

Ueber die Möglichkeit der mechanischen Naturerklärung nach Einstein ¹⁾.

Von Dr. G. Kreuzberg in Hechingen.

Die naturwissenschaftliche Forschung kann sich vor allem zwei Ziele stellen. Das erste besteht darin, dass sie die Natur zu beschreiben sucht.

Der menschliche Geist begnügt sich aber in der Regel nicht mit einer derartigen Beschreibung der Natur. Er sucht sich die Natur ausserdem zu erklären. Eine solche Erklärung wird in letzter Linie in der Zurückführung der Naturvorgänge auf Bewegungs- und Gruppierungszustände von stofflichen Elementen beruhen, d. h. sie wird in letzter Linie eine mechanische sein.

Es erhebt sich aber die Frage: Ist eine solche mechanische Erklärung, zum wenigsten der unbelebten Natur, überhaupt möglich? Bis vor kurzer Zeit haben fast alle Physiker hierauf bejahend geantwortet. In letzter Zeit sind aber Resultate bekannt geworden, die anscheinend schon jetzt beweisen, dass eine mechanische Erklärung der leblosen Natur nie gelingen wird.

Schon gegen Ende des 17. Jahrhunderts glaubte der holländische Physiker Huyghens auf Grund einiger Aehnlichkeiten, die sich schon damals zwischen den Licht- und den Schallerscheinungen erblicken liessen, dass das Licht eine wellenförmige Bewegung eines dazu geeigneten Stoffes sei. Unter einer wellenförmigen Bewegung versteht man eine Fortpflanzung von Schwingungen. Die schwingenden Teilchen gehen dabei nicht von ihrer Stelle weg, nur die Schwingungsbewegung pflanzt sich fort. Dies findet z. B. auf einer Wasseroberfläche statt, die durch einen hineingeworfenen Stein erschüttert wird. Der Schall pflanzt sich durch wellenförmige Bewegung der Luft fort. Freilich konnte Huyghens keinen sichtbaren Stoff finden, in dem sich die Lichtwellen hätten ausbreiten können.

Die Huyghenssche Ansicht wurde am Anfang des 18. Jahrhunderts durch die Emissionstheorie des Engländers Newton verdrängt. Newton erklärte das Licht für einen Stoff, der von der Lichtquelle fortgesetzt ausgeschleudert werde. Diese Ansicht blieb während des 18. Jahrhunderts die herrschende.

¹⁾ Literatur: M. Planck, Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung, Leipzig 1910. — P. Lenard, Ueber Aether und Materie, Heidelberg 1911. — E. Cohn, Physikalisches über Raum und Zeit, Leipzig 1911. — La Rosa, Der Aether, Leipzig 1912. — A. Einstein, Ueber das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen, Jahrb. d. Radioakt. 1908. — J. Laub, Ueber die experimentellen Grundlagen des Relativitätsprinzips, Jahrb. d. Radioakt. 1910. — H. Witte, Nachträge zur Aetherfrage, Jahrb. d. Radioakt. 1910.

Erst um das Jahr 1800 bewies der englische Physiker Young durch seine Entdeckung der sogenannten Interferenzerscheinungen, dass keine andere Ansicht die richtige sein könnte als die, die das Licht als eine wellenförmige Bewegung in einem schon vorhandenen Stoff betrachte. Er zeigte nämlich durch Versuche, dass es vorkommen kann, dass Licht zu Licht hinzugefügt Dunkelheit ergibt. Das ist nicht möglich, wenn das Licht ein Stoff ist, sondern nur dann, wenn es in der wellenförmigen Bewegung eines Stoffes besteht. Dann kann durch das Zusammentreffen eines Wellenberges und eines Wellentales Bewegungslosigkeit und damit Dunkelheit entstehen.

Welches konnte nun der Stoff sein, in dem sich die Lichtwellen fortpflanzen? Einer der bekannten sinnlich wahrnehmbaren Stoffe, etwa die Luft, konnte es nicht sein. Denn das Licht breitet sich auch in Räumen aus, die ganz luftleer sind, z. B. im Weltenraum zwischen den Gestirnen. Man musste also annehmen, dass es einen feinen, nicht nachweisbaren Stoff gibt, der den ganzen Weltenraum ausfüllt. Dieser Stoff aber musste auch alle wahrnehmbaren Körper durchdringen; denn alle wahrnehmbaren Körper sind wenigstens etwas durchsichtig, und in allen pflanzt sich das Licht im wesentlichen nach denselben Gesetzen fort wie im scheinbar leeren Raum.

Diesen hypothetischen Stoff, der existieren muss, um die Lichtstrahlen tragen zu können, hat man Aether oder Weltäther genannt.

Nach Young konnte man sich den Aether noch als ein feines Gas vorstellen. Doch war dies nicht mehr möglich, als 15 Jahre nach ihm Fresnel die sogenannte Polarisation entdeckte. Fresnel zeigte nämlich, dass ein Lichtstrahl, nachdem er durch einen doppelbrechenden Krystall hindurchgegangen ist, sich so verändert hat, dass er nach verschiedenen Richtungen, die senkrecht zu ihm liegen, nicht mehr dieselben Eigenschaften zeigt. Das war nur dadurch möglich, dass die Teilchen, die durch ihre Schwingungen die Lichtwellen hervorbringen, diese Schwingungen nicht in der Richtung, in der sich der Strahl fortpflanzt, ausführen, sondern senkrecht darauf. Dann musste man aber annehmen, dass der Aether ein fester Körper sei. Denn Wellen, in denen die Teilchen senkrecht zum Strahl schwingen, sogenannte Transversalwellen, kommen nur in festen Körpern vor; in Gasen und flüssigen Körpern sind nur sogenannte Longitudinalwellen möglich, d. h. solche, in denen die Teilchen in der Richtung schwingen, in der sich der Strahl fortpflanzt. Es hängt dieser Unterschied mit den Elastizitätsverhältnissen der Körper zusammen. Die Gase und die flüssigen Körper haben nur Volumenelastizität, d. h. sie üben nur einen Widerstand aus, wenn man sie zusammendrücken will. Die festen Körper haben aber nicht nur Volumen, sondern auch Formelastizität, d. h. sie setzen nicht nur der Zusammendrückung einen Widerstand entgegen, sondern man muss auch eine Kraft anwenden, um ihre Teile seitlich gegen einander zu verschieben.

Man war also in Bezug auf den Aether in die schwierige Lage versetzt, in ihm einen Stoff annehmen zu müssen, der fest ist und doch der Bewegung keinen Widerstand entgegensetzt, der sich nicht greifen liess. Vor allem gehen die Himmelskörper durch ihn hindurch, ohne einen nachweisbaren Widerstand zu erleiden.

Doch stellten sich seiner mechanischen Begreifbarkeit bald noch andere Schwierigkeiten entgegen.

Da sich das Licht in ihm, wie man dies gemessen hat, mit der ungeheuren Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde fortpflanzt, so muss er nach der Lehre von der Elastizität einer Verschiebung seiner Teilchen aus der Gleichgewichtslage einen Widerstand entgegensetzen, der ausserordentlich viel grösser ist, als dies bei irgend einem andern bekannten Körper der Fall sein würde. Ferner verlangt die Elastizitätstheorie, dass in festen Körpern ausser Transversalwellen auch Longitudinalwellen vorkommen müssen. Diese haben sich aber im Aether niemals gezeigt, trotzdem man lange eifrig danach gesucht hat.

Es ist nicht möglich gewesen, diese Schwierigkeiten zu erklären.

Im Jahre 1888 bewies Hertz, dass Wechselströme elektromagnetische Wellen erzeugen, die den Lichtwellen ähnlich sind. Sie werden nach denselben Gesetzen wie diese zurückgeworfen, gebrochen und zerstreut, und sie pflanzen sich mit derselben Geschwindigkeit wie diese fort. Auch sind die elektromagnetischen Wellen transversale Wellen; denn sie bestehen in der Fortbewegung elektrischer und zugleich magnetischer Felder. Diese Fortbewegung geht so vor sich, dass dabei die elektrischen und die magnetischen Kräfte auf einander senkrecht und beide senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung der elektrischen Wellen schwingen. Der einzige Unterschied, der zwischen den elektromagnetischen und den Lichtwellen besteht, ist der, dass die elektromagnetischen Wellen länger als die Lichtwellen sind.

Es unterlag folglich keinem Zweifel, dass die Lichtwellen ebenfalls elektromagnetische Wellen waren, wenn sie auch nur eine sehr geringe Länge hatten.

Hiermit war bewiesen, dass die Lichterscheinungen elektromagnetische Erscheinungen sind, die Optik als ein Teilgebiet der Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus erkannt.

Die elektrischen und magnetischen Felder mussten Zustände desselben Aethers sein, in dem sich die Lichtwellen fortpflanzen.

Damit war die Frage: Wie muss der Stoff beschaffen sein, in dem der Vorgang der Lichtfortpflanzung möglich sein soll? auf die allgemeinere Frage zurückgeführt: welche Eigenschaften muss der Stoff haben, der Sitz der elektrischen und magnetischen Felder sein kann, deren Eigenschaften und Wechselbeziehungen uns genau bekannt sind?

Aber ebensowenig wie es gelungen war, die Lichtfortpflanzung befriedigend als Vorgang in einem Stoff zu erklären, der nur einigermaßen das Verhalten der uns bekannten Stoffe zeigt, ebensowenig ist es trotz eifrigster Bemühungen möglich gewesen, einen Stoff zu ersinnen von der Art, dass sich die Eigenschaften der elektrischen und magnetischen Felder durch Spannungs- und Bewegungszustände in ihm erklären liessen, und der dabei nicht Eigenschaften hätte, die nach allem, was wir von der Materie sonst wissen, sich gegenseitig fast ausschliessen.

Doch sind diese Schwierigkeiten noch gering gegen eine andere, die der Aether der mechanischen Naturerklärung entgegensetzte.

Man muss annehmen, dass der Aether alle Körper durchdringt; denn durch alle Körper vermag sich das Licht fortzupflanzen, und in allen lassen

sich elektrische und magnetische Felder erzeugen. Man mag sich nun die Konstitution des Aethers denken, wie man will, fest, flüssig oder gasförmig, elastisch oder unelastisch, aus Atomen zusammengesetzt oder kontinuierlich, stets erhebt sich die Frage: wird bei der Bewegung eines Körpers der in ihm befindliche Aether mit dem Körper mitgeführt, oder bleibt der in ihm befindliche Aether in Ruhe, sodass bei der Bewegung eines Körpers immer neuer Aether in ihn eindringt? Im letzteren Falle wäre der Vorgang ungefähr so, wie wenn ein grossmaschiges Netz durch Wasser gezogen wird; das Wasser wird dabei kaum bewegt. Das Netz entspräche dem sich bewegenden Körper, das Wasser dem Aether. Würde der Aether tatsächlich von den sich bewegenden Körpern nicht gestört werden, so würde er im Weltenraum stets unbeweglich verharren.

Die eben aufgeworfene Frage wurde entschieden durch die Versuche des französischen Physikers Fizeau in der Mitte des vorigen Jahrhunderts. Fizeau bewies, dass der in den Körpern befindliche Aether in der Tat von den Körpern, wenn sie sich bewegen, nicht mitgeführt wird.

Die Versuche wurden ungefähr in folgender Form ausgeführt: Fizeau liess sich einen Lichtstrahl in der Richtung eines Luftstromes, einen andern Lichtstrahl in der entgegengesetzten Richtung fortpflanzen. Durch eine passende optische Anordnung bewerkstelligte er es, dass die beiden Lichtstrahlen, nachdem sie die Luftströme durchlaufen hatten, wieder zusammentrafen und ein Interferenzbild erzeugten. Diese Interferenzen stellen eine empfindliche Methode dar, um Unterschiede in der Geschwindigkeit zweier Lichtstrahlen nachzuweisen. Hätte nämlich der Luftstrom den in ihm befindlichen Aether mit sich geführt, so hätte sich der Lichtstrahl, der mit dem Luftstrom ging, da er vom Aether getragen worden wäre, schneller bewegt als der Lichtstrahl, der gegen den Luftstrom ging. Dieser Unterschied der Geschwindigkeit hätte sich im Interferenzbild gezeigt. Es war aber nichts davon zu bemerken. Fizeau hat den Versuch auch auf bewegtem Wasser ausgeführt. Es würde zu weit führen, diesen Versuch näher darzulegen.

Wenn also die Körper bei ihrer Bewegung den in ihnen befindlichen Aether nicht mit sich führen, so kann man fragen: Welches ist denn die Geschwindigkeit eines Körpers gegen den Aether?

Es sind eine grosse Anzahl von Versuchen angestellt worden, um die Geschwindigkeit der Erde und ihrer Atmosphäre gegen den Aether zu bestimmen. Es hat sich allerdings nachher bei tieferem Eindringen in die Theorie der Versuche gezeigt, dass alle Versuche ausser einem keinen Erfolg haben konnten, und zwar aus folgendem Grunde:

Es beruhen alle derartigen Versuche auf einem Vergleich der Geschwindigkeit, die die Erde bei ihrem Durchgang durch den Aether hat, mit der Geschwindigkeit, mit der sich elektromagnetische Felder oder das Licht im Aether ausbreiten. Die Geschwindigkeit der Erde bei ihrem Lauf um die Sonne ist aber mit ihren 30 km in der Sekunde nur der 10 000. Teil der Lichtgeschwindigkeit, die 300 000 km in der Sekunde beträgt. Die Erscheinung, die die Geschwindigkeit der Erde im Aether hätte offenbaren sollen, wäre deshalb meistens zu klein gewesen, um beobachtet werden zu können.

In einem Versuch aber hätte die Bewegung der Erde mit aller Sicherheit zum Vorschein kommen müssen. Das ist der sog. Michelsonsche Versuch. Sein Grundgedanke geht auf Maxwell zurück. Der Versuch wurde zuerst von dem Amerikaner Michelson im Jahre 1881 ausgeführt und seitdem oft von ihm und von andern mit der grössten Sorgfalt wiederholt. Er beruht auf folgendem:

Man liess von einem Punkte aus zwei Lichtstrahlen ausgehen, den einen in der Richtung, in der die Erde sich gerade bewegt, den andern in der darauf senkrechten Richtung. Beide Lichtstrahlen wurden durch Spiegel, die sich in gleichen Abständen vom Ausgangspunkte befanden, senkrecht wieder zurückgeworfen, sodass sie auf demselben Wege, auf dem sie gekommen waren, zu ihrem Ausgangspunkte zurückkehrten. Dann liess man sie durch geeignete optische Anordnung ein Interferenzbild hervorbringen.

Wenn die Erde ruhte, würden die beiden Strahlen von ihrem Ausgangspunkte aus bis zu ihrem Wiederzusammentreffen im Aether gleiche Wege zurückgelegt haben, und zwar wäre jeder offenbar so gross gewesen, wie der doppelte Abstand irgend eines der Spiegel vom gemeinsamen Ausgangspunkt.

Wenn die Erde sich aber bewegt, muss der Strahl, der in der Richtung der Bewegung ausgesandt ist, einen grösseren Weg im Aether zurücklegen, als wenn die Erde ruht. Denn der Spiegel, auf den der Strahl auftrifft, flieht vor ihm, der Ausgangspunkt kommt dem Strahl aber, wie sich zeigen lässt, wenn er zurückkehrt, nicht soweit entgegen, dass durch diese Verkürzung des Rückweges die Verlängerung, die der Hinweg erfahren hat, aufgehoben würde.

Auch der Strahl, der sich seitwärts zur Erdbewegung fortpflanzt, legt, wenn die Erde sich bewegt, einen grösseren Weg im Aether zurück, als wenn sie ruht, weil, während er sich fortpflanzt, der Spiegel, auf dem er auffällt, sich seitlich weiterbewegt, sodass der Strahl statt senkrecht schräg auf den Spiegel trifft und schräg reflektiert wird. Doch lässt sich zeigen, dass der in die Richtung der Erdbewegung fallende Strahl länger ist als der senkrecht dazu gelegene.

Die verschiedenen Längen dieser Lichtstrahlen mussten sich im Interferenzbild offenbaren. Die Versuchsanordnung war so empfindlich, dass sich, wenn man annimmt, dass die Erde nur ihre Bewegung um die Sonne ausführt, mit Sicherheit der 20. Teil der erwarteten Wirkung hätte zeigen müssen. Nun ist es aber auch möglich, dass die Erde ausserdem eine uns unbekannte Bewegung im Weltenraum ausführt. Diese unbekannte Bewegung kann die Bewegung der Erde um die Sonne je nach deren augenblicklicher Richtung vermehren oder vermindern. Man hat deshalb den Versuch zu allen möglichen Jahreszeiten angestellt und dabei den Versuchsapparat nach allen möglichen Richtungen um seine Achse gedreht. Dadurch musste es gelegentlich eintreten, dass die bekannte Bewegung der Erde um die Sonne und die vielleicht noch vorhandene unbekanntes zusammenfielen und sich addierten. Die Wirkung im Interferenzbild wäre dadurch nur noch grösser geworden.

Man hat aber niemals eine Spur eines Unterschiedes der beiden Lichtstrahlen bemerken können.

Wie ist diese merkwürdige Erscheinung zu erklären?

Im Jahre 1905 veröffentlichte der deutsche Physiker Einstein einen Erklärungsversuch, der nicht nur hohes physikalisches, sondern auch erkenntnistheoretisches Interesse hat.

Einstein schliesst folgendermassen:

Hätte der Michelsonsche Versuch ein Ergebnis gehabt, so hätte man durch ihn die Bewegung der Erde im Aether feststellen können. Da der Aether aber im Weltenraum ruht, so wäre dies die Feststellung einer absoluten Bewegung gewesen. Bis jetzt ist es auf keine Weise gelungen, eine absolute Bewegung nachzuweisen. Alle Bewegungen, die wir wahrnehmen, sind relative, d. h. wir beziehen sie auf Körper, von deren wahrer Bewegung wir auch nichts wissen. Bewegungen, die auf der Erde stattfinden, beziehen wir gewöhnlich auf die Erde selbst, die wir dabei als ruhend ansehen. Die Erde bewegt sich aber in einem Jahre um die Sonne. Aber es ist auch bewiesen, dass die Sonne mit ihrem System eine fortschreitende Bewegung gegen die uns sichtbaren Fixsterne besitzt. Es ist auch möglich, dass diese Fixsterne sich bewegen. Durch mechanische Beobachtungen an einem Körper selbst ist es nicht möglich, dessen absolute Bewegung festzustellen. Denn nach dem Trägheitsgesetz geht eine geradlinige gleichmässig schnelle Bewegung eines Körpers ganz ohne Kraftäusserung an diesem vor sich. Man kann deshalb niemals wissen, ob nicht ein Körper eine solche geradlinige konstante Geschwindigkeitskomponente besitzt.

Aber auch durch elektro-magnetische bzw. optische Messungen hat eine absolute Bewegung bis jetzt nicht festgestellt werden können. Am auffallendsten ist dies beim Michelsonschen Versuch.

Einstein glaubt deshalb, dass die Natur stets den Nachweis einer absoluten Bewegung verhindert, und stellt die Hypothese auf: Die Naturgesetze sind so eingerichtet, dass der Nachweis einer absoluten Bewegung unmöglich ist.

Hieraus folgt dann umgekehrt, dass auch der Michelsonsche Versuch ein Ergebnis nicht haben durfte.

Aus dieser Einsteinschen Hypothese ergeben sich nun einige sehr merkwürdige Folgerungen.

Dass der Lichtstrahl im Michelsonschen Versuch, der in die Richtung der Erdbewegung fällt, nicht länger erscheint als der senkrecht dazu gelegene, ist nur so zu erklären, dass der Versuchsapparat sich in der Richtung der Erdbewegung verkürzt, sodass der Spiegel näher an den Ausgangspunkt des Strahles heranrückt. Diese Verkürzung muss gerade so gross sein, dass der Strahl, der diese Richtung hat, dem senkrecht dazu gelegenen Strahl gleich wird. Von dieser Verkürzung müssen alle Körper in ihrer Bewegungsrichtung betroffen werden. Die Verkürzungen würden, selbst wenn sie hinreichend gross wären, deshalb nicht messbar sein, weil alle Massstäbe in der betreffenden Richtung eine entsprechende Verkürzung erleiden würden. Die Folge hiervon ist, dass es nach Einstein keine absoluten Raumgrössen gibt; denn die Gestalt eines Körpers hängt von seinem absoluten Bewegungszustande ab, den wir nie erkennen können.

Wie es infolge der Einsteinschen Hypothese keine absoluten Raumgrössen gibt, so gibt es nach ihr auch keine absoluten Zeitgrössen, und zwar aus folgendem Grunde:

Durch die Verkürzung aller Körper in der Bewegungsrichtung wird zwar der Lichtstrahl im Michelsonschen Versuch, der sich in der Richtung der Erd-

bewegung fortpflanzt, so verkürzt, dass er dem senkrecht dazu liegenden gleich wird. Aber beide sind immer noch länger auf der bewegten als auf der ruhenden Erde. Deshalb sind auch die Zeiten, die die beiden Lichtstrahlen gebrauchen, um bis zu ihren Spiegeln und zurück zu gelangen, länger auf der bewegten als auf der ruhenden Erde, und zwar wächst ihre Länge mit der Geschwindigkeit der Erde. Diese Zeiten sind prinzipiell messbar. Zwar ist dies wegen der Kleinheit der zu messenden Grösse aus technischen Gründen vorläufig nicht möglich. Es kann nun vorkommen, dass die absolute Geschwindigkeit der Erde Aenderungen erleidet. Dies würde in jenen Zeiten zum Ausdruck kommen und könnte die absolute Bewegung der Erde verraten. Das darf nach Einstein nicht sein. Die Zeiten dürfen auf der bewegten Erde nicht länger erscheinen als auf der ruhenden. Deshalb müssen die Zeitmesser auf der bewegten Erde langsamer gehen als auf der ruhenden. Als Zeitmesser können aber alle Ereignisse dienen. Also müssen sich alle Ereignisse auf der bewegten Erde langsamer abspielen als auf der ruhenden. Daher gibt es nach der Einsteinschen Hypothese keine absoluten Zeitgrössen. Denn die Dauer eines Ereignisses hängt von seiner absoluten Bewegung ab, die wir niemals erkennen können.

Wie stellt sich die Einsteinsche Hypothese zum Aether? Da sie es für grundsätzlich unmöglich hält, eine Bewegung gegen den Aether festzustellen, so muss sie die Existenz dieses Stoffes, der nie nachgewiesen werden kann, leugnen. Dadurch verzichtet sie aber für immer auf die Möglichkeit der mechanischen Naturerklärung; denn die Lichtfortpflanzung und die elektrischen und magnetischen Felder sind Bewegungs- und Spannungszustände. Wo aber eine Bewegung ist, muss etwas sein, was sich bewegt, wo ein Spannungszustand ist, muss etwas sein, was sich in diesem Spannungszustand befindet.

Die Einsteinsche Hypothese wird von vielen Physikern anerkannt.