

Über die Dynamik des Elektrons

Henri Poincaré

vorgelegt 5. Juni 1905, gedruckt 9. Juni 1905^{*†}

Zuerst scheint es so, dass die Aberration des Lichtes und andere damit zusammenhängende optische Phänomene uns die Möglichkeit geben, um die absolute Bewegung der Erde zu bestimmen, und zwar nicht ihre Bewegung relativ zu den Sternen, sondern ihre Bewegung relativ zum Äther; doch es gibt keine solchen Phänomene. Die Experimente, in welchen man nur Größen erster Ordnung zur Aberration in Betracht zieht, waren erfolglos, und man kennt die Ursachen dafür. Aber Michelson, der an ein Experiment dachte mit welchem man Effekte messen konnte, die von Größen der zweiten Ordnung zur Aberration abhängen, war genauso erfolglos. Es scheint, dass diese Unmöglichkeit eines Nachweises der absoluten Bewegung der Erde ein allgemeines Naturgesetz ist.

Eine Erklärung wurde von Lorentz vorgeschlagen, welcher die Hypothese der Kontraktion aller Körper in Richtung der Erdbewegung einführte. Diese Hypothese würde das Experiment von Michelson und alle anderen, die bis jetzt durchgeführt wurden, erklären; jedoch würden andere, noch genauere Experimente verbleiben, die allerdings leichter vorzustellen als durchzuführen sind, welche eine absolute Bewegung der Erde messen könnten. Aber wenn wir die Unmöglichkeit eines solchen Nachweises als sehr wahrscheinlich einschätzen, dann könnte man voraussagen, dass solche Experimente ebenfalls ein negatives Resultat erbringen würden, wenn es denn jemanden gelingen würde sie irgendwann durchzuführen. Lorentz versuchte seine Theorie zu verändern, um sie in Übereinstimmung mit dem Postulat der *vollständigen* Unmöglichkeit der Messung einer absoluten Bewegung zur bringen. Dies ist ihm gelungen in seinem Artikel, *Electromagnetic Phenomena in a System Moving with any Velocity Smaller than that of Light* (*Proceedings de l'Académie d'Amsterdam*, 27. Mai 1904).

Die Wichtigkeit dieses Problems hat mich dazu gebracht die Frage wieder aufzunehmen; die Resultate welche ich erhalten habe stimmen in allen wichtigen Punkten mit denen von Lorentz überein; ich wurde lediglich dazu geführt sie an einigen Details zu verändern und zu vervollständigen.

Der grundlegende Punkt, welcher von Lorentz herausgestellt wurde, ist, dass die Gleichungen des elektromagnetischen Feldes durch eine bestimmte Transformation

^{*}© dieser deutschen Übersetzung: Dietmar Hainz, 2008. Letzte Änderung: 2011. Kopieren, Zitieren, Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. (Für Lizenzdetails siehe <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/>)

[†]Französisches Original: *Sur la dynamique de l'électron*. In: *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 140, 5. Juni 1905, S. 1504-1508. [http://fr.wikisource.org/wiki/Sur_la_dynamique_de_l'électron_\(juin\)](http://fr.wikisource.org/wiki/Sur_la_dynamique_de_l'électron_(juin))

(welche ich nach dem Namen von Lorentz benennen werde) nicht geändert werden:

$$(1) \quad x' = kl(x + \varepsilon t), \quad y' = ly, \quad z' = lz, \quad t' = kl(t + \varepsilon x)$$

wo x, y, z die Koordinaten und t die Zeit vor der Transformation und x', y', z' und t' nach der Transformation sind. ε ist hier eine Konstante welche die Transformation definiert,

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}},$$

und l ist eine beliebige Funktion von ε . Man sieht, dass in dieser Transformation die x -Achse eine bevorzugte Rolle spielt, aber man kann selbstverständlich eine Transformation konstruieren, in welcher diese Rolle von einer beliebigen, durch den Ursprung gezogenen Linie gespielt werden kann. Die Gesamtheit aller dieser Transformationen, zusammen mit allen Rotationen im Raum, sollte eine Gruppe bilden; aber dafür ist es notwendig dass $l = 1$. Man ist daher gezwungen $l = 1$ zu setzen, und dies ist eine Folgerung zu welcher Lorentz auf andere Weise geführt wurde.

Es sei ρ die elektrische Dichte der Elektronen; ξ, η, ζ die Geschwindigkeit vor der Transformation; und $\rho', \xi', \eta', \zeta'$ die selben Größen nach der Transformation. Dann:

$$(2) \quad \rho' = \frac{k}{l^3} \rho (1 + \varepsilon \xi), \quad \rho' \xi' = \frac{k}{l^3} \rho (\xi + \varepsilon), \quad \rho' \eta' = \frac{\rho \eta}{l^3}, \quad \rho' \zeta' = \frac{\rho \zeta}{l^3}$$

Diese Formeln unterscheiden sich etwas von denen, welche von Lorentz gefunden wurden. Es seien X, Y, Z und X', Y', Z' die drei Kraftkomponenten vor und nach der Transformation, wobei die Kraft sich auf die Volumeneinheit bezieht; ich finde

$$(3) \quad X' = \frac{k}{l^3} (X + \varepsilon \Sigma X \xi), \quad Y' = \frac{Y}{l^3}, \quad Z' = \frac{Z}{l^3}$$

Diese Formeln unterscheiden sich ebenso ein wenig von denen von Lorentz. Der ergänzende Ausdruck $\Sigma X \xi$ erinnert an ein Ergebnis, welches M. Liénard erhalten hat.

Wenn wir nun die Kraftkomponenten mit X_1, Y_1, Z_1 und X'_1, Y'_1, Z'_1 bezeichnen und sie nicht nur auf die Volumeneinheit, sondern auch auf die Masseneinheit des Elektrons beziehen, erhalten wir

$$(4) \quad X'_1 = \frac{k}{l^3} \frac{\rho}{\rho'} (X_1 + \varepsilon \Sigma X_1 \xi), \quad Y'_1 = \frac{\rho}{\rho'} \frac{Y_1}{l^3}, \quad Z'_1 = \frac{\rho}{\rho'} \frac{Z_1}{l^3}.$$

Lorentz wurde dazu gebracht anzunehmen, dass ein bewegtes Elektron die Form eines abgeplatteten Ellipsoiden annimmt; dies entspricht auch der von Langevin entworfenen Hypothese, aber während Lorentz in Übereinstimmung mit der Hypothese von $l = 1$ annimmt, dass die zwei anderen Achsen des Ellipsoiden unverändert bleiben,

nimmt Langevin an dass das Volumen unverändert bleibt. Die beiden Autoren haben gezeigt dass diese Hypothesen mit den Experimenten von Kaufmann übereinstimmen, ebenso wie die ursprüngliche Hypothese von Abraham (kugelförmiges Elektron). Die Hypothese von Langevin würde den Vorteil haben, dass sie ausreicht um das Elektron als verformbar und inkompressibel anzusehen, und dabei zu erklären warum es eine verformte Gestalt während der Bewegung annimmt. Ich zeige jedoch dass sie nicht in Übereinstimmung mit der Unmöglichkeit der Messung einer absoluten Bewegung ist. Wie ich schon sagte ist dies mit der Tatsache verknüpft, dass $l = 1$ die einzige Hypothese ist, bei welcher die Gesamtheit aller Lorentz-Transformationen eine Gruppe bildet. Aber mit der Hypothese von Lorentz erhalten wir Übereinstimmung zwischen den Formeln, und zur gleichen Zeit eine mögliche Erklärung für die Kontraktion des Elektrons, indem angenommen wird dass *das verformbare und kompressible Elektron unter dem Einfluss eines konstanten externen Drucks steht, welcher proportional zur Veränderung des Volumens ist.*

Ich zeige durch Anwendung des Prinzips der kleinsten Wirkung, dass unter diesen Umständen die Kompensation vollständig ist, wenn wir annehmen, wie es seit dem Experiment von Kaufmann auch allgemein so gesehen wird, dass die Trägheit ein vollständig elektromagnetisches Phänomen ist und dass, mit Ausnahme des eben von mir erwähnten konstanten Drucks welcher auf das Elektron wirkt, auch alle anderen Kräfte elektromagnetischen Ursprungs sind. Wie haben somit eine Erklärung für die Unmöglichkeit der Messung einer absoluten Bewegung und der Kontraktion aller Körper in Bewegungsrichtung.

Das ist jedoch nicht alles; Lorentz hat in der genannten Arbeit geurteilt, dass es notwendig ist die Hypothese durch die Annahme zu vervollständigen, dass alle Kräfte, welchen Ursprung sie auch haben, von der Bewegung auf die selbe Weise wie die elektromagnetische Kraft beeinflusst sein sollen, und folglich die von der Lorentz-Transformation verursachte Wirkung auf ihre Komponenten weiterhin durch Gleichung (4) bestimmt sein soll.

Es ist wichtig die Hypothese noch genauer zur untersuchen, besonders um herauszufinden, welche Veränderungen wir beim Gravitationsgesetz durchzuführen haben. Dies habe ich mich entschlossen zu tun; ich wurde zuerst dazu geführt anzunehmen, dass die Ausbreitung der Gravitation nicht augenblicklich, sondern mit Lichtgeschwindigkeit erfolgt. Dies scheint dem von Laplace erhaltenen Gesetz zu widersprechen, welcher erklärte dass die Ausbreitung, wenn nicht augenblicklich, so doch zumindest sehr viel schneller als die des Lichtes erfolgt. Aber in Wirklichkeit war die Frage welche Laplace untersuchte sehr verschieden von der, welche wir hier vorgelegt haben. Denn für Laplace war die Einführung einer endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit die *einzig* Modifikation, welche er bei Newtons Gesetz durchführte. Hier hingegen sind dieser Modifikation mehrere andere beigefügt; es ist deshalb möglich dass diese untereinander eine teilweise Kompensation bewirken.

Wenn wir von der Position oder der Geschwindigkeit eines anziehenden Körpers sprechen, wird es die Position oder Geschwindigkeit an dem Augenblick sein, bei dem die *Gravitationswelle* den Körper gerade verlässt; wenn wir von der Position oder der Geschwindigkeit sprechen, bei der die vom anderen Körper emittierte Welle den angezogenen Körper erreicht, ist es klar dass das erste Ereignis vor dem zweiten stattfindet.

Wenn nun x , y , z die Projektionen auf den drei Achsen des Vektors sind, welcher

die zwei Positionen verbindet; wenn die Geschwindigkeit des angezogenen Körpers ξ, η, ζ und die des anziehenden Körpers ξ_1, η_1, ζ_1 ist; dann werden die drei Komponenten der Anziehung (welche ich wieder X_1, Y_1, Z_1 nennen könnte) Funktionen von $x, y, z, \xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1$ sein. Ich habe mich selbst gefragt ob es möglich ist, diese Funktionen in eine Weise zu bestimmen, damit sie durch die Lorentz-Transformation in Übereinstimmung mit den Gleichungen (4) sein werden, sodass das gewöhnliche Gravitationsgesetz erhalten bleibt, wenn die Geschwindigkeiten $\xi, \eta, \zeta, \xi_1, \eta_1, \zeta_1$ klein genug sind, um im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit vernachlässigt zu werden.

Die Antwort scheint positiv zu sein. Wir finden, dass die korrigierte Anziehung aus zwei Kräften besteht, eine parallel zum Vektor x, y, z , und die andere zu der Geschwindigkeit.

Der Unterschied zum gewöhnlichen Gravitationsgesetz ist von der Größenordnung ξ^2 , wie ich berechnet habe; wenn wir mit Laplace lediglich annehmen, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit der des Lichtes entspricht, würde die Differenz von der Größenordnung ξ sein, was 10.000 mal größer ist. Es ist deswegen nicht *prima facie* als absurd anzunehmen, dass astronomische Beobachtungen nicht hinreichend genau sind, um solch kleine Abweichungen zu entdecken. Jedoch erfordert dies eine ausführlichere Diskussion.

Anmerkungen

Für weitere Informationen siehe:

http://de.wikipedia.org/wiki/Lorentzsche_Äthertheorie.

http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_speziellen_Relativitätstheorie