dieser abstrakten Felder oder Entitäten nicht bilden. Es gibt auch andere Probleme. Wenn ein Stabmagnet sich relativ zum Labor mit einer konstanten Geschwindigkeit von 1 m/s bewegt, dann bewegt sich sein Magnetfeld mit dieser Geschwindigkeit? Oder bewegt es sich mit Lichtgeschwindigkeit? Oder bewegt es sich überhaupt nicht, sondern erzeugt nur ein elektrisches

Feld, das relativ zur Erde stationär ist? Die gleichen Fragen könnten auf die elektrischen und magnetischen Felder auf Grund der Bewegung einer Punktladung relativ zum Labor angewendet werden.

Wie kann etwas immaterielles wie ein elektromagnetisches Feld mit Materie interagieren? Menschen, die die Fernwirkung ablehnen, bevorzugen, in den Konzepten der Druck und Kontaktwirkung zu denken. Aus diesem Grund postulieren sie, daß jede Ladung kleine Partikel aussendet (wie virtuelle Photonen oder andere Teilchen) oder ein stetiges elektromagnetisches Feld, das mit der anderen Ladung interagiert, wenn es sie erreicht. Aber sie sagen nicht, wie diese Interaktion zwischen den kleinen Partikeln (oder Feldern) und der zweiten Ladung vor sich geht.

Neben diesen Tatsachen ist es außerdem sehr relevant, sich von dem zu lösen, was nicht beobachtet wird. Dies ist eine einfache Regel in der Physik, die immer häufiger in Vergessenheit gerät. Da die elektromagnetischen Felder, die virtuellen Photonen, die Gravitonen, der Äther und andere erdachte Gebilde nicht direkt beobachtet werden, sollte ihre Verwendung in der Physik vermieden werden. Was zu sehen ist, ist die Bewegung materieller Teilchen, wie der Apfel sich der Erde nähert, ein Magnet einen anderen Magneten beeinflusst usw. Es gibt Theorien, wie die Newtons oder Webers, die nur mit den beobachtbaren Objekten umgehen. Deswegen sollte man diese Theorien, statt dessen vor anderen die unempirische Vorstellungen benutzen, bevorzugen.

Ich werde hier einige Gedankengebilde aufzählen, die postuliert wurden, um die Gravitation zu erklären (eine ähnliche Aufzählung kann für die elektromagnetischen Wechselwirkungen gemacht werden). (I) Descartes glaubte im Jahre 1644, es gäbe einen Wirbel feinstofflicher Materie, die um die Nord-Süd-Achse der Erde zirkuliert. Huygens folgte diesem Ansatz, ging aber davon aus, die kleinen Partikel zirkulieren um die Erde in alle Richtungen und nicht nur um eine Achse. (II) Selbst Newton spekuliert in einem anderen Mechanismus, den er in Query 21 der *Opticks* vorstellt: die Schwerkraft könnte auf einem Medium beruhen, das den ganzen Raum ausfüllt und seine Dichte als Funktion der Entfernung zum Zentrum der Objekte ändert (weniger dicht im Inneren des Objektes und dichter in größerer Entfernung von ihnen), wodurch sich die Teilchen wegen der elastischen Kraft dieses Mediums von den dichteren Schichten zu den weniger dichten bewegen müssen, [23] (S. 350 - 352). Das Newton-Medium wäre im wesentlichen stationär und rotierte nicht um die Körper. (III) Hundert Jahre später schlug Le Sage eine andere Idee vor: Der ganze Raum ist gefüllt mit winzigen Teilchen, die sich mit großer Geschwindigkeit in alle Richtungen ausbreiten. Zwei große Körper stehen sich gegenüber und sind gegenseitig dem Beschuß der Teilchen ausgesetzt (wie beim Entstehen des Lichtschattens). Jeder Körper würde auf der Rückseite mehr Stöße als auf der zugewandten Seite erhalten. Als Konsequenz würden sie sich aufeinander zu bewegen, bedingt durch eine Kraft, die mit der Größe  $1/r^2$  abnimmt. (IV) Ende des letzten Jahrhunderts, nachdem die auf Feldern basierenden Arbeiten von Faraday und Maxwell erschienen waren, begannen viele Wissenschaftler von einem kontinuierliche Schwerefeld zu sprechen, das durch die Objekte erzeugt werde und sich mit einer endlichen Geschwindigkeit im Raum ausbreite. Ein Testkörper würde nicht direkt mit anderen Körpern interagieren, sondern nur mit dem lokalen Feld in dem Bereich, in dem er sich befindet, das durch die anderen Objekte emittiert wird. (V) Anstelle dieses kontinuierliche Feldes, denken manche, daß jeder Körper Gravitonen mit einer endlichen Geschwindigkeit abstrahlt (in der Regel mit Lichtgeschwindigkeit). Wenn diese Gravitonen mit den anderen Objekten kollidieren, bewegen sich diese Objekte zu den emittierenden Objekten hin. (VI) Nach 1916 war mit der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins ein anderer Grundgedanke vorgeschlagen worden: Die Raumkrümmung. Nach Einstein emittiert ein Körper keine fliegenden Teilchen, sondern krümmt den Raum um ihn herum. Ein Testkörper bewegt sich in Richtung des ersten nicht aufgrund einer direkten und entfernten Wechselwirkung, sondern wegen der lokalen Krümmung des Raumes.

Viele andere imaginären Entitäten, die Schwerkraft zu erklären, könnten hier genannt werden, aber diese sechs Beispiele genügen, um die Probleme zu illustrieren. Anstatt alle diese Konzepte vorzustellen (Descartes' Wirbel, Newtons Äther, Le Sages Teilchen, Einsteins gekrümmten Raum etc.) ist es viel einfacher nur das zu benutzen, was wirklich beobachtet wird: die Erde, der Apfel und der Abstand zwischen ihnen. Newtons Gravitationsgesetz befaßt sich nur mit diesen Größe und erklärt die beobachteten Tatsachen. Aus diesem Grunde sollte das bevorzugt werden.

Ich wende mich nun dem Magnetismus zu. Die magnetischen Phänomene werden in der Regel mit dem Begriffe des Magnetfeldes erklärt. Das magnetische Feld wird durch die Rechte-Hand-Regel gewonnen. Zwei Beispiele: (A) Wenn es in der  $xy$ -Ebene einen geschlossenen Kreis gibt, der im Nullpunkt zentriert ist, mit einem Strom im Uhrzeigersinn, wird das magnetische Feld im Nullpunkt entlang der negativen  $z$ -Richtung zeigen. (B) Wenn es eine gerade Leitung entlang der  $z$ -Achse mit dem Stromfluß entlang der positiven  $z$ -Richtung gibt, zeigen die magnetischen Feldlinien in jedem



Punkt außerhalb der  $z$ -Achse entlang der azimutale  $\hat{\phi}$ -Richtung zeigen, in der Ebene senkrecht zur  $z$ -Achse. Diese beiden Beispiele widersprechen Leibniz's Satz vom zureichenden Grund (für alles, was geschieht, muss es einen Grund sein, oder: Nichts passiert ohne Grund, warum es so und nicht anders ist, oder: Nichts geschieht, ohne dass es ein Ursache gibt) oder dem Symmetrieprinzip: (A) Da der Strom in der  $xy$ -Ebene fließt, müssen alle Effekte in dieser Ebene sein, das Magnetfeld hat keinen Grund, die negative statt der positiven  $z$ -Richtung zu wählen, aus diesem Grund kann es diese Wahl nicht geben; (B) Jeder Punkt außerhalb der  $z$ -Achse bildet eine Ebene mit dem Strom entlang der  $z$ -Richtung, so daß das Magnetfeld, die Magnetkraft oder eine andere physikalische Einheit an diesem Punkt in der Ebene sein muß, da es keinen Grund gibt, die positive  $\hat{\phi}$ -Richtung anstelle der negativen  $\hat{\phi}$ -Richtung zu wählen. Da es keinen Grund gibt, warum das magnetische Feld die Rechte-Hand-Regel anstatt die Linke-Hand-Regel wählen sollte, es kann diese Wahl nicht treffen. Das bedeutet, daß das magnetische Feld, wie es in allen Büchern über Elektromagnetismus beschrieben ist, nicht existieren könnte. Dies zeigt, wie problematisch das Magnetfeld-Konzept vom philosophischen Standpunkt aus ist.

Es muß beachtet werden, daß in Lorentz's magnetischer Kraft, die auf eine Punktladung oder ein Stromelement wirkt, ein Doppelvektorprodukt ist (oder daß zum Berechnung der Magnetkraft die Rechte-Hand-Regel zweimal verwendet wird): Einmal in  $q\vec{v} \times \vec{B}$  oder in  $I d\vec{\ell} \times \vec{B}$ , und ein anderes Mal um  $\vec{B}$  zu berechnen. Aus diesem Grund ist Lorentz's Magnetkraft nicht so problematisch, wie das Magnetfeld selbst.

Dann aber wird man argumentieren, daß das Magnetfeld durch Experimente mit Magneten nachgewiesen ist (wie in Oersteds Experiment) oder mit Eisenspäne. Aber alle diese Experimente können durch Ampères zentrale Fernwirkungskraft erklärt werden, Gleichung (4), ohne die Notwendigkeit von Magnetfeldern zu sprechen, die einen stromführenden Leiter umlaufen. Das war schon immer die Sicht Ampères selbst. Hier zitiere ich aus seinem Hauptwerk *Über die mathematische Theorie der elektrodynamischen Phänomene, experimentell abgeleitet*, [24]:

*Seite 155: Die neue Ära in der Geschichte der Wissenschaft ist durch die Arbeiten von Newton gekennzeichnet, sie ist nicht nur die Ära der wichtigsten Entdeckungen des Menschen in den Zusammenhängen der Naturphänomene, sie ist auch die Zeit, in der der menschliche Geist neue Wege in den Naturwissenschaften beschreitet, die Naturphänomene als Studienobjekte zu sehen.*

*Vor Newton waren die Ursachen der Naturerscheinungen fast ausschließlich in der Antriebes [impulsions] eines unbekanntes Mediums gesucht worden, das Partikel von Materialien in der gleichen Richtung wie seine eigenen Teilchen mitreißt, und überall dort, wo eine Drehbewegung auftritt, ein Wirbel in die gleiche Richtung angenommen wurde.*

*Newton hat uns gelehrt, daß die Bewegungen dieser Art, wie alle Bewegungen in der Natur, durch Berechnung auf Kräfte reduzierbar sein müssen, die zwischen zwei Materiepartikeln entlang der Geraden zwischen ihnen wirken, so daß die Wirkung des einen auf das andere gleich und entgegengesetzt zum ersteren ist und, folglich, voraussetzt daß zwei Teilchen dauerhaft verbunden sind, daß keine Bewegung, welche auch immer, aus ihrer Wechselwirkung hervorgeht. (...)*

*S. 156-7: (...) Es ist nicht ersichtlich, daß dieser Ansatz, der einzige, der zu Ergebnissen führen kann, die frei von allen Hypothesen ist, von Physikern im Rest Europas bevorzugt wird, wie es bei den Franzosen ist; der berühmte Wissenschaftler [Oersted], der als Erster sah, wie die Pole eines Magneten durch die Wirkung eines Stromleiters senkrecht zu ihm bewegt wurden, hat geschlußfolgert, daß elektrische Materie um den Leiter rotierte und die Magnetpole mit sich zog, genauso wie Descartes "die Substanz seines Wirbels" in Richtung der Planetendrehung rotieren ließ. Geführt durch die Newtonsche Philosophie habe ich das durch M. Oerstedt beobachtete Phänomen, wie es für alle ähnlichen Naturphänomene getan wurde, auf Kräfte reduziert, die zwei Teilchen entlang einer geraden Linie verbinden, zwischen denen die Aktionen ausgeübt wird (...)*

## 7. Schlußfolgerung

Meine Schlußfolgerung ist, daß es viele positive Aspekte bezüglich der Fernwirkung gibt: Seine Einfachheit, die aussagestarken Ergebnisse, die mit ihr im Elektromagnetismus und der Gravitation entstehen, die Implementierung des Machschen Prinzips, die Tatsache, daß die erste Wellengleichung, die die Ausbreitung elektromagnetischer Störungen beschreibt, die mit den Mitteln

der Fernwirkungsgesetze schon vor Maxwell erhalten wurde usw. Es gibt auch viele Probleme mit der Kontaktwirkung, die auf Feldern, Äther und ballistischen Theorien basiert.

Aus diesen Gründen neige ich immer mehr und mehr zur Anerkennung der Fernwirkung.

### **Danksagung**

Diese Arbeit ist Herrn Peter Graneau gewidmet, dem stärksten Verfechter der Fernwirkung, der mir bekannt ist. Ich habe sehr von den vielen mit ihm geführten Gesprächen profitiert.

## Literatur

1. E. Mach, *The Science of Mechanics – A Critical and Historical Account of its Development* (Open Court, La Salle, 1960).
2. E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, volume 1, *The Classical Theories* (Humanities Press, New York, 1973).
3. A. K. T. Assis, "On Mach's principle", *Foundations of Physics Letters* **2**, 301-318, (1989).
4. E. Mach, "History and Root of the Principle of the Conservation of Energy". In I. B. Cohen, editor, *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action* (New York, 1981, Arno Press). [Reprint of 1911 English translation].
5. G. B. Brown, *Retarded Action-at-a-Distance* (Cortney Publications, Luton, 1982).
6. P. Graneau and N. Graneau, *Newton Versus Einstein – How Matter Interacts with Matter* (Carlton Press, New York, 1993).
7. A. K. T. Assis, *Weber's Electrodynamics* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994).
8. Marcelo Bueno and A. K. T. Assis, *Cálculo de Indutância e de Força em Circuitos Elétricos* (Editora da UFSC/Editora da UEM, Florianópolis/Maringá, 1998).
9. A. K. T. Assis, "Compliance of a Weber's force law for gravitation with Mach's principle". In P. N. Kropotkin *et al.*, editor, *Space and Time Problems in Modern Natural Science*, Part II, Seiten 263-270 (St.-Petersburg, 1993). Tomsk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Series: "The Universe Investigation Problems," Issue 16.
10. A. K. T. Assis, "Weber's law and Mach's principle". In J. B. Barbour and H. Pfister, editors, *Mach's Principle - From Newton's Bucket to Quantum Gravity*, Seiten 159-171 (Boston, 1995, Birkhäuser).
11. A. K. T. Assis, *Mecânica Relacional*. (Editora do CLE da UNICAMP/FAPESP, Campinas, 1998).
12. W. Weber, "On the connexion of diamagnetism with magnetism and electricity". In J. Tyndall and W. Francis, editors, *Scientific Memoirs*, vol. 7, Seiten 163-199 (New York, 1966. Johnson Reprint Corporation).
13. G. Kirchhoff, "On a deduction of Ohm's law in connexion with the theory of electrostatics", *Philosophical Magazine* **37**, 463-468 (1850).
14. G. Kirchhoff, "On the motion of electricity in wires", *Philosophical Magazine* **13**, 393-412 (1857).
15. P. Graneau and A. K. T. Assis, "Kirchhoff on the motion of electricity in conductors", *Apeiron* **19**, 19 (1994).
16. A. E. Chubykalo and R. Smirnov-Rueda, "Action at a distance as a full-value solution of Maxwell equations: the basis and application of the separated-potentials method", *Physical Review E* **53**, 5373 (1996).
17. A. E. Chubykalo and R. Smirnov-Rueda, "Convection displacement current and generalized form of Maxwell-Lorentz equations", *Modern Physics Letters A* **12**, 1 (1997).
18. A. E. Chubykalo and R. Smirnov-Rueda, "Reply to Comment on 'Action at a distance as a full-value solution of Maxwell equations: the basis and application of the separated-potentials method'", *Physical Review E* **57**, 1 (1998).
19. C. K. Whitney, "A gedanken experiment with relativistic fields", *Galilean Electrodynamics* **2**, 28 (1991).
20. C. K. Whitney, "What's wrong with standard relativistic fields?", *Galilean Electrodynamics* **3**, 89 (1992).
21. T. Van Flandern, "The speed of gravity - what the experiments say", *Meta Research Bulletin* **6**, 49 (1997).
22. N. V. Pope and A. D. Osborne, "Instantaneous gravitational and inertial action-at-a-distance", *Physics Essays* **8**, 384 (1995).
23. I. Newton, *Opticks* (Dover, New York, 1979).
24. A. M. Ampère, "On the mathematical theory of electrodynamic phenomena, experimentally deduced". In R. A. R. Tricker, *Early Electrodynamics – The First Law of Circulation*, Seiten 155-200 (New York, 1965, Pergamon).