

Das Problem der Fernkräfte.

Von Dr. Anton Weber.

Einleitung.

Die Frage, ob eine Kraft mittelbar oder unmittelbar in die Ferne wirkt, kann in vielen Fällen durch reine physikalischen Untersuchungen beantwortet werden, manchmal schon durch ganz primitive Beobachtungen. Wir erkennen z. B. ohne Schwierigkeit, warum eine Turmglocke in der Höhe zu schwingen beginnt, sobald wir unten am Glockenseil ziehen. Auf welche Weise hingegen der Schall der Glocke zu unserm Ohr gelangt, liegt weniger offen zutage, läßt sich aber durch physikalische Methoden mit Sicherheit feststellen. Nun gibt es aber sehr wichtige Kräfte, bei denen auch die physikalische Wissenschaft versagt, nämlich: Gravitation, Elektrizität, Magnetismus und Licht. Wir wollen diese vier Kräfte unter der Bezeichnung Hauptfernkräfte zusammenfassen. Bei ihnen führen nur philosophische Ueberlegungen ans Ziel.

In der vorliegenden Abhandlung soll gezeigt werden, daß keine der vier Hauptfernkräfte unmittelbar wirkt. Von den acht Abschnitten dieser Arbeit sollen die beiden ersten den Beweis liefern, daß unser Problem rein physikalisch nicht gelöst werden kann; die sechs weiteren Abschnitte werden versuchen, die Lösung mittels philosophischer Argumente zu gewinnen.

1.

Die Physiker stützen sich in erster Linie auf die mathematische Formulierung der Naturgesetze. Sie unterscheiden zwischen Fern- und Nahformeln. Die ersteren enthalten den Abstand r des tätigen vom entfernten leidenden Körper. Das bekannteste Beispiel hierfür ist das Newtonsche Attraktionsgesetz:

$$F = \gamma \frac{m m'}{r^2},$$

Für jede eigentliche Fernkraft existiert notwendig eine Fernformel, auch wenn sie bisher nicht gefunden sein sollte.

Die Nahformeln enthalten statt des endlichen Abstandes r den unendlich kleinen Abstand der unmittelbar benachbarten Körperschichten, also das Differential dr oder dessen Komponenten. Als Beispiel diene die Gleichung für die Wärmeleitung in einem isolierten Stab:

$$k \frac{d^2 \vartheta}{dr^2} = \frac{d\vartheta}{dt}.$$

Hier ist dr das Differential des Abstandes r , $d\vartheta$ die Zunahme der Temperatur ϑ in dem kleinen Zeiteilchen dt , k ist der Wärmeleitungskoeffizient an der betreffenden Körperstelle. Man nennt solche Nahformeln auch Differentialgleichungen. Für eine uneigentliche, d. h. mittelbar wirkende Fernkraft existiert notwendig eine Nahformel, auch wenn sie uns noch unbekannt sein sollte.

Es läge nun die Vermutung nahe, die Existenz einer Fernformel beweise die unmittelbare Wirkungsart einer Kraft, während das Vorhandensein einer Nahformel zur gegenteiligen Annahme zwingt. Allein es stellt sich heraus, daß es für ein und dieselbe Kraft zugleich eine Fern- und eine Nahformel geben kann. Das ist beispielshalber bei den elektrischen und magnetischen Kräften der Fall. Für diese beiden Fernwirkungen gelten die Maxwell'schen Differentialgleichungen, also Nahformeln, gleichzeitig aber besitzen wir für diese Kräfte Fernformeln. Die zwei Arten von Formeln sind mathematisch einander vollkommen äquivalent, d. h. man kann durch bloße Rechnung die Fernformeln aus den Maxwell'schen Nahformeln ableiten und kann umgekehrt auch die letzteren aus den ersteren berechnen. Wir dürfen also aus der mathematischen Gestalt einer Formel nicht ohne weiteres auf die mittelbare oder unmittelbare Wirksamkeit der betreffenden Fernkraft schließen.

Ein solcher Schluß wäre nur unter zwei Bedingungen zulässig, nämlich, wenn erstens eine Formel der einen Art vorliegt, welche sich nicht in eine brauchbare Formel der anderen Art umrechnen läßt, und wenn zweitens die vorliegende Formel in der Natur vollkommen genau gilt.

Die erste dieser Bedingungen ist beim Newtonschen Gravitationsgesetz erfüllt. Zwar gelang es Laplace, diese Fernformel in eine äquivalente Nahformel umzurechnen, aber letztere ist für unser Problem nicht brauchbar, weil sie für die Schwerkraft eine unendlich große Fortpflanzungsgeschwindigkeit fordert. In dem Augenblick, in welchem ein Körper die Schwerkraft ausübt, müßte diese Kraft schon

den ganzen Weg bis zu den entferntesten Fixsternen zurückgelegt haben. Das ist unmöglich. Die Laplacesche Nahformel beweist also nicht, daß die Schwerkraft durch Fortpflanzung vermittelt wird; sie ist darum für unsern Zweck unbrauchbar. Somit erfüllt die Newtonsche Gravitationsfernformel die erste der zwei oben genannten Bedingungen: Sie kann nicht in eine brauchbare Nahformel verwandelt werden.

Diese Tatsache hat aber nichts zu bedeuten, wenn nicht auch die zweite Bedingung erfüllt ist, d. h. wenn nicht die Newtonsche Formel in der Natur absolut genau gilt. Letzteres darf man aber weder von dieser Formel noch von irgendeiner uns bekannten Formel behaupten. Alle unsere Formeln, Gleichungen und Lehrsätze wurden durch Naturbeobachtung gefunden oder wenigstens durch sie bestätigt. Nun sind aber alle Beobachtungen und Messungen mit kleineren oder größeren Ungenauigkeiten, mit sogenannten Beobachtungsfehlern, verknüpft. Infolgedessen gelten auch unsere Formeln, Gleichungen und Lehrsätze nur innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Die physikalischen Beobachtungs- und Meßmethoden werden im Lauf der Zeit immer vollkommener, und dementsprechend nimmt die Größe der unvermeidlichen Beobachtungsfehler mehr und mehr ab, aber ganz eliminieren lassen sich letztere niemals.

Das muß auch beim Newtonschen Attraktionsgesetz beachtet werden. Dieses Gesetz ist das Ergebnis von astronomischen und terrestrischen Messungen; unter letzteren sind namentlich die Pendelbeobachtungen von großem Wert, weil sie sehr genaue Ergebnisse liefern. Allen diesen Beobachtungen genügt das Newtonsche Gesetz innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Das beweist aber nicht, daß es absolut genau gilt. Dessen war man sich stets bewußt. Schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts suchte man die Newtonsche Fernformel zu verbessern. Man dachte unter anderem daran, dem r des Nenners an Stelle des Exponenten 2 einen etwas größeren zu geben. Es ist dem Mathematiker von vornherein klar, daß bei hinreichend kleiner Abänderung des Exponenten ein Gesetz entsteht, welches ebensogut wie das Newtonsche allen bisher bekannten Beobachtungen innerhalb der erreichbaren Meßgenauigkeit gerecht wird. Auch die Einsteinschen Gravitationsgleichungen sind ein Verbesserungsvorschlag. Wir brauchen hier nicht zu prüfen, ob sie wirklich einen Fortschritt bedeuten. Jedenfalls stimmen sie innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler mit allen bekannten Tatsachen überein, und damit ist auch die Möglichkeit gegeben, daß sie in der Natur vollkommen gelten. Im

letzteren Fall kann nicht gleichzeitig das Newtonsche Gesetz genau gelten. Das wäre aber die zweite der Bedingungen, die erfüllt sein müßte, wenn aus dem Newtonschen Gesetz auf die unmittelbare Wirksamkeit der Gravitation ein Schluß möglich sein sollte. Offenbar kann die zweite Bedingung weder für die Gravitation noch für irgend eine andere Kraft erfüllt werden.

Fassen wir nun die Nahformeln ins Auge! Wenn eine Nahformel beweisen soll, daß die betreffende Kraft mittelbar wirkt, muß sie ebenfalls zwei Bedingungen erfüllen: Sie darf sich erstens in keine brauchbare Fernformel umrechnen lassen und muß zweitens in der Natur absolut genau gelten.

Die erste dieser zwei Bedingungen wird von den Einsteinschen Gravitationsgleichungen erfüllt: Sie können nicht in Fernformeln umgerechnet werden.

Wie steht es nun mit der zweiten Bedingung? Gelten die Einsteinschen Gravitationsgleichungen in der Natur absolut genau? Das wissen wir nicht. Die genannten Gleichungen erfreuen sich allerdings unter den Physikern großer Beliebtheit, und es besteht ohne Zweifel aller Grund zur Annahme, daß die Einsteinsche Theorie der Wahrheit um ein gutes Stück näher kommt als das Newtonsche Attraktionsgesetz. Aber das reicht nicht aus. Es müßte feststehen, daß die Gleichungen absolut genau sind, und das kann selbst ein begeisterter Anhänger Einsteins nicht behaupten. Auch diese Gleichungen können nicht anders als durch den Vergleich mit den experimentellen Tatsachen und Erfahrungen bewiesen werden, und ihre Genauigkeit läßt sich nur innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler sicherstellen. Wenn man sich zugunsten der Einsteinschen Gravitationsgleichungen auf das allgemeine Relativitätsprinzip beruft, dann ist zu erwidern, daß auch dieses Prinzip nicht a priori feststeht, sondern auf Erfahrung beruht und nur innerhalb der erreichbaren Beobachtungsgenauigkeit gesichert ist. Die Einsteinschen Gravitationsgleichungen beweisen also nicht, daß die Schwerkraft mittelbar in die Ferne wirkt.

Man wird auch in Zukunft niemals ausschließlich durch Formeln das Problem der Fernkräfte lösen können. Wenn zu irgendeiner Zeit eine Nahformel dominiert, wird möglicherweise die fortschreitende Forschung an deren Stelle eine Fernformel setzen. Ob in diesem Fall die siegreiche Fernformel dauernd ihre Herrschaft behaupten wird, kann man wieder nicht wissen. In dieser Beziehung sind die bisherigen Erfahrungen sehr lehrreich. Die ursprünglichen elektromagnetischen Gleichungen Maxwells waren Nahformeln und ließen

sich in keine allgemein giltigen Fernformeln verwandeln. Man war deshalb drei Jahrzehnte lang bezüglich der elektrischen und magnetischen Kräfte auf Nahformeln angewiesen. In den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts änderte H. A. Lorentz auf Grund eines erweiterten Beobachtungsmaterials die Maxwellschen Gleichungen ab und brachte sie hierdurch in Uebereinstimmung mit dem damaligen Stand der Forschung. Obgleich die Abänderung ganz geringfügig war, hatte sie dennoch zur Folge, daß die neuen Nahformeln nunmehr durch Integration in Fernformeln verwandelt werden konnten. Dieses Beispiel demonstriert sozusagen ad oculos, daß wir aus der Gestalt der physikalischen Formeln keinen Schluß auf die mittelbare oder unmittelbare Wirksamkeit der Fernkräfte ziehen dürfen.

Die Gestalt der Formeln ist trotzdem nicht ohne Bedeutung. Wenn der Physiker mit Formeln operiert, hat er das Bedürfnis, sich unter den Formeln etwas vorzustellen. Er muß sich ein Bild von jenen Vorgängen machen, deren Gesetze durch die Formeln begrifflich fixiert werden. Für eine Fernkraft kann er unter zwei Bildern wählen. Entweder stellt er sich ein Etwas vor, welches die ganze Wegstrecke vom tätigen bis zum leidenden Körper hin von Punkt zu Punkt durchwandert, oder als ein Etwas, welches wie ein Gedanke den Zwischenraum überspringt, ohne irgendeinen Punkt des Zwischenraumes zu passieren. Welches von beiden Bildern der einzelne verwenden will, steht in seinem Belieben; er kann darüber nach Zweckmäßigkeitsgründen entscheiden. Wenn man sich augenblicklich mit einer Nahformel beschäftigt, wird man am besten tun, das Bild der mittelbaren Wirkung zu wählen, damit sich Bild und Formel decken. Es wäre offenbar unpraktisch, mit einer Nahformel das Bild einer unmittelbaren Fernwirkung zu verknüpfen. Nachdem nun die theoretische Physik gegenwärtig aus praktischen Gründen fast ausschließlich Nahformeln verwendet, handelt sie vernünftig, wenn sie für die Fernkräfte allgemein das Bild der mittelbaren Wirkung gebraucht. Diesem Bild hat sich die ganze Terminologie der Physik angepaßt.

Wenn ein solches Bild längere Zeit allgemein in Gebrauch bleibt, dann tritt die psychologische Wirkung ein, daß die Trennungslinie zwischen den bewiesenen Tatsachen einerseits und dem aus Zweckmäßigkeitsgründen gewählten Bild andererseits allmählich verblaßt. Es verschmelzen Bild und Wirklichkeit miteinander. Dieser psychologische Prozeß hat sich in den Physikern abgespielt und ist seit reichlich vier Jahrzehnten vollendet. So kommt es, daß man heute die mittelbare Wirkungsweise aller Fernkräfte als ein sicheres

Ergebnis der physikalischen Forschung betrachtet. Unsere obigen Darlegungen zeigen, daß diese Ansicht falsch ist.

2.

Nachdem die mathematische Gestalt der Formeln zur Lösung unseres Problems nichts beiträgt, müssen wir die physikalischen Tatsachen selbst ins Auge fassen. Man kennt nun wirklich Tatsachen, welche den Eindruck machen, daß sie mit einer unmittelbaren Fernwirkung nicht vereinbar sind. Am auffälligsten ist in dieser Hinsicht die Beobachtung, daß bei gewissen Fernkräften das Zwischenmedium auf die Wirkung Einfluß übt; es kann die Wirkung abändern oder ganz aufheben. Wir wollen hiefür ein Beispiel aus der Elektrizitätslehre wählen. Ein Hohlraum sei ganz von einer metallischen Hülle umgeben. Im Außenraum werde ein elektrisch geladener Körper A aufgestellt, im Innern des Hohlraums ein empfindliches Elektroskop. Das letztere zeigt nicht die geringste elektrische Wirkung an, weil der ganze Hohlraum durch die Metallhülle gegen die von Außen kommenden elektrischen Kräfte geschützt ist. Man gewinnt den Eindruck, daß die Kräfte auf ihrem Weg vom Körper A zum Elektroskop hin von der Metallhülle aufgehalten werden. Das widerspricht dem Begriff der unmittelbaren Fernwirkung. Die letztere hat weder mit dem Zwischenmedium, noch mit dem leeren Zwischenraum etwas zu tun. Sie wandert nicht vom tätigen zum leidenden Körper hin, weder auf geradem noch auf gekrümmtem Weg. Die Wirkung ist vom Anfang ihres Existierens an nirgendwo anders als im leidenden Körper. Daher scheint das geschilderte Experiment zu beweisen, daß die elektrischen Kräfte nicht unmittelbar wirken.

Ein solcher Schluß wäre jedoch voreilig. Wenn man hier Klarheit schaffen will, muß man erstens die gegebenen Tatsachen vollständig beobachten und muß man zweitens scharf unterscheiden zwischen den beobachteten Tatsachen und deren Deutung. Im vorstehenden Beispiel wurde beides vernachlässigt. Schon die Tatsachen sind unvollständig berücksichtigt. Es blieb außer acht, daß der geladene Körper A nicht bloß das Elektroskop beeinflusst, sondern auch die Metallhülle und daß hierdurch in der äußeren Oberfläche der Hülle eine Influenzladung entsteht. Auch die letztere übt Kräfte auf das Elektroskop aus. Das alles gehört zur vollständigen Beschreibung der Tatsachen.

Nun aber beginnt die Deutung und damit die Unsicherheit. Es sind nämlich zwei Deutungen möglich. Nach der einen davon werden die elektrischen Wirkungen durch die Tätigkeit eines Zwischenmediums

fortgepflanzt, sei es durch die Luft, sei es durch den Aether. Die Kraft wandert Schritt für Schritt vom geladenen Körper A bis zur Metallhülle hin. Nachdem sie dort eine Influenzladung erzeugt hat, will sie ohne Verzug ihren Weg ins Innere des Hohlraums fortsetzen. Aber das gelingt ihr nicht. Sobald sie den ersten Schritt einwärts zu tun versucht, bekommt sie eine zweite Kraft als Begleiterin. Diese zweite Kraft rührt von der Influenzladung der Metallhülle her und schlägt gleichfalls die Marschrichtung nach dem Inneren zu ein. Wie die Rechnung zeigt, ist die zweite Kraft ebensogroß wie die erste, aber entgegengesetzt gerichtet. Infolgedessen vernichten sich die beiden Kräfte gegenseitig, und zwar schon in dem Augenblick, wo sie gemeinsam ihre Wanderung ins Innere beginnen wollen. Damit hat der Marsch für beide ein vorzeitiges Ende erreicht, und der Hohlraum innerhalb der Metallhülle bleibt von allen elektrischen Wirkungen frei. Man sieht also: Die beschriebene Deutung, wonach die elektrischen Kräfte mittelbar wirken, befriedigt die beobachteten Tatsachen.

Diese Tatsachen lassen sich aber ebensogut durch die Annahme eigentlicher Fernkräfte deuten. Um das zu zeigen, wollen wir jetzt annehmen, der geladene Körper A wirke unmittelbar in die Ferne. In diesem Fall erfährt das Elektroskop nicht bloß eine, sondern zwei Kraftwirkungen. Die erste Kraft, welche vom Körper A herrührt, hat genau die gleiche Größe und Richtung, als wenn die Metallhülle nicht da wäre. Die zweite Kraft stammt von der Influenzladung der Metallhülle. Die beiden Kräfte, welche auf das Elektroskop wirken, setzen sich zu einer Resultante zusammen. Somit tritt bei Anwesenheit der Metallhülle die aus zwei Kräften gebildete Resultante an die Stelle der einfachen Kraft, die ohne Metallhülle vorhanden wäre. Man sieht also, daß auch bei eigentlichen Fernkräften das Zwischenmedium nicht ohne Einfluß ist. Durch Rechnung findet man, daß die von der Metallhülle erzeugte Kraft genau so groß ist wie die vom Körper A herrührende, daß sie aber entgegengesetzte Richtung hat. Die beiden Kräfte heben sich somit auf, und zwar in allen Punkten des von der Metallhülle umschlossenen Hohlraums. Man kann das Elektroskop an eine beliebige Stelle des Hohlraums bringen, und nirgends wird es eine Wirkung anzeigen. Somit stimmt unsere zweite Deutung des Versuchs, wonach die elektrischen Kräfte unmittelbar wirken, ebensogut mit den beobachteten Tatsachen überein wie die erste.

Es lassen sich noch viele andere Beispiele anführen, in welchen das Zwischenmedium auf eine der vier Hauptfernkräfte von Einfluß

ist, so z. B. der elektrische Kondensator, der Diamagnetismus, die Absorption und Brechung des Lichtes. In allen diesen Fällen ist eine doppelte Deutung möglich: Man kann den beteiligten Fernkräften mittelbare oder unmittelbare Wirksamkeit zuschreiben. Beide Deutungen stimmen qualitativ und quantitativ mit den Erfahrungstatsachen. Daher bringt auch das Verhalten des Zwischenmediums unser Problem nicht zur Entscheidung.

Wenn aus dem Verhalten des Zwischenmediums ein Schluß gezogen werden soll, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein. Man muß erstens sicher wissen, welches Zwischenmedium in Betracht kommt. Zweitens müssen die Eigenschaften dieses Mediums durch das Studium der darin auftretenden Nahwirkungen so genau erforscht sein, daß wir die Befähigung des Mediums zur Fernvermittlung schon kennen, ehe wir an die Untersuchung der jeweils auftretenden Fernwirkungen herantreten. Diese zwei Voraussetzungen sind in vielen Fällen erfüllt, am deutlichsten wohl bei der Zugkraft, die wir mittels eines langen Seiles auf einen entfernten Körper ausüben. Als Medium kommt hier nur das Seil in Betracht, und dieses Medium kennen wir zur Genüge. Wir wissen, daß seine kleinsten Teile fest zusammenhängen und wissen daher schon im voraus, daß sich das ganze Seil in Bewegung setzen wird, sobald wir an dem einen Ende ziehen. Ebenso sicher folgt daraus, daß ein am anderen Ende befestigter beweglicher Gegenstand von seinem bisherigen Platz weggezogen wird. In diesem Beispiel liegen Ursache und Wirkung so klar zutage, daß man gar nicht an die Möglichkeit denkt, es könne unmittelbare Fernwirkung vorliegen.

Auch beim Schall können die Zusammenhänge einwandfrei und sicher geklärt werden. Unabhängig von irgendeinem Schallphänomen weiß man, daß die Luft existiert, und kennt ihre Eigenschaften. Aus den letzteren folgt durch rein mathematische Schlußfolgerung die Fähigkeit der Luft, Verdichtungs- und Verdünnungswellen fortzupflanzen. Von einer jeden Schallquelle wissen wir ferner, daß sie die unmittelbar benachbarte Luftschicht abwechselnd verdichtet und verdünnt, also zu Luftwellen Anlaß gibt. Ebenso sicher ist, daß durch die Luftwellen das Trommelfell in unserem Ohr in Schwingungen versetzt wird. Nach alledem kann man nicht zweifeln, daß der Schall durch Vermittlung der Luft von der Schallquelle bis zu unserem Ohr fortgepflanzt wird, daß also der Schall keine eigentliche Fernwirkung ist.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den vier Hauptfernkräften. Hier kennen wir das vermittelnde Medium zu wenig. Es steht schon gar nicht fest, welches Medium in Betracht kommt. Sind es Körper, welche den Zwischenraum ausfüllen, oder ist es der Licht-

äther oder sind es selbständig existierende Feldgrößen? Der Umstand, daß alle diese Möglichkeiten ins Auge gefaßt werden, beweist, daß sich bei den Hauptfernkräften das Zwischenmedium nicht deutlich erkennen läßt. Auch seine Eigenschaften entziehen sich der Wahrnehmung; sie können nur aus den Fernwirkungen erschlossen werden, und das ist nur unter der Voraussetzung möglich, daß die betreffende Kraft überhaupt durch ein Medium vermittelt wird. Was wir also beweisen wollen, müßte schon zuvor bekannt sein. Bei den vier Hauptfernkräften können wir somit den Einfluß des Zwischenmediums auf die Wirkung nicht zur Lösung unseres Problems heranziehen.

Zusammenfassend können wir nun sagen: Ob die vier Hauptfernkräfte mittelbar oder unmittelbar wirken, läßt sich durch rein physikalische Gedankengänge nicht entscheiden. Dieses Problem ist überhaupt kein physikalisches sondern ein naturphilosophisches. Die Physik liefert zwar das Tatsachenmaterial, welches zur Lösung des Problems notwendig ist, aber die Lösung selbst bleibt Aufgabe der Naturphilosophie.

3.

Wir wollen nun versuchen, das Problem der Hauptfernkräfte durch philosophische Ueberlegungen zu lösen. Das ist nicht so einfach, als man gewöhnlich annimmt. Die Argumente, welche bisher von den Philosophen angegeben wurden, bedürfen sämtlich einer Ergänzung. Sie sind nur insofern beweiskräftig, als sie dartun, daß eine unmittelbare Wirksamkeit an die Körper viel zu hohe Anforderungen stellen würde. Die Größe der Anforderungen hat ihren Grund darin, daß eine ungeheuere Anzahl von Körpern existiert, die sämtlich aufeinander Fernkräfte ausüben. Nach unseren heutigen Kenntnissen gehen die Lichtwirkungen von den einzelnen Atomen aus, die übrigen Hauptfernkräfte von den Protonen und Elektronen. Nun gibt es sehr viele solche Elementarkörperchen. Die Sonne enthält ziemlich genau $1,18 \cdot 10^{57}$ Protonen und ebensoviele Elektronen. Diese Zahl ist mit Sicherheit festgestellt. Die Zahl der Atome ist geringer, weil jedes derselben aus zwei oder mehr Protonen und Elektronen zusammengesetzt ist. Da nicht alle Atome gleich viele der genannten Urkörperchen enthalten, kann man die Zahl der Sonnenatome nicht mit gleicher Genauigkeit angeben wie die der Protonen und Elektronen. Es läßt sich aber mit voller Bestimmtheit sagen, daß es in der Sonne mehr als 10^{54} Atome gibt. Das ist eine 55-stellige Zahl. Rechnen wir die Atome der übrigen Himmelskörper dazu, so erhalten wir eine Zahl mit mindestens 60 Stellen. Auch diese Angabe ist vollkommen sicher.

Man nimmt gewöhnlich an, daß die Fernkräfte von jedem existierenden Atom gleichzeitig auf alle anderen Atome ausgeübt werden, und zwar ohne Unterbrechung. Eine solche Wirkungsweise wollen wir als Simultanwirkung bezeichnen. Man kann nicht beweisen, daß die Hauptfernkräfte tatsächlich simultan tätig sind. Daher muß man mit der Möglichkeit rechnen, daß das einzelne Atom immer nur auf einige wenige Atome, vielleicht nur auf ein einziges, Fernkräfte ausübt, bald auf dieses, bald auf jenes. Diese Art der Tätigkeit wollen wir Sukzessivwirkung nennen. Wie wir unten sehen werden, ist wenigstens das Licht eine sukzessive Wirkung, während man bezüglich der übrigen Fernkräfte dafür keinen Anhaltspunkt hat. Wir müssen daher beide Wirkungsarten berücksichtigen.

Wir machen nun zunächst die Annahme, daß die Atome simultan wirken, d. h. daß eine gegebene Fernkraft von dem einzelnen Atom gleichzeitig auf alle anderen Atome, und zwar ohne Unterbrechung ausgeübt werde. Das einzelne Atom muß also in jedem Augenblick so viele Kräfte gleichzeitig ausüben, als es andere Atome gibt. Das ist etwas viel verlangt. Man kann diese Schwierigkeit nicht durch die Annahme vermeiden, die von einem Atom auf alle übrigen ausgeübte Wirkung sei ein einheitlicher Akt, eine Art „Funkspruch an Alle“. Nein, jedes fremde Atom will eigens bedient werden, schon deshalb, weil jedes Atom eine andere Kraftwirkung erfahren muß. Es existieren keine zwei fremden Atome, die vonseiten des tätigen Atoms in gleicher Richtung oder mit gleicher Stärke angezogen würden. Das tätige Atom muß also ebensoviele einzelne, von einander getrennte, Akte setzen, als es einzelne Atome gibt, und alle diese Atome muß es gleichzeitig im nämlichen Augenblick setzen.

Dieser Anforderung ist das Atom nicht gewachsen. Eine innere Unmöglichkeit für die beschriebene umfangreiche Tätigkeit der Atome läßt sich allerdings nicht nachweisen, und darum wäre der Schöpfer imstande gewesen, die Atome zu einer solchen Leistung zu befähigen. Dann würden aber die Atome einen ungemein komplizierten Bau aufweisen. Eine derartige Ausstattung der Atome würde gegen einen Grundsatz verstoßen, den Gott bei seiner Schöpfertätigkeit stets befolgt hat, den Grundsatz der Einfachheit. In der Natur sind zur Erreichung eines Zweckes stets die einfachsten Mittel angewandt. Der Schöpfer hätte sich nur dann zu einem komplizierten Atombau verstanden, wenn es kein einfacheres Mittel zur Verwirklichung der Fernkräfte gäbe. Nun lassen sich aber die Fernwirkungen sehr einfach durch Vermittlung realisieren, entweder durch Vermittlung eines Zwischenmediums oder durch emittierte Teilchen. Somit kam für

Gott die Erschaffung eigentlicher, d. h. unmittelbar wirkender Fernkräfte nicht in Betracht.

Man darf nicht übersehen, daß sich diese Folgerung auf die Voraussetzung gründet, daß die Atome simultan wirken. Darum ist die Unmöglichkeit von unmittelbar wirkenden Fernkräften noch lange nicht nachgewiesen. Was hisher gezeigt wurde, können wir in folgendem Satz aussprechen: Eine simultane Fernkraft kann nicht unmittelbar wirken.

Wir müssen nun auch die zweite Möglichkeit ins Auge fassen, d. h. die Annahme, daß die Atome ihre Fernwirkungen sukzessiv ausüben, etwa so, wie sie nach der wohlbegründeten heutigen Ueberzeugung der Physiker das Licht aussenden. In einer Lichtquelle leuchtet immer nur ein Teil der Atome, und das einzelne Atom erzeugt nicht kontinuierlich Licht, sondern sendet nur von Zeit zu Zeit ein kleines Lichtquantum, ein sogenanntes Photon, aus. Ebenso empfängt in einem beleuchteten Körper das einzelne Atom nicht ununterbrochen Licht, sondern nur von Zeit zu Zeit. Bald wird dieses, bald jenes Atom von einem Photon getroffen.

Bei den übrigen Hauptfernkräften haben wir einstweilen keinen Beweis dafür, daß sie sukzessiv wirken, aber die Möglichkeit einer solchen Wirkungsweise läßt sich nicht in Abrede stellen. Wenn wir die Wirkung der Gravitation auf einen fallenden Stein beobachten, können wir nicht unterscheiden, ob alle Atome des Erdkörpers den Stein gleichzeitig anziehen, oder ob eines nach dem andern seine Schwerkraft ausübt. Wir können auch nicht unterscheiden, ob alle Atome des fallenden Steines gleichzeitig Anziehung erfahren oder in raschem Wechsel eines nach dem andern. Auch im letzten Fall werden alle Atome des Steines nach abwärts in Bewegung kommen und nicht bloß jene, die augenblicklich von der Erde angezogen werden. Die Atome des Steines bilden ja ein zusammenhängendes Ganzes und können sich nur gemeinsam bewegen. Die wenigen Atome, welche in einem gegebenen Zeitteilchen Anziehung erfahren, müssen eben die anderen mitschleppen. Wir wissen also nicht, ob die Gravitation simultan oder sukzessiv wirkt. Das gleiche gilt für die elektrischen und magnetischen Kräfte.

(Schluß folgt!)